

Violaine PRINCE

EXPERTISE NATURELLE, EXPERTISE ARTIFICIELLE, VERS QUELS PARADIGMES COGNITIFS ?

I. Les conceptions de l'expertise et de la fonction d'expert

1. La notion d'expertise idéale

L'expertise, concept générique et virtuellement muni d'une majuscule, pourrait être vue idéalement comme un *état* privilégié de l'activité cognitive humaine dans laquelle la mise en œuvre des connaissances acquises en vue d'une compétence se fait d'une manière *naturelle*, et *indiscutable*. Par *naturelle* nous souhaitons faire référence à l'élégance dans le raisonnement, au sens où l'entendent les mathématiciens. Celle-ci pourrait être interprétée dans notre langage courant par une qualité alliant la pertinence¹ à l'optimisation dans l'examen des causes et des conséquences² ainsi que dans la prise de décision³. L'élégance recherchée dans la production d'un diagnostic ou d'une solution s'oppose ici à la recherche aveugle : une recherche aveugle ne serait pas guidée par des

¹ Bien qu'il soit discutable de faire toujours référence aux mêmes auteurs lorsqu'il s'agit de décrire cette notion générique, c'est véritablement au sens restreint de Sperber et Wilson que nous employons le terme de pertinence.

² Examen davantage procédural (au sens de la psychologie cognitive) et à la limite de la conscience ainsi que l'évoque Anderson (1983).

³ Walliser (1989) la décrit comme une production de la rationalité cognitive.

heuristiques s'appuyant sur la pertinence. L'élégance incluerait une vision relativement peu linéaire : la linéarité de la procédure est vue comme une technique du "plus sûr chemin" et non pas celle du chemin le plus court. Or ce sont bien les raccourcis qui sont visés par cette exigence. Enfin, le diagnostic qui correspondrait seulement à la production ou à la confirmation d'une donnée ou d'un ensemble de données ne nécessiterait pas forcément une quelconque prétention à l'élégance voire seulement à l'intelligence : les systèmes automatiques banalisés en sont parfaitement capables. Le diagnostic expert est susceptible d'être étayé par une argumentation ; il repose sur des explications (si elles sont demandées) voire sur des considérations épistémiques.

Dès lors, on peut dire que les systèmes automatiques n'ayant pas été conçus avec une prétention à l'expertise idéale étaient plus proches de la rationalité instrumentale décrite par Walliser (*op. cit.*) — dans laquelle ces systèmes peuvent être considérés comme des outils rationnellement adaptés par leur concepteur aux problèmes qu'ils traitent — que du raisonnement, qui est cognitif par essence.

Enfin, par *indiscutable*, nous voulons mettre l'accent sur une notion de "sans défaut", faisant appel à la justesse du diagnostic et à la difficulté de remettre en cause les décisions prises par le possesseur d'expertise assumant une *fonction d'expert*¹.

2. Le malentendu entre les visées de l'intelligence artificielle et la réalité des experts humains

De notre point de vue, c'est l'ensemble des qualités de l'expertise idéale qui ont prélué à la recherche fébrile de sa mise en système automatique avec une volonté d'immortaliser cet état coûteux et éphémère. Il est

¹ Nous ferons abstraction de la remise en cause des décisions ou du diagnostic d'un expert humain par ses collègues (querelles d'experts). Nous pensons qu'elles proviennent justement de l'assimilation d'une prétention (à l'expertise) avec l'état d'expertise idéale que nous décrivons.

coûteux, parce qu'il nécessite un apprentissage et une pratique consommateurs de ressources, et éphémère, parce c'est l'expert humain qui est considéré comme le support réel de l'expertise. Or il s'agit typiquement d'une denrée périssable. A notre avis, la conception de l'expertise idéale, qui sous-tend les objectifs de l'automatisation, est à l'origine de malentendus ; ils pourraient être résumés en deux classes de facteurs. Premièrement, cette conception a instauré une échelle de valeurs pour le jugement des résultats de l'automatisation, avec la considération que l'expertise est atteinte si les qualités de l'expertise idéale sont concrétisées. Cela rend l'état d'expertise, aussi bien pour les systèmes artificiels que pour les êtres humains, peu accessible. Pour les êtres humains, cela signifie, si l'on tente de traduire les conditions de cette expertise idéale en qualités, des capacités d'abstraction et de raisonnement symbolique¹ relativement élevées. En outre, cela suppose aussi une étendue de connaissances factuelles et d'expérimentation non négligeables. Or ces conditions de l'expertise idéale en tant qu'état, diffèrent fort de la description des experts (humains) jugés davantage comme possesseurs de connaissances opérationnelles, ni savantes, ni stratégiques, par de nombreux travaux en psychologie cognitive ou en psychologie ergonomique (voir dans ce numéro l'article de Jean-Michel Hoc, sur lequel nous reviendrons).

Deuxièmement, lorsque l'expertise idéale était implicitement postulée, les agents jouant un rôle de concepteur ou de juge ne s'étaient guère intéressés à vérifier l'adéquation des actants de leur système avec leur postulat. En d'autres termes, les qualités d'expertise idéale ont été attribuées implicitement à ceux qui faisaient fonction d'experts, c'est-à-dire aux êtres humains ayant localement une capacité d'expertise relative, celle-ci étant un peu rapidement assimilée à l'état idéal voulu. Cela peut, à notre

¹ Par *raisonnement symbolique* nous faisons référence aux raisonnements à partir des symboles et sur eux. A différencier de raisonnements dits *concrets* (faisant appel aux situations) ou aux raisonnements dits analogiques, dont le statut de raisonnement, au sens philosophique, était encore récemment discuté.

avis provenir d'une différence de terminologie. *Expert*, pour une organisation, ou pour un être humain, peut désigner aussi bien quelqu'un qui s'est spécialisé dans un domaine (de manière livresque et savante) qu'un individu ayant une expérience pratique jugée suffisamment conséquente, selon des critères mal définis. Par expérience, les experts humains sont aussi différents de l'état d'expertise idéale qu'ils sont différents les uns des autres. Il se trouve cependant que, ni la différence entre experts, ni leur éloignement plus ou moins grand avec l'état idéal n'ont pu être définis ou rigoureusement évalués pour la production de systèmes automatisés.

II. Les objectifs de la production d'expertise artificielle et leurs relations épistémiques avec les recherches cognitives

1. Des ambitions insatisfaites

Outre ces divergences avec la réalité de l'univers auprès duquel le système automatisé doit puiser ses entrées, il nous paraît nécessaire de définir à la fois les buts et les moyens du système informatique tenu de recueillir l'expertise, car les seconds dépendent des premiers. S'agirait-il pour un ordinateur de “singer” l'expert dans des attitudes préalablement enregistrées, ou d'être capable d'anticiper sur un raisonnement “que l'expert humain aurait pu tenir”, dans une situation nouvelle, ou ne se posant pas dans les termes convenus ? L'ambition des systèmes informatiques a été, pratiquement dès le début, d'aboutir aux objectifs de la seconde hypothèse, puisqu'ils se réclamaient d'une “intelligence” artificielle. Et très vite, ces objectifs se sont posés en termes non seulement de méthodes de programmation ou de structures des données, mais en termes de modélisation de connaissances. Le vocable de “connaissances” — volontairement mis au pluriel afin d'en minorer l'importance, par cette opération paradoxale concernant certains concepts difficiles à appréhender, qui fait que la pluralité exprime davantage l'aspect parcellaire

que l'unité — nous mène à penser que les recherches cognitives ont été sollicitées dès l'origine de l'aventure. La pratique montre qu'il en fut autrement, et un peu de réflexion épistémologique sur les systèmes dits experts indique que la situation d'insatisfaction par rapport aux objectifs cités a joué un rôle prépondérant dans la décélération de cette production, du moins au niveau de la recherche : elle a, en quelque sorte, freiné les ardeurs automatisantes des producteurs de systèmes informatiques et les a conduits à se tourner vers une problématique véritablement “cognitive” (Racah, 1989).

2. La nécessité d'une problématique cognitive pour réexaminer les paradigmes et la quête de l'expertise artificielle

Les différentes disciplines tournées vers l'étude et l'exploitation des processus, des structures ou de la morphogenèse¹ cognitifs sont directement évoquées dans la quête pour la création de l'expertise artificielle. Elles pourraient chacune revendiquer soit un droit d'aînesse, soit un pouvoir de diffusion en ce qui concerne le fait de statuer sur “la Connaissance”. C'est tout à fait volontairement que nous voulons, dans ce numéro, nous écarter d'un débat interdisciplinaire. On pourrait aussi refuser l'assimilation hâtive de l'état (d'expertise) avec une extension de la fonction (d'expert automatique ou humain) en mettant en exergue la devise : “parler d'expertise n'est pas parler des systèmes experts” ; mais réciproquement, il n'est pas possible de parler d'expertise si l'on n'évoque pas les abus (de présentation) aussi bien que les possibilités des systèmes automatiques créés en vue de l'état caractéristique de l'expertise idéale. Ce n'est pas par hasard si nombre des auteurs de ce numéro reviennent spontanément sur ce sujet. Les systèmes dits experts ne seraient-ils pas, dans leur forme actuelle, là où le bât cognitif nous blesse ? L'insatisfaction

¹ Au sens étymologique de “genèse des formes”. Ici, nous nous intéressons à l'ontologie des modèles et des formalismes destinés à redécrire les connaissances.

quant aux objectifs est-elle inhérente à la structure limitative des ordinateurs, supports matériels induisant comme nous le pensions (Prince, 1989a) une limitation dans les représentations cognitives possibles ? Ou bien dépend-elle de ce que nous savons de l'expertise en tant qu'état et des experts en tant que communauté d'individus humains ? Dans un autre ordre d'idées, le problème ne serait-il pas plutôt dû à la faiblesse de nos connaissances sur "les connaissances", plus humbles que "la Connaissance"¹ ou sur la pauvreté d'expression de nos modélisations mentales et informatiques ? Ou bien, serait-il simplement impossible de créer des "experts artificiels", en d'autres termes, les objectifs fixés par les créateurs de systèmes informatiques seraient-ils irréalisables, et pourquoi ? Enfin, on pourrait voir la question sous l'angle de la finalité : que pourrait apporter l'expertise, qu'elle soit humaine ou artificielle, qui justifierait une telle quête cognitive ?

III. Une réflexion épistémologique sur l'état de l'art

1. Les phases essentielles d'un système artificiel

Nous avons souhaité, à travers ce numéro, comprendre les mécanismes de l'interaction entre les travaux cognitifs et les problèmes soulevés par l'insatisfaction des ambitions en terme de production d'expertise artificielle. Compte tenu de la problématique énoncée ci-dessus, nous nous sommes intéressés à l'ensemble des phases constituant le cycle de conception d'un système artificiel, qui est d'ailleurs de structure similaire à l'ensemble des critères d'évaluation dudit système. En premier, nous avons cherché à examiner l'état des "entrées" du système. En amont d'un artefact informatique se trouve une réalité humaine qui a ses caractéristiques propres et un fonctionnement qu'il est intéressant de décrire. Ensuite, nous nous sommes penchés sur le processus même d'automatisation, non pas

¹ Cf. Raccah, *op. cit.*

dans sa partie technique, mais dans son illustration du processus d'abstraction. Les conditions de ce processus sont particulières : à partir des activités et productions humaines, avec toutes les nuances et les marges de "flou" dont elles sont capables, il faut concevoir un ensemble proche des conditions de l'expertise idéale tout en respectant les contraintes de la machine. Pierre d'achoppement de la production d'expertise artificielle, ce processus doit être revu dans ses finalités. Il pourrait aussi être revu dans ses conditions initiales : pourquoi ne pas opter pour une expertise totalement et délibérément artificielle, du bout à l'autre de la chaîne ? Troisième étape, c'est la prise en compte de "l'autre", ou l'intégration du système artificiel dans son environnement. Cet environnement peut être défini par une description de l'utilisateur, celui qui conditionne le système à sa pratique de travail. Mais l'environnement ne se limite pas au seul utilisateur individuel. En synergie avec ses constituants, l'univers ergonomique peut être modifié par l'introduction d'un système automatisé. Ce dernier peut être remis en cause, du point de vue de son usage et des objectifs qui ont présidé à sa réalisation. Il est donc nécessaire d'en étudier l'intégration. Enfin, nous pensons qu'il existe toujours une phase, non pas chronologique mais méthodologique, qui porte sur l'examen de la "trajectoire" d'une pratique scientifique. Nous avons donc voulu faire une place pour une étude des perspectives cognitives participant à la révision des paradigmes de la production de l'expertise artificielle.

2. Les activités et les productions langagières humaines

Les articles de Jean-Michel Hoc et de Claude Vogel fournissent des indications sur le matériau humain de l'expertise. Par rapport au cycle de conception des systèmes automatiques dits experts, ces travaux viennent éclairer la première étape, celle de la réalité humaine. Le premier auteur touche du doigt un problème très sensible : le véritable "savoir-faire" de l'expert humain, celui que l'on peut considérer comme le plus optimisé,

c'est-à-dire obéissant à ce critère défini précédemment dans l'état idéal d'expertise, semble assez difficilement verbalisable¹. Or, dans l'état actuel, les connaissances que l'on sait représenter dans les systèmes artificiels sont essentiellement des connaissances verbalisées, et de préférence “bien verbalisées”². Deux questions se présentent à l'esprit : si l'on considère que seules les connaissances bien verbalisées pourront être automatisées, est-ce à dire que, pour des systèmes automatiques, l'on est condamné à recueillir des connaissances de “second ordre” quant à leur optimisation et à leur qualité ? L'autre question serait : vers quoi faudrait-il faire évoluer la technique des ordinateurs, la technique d'extraction des connaissances ou celle de la modélisation pour acquérir, corriger, raffiner, ce savoir-faire à la limite du verbal, en supposant que cela fût possible ?

Claude Vogel justement nous propose un ensemble d'éléments sur les productions langagières des experts, dans lesquelles nous sommes censés trouver ces connaissances verbalisées. Beaucoup de choses peuvent être dites aussi bien sur la forme (linguistique, stylistique) que sur le fond. Le recueil des entretiens montre une morphologie peu compatible avec ce que nous pourrions qualifier comme allant de pair avec un raisonnement élégant : redondances, illustrations (voire “exemplifications”) nombreuses,

¹ Et cela n'est pas seulement dû au caractère “inconscient” de ce savoir, comme le fait remarquer Pierre Lévy, dans ce numéro, faisant écho à quelques prises de position relativement connues outre-Atlantique (cf. Hubert Dreyfus et Stuart Dreyfus, 1985). Certaines connaissances inconscientes sont tout à fait verbalisables, “sans perte d'information” (c'est le cas par exemple des récits d'expérience, tels qu'ils sont rendus par des techniques psychanalytiques. La notion de “perte d'information” doit jouer non pas sur le détail du récit, mais sur son contenu global. La difficulté de verbalisation de ces connaissances expérimentées est due, d'après les spécialistes, à des blocages affectifs et non pas à une impossibilité intrinsèque). Les connaissances typiques de l'expertise humaine ne semblent pas en faire partie (du moins, elles ne nous paraissent pas forcément inhibées pour les mêmes raisons).

² On peut dire qu'une connaissance est “bien verbalisée” si son expression linguistique présente des qualités de clarté et de précision lui permettant d'être décomposée en structures logiques, et si cette expression n'a pas pour effet de dénaturer fortement le contenu de cette connaissance.

abstractions par contre peu nombreuses, ces connaissances verbales expertes sont loin de revêtir la forme académique que nous aurions spontanément attribuée au concept générique d'expertise. Les experts du terrain “ne parlent pas comme un livre”, beaucoup s'en faut, et les récits d'expérience faits aussi bien par Jean-Michel Hoc que par Claude Vogel renforcent cette constatation. Le fond non plus n'échappe pas aux contradictions avec les idées naïves que l'on se fait sur *l'expertise des experts*. L'auteur décrit assez longuement la méthode qu'il a mise au point pour transformer ces entretiens en “connaissances”¹. La difficulté et l'ensemble des préceptes cognitifs qui sous-tendent la pratique (méritoire) de transformation proposée par Claude Vogel et qu'il qualifie comme relevant du “génie cognitif” (Vogel, 1988) sont à notre avis révélateurs d'un état d'insuffisance par rapport à ce que l'on pourrait attendre d'un expert au sens idéal. Remarquons que la transformation ne vise pas seulement à produire des représentations informatiques mais à rendre ces formes plus conséquentes du point de vue de l'homogénéité, de l'unicité et de la cohérence. On pourrait se demander quelle profondeur cette transformation atteint réellement (irait-elle jusqu'à une modification, aussi légère soit-elle, des contenus nécessaires ?), mais pour en débattre, il faudrait posséder une double expertise : celle du domaine décrit, afin de juger de la fiabilité des résultats de la transformation, et une expertise cognitive jugeant des processus mêmes présidant à la transformation.

La contribution proposée révèle quantité de problèmes en puissance. Un problème souvent rencontré dans les verbalisations des “experts” humains est le suivant : expression de leurs procédures (au sens de la psychologie cognitive) et expression de leurs réflexions sur leur façon de faire y sont inextricablement mélangées. Nous avons déjà relevé cet aspect dans une

¹ Formes acceptables pour l'Homme et pour la machine ? Personne n'a véritablement classé la terminologie en vigueur en termes de contenu, ou simplement sous forme de “conditions nécessaires et suffisantes”. Peut-être faut-il y voir le désir d'éviter de cerner fortement les contenus. Est-ce dans l'espoir de voir émerger une convergence encore prématurée ou par crainte de perdre le pluralisme tolérant de la polysémie ?

précédente réflexion sur ce thème (Prince 1989b), mais l'article de Claude Vogel est véritablement démonstratif en ce sens. Ce dont nous pouvons nous apercevoir, c'est qu'une méthode de transformation des formes linguistiques a du mal à rendre compte de ce méta-niveau, non pas, à notre avis, parce que la méthode est incomplète, mais parce que ses objets linguistiques sont les mêmes, quel que soit le niveau. Pour pallier cet inconvénient, F. Rastier (1991) propose une typologie linguistique distinguant les composantes sémantiques du texte dans sa globalité. Pour lui, deux composantes ne sont généralement “*pas retenues dans les analyses d'entretiens d'experts*” (citation) : la composante dialogique qui “*rend compte des modalités, et dans cette mesure, de l'énonciation représentée*” (idem), et la composante tactique qui traite de l'ordre de production et d'interprétation des unités sémantiques. Dès lors, il faut repasser par le biais d'une analyse généralisante après avoir constitué les structures élémentaires afin d'écarter certaines méta-structures (voire de nombreuses pseudo-structures) gênantes. Il semble que les éléments de discours qui ne correspondent ni aux exemples ni aux énoncés normatifs, soient traités “*d'anecdotiques*”¹.

3. La modélisation des connaissances : processus de conception, processus d'aide ou substitut de l'expertise ?

Un autre moyen de se défaire du “parasitage linguistique” procède d'une vision plus directive et moins proche de son corpus comme la proposent Jean-Paul Krivine et Jean-Marc David. Leur contribution réalise une transition entre la première étape du cycle des systèmes, et la seconde, qui traite du processus d'automatisation lui-même. Elle nous semble, même si cela peut choquer le lecteur de prime abord, plus adaptée à la reconnaissance du *niveau de connaissance*, du point de vue de la procédure d'inscription de cette connaissance dans un système artificiel.

¹ Nous espérons avoir correctement traduit la pensée de l'auteur.

Cela, parce que l'entretien a déjà été travaillé par un processeur humain qui a transformé le “dit” en règles de production (entre autres) et séparé la connaissance de ce que l'on a coutume d'appeler la “métaconnaissance”.

Il nous semble d'ailleurs que le titre de l'article de ces deux auteurs infléchit assez vivement les arrière-pensées que l'on pourrait avoir concernant une contribution informatique. Pour nous, il y a comme une manière discrète de se démarquer des objectifs des systèmes informatiques : créer un expert artificiel n'est pas ce qu'envisagent Krivine et David ; ils souhaitent plutôt attribuer au processeur artificiel le rôle d'assistant dans une action épistémologique de plus grande envergure que la production de nouvelles sources expertes. Programme moins ambitieux du point de vue des tendances de cette époque vers la réalisation d'artefacts anthropomorphes, mais à notre avis plus prometteur en terme de cognition. On pourrait objecter que cette revue à la baisse est causée par la lourdeur de la tâche de mise en œuvre, mais ce n'est pas un argument scientifique : ce serait confondre les limitations de l'outil dans sa forme actuelle avec des limitations plus profondes auxquelles les auteurs tentent de faire allusion. On pourrait penser que c'est en raison de la non-expertise des processeurs¹ humains assumant la fonction d'expert, mais qui a donc fait une véritable typologie de l'expertise pour en décider² ? Nous n'avons pour l'instant que la catégorisation générale de Rasmussen (1986), qui n'est pas une typologie au sens strict et fonctionnel. Et qui s'est aventuré vers une taxonomie des “connaissances” permettant, à l'instar de Herbert Simon pour les décisions (1960), de les situer en terme de programmabilité totale, partielle, ou impossible ? Jean-Michel Hoc s'en défend pour cause de

¹ Le terme de “processeur” est à prendre dans le sens étymologique. Il est vrai que l'usage que nous en faisons quotidiennement l'infléchit vers le “non animé”. Jean-Michel Hoc propose le sigle de STI (pour système de traitement de l'information). Il nous paraît préférable, dans cette introduction, d'employer un mot du vocabulaire, en prenant le risque de la mécanisation outrancière.

² Remarquons cependant que Jean-Michel Hoc introduit une différenciation descriptive fort intéressante.

centrage sur le problème d'une extraction psychologique et ergonomique des connaissances. Claude Vogel produit *de facto* des connaissances "programmables" (du point de vue de leur finalité) et Krivine et David attribuent aux connaissances "programmées" (du point de vue de leur réalité) le pouvoir de nous permettre de refaire le chemin de leur "genèse"¹. "L'extraction de connaissances vue comme un processus de modélisation" est le titre de leur article : la réflexion sur le modèle peut bénéficier des bonnes propriétés des modèles², en particulier les propriétés d'intégrité et de cohérence. C'est un des leitmotiv les plus marquants, à notre avis, de la discipline informatique, "science de l'information et de la communication" (cf. Newell et Simon, 1976, qui insistent sur le côté empirique préluant à la modélisation et Bourguin, 1984, qui met en avant les processus mêmes de création des modèles issus de la pensée informatique). L'aide à la réflexion sur le savoir par le changement de forme³ fait partie des paradigmes de ce domaine. On n'est pas sans remarquer que son identité oscille entre l'aspect totalement intangible des disciplines abstraites dont il est issu et sa propre épreuve de réalité, le passage en machine. Cette oscillation engendre par ailleurs une justification de l'autonomie de l'informatique : les disciplines abstraites lui servent de rempart scientifique, et l'on insiste alors sur la filiation. Inversement, le passage en machine joue le rôle de "preuve expérimentale" pour les constructions abstraites⁴, et c'est ce qui permet au domaine d'affirmer sa spécificité. Il n'est donc pas étonnant de voir nos auteurs

¹ Non pas au sens de leur constitution mentale dans l'esprit humain, dont nous n'avons ici aucun indice, mais au sens de leur exécution par un processeur automatique. La différence est très importante, bien que les partisans de la simulation en tant que "mode de vérification" aient tendance à fonder leur argumentation sur l'équivalence de ces deux notions.(cf. Hamburger et Crane, 1987).

² Par "bonnes propriétés" nous faisons référence aux propriétés mentionnées dans la théorie des modèles.

³ La métamorphose, dans son sens étymologique.

⁴ Statut discutable ou défendable (voir "l'Eloge de la Simulation" de P. Queau, 1988), mais il ne nous appartient pas ici d'en juger.

insister sur les aspects structurels et structurants de leurs “outils” conceptuels, même si on peut avoir l'impression, souvent justifiée par ailleurs, que l'informatique induit des modes de pensée guidés par l'outil, comme le faisait remarquer Jacques Ferber¹. En même temps, il nous paraît tout à fait significatif que ce soit cette contribution qui ait tenté, à sa façon, d'apporter sa réponse à la remise en cause de nos paradigmes épistémologiques².

Si les trois contributions citées se sont attachées à décrire les problèmes liés à la création de la source artificielle experte, soit par difficulté de communiquer avec les sources naturelles, soit par l'effort conceptuel introduit en vue de préparer une révision épistémique des productions de ces sources, la suivante arrive comme un déni flagrant de ces difficultés, ou du moins c'est ce qui nous est apparu, bien que les auteurs se soient exclusivement cantonnés dans le laconisme de leurs formules mathématiques. Une première lecture pourrait faire apparaître l'article de Laurent Bochereau, Paul Bourguine et Guillaume Deffuant dans la ligne d'une progression douce vers la modélisation par ordinateurs ou par modèles artificiels et formels interposés. La contribution suggère en effet une alternative aux “représentations internes” de cette expertise artificielle. Mais cette alternative n'a pas pour seule caractéristique de changer la forme du modèle : une des hypothèses implicites qu'elle semble induire est que, grâce à la phase d'apprentissage du réseau de neurones formels, il est possible à une source artificielle d'acquérir l'expertise sans passer par la douloureuse extraction de connaissances chez l'expert humain. Cette possibilité pourrait être discutée en terme de qualité des connaissances acquises, mais le sujet même de cette contribution nous paraît aller encore plus loin. Les auteurs s'attachent à démontrer qu'il existe une “intertraductibilité” (formelle) entre un classifieur de connaissances de

¹ Lors du débat ayant suivi la journée scientifique de l'Association pour la Recherche Cognitive, qui avait eu lieu sur le thème “expertise et sciences cognitives”.

² Elle ne sera heureusement pas la seule à le faire, l'article d'Yves-Marie Visetti est consacré à ce sujet, mais avec une démarche plus orientée vers la philosophie.

type connexionniste et un classifieur logique. Le classifieur logique est traditionnellement obtenu après extraction et raffinages successifs des connaissances expertes d'origine humaine, qui ont été transcrites sous forme de règles de production.¹ Cette possibilité de traduction n'est certes pas totale, mais elle est néanmoins cause de perplexité : elle met en question le processus même d'extraction des connaissances par des procédés ayant des origines dans les autres disciplines effectuant des recherches cognitives. Dans une vision exclusivement artificielle, linguistique et psychologie ne servent plus à produire des processeurs (de connaissances) en amont : la modélisation s'appuie sur une évacuation des manipulations humaines en vue de transformer les connaissances pour les rendre aptes à être acquises par l'entité artificielle. En d'autres termes, la première étape du cycle de conception des systèmes peut se résumer à la collecte d'un nombre suffisamment grand de "cas", destinés à l'apprentissage du réseau de neurones, la deuxième serait alors prépondérante. Une telle contribution s'inscrit dans ce qui, à notre sens, est une vision extrême de l'artificialité². Elle s'appuie sur la reconnaissance explicite de l'artificialité de l'expert idéal. Ira-t-on jusqu'à pousser le raisonnement en disant que les seuls "experts" proches de l'expertise idéale ne peuvent être qu'intrinsèquement artificiels, en raison du chaos régnant du côté des sources humaines ? Sans verser dans le fanatisme de l'automatisation, il pourrait être, pour de nombreux chercheurs formalistes, plus "reposant" de ne pas avoir à se plier aux visions participatives et mouvantes des modèles psychologiques de la cognition. Par contre, l'application d'un modèle résolument formel et aussi peu mental à une

¹ On nous concédera, au moins au vu des premiers articles traitant de la difficulté de recueil et de transcription des connaissances des experts, que le produit final "base de connaissance", n'est pas obtenu du premier coup.

² Remarquons que le modèle connexionniste tient les deux extrémités de l'échelle qui va du plus "naturel" (vivant) au plus artificiel (électronique). Le modèle logique semble, par contre, un compromis où la notion "d'inspiration" du vivant est totalement abandonnée au profit de la prééminence de la pensée consciente (caractéristique du vivant supérieur et de ses artefacts).

modélisation psychologique paraît improbable, alors que les modèles plus proches de la logique sont relativement attrayants pour la modélisation des processus cognitifs humains. Il nous paraît difficile de proposer des modèles “mentaux” de la cognition humaine construits à partir d’un tel modèle qui ne fait pas référence à des fonctions cognitives reconnues : il remettrait en cause nombre d’hypothèses, voire de postulats, concernant les conditions de la sagesse. De ce modèle sont exclues les notions de mémoire, sémantique ou non, et de raisonnement. N’y subsiste plus que la reconnaissance de formes ou la pondération par l’acquisition des cas. S’il est exact que nombre de travaux en psychologie cognitive s’inspirent directement des travaux en neurosciences, ces travaux font référence aux modèles de neurones “naturels” et non point aux modèles de neurones “formels” qui en diffèrent assez fortement. Un modèle comme celui de Bochereau, Bourguine et Deffuant, dans lequel le classifieur connexionniste est susceptible d’être retraduit en un système de classification logique, du moins dans ses grandes lignes, c’est-à-dire pour les règles les plus importantes, nous semble plaider en faveur de l’émergence d’une structure *a posteriori*, et uniquement parce que cette structure est déjà connue des chercheurs qui tentent de la repérer. Si nous en tirons au moins une conséquence, cela signifie que les fonctions cognitives ne seraient pas nécessaires pour obtenir un résultat analogue à celui qu’elles produisent, et que les structures ne s’imposent pas en tant que condition requise pour l’exercice des processus cognitifs. C’est une voie dans laquelle nous préférons ne pas nous engager, dans l’état actuel de nos connaissances.

4. L'interaction avec l'environnement et son influence sur les pré-requis cognitifs

Comme nous l’avons précédemment mentionné, l’extraction de connaissances et leur représentation, qu’elles soient par le biais d’un processeur ou de méthodologies humaines ou non, ne sont pas les seuls thèmes associant l’expertise et les sciences cognitives. La troisième étape

du cycle de conception des systèmes est celle qui se préoccupe de son insertion dans son environnement. Dans une vision utilitariste des productions associées à l'intelligence artificielle, nous avons vu souvent avancer l'argument suivant : le tout n'est pas de créer une source artificielle experte, encore faut-il qu'elle puisse servir à quelque chose. Les deux contributions suivantes remettent pour nous en cause les conditions d'*acceptation* et d'*usage* d'un processeur expert artificiel. On pourrait se poser la question de l'expertise artificielle en terme d'enjeu cognitif et de rationalité économique : n'est-il pas dit que l'*homo cogitans* est aussi un *homo æconomicus* ? (Bourgine, 1989). L'article de Pierre Falzon et Béatrice Cahour se concentre sur l'assistance à l'utilisateur, individu singulier et classe conceptuelle à la fois. Pour assister un Utilisateur (qui par cette dualité acquiert sa majuscule), il faut modéliser Sa compétence, car que signifierait la propagation d'une expertise s'il n'y a pas d'écho au soin apporté à son inscription ? Les auteurs insistent sur une notion de "philosophie de l'assistance" dans laquelle il faut définir la coopération entre l'homme et la machine, coopération que l'on devrait, encore une fois, voir comme idéale, dans la mesure où aucune source humaine experte ne s'embarrasse d'autant de soins et d'attentions dans sa représentation de son interlocuteur. Les auteurs expriment les termes du partenariat homme-machine, perspective qui semble dominante aujourd'hui si l'on veut statuer sur les conditions d'acceptation de l'expertise artificielle. L'Utilisateur d'un système expert n'est pas un expert humain, mais rien n'empêche qu'il le soit : dès lors, le système automatique doit avoir en image la gamme étendue des stratégies à adopter en fonction de la reconnaissance du niveau de son interlocuteur. C'est à ce prix que peut se faire un échange instructif justifiant ou valorisant l'existence de la source artificielle. Ce n'est pas par hasard si Falzon et Cahour abordent les aspects pédagogiques dans l'échange entre l'homme et la machine : la formation, le recyclage ou le perfectionnement de la source cognitive humaine forment un des champs dominants dans la valorisation des systèmes experts, et une des

façons aussi de faciliter l'acceptation de la source artificielle. Dans la mesure où les experts humains ne sont pas forcément disponibles, dans la mesure aussi (mais on ne le dit pas) où ils n'ont pas forcément des qualités pédagogiques telles que l'explication patiente¹, le respect inaltérable de l'interlocuteur (que l'on peut forcer dans un programme mais pas chez un homme), la recherche de l'enseignement le plus adapté, il est possible de présenter des arguments probants en faveur d'une source experte artificielle devant posséder toutes ces qualités. Certes, l'état de l'art n'a pas encore atteint cet idéal, mais celui-ci est inscrit dans les cahiers des charges de la recherche en EIAO². Il existe un intérêt certain, dans la recherche aussi bien que dans le public, pour ce rôle "bienveillant" et utilitaire que l'expertise artificielle pourrait jouer, afin d'éloigner les fantômes d'une robotisation excessive et égocentrique du savoir.

Les conditions d'acceptation de l'expertise artificielle, telles qu'elles nous semblent avoir été évoquées voire enrichies par l'article de Falzon et Cahour, doivent être complétées par une réflexion sur l'adaptation de la source artificielle à son environnement, la manière dont elle est perçue et les modifications ergonomiques et cognitives qu'elle introduit autour d'elle. Pierre Lévy s'est proposé de réaliser ce qu'il a nommé en sous-titre "une étude d'écologie cognitive", dans laquelle il étudie les conditions permettant à des systèmes artificiels de jouer le rôle de "média de transmission" de certains savoir-faire. Il s'est volontairement situé dans un environnement organisationnel, montrant par là que la description du seul système expert par lui-même ne permet ni d'en indiquer la finalité, ni d'en évaluer les prestations. Plus que d'écologie dans un sens général, l'auteur aborde le problème du milieu du travail, dans lequel un système "à base de

¹ Mais non excessive : il y a des limitations qui sont nécessaires, ne serait-ce que parce que les explications qui s'éternisent nuisent au but principal pour lequel le système est censé interagir. C'est à ce titre que Garfinkel (1967) réfute les explications itérées. Pierre Lévy en fait, à juste titre, mention dans son article.

² Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur.

connaissances”¹ n'est plus chargé émotionnellement par les fantasmes de la création d'une source artificielle de savoir, mais sert essentiellement à transmettre à des individus banalisés et à des fonctions, formes abstraites concrétisées ou non par des individus, un certain nombre d'éléments d'information nécessaires à la survie et à la croissance de la collectivité. Curieusement, l'utilisateur déchoit et perd sa majuscule ; l'expert n'est plus une fonction idéale, mais on se trouve en face d'une réalité technologique modificatrice des habitudes de travail, et c'est en toute rationalité (économique, ergonomique) que l'on se préoccupe de l'insertion des sources artificielles. Le caractère social, tranchant sur les visions introspectives et individualistes des autres thèmes, donne à cet article une dimension d'enracinement dans une réalité quotidienne. Pierre Lévy rappelle que : “*des entités collectives exercent des fonctions cognitives*”². Elles possèdent aussi un savoir, et un *savoir-faire* (Alquier et Prince, 1990). Dès lors, il devient intéressant d'étudier les effets de l'insertion de sources artificielles en tant que processus cognitifs médiateurs. C'est ce que propose l'auteur en s'appuyant sur de expériences de terrain, et en tentant de tirer des conclusions de nature épistémologique en ce qui concerne le statut cognitif de l'expertise. Non sans une certaine poésie, Pierre Lévy nous rappelle que la recherche de l'expertise artificielle a mené l'IA à produire une “connaissance réanimée” : de vivante (humaine) devenue inerte (déclarative) elle “ressuscite” par des moyens mécaniques afin de permettre aux organisations de traduire et de restructurer leurs savoir-faire³. La collectivisation et la rationalité économique semblent

¹ L'auteur ne parle que peu de systèmes experts, et c'est à son actif, bien que sa terminologie oscille entre l'usage consacré et ses propres convictions.

² Voir à ce sujet Le Moigne (1986), Varela (1989), et Alquier (1989).

³ Nous émettons personnellement des doutes sur ce dernier terme. A notre avis, le savoir-faire (même organisationnel) échappe aux inscriptions mécanistes. Les réflexions de J.-M. Hoc sur la difficulté de verbaliser ce savoir-faire, la nature des corpus dont Claude Vogel fait état, nous conduisent à penser qu'il n'est pas ce que les systèmes automatiques dont parle Pierre Lévy recueillent. A moins que le niveau d'expertise idéale de l'individu au sein de l'organisation soit fortement abaissé par

transformer une recherche cognitive en une technologie des connaissances, ce qui pourrait aussi justifier l'approche utilitariste implicite dans la démarche de Claude Vogel, abordée plus haut. Jusqu'à quel point a-t-on besoin de rentrer dans les finesses de l'expertise humaine, dans ses méandres et dans les états d'âme qu'elle impose aux cognitivistes (informaticiens) et aux cognitivistes (psychologues) ? L'ingénierie s'arrête souvent aux premiers niveaux de la discipline mère : elle multiplie ses produits pendant que la discipline sonde en profondeur (ou en hauteur) l'intégrité de ses concepts et vérifie l'adéquation de leurs corollaires aux normes scientifiques¹. Peut-être n'a-t-on souvent voulu voir dans les apports de l'informatique que l'ingénierie, avec un profil cognitif bas, en dépit de la timide protestation de Krivine et de David (et de celle, plus vigoureuse, d'Yves-Marie Visetti dont il sera ultérieurement question). La rationalité économique et industrielle des sociétés modernes n'est pas une justification de la production de sources artificielles d'expertise, pas plus que ne peuvent l'être des simulations quasi-ludiques de théories de la cognition à caractère délibérément non utilitariste. Cela, pour des raisons épistémologiques : le développement de la recherche, dans sa nature et dans son orientation, ne dépend pas si directement que cela de conditions externes au domaine concerné. En particulier, il ne dépend pas de conditions aussi simples que la pression économique d'une part, ou d'un ensemble de croyances sur le domaine d'autre part.

5. A la recherche des nouveaux paradigmes de l'expertise artificielle

rapport à l'expertise idéale absolue. C'est encore un problème d'échelle d'exigence à définir, et l'absence de définition est, elle aussi, une source supplémentaire de malentendus.

¹ Bien qu'il soit nécessaire de définir ces disciplines, ainsi que le fait Yves-Marie Visetti dans ce numéro, sous le vocable de *technoscience*. La dualité technologique et scientifique doit être assumée, car, pour l'informatique par exemple, il n'y a pas d'indépendance de l'une (science) vis-à-vis de l'autre (technique).

S'il faut donc chercher cette fois-ci une rationalité (techno)scientifique pour l'expertise artificielle, s'il faut mettre au point un certain nombre de paradigmes prometteurs d'explorations futures, le dernier auteur de ce numéro nous propose d'aller à la recherche d'un "schéma régulateur". Soucieux de terminologie, il commence par "balayer devant sa porte" en rejetant le terme même de "système expert". Puisque la source artificielle n'est pas définie en fonction des mêmes visions de l'expertise que les sources humaines (expertise idéale contre expertise relative), puisqu'elle n'aura jamais le même rôle que l'expert humain (fonctions différentes, pas de responsabilité de décision), il faut définitivement briser le malentendu en changeant les mots. Yves-Marie Visetti préfère l'expression de *système à base de connaissances*. Les conséquences de cette terminologie, encore incomplètement passée dans les moeurs, à laquelle Pierre Lévy fait aussi référence mais dans un contexte plus opérationnel, sont notables : le système à base de connaissances est un "produit", dont la proximité avec une source humaine n'est en aucun cas une raison de validité, mais qui doit appuyer certaines activités humaines présentant un intérêt cognitif. Cet "objet", pour être construit, doit sacrifier aux procédures obligées, non pas sous la forme d'une épreuve initiatique quasi-animiste qui s'imposait aux systèmes experts jusqu'alors envisagés, mais par l'instanciation cohérente de trois types de contraintes détaillées et commentées par l'auteur. La première est la modélisation cognitive, avec tout ce qu'elle suppose comme effort de médiation rigoureuse entre le "réel perçu" et son inscription dans un processus artificiel. Deuxièmement, l'auteur mentionne la reconstruction logique, dont les capacités formelles permettent au processus artificiel de maintenir sa cohérence et d'assurer sa "survie" en termes de prédictibilité. Enfin, il aborde la communicabilité en situation réelle avec d'autres sources cognitives de nature différente (des êtres humains, ou des bases documentaires, qui n'ont absolument pas le même statut cognitif). Pour nous, l'auteur a redéfini le cycle de conception du système, au sens de *construction*, en cycle de conception au sens

d'acception. L'intuition que nous avons de la similarité des critères de construction et de ceux d'évaluation est ici explicitée et définie avec précision.

De source “experte”, — si tant est que l'expertise soit autre chose qu'un degré de perfection sur une échelle —, le système à base de connaissances devient une source “cognitive”, sans autre précision d'intensité. Elle a cependant l'avantage d'être structurée de telle manière que sa présence se justifie par l'originalité de son organisation : elle est logiquement “fiable”, elle a une nature explicite (même si on cherche à lui inculquer des implicites humains), elle est disponible, elle est délibérément limitée. Elle peut jouer un rôle non négligeable en tant qu'aide au processeur humain à la modélisation de ses propres connaissances, des connaissances disponibles (livresques, réglementaires) et peut l'assister dans ses travaux cognitifs en lui fournissant une image structurée et (artificiellement) “réanimée” (l'analogie de Pierre Lévy est tout à fait évocatrice), de son savoir exprimé. Pour nous, et en cela nous rejoignons aussi Pierre Lévy, ainsi que Pierre Falzon et Béatrice Cahour, le système à base de connaissances, tel que le redéfinit Yves-Marie Visetti, a aussi une finalité fonctionnelle : au delà du seul processeur humain, — nommé par Visetti “utilisateur-modéliseur” —, et des travaux d'introspection cognitive, la source cognitive artificielle peut être activée en tant que relais d'information et de connaissances pour d'autres sources cognitives, de statut indifférencié. Les programmes procéduraux classiques des ordinateurs ont bien servi à renseigner des sources mécaniques de plus bas niveau : les sources cognitives artificielles peuvent elles aussi être susceptibles de contrôler, de valider des processus de niveau cognitif inférieur, tout en étant elles-mêmes constamment validées, contrôlées et commandées par des opérateurs humains, ayant une autonomie cognitive supérieure¹. Mais contrairement à certains auteurs (dont Claude Vogel et

¹ Nous n'allons pas comparer les sources artificielles et naturelles en terme de niveau : elles ne sont pas de natures comparables. Les processus ne sont pas les mêmes, pas plus

Pierre Lévy), nous ne pensons pas que le système à base de connaissances soit la forme la plus apte à reproduire les connaissances opérationnelles, et ce, indépendamment de leur niveau de conscience : la nature même des contraintes, si justement explicitées par Visetti, par lesquelles passent les systèmes à base de connaissances oblitérent la dynamique inhérente à ce que nous appelons le savoir-faire¹. La raison en est évidente : le passage par la reconstruction logique, qui assure la fiabilité et la transmission des connaissances mais qui les rend statiques, est incompatible avec le caractère purement dynamique et perceptif des connaissances opérationnelles attachées au savoir-faire, lesquelles par contre sont difficilement transmissibles et dont la fiabilité n'est pas objectivement évaluable². Décidément, les connaissances réanimées ont un goût de réchauffé qui a perdu sa saveur originelle.

IV. Pour un autre contrat homme-machine

En conclusion de cette présentation des travaux dans le domaine, présentation qui n'a d'autre but que d'amener notre lecteur à apprécier la lecture de ces contributions au niveau des spécificités de chacune, nous voudrions insister sur un dernier point. Ce qui nous paraît être le véritable

que les critères d'évaluation. Que signifie de comparer cognitivement un homme et un ordinateur ? A notre avis, on peut seulement parler d'autonomie cognitive, c'est-à-dire de capacité décisionnelle sur ses propres connaissances, en termes d'acquisition, de structuration ou de restitution.

¹ Ensemble de connaissances opératoires et opérationnelles, n'ayant ni la forme ni la structure des connaissances stratégiques, tactiques, livresques ou réglementaires (cf. Alquier et Prince, 1990, et Prince, 1989b).

² Les erreurs d'experts humains prétendant au savoir-faire sont courantes, mais non prédictibles. Leur comptage ne nous paraît pas induire un sens ni produire une théorie. Toutes les justifications que l'on peut faire sur ces erreurs sont faites a posteriori, dans une tentative de rationalisation de l'erreur. Par conséquent, nous estimons qu'il est difficile d'évaluer la fiabilité dans la mesure où il n'y a pas eu raisonnement au sens strict du terme, et que nous ne savons, pour l'instant, évaluer que la fiabilité des raisonnements.

apport de l'ensemble des communications ne réside pas seulement en un constat de l'état de l'art. Nous pensons que notre contribution globale est d'avoir montré que, s'il est facile de condamner les systèmes experts tels qu'ils étaient précédemment envisagés (c'est-à-dire en tant que substituts idéaux et opérationnels des experts humains) ainsi que cela a été fait dans un mouvement de critique de l'Intelligence Artificielle selon une optique se réclamant de la philosophie, il est aussi facile de les défendre, selon une optique se réclamant de la rationalité économique, quitte à sacrifier quelques paradigmes au passage. Cependant, il nous semble qu'en réalité, ce n'est pas en ces termes que le problème se pose aujourd'hui, puisque des expériences *in vivo* d'introduction de sources artificiellement "expertes" ont été réalisées, et que le débat n'est pas seulement formel. La question n'est pas de réfuter ou de réhabiliter, que ce soit scientifiquement, philosophiquement ou économiquement, les systèmes informatiques prétendant à l'expertise —on ne peut pas faire marche arrière dans l'histoire scientifique — mais de reconsidérer leur finalité, leurs effets, et seulement après, leur structure. Ils font partie du patrimoine (techno)scientifique existant, ils ont des possibilités cognitives non négligeables. Le tout est d'avoir la maturité scientifique suffisante pour rediriger les recherches en vue de se servir de l'assistance épistémologique qu'offrent les sources cognitives artificielles. En même temps, on continuera à les améliorer structurellement afin qu'elles rendent davantage de services sur les plans où elles interviennent. Ce va-et-vient entre recherches cognitives et systèmes à base de connaissances est le terme même du nouveau contrat qu'il serait bon de passer entre l'homme et la machine. C'est une conclusion quelque peu personnelle, certains auteurs ne la partageront peut-être pas, mais elle nous semble en cohérence avec une vision fédérative que nous avons tenté de promouvoir jusqu'à présent.

Violaine PRINCE
LIMSI-CNRS

B.P. 133
91403 ORSAY Cedex
et ENS de Cachan

Références

- ALQUIER, A.M. (1989). Epistemology of Information, Systems Models and Temporal Dynamics of the Knowledge, *Organizations Congress of Cybernetics*. Namur, Belgique.
- ALQUIER, A.M, PRINCE, V. (1990). Cognitive Modelling of Knowledge Dynamics in Automated Information Systems, *Actes de Cognitiva-90*, Madrid, Vol 2, pp. 561-569.
- ANDERSON, J. R. (1983). *The architecture of Cognition*. Cambridge, Ma., Harvard University Press.
- BOURGINE, P. (1984). "La M.A.O : modélisation assistée par ordinateur", *Interfaces*, AFCET, n° 21, pp. 3-9.
- BOURGINE, P. (1989). "Introduction : Homo œconomicus is also Homo Cogitans, Homo Cogitans is also Homo œconomicus", *Theory and Decision*, vol. 27, n° 1/2, pp. 1-6.
- DREYFUS, H.L, DREYFUS, S.E. (1985). *Mind over Machine*. New York, McMillan, The Free Press.
- GARFINKEL, H. (1967). *Studies in Ethnomethodology*. Englewood Cliffs, NJ., Prentice Hall.
- HAMBURGER , H., CRANE , S. (1987). "Plans and Semantics in Human Processing of language", *Cognitive Science*, Vol. 11, pp. 101-136.
- LE MOIGNE, J.L. (1986). *Mécanismes de L'intelligence et Intelligence des Mécanismes*. Paris, Fayard.
- NEWELL, A., SIMON, H. (1976). "Computer Science as Empirical Enquiry : Symbol and Search", *Communications of the ACM*, vol.19, n° 3, pp. 113-126.
- PRINCE, V. (1989a). "Epistémologie spontanée des traitements automatiques du langage", *Histoire, Epistémologie et Langage*, vol. 11, pp. 105-126.
- PRINCE, V. (1989b). "L'automatisation de l'expertise peut-elle rendre compte des automatismes des experts ?" *Actes des Journées de Saint-Riquier, Connaissances Explicites vs Connaissances Implicites*, AFCET.
- QUEAU, P. (1988). *L'Eloge de la Simulation*. Paris, Editions Champvallon.
- RACCAH, P.Y. (1989). "Expertise et sciences cognitives". *Deuxièmes Journées de Saint-Riquier* "Intelligence artificielle et cognition : connaissances explicites vs

- connaissances implicites”. A paraître dans le numéro spécial de la *Revue Internationale de Systémique* (1992).
- RASMUSSEN, J. (1986). *Information Processing and Human-machine Interaction : an Approach to cognitive engineering*. Amsterdam, North-Holland.
- RASTIER, F. (1991). “L'analyse linguistique des textes d'experts”, *Génie Logiciel*, n° 23, pp. 16-23.
- SIMON, H. (1960). *The New Science of Management Decision*. New York, Harper and Row Publishers.
- SPERBER, D., WILSON, D. (1986). *Relevance : Communication and Cognition*. Oxford, Basil Blackwell.
- VARELA, F. (1989). *Science de la Cognition : une cartographie d'idées en cours*. Paris, Le Seuil.
- VOGEL, C. (1988). *Le Génie Cognitif*. Paris, Masson.
- WALLISER, B. (1989). “Instrumental Rationality and Cognitive Rationality”, *Theory and Decision*, 27, 1-2, pp. 7-36.