

ONTOLOGIES... DÉONTOLOGIE: RÉFLEXION SUR LE STATUT DES MODÈLES INFORMATIQUES

AURÉLIEN BÉNEL, SYLVIE CALABRETTO
aurelien.benel@liris.cnrs.fr
sylvie.calabretto@liris.cnrs.fr

Abstract - This paper is a reflection on the philosophical statute of computational models. We reveal how the ambiguity of this statute derives from the fact that the three aims assumed by the information technology community are those of three opposite philosophical trends.

Keywords - ontology, logic, epistemology, information model

1. INTRODUCTION

Le discours des chercheurs en informatique au sujet des ‘ontologies’ (en particulier dans le cadre du ‘Web sémantique’), nous semble révélateur d’une certaine indécision dans la communauté concernant le statut de leurs modèles. L’une des définitions les plus acceptées de ‘l’ontologie informatique’ est celle de Thomas R. Gruber (Gruber, 1993) comme ‘spécification explicite d’une conceptualisation’. Il est donc question de langage et de concept, en d’autres mots, d’une théorie de la connaissance. Cependant, suivant les auteurs (voire chez un même auteur), le but des ‘ontologies’ serait:

1. l’intelligence artificielle (‘des machines comprennent des humains’),
2. l’interopérabilité (‘des machines comprennent des machines’),
3. de faire sens pour l’usager (‘des humains comprennent des humains via des machines’).

Or, nous pensons que ces trois buts proviennent de trois théories de la connaissance, issues de courants non seulement différents, mais

surtout incompatibles. Nous aimerions exhumer les postulats implicites (voire inconscients) qui déchirent la communauté. Dans ce but, nous proposons une petite étude de textes. Étant donné que dans les 'sciences formelles', on hésite souvent à faire apparaître dans les articles de recherche des discussions plus philosophiques, notre corpus comprendra également des ouvrages de synthèse et des articles de vulgarisation.

Dans l'étude qui suit, nous adopterons une grille de lecture inspirée de la sémiotique¹, distinguant trois 'mondes': le monde empirique, le monde des idées et le monde du discours.

2. VALEUR ONTOLOGIQUE

2.1. Définition

Le mot 'ontologique' est formé sur deux racines grecques: *onta*, les choses qui existent et *logos*, le discours (raisonné). On dira qu'un discours a une valeur 'ontologique' (Figure 1), lorsque celui-ci représente une idée qui elle-même représente le réel. En termes kantien, on pourrait parler de raisonnement '*a posteriori*', c'est-à-dire postérieur à l'observation.

¹ Nos trois mondes s'inspirent en effet des trois facettes du signe: Référent/Signifié/Signifiant (Eco, 1973). Considérons le signe /cheval/. Son référent est l'ensemble des chevaux ayant existé, existant, et qui existeront. Son signifié est le concept de 'cheval'. Un concept peut exister en l'absence de référent (par exemple le concept de 'licorne'). Son signifiant peut être un dessin, un mot écrit ou encore prononcé.

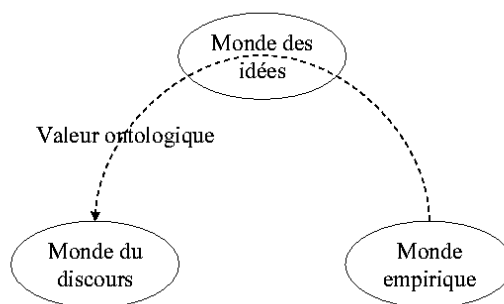


Figure 1. Valeur ontologique du discours

Par exemple le mot ‘homme’ désigne une foule hétéroclite d’individus différents mais dont l’appartenance doit être évidente pour quiconque en rencontrerait un. Aristote dit d’ailleurs dans le dernier chapitre des Seconds Analytiques (Leonhardt, 2002) que lorsque l’on rencontre Callias, c’est l’homme en général que nous atteignons par la sensation et non Callias².

2.2. Le mythe de l’intelligence artificielle

Que signifierait un statut ontologique des modèles informatiques? Ni plus ni moins que l’aboutissement du programme de l’intelligence artificielle. En effet, l’ordinateur, en opérant sur le discours, manipulerait directement des connaissances sur le monde réel. Hubert Dreyfus (Dreyfus, 1972) fut l’un des premiers à identifier l’intelligence artificielle comme étant un mythe³, entraînant la fin du financement de la plupart des projets américains et européens⁴. Aussi, quand on sait la capacité remarquable d’un mythe à résister à l’oubli, on ne devrait pas

² Un bon contre-exemple de l’immédiateté de la classification est donné par l’ornithorynque (ovipare mais allaitant ses petits), cauchemar des taxinomistes qui, en désespoir de cause, l’ont contraint à rentrer dans la classe des mammifères.

³ Tout au moins dans la traduction française de son livre (le titre original étant un peu moins fort).

⁴ Ce que la communauté lui reprocha durement (Pitrat, 1984) mais qui ne faisait qu’anticiper la décision japonaise après l’échec des ‘ordinateurs de cinquième génération’.

s'étonner outre mesure de le voir resurgir, vingt ans après la crise, dans certaines orientations de recherche. Ainsi, même John F. Sowa (qui par ailleurs prend clairement un parti anti-positiviste) place ses ontologies informatiques dans la plus pure tradition de l'ontologie philosophique: 'Logic is pure form, and ontology provides the content that is expressed in that form' (Sowa, 2000). Ce à quoi, on pourrait facilement rétorquer: 'Comme le dit Blanché: Un moule à raisonnement n'est pas un raisonnement, pas plus qu'un moule à gâteaux ne peut être mangé comme dessert' (Borillo, 1984: 25).

Les promoteurs du 'Web sémantique' (BernersLee, 2001), quant à eux, redécouvrent toutes les propriétés du langage utopique rêvé par le courant ontologique:

- un langage universel basé sur la logique: 'Its unifying logical language will enable these concepts to be progressively linked into a universal web',
- un langage monosémique et non contextuel: 'information is given well defined meaning',
- un langage référentiel: 'the Semantic Web will break out of the virtual realm and extend into our physical world. URIs⁵ can point to anything, including physical entities',
- enfin, un langage artificiel compréhensible par l'ordinateur: 'machines become much better able to process and 'understand' the data that they merely display at present'.

L'exemple le plus célèbre est sans doute le projet *Cyc* (Wood, 2000) contenant aujourd'hui un demi million de 'faits'. Ce projet a nécessité le travail de 25 informaticiens pendant 20 ans. Ses coûts de développement (50 M\$) furent financés par des multinationales ainsi que par la Défense Américaine (DoD). Nous retiendrons deux résultats de ce projet.

Le premier est une démonstration récente, dans les locaux du Pentagone, qui a réussi à associer par une suite de savantes inférences 'anthrax' avec 'Ben Laden'. En guise de commentaire, nous citerons: 'L'une des premières tâches est de discerner le statut

⁵ URI: Uniform Resource Identifier.

théorique de ces activités (intelligence artificielle) et il n'est pas sûr que la seule façon d'y parvenir, ni la meilleure, soit de parler de machines qui 'jouent' aux échecs, qui 'reconnaissent' des images, qui 'comprennent' des textes... même si cette phraséologie est encore abondamment employée par les chercheurs eux-mêmes et si elle évoque assez bien, d'un point de vue externe, les fonctions que semblent remplir ces systèmes. Le malheur, c'est que de telles formulations sont doublement trompeuses: pour les profanes, qu'elles mystifient en accréditant le mythe des machines 'pensantes' (insuffler aux calculateurs numériques une intelligence à l'image de celle des hommes !); et trop souvent des chercheurs qu'elles entraînent dans de faux challenges scientifiques ('battre' des joueurs de niveau plus élevé, 'reconnaître' plus d'images, 'comprendre' plus de phrases...)' (Borillo, 1984: 15-16).

Le second est une remarque de Doug Lenat (le chef du projet): 'vampires are not real but in fictional settings they may be treated as real'. Nous dirions quant à nous qu'il existe des concepts comme 'vampire' qui sans faire référence à des 'choses qui sont' ont toutefois un certain pouvoir explicatif.

2.3. *Courant philosophique*

On peut faire remonter l'approche ontologique à Aristote (Aristote, -300). Par définition, il s'agit d'un discours raisonné sur l'Être. Dans une telle approche, le langage est considéré comme reflet exact du réel, à condition que le philosophe (aujourd'hui on dirait 'le chercheur') suive un certain nombre de règles. Tout d'abord, afin d'amorcer le raisonnement avec des principes indubitables, le philosophe doit traduire dans un langage artificiel (le langage catégorique) la connaissance évidente du réel qui lui est donnée (on serait tenté de parler de 'révélation'). Ensuite, afin d'avancer dans le raisonnement, le philosophe doit user de syllogismes valides. Il est important de noter que l'approche ontologique fait l'objet d'une auto-fondation. En effet, la méthode utilisée est elle-même considérée comme évidemment vraie, ontologique. Pour les disciples de cette approche, il n'y a aucun doute sur le bien-fondé ni du langage catégorique comme apte à refléter le réel, ni sur le

choix des syllogismes valides, ni sur la capacité du philosophe à connaître le réel et à le traduire en langage catégorique.

Cette approche a en fait traversé le temps, d'Aristote (IV^e s. av. J.C) au Positivisme Logique (début du XX^es.), en passant par Descartes, Laplace, Comte et bien d'autres. Bien loin de s'affaiblir, elle s'est même radicalisée. En effet, Aristote se gardait bien d'appliquer sa méthode destinée à l'étude de la Nature (la physique) à d'autres domaines comme la métaphysique ou la politique. Au contraire le Positivisme Logique considère que la méthode ontologique est le modèle unique de la raison humaine.

3. VALEUR LOGIQUE

3.1. Définition

Le mot 'logique' est formé sur la racine grecque *logos*, discours (raisonné). On dira qu'un discours a une valeur 'logique' (Figure 2) lorsqu'il n'est que pur discours, jeu de langage, réécriture (conformément à des règles).

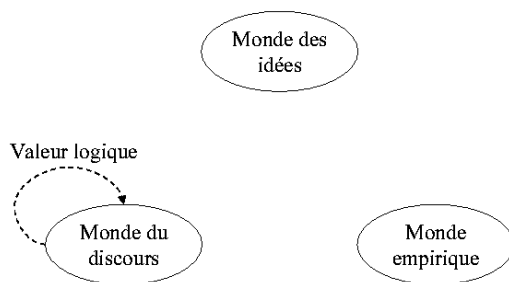


Figure 2. Valeur logique du discours

En termes kantien, il s'agit d'un cas particulier de raisonnement *a priori*: non seulement il est antérieur à toute observation, mais encore, dans ce cas précis, aucune observation ne sera nécessaire. Par exemple, dans le cadre de référence de l'arithmétique des entiers, on peut réécrire $1+1$ en le remplaçant par 2 sans se soucier

de savoir de quoi il s'agit. Des applications de cette règle peuvent même être contraires à l'expérience⁶, ces applications seront alors réfutées mais pour autant les règles ne le seront pas. Cette règle de réécriture, purement formelle, opère sur un discours dé-corrélé de tout contenu.

3.2. *L'obsession de l'interopérabilité*

Un statut purement logique des modèles informatique signifierait que seul importe l'aspect formel, indépendamment du contenu (du rapport au monde). Dit autrement, il s'agirait de modèles qui pourraient faire l'objet d'une normalisation. Cette approche nous vaut, au passage, des expressions assez curieuses (pour ceux qui prendraient 'ontologie' dans son sens traditionnel) comme *Standard Upper Ontology* (Groupe de travail IEEE) ou *Formal Ontology*⁷.

'The general perspective I have in mind is that of Formal Ontology, which can be included as the theory of formal distinctions between the elements of a domain, independently of their actual reality.' (Guarino, 1997)

Quels peuvent être les vertus de la normalisation si ce n'est de permettre à différents systèmes informatiques de travailler ensemble? Les tenants de cette approche normalisatrice le reconnaissent d'ailleurs parfois eux-mêmes:

'The Semantic Web is really data that is processable by machine', says Berners-Lee (Frauenfelder, 2001).

Cette révision à la baisse des objectifs (de l'intelligence artificielle vers l'interopérabilité) apparaît d'ailleurs en filigrane par l'inflation d'intérêt autour des formats que sont XML (format de sérialisation d'un arbre, cf. Figure 3) et RDF (format de sérialisation d'un graphe, cf. Figure 4).

⁶ Par exemple, dans le cas où l'on mélange un litre d'alcool et un litre d'eau, la proposition 'un litre de liquide plus un litre de liquide font deux litres de liquide' est fausse.

⁷ Bruno Bachimont faisait déjà remarquer (Bachimont, 2001, dans son intervention orale), que 'ontologie formelle' était un *oxymoron*, c'est-à-dire une expression alliant deux mots contradictoires.

‘Two important technologies for developing the Semantic Web are already in place: eXtensible Markup Language (XML) and the Resource Description Framework (RDF).’ (BernersLee, 2001).

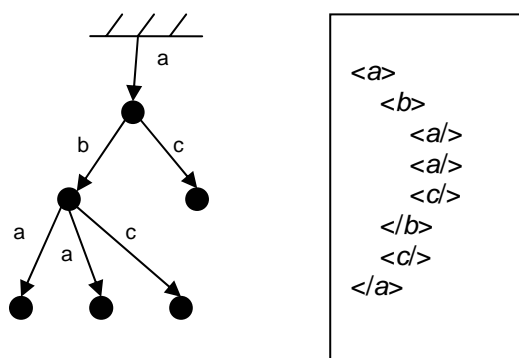


Figure 3. Extrait d'un exemple de s erialisation d'arbre en XML

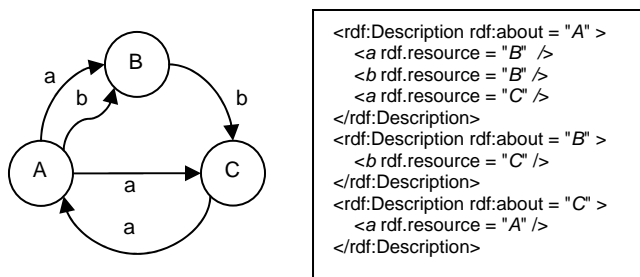


Figure 4. Extrait d'un exemple de s erialisation de graphe en RDF

Cependant, comme nous allons le voir maintenant, cette vision purement formelle des modèles informatiques ne doit nullement nous surprendre, étant donné l'histoire même de la discipline et des liens qu'elle entretient avec sa discipline mère : les mathématiques (modernes).

3.3. *Courant philosophique*

Au XIX^e et au début du XX^e, l'idéal de la Science est donné par la Mathématique⁸ telle qu'elle serait si elle était libérée de l'influence du mathématicien: une mathématique 'mécanique', une mathématique exécutable par une machine.

Hilbert, en refondant les mathématiques sur des axiomes et des inférences, suit ce programme, mais ses résultats vont aller à l'encontre des attentes des positivistes. En effet, on cite souvent la phrase d'Hilbert: 'Il doit toujours être possible de substituer 'table', 'chaise' et 'chope de bière' à 'point', 'droite' et 'plan' dans un système d'axiomes géométriques'. Si on y regarde de plus près, Hilbert, dans cette citation, coupe définitivement les mathématiques de la réalité. La vérité en mathématique n'est donc plus 'ce qui est conforme au réel' mais ce qui est inféré d'une axiomatique. La vérité n'y est plus ontologique mais logique (au sens de 'conventionnel').

En fait, cette révolution a été préparée par les géométries non-Euclidiennes (Leonhardt, 1999b). Euclide a fondé la géométrie (principalement) sur cinq postulats. Mais, parce que le cinquième⁹ semblait différent des autres, des légions de mathématiciens ont essayé de prouver qu'il était déductible des quatre autres. Aucun de ces mathématiciens n'avait le moindre doute concernant la vérité de ce postulat/théorème. N'était-ce pas vrai ontologiquement? La réalité n'était-elle pas régie par la géométrie d'Euclide? C'est alors que Lobachevsky (1829)¹⁰; puis Riemann (1854) proposent chacun

⁸ L'usage du singulier a ici pour but de renforcer le projet d'unification de la discipline, projet qui va au contraire aboutir à un éclatement...

⁹ Le cinquième postulat peut être exprimé par: 'Par un point extérieur à une droite, passe une et une seule parallèle à cette droite'.

¹⁰ Ainsi que Bolyai en 1832.

de remplacer le cinquième postulat par un postulat contradictoire¹¹. En faisant cela, ils obtiennent deux géométries (dites non-euclidiennes) cohérentes quoique contraires à l'évidence.

On peut se demander si l'approche logique est auto-fondée ou si elle fondée ontologiquement. Pour répondre, nous devons étudier l'histoire du théorème d'incomplétude de Gödel (1931) (Dubucs, 1996), (Girard, 1989). Par ce théorème, Gödel prouve que pour toute axiomatique (aussi complexe ou plus complexe que l'arithmétique des entiers) soit le principe du tiers-exclu¹², soit celui de non-contradiction¹³ est violé. Le plus surprenant est que Hilbert a passé le reste de sa vie à chercher une erreur dans la démonstration et que Gödel lui-même a toujours pensé que l'incomplétude était due aux systèmes complexes et pas à la logique 'naturelle' (c'est-à-dire contenant les deux principes). En fait, même s'ils ont défini les mathématiques comme conventionnelles, ils gardent tout deux une foi sans faille dans la nature ontologique de la logique. On doit noter, au contraire, que d'autres mathématiciens à la même époque plaident pour l'intuitionnisme (c'est-à-dire une logique sans le principe de non-contradiction).

En résumé, le statut des mathématiques a changé. Les mathématiques ne sont plus considérées comme conformes à la réalité. Elles sont un jeu de langage. Aujourd'hui, même les règles de la logique 'naturelle' ne nous semblent plus 'naturelles' et peuvent être changées afin d'obtenir de nouvelles logiques.

¹¹ Respectivement: 'Par un point extérieur à une droite, passent *plusieurs* parallèles à cette droite', et 'Par un point extérieur à une droite, ne passe *aucune* parallèle à cette droite'.

¹² 'D'une proposition et de son contraire, *au moins* l'une est vraie' (les deux pouvant être vraies).

¹³ 'D'une proposition et de son contraire, *au plus* l'une est vraie' (les deux pouvant être fausses).

4. VALEUR ÉPISTÉMOLOGIQUE

4.1. Définition

Le mot 'épistémologique' est formé sur deux racines grecques: *episteme*, la connaissance et *logos*, le discours (raisonné). Nous dirons qu'un discours a une valeur 'épistémologique' (Figure 2.5) lorsqu'il naît d'une idée antérieure à l'observation. En termes kantien on parlerait de raisonnement *a priori*. La vérité de cette connaissance pourra être mise à l'épreuve en projetant le discours sur le réel.

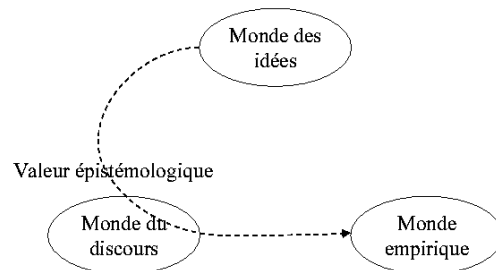


Figure 5. Valeur épistémologique du discours

Par exemple, Newton, a eu l'idée de définir la masse (notion *a priori*) comme le rapport constant d'une accélération avec une force. Cette théorie, d'une étonnante efficacité, a fini par être mise à mal par l'expérience (lorsque les corps atteignent des vitesses proches de celle de la lumière).

4.2. Des machines qui donnent à penser

Si les modèles informatiques ont un statut épistémologique, cela signifie qu'ils n'ont de sens que par l'usage et l'interprétation qu'en feront leurs utilisateurs humains. Nous faisons ici écho aux thèses défendues par Jean Charlet, Bruno Bachimont et leur équipe: 'La tâche conditionne la construction de l'ontologie qui dès

lors ne peut être portable et encore moins universelle¹⁴. Cela plaide de plus en faveur d'une vision non logique mais plutôt constructiviste de la connaissance [..]. Comme toute connaissance, les ontologies sont interprétées par un expert humain en fonction de l'idée qu'il a de la tâche attribuée au système' (Charlet, 1996).

C'est d'ailleurs ce qu'affirment les initiateurs du Web Sémantique après avoir soutenu les deux thèses contraires: 'the computer doesn't truly 'understand' any of this information, but it can now manipulate the terms much more effectively in ways that are useful and meaningful to the human user' (BernersLee, 2001). Alliant la théorie à la pratique, le projet du Web Sémantique dispose même d'un sous-projet appelé *Annotea* consistant à faire créer par des tiers des ontologies sous forme d'annotations. Et le projet de mentionner que ceci entraînera sans doute des 'biais' (entre autres politiques¹⁵) ainsi qu'une notion de confiance, mais que c'est le prix à payer.

Dans le même esprit, John F. Sowa propose de baser les ontologies sur ce qu'il appelle 'le principe de Socrate': 'Whenever two philosophers disagree, draw a distinction. Anyone may discover a conflict, Anyone may suggest a distinction, Machine recomputes [..], Repeat until everybody is happy' (Sowa, 2001). Dit autrement, il considère les polémiques comme le moteur de la modélisation et la machine comme un support dynamique pour un discours en perpétuelle réécriture.

Notons que baser un système sur la polémique est un véritable défi informatique. En effet la plupart des 'systèmes à base de connaissances' sont basés sur la logique classique. Cela signifie premièrement qu'ils ne peuvent exprimer deux points de vue contradictoires (principe de non-contradiction). Deuxièmement, cela signifie qu'ils considèrent un 'monde fermé' dans lequel tout est connu (vrai ou faux) et ne laisse donc pas de place à l'indécision (principe du tiers exclu).

¹⁴ Pour s'en assurer, il suffit de consulter le catalogue pléthorique quoique incomplet des ontologies candidates à l'universalité qu'a dressé Fritz Lehmann (Lehmann, 1994).

¹⁵ Quelle valeur donner au fait que le pouvoir de Pékin définisse Taiwan comme une partie de la Chine?

Nous ne pouvons ici qu'aller dans le sens du Web Sémantique (troisième mouture) qui a pris conscience du défi et l'accepte sereinement: 'Semantic Web researchers, in contrast, accept that paradoxes and unanswerable questions are a price that must be paid to achieve versatility' (BernersLee, 2001).

4.3. Courant philosophique

Au milieu du XX^e siècle, Popper (Popper, 1935), influencé par le Positivisme Logique, entreprend de fonder la Science de manière objective, c'est-à-dire, sur les expériences et la logique. Cependant, à la différence des positivistes logiques, il renonce à démontrer des propositions universelles affirmatives (lois) à partir de principes tirés de l'expérience. En effet, ce type de raisonnement, appelé 'induction amplifiante'¹⁶ est reconnu comme un raisonnement fallacieux depuis les débuts de la logique. Au contraire, il choisit la déduction (et plus précisément le *modus tollens*¹⁷), pour bâtir sa méthode hypothético-déductive:

*SI hypothèse testable est vraie
ALORS phénomène objectif apparaît
OR phénomène objectif n'apparaît pas
PAR CONSEQUENT hypothèse testable est fausse.*

D'un point de vue systémique, la méthode hypothético-déductive peut être modélisée par un processus ayant comme entrée une 'vérité hypothétique' et comme sortie une 'vraie réfutation'. Premièrement, on est en droit de se questionner sur la 'vérité' de la méthode (et donc de ses réfutations): ontologique, logique, épistémologique? En fait ce point n'a jamais été abordé par Popper. Il semble qu'il ait pensé que le *modus tollens* était 'naturel', 'évident'. Avec le recul, on peut donc affirmer que sa méthode est enracinée dans des croyances ontologiques. Si l'on

¹⁶ Exemple d'induction amplifiante: 'Le cygne n°1 est blanc, le cygne n°2 est blanc, ... le cygne n°N est blanc, par conséquent tous les cygnes sont blancs'. A ne pas confondre avec l'induction simple: 'Le cygne n°1 est blanc, le cygne n°2 est blanc, ... le cygne n°N est blanc, par conséquent tous les cygnes du numéro 1 au numéro N sont blancs'.

¹⁷ 'Si *p* est vrai alors *q* est vrai, or *q* est faux, par conséquent *p* est faux'.

souhaite suivre la méthode popperienne tout en tenant compte des mathématiques modernes, nous devons remplacer sa 'croyance' dans la logique 'naturelle', par le choix, conventionnel, de cette logique parmi d'autres. Deuxièmement, le processus a besoin de deux entrées : une 'hypothèse testable' et un 'phénomène objectif', mais rien ne nous dit dans la méthode comment les obtenir. Elle laisse une place pour quelque chose d'autre...

Concernant 'l'hypothèse testable', Popper écrit que son invention par un être humain concerne la psychologie et non l'épistémologie (puisque cette invention n'interfère pas avec sa méthode logique). On lui sera reconnaissant de ne pas invoquer, contrairement à d'autres philosophes, d'obscurs processus formels tels que l'induction ou l'abduction, et de préférer garder une méthode purement logique tout en laissant de la place aux Sciences Humaines. Concernant le 'phénomène objectif', c'est un phénomène qui est expérimentalement reproductible indépendamment du chercheur. Combien de fois une expérience doit-elle être répétée ? Par combien de chercheurs ? Là encore, Popper n'a rien écrit à ce sujet.

Par contre, Kühn (1962) peut nous aider à trouver une réponse. Kühn donne de la Science une vue sociologique. Les chercheurs appartiendraient à des communautés basées sur des principes tacites. Ces principes (appelés 'paradigmes') établissent les méthodes à utiliser et les types de sujets de recherche solubles. Ainsi, des théories basées sur des paradigmes différents sont incommensurables (elles ne peuvent être comparées). D'une manière kühnienne, on pourrait affirmer qu'un 'phénomène objectif' est objectif pour une communauté donnée si et seulement si il a été reconnu tel par cette communauté. Un 'phénomène objectif' (et son pouvoir réfutant) n'est donc pas forcément valide pour une autre communauté. De même, il peut ne plus être valide après un changement de paradigme dans la communauté (ce que Kühn appelle une 'révolution'). En définitive, 'l'objectivité' des expériences et des réfutations dépend d'un processus social et en tant que tel est du ressort des Sciences Humaines.

5. CONCLUSION

Nous avons montré que l'ambiguïté du statut des modèles informatiques provient du fait que les trois finalités assumées par la communauté (intelligence artificielle, interopérabilité, faire sens pour l'utilisateur) sont issues de trois courants philosophiques opposés. Le lecteur aura compris que, dans nos projets de recherche¹⁸, nous nous engageons clairement dans la troisième voie, celle que nous avons qualifiée 'd'épistémologique'. Cela signifie que nous limitons la mission de l'ordinateur à ce qui est purement formel et laissons à la charge de l'être humain ce qui concerne la substance des choses. C'est parce que nous sommes convaincus que l'intelligence sera toujours du côté de l'humain et non de l'automate qu'il nous semble indispensable de mettre au cœur de la conception de nos systèmes: l'interactivité, les conflits d'interprétation ainsi que l'aspect dynamique et toujours incomplet de la connaissance.

¹⁸ <http://www.porphyry.org>

BIBLIOGRAPHIE

- ARISTOTE, *Organon: I. Catégories; II. De l'interprétation* (Trad. J. Tricot), Vrin, Paris 1959.
- BACHIMONT B., *Modélisation linguistique et modélisation logique des ontologies: l'apport de l'ontologie formelle*, in *Conférence 'Ingénierie des Connaissances'*, Grenoble, 2001.
- BERNERS-LEE T., HENDLER J., LASSILA O., *The Semantic Web*, «Scientific American», 2001.
- BORILLO M., *Informatique pour les Sciences de l'Homme: Limites de la formalisation du raisonnement*, Pierre Mardaga Éditeur, Bruxelles, 1984.
- CHARLET J., BACHIMONT B., BOUAUD J., ZWEIGENBAUM P., *Ontologie et réutilisabilité: expérience et discussion*, in N. AUSSENAC-GILLES, P. LAUBLET, C. REYNAUD (ed.), *Acquisition et ingénierie des connaissances*, Cepadue Editions, 1996, 69-87.
- DREYFUS L.D., *Intelligence artificielle: mythes et limites*, Flammarion, Paris, 1984. (Édition originale en anglais publiée en 1972).
- DUBUCS J., *La logique depuis Russell*, in R. BLANCHÉ, *La logique et son histoire*, Armand Colin/Masson, Paris, 1996. (Seconde édition revue et complétée).
- ECO U., *Le Signe*, Labor, Bruxelles, 1988. (Édition originale en italien publiée en 1973).
- FRAUENFELDER M., *A Smarter Web*, «Technology Review», November 2001.
- GIRARD J.-Y., *Le champ du signe ou la faillite du réductionnisme*, in E. NAGEL, J.R. NEWMAN, K. GÖDEL, J.-Y. GIRARD (eds.), *Le théorème de Gödel*, Seuil, Paris, 1989 (Traduction française et commentaires).
- GRUBER T.R., *A translation approach to portable ontology specifications*, «Knowledge Acquisition», V (1993), 2, 199-220.
- GUARINO N., *Some organizing principles for a unified top-level ontology*, in *Proceedings of AAAI 1997 Spring Symposium on Ontological Engineering*, AAAI Press, 1997.
- KÜHN T. S., *La structure des révolutions scientifiques*, Flammarion, Paris, 1983, (Édition originale en anglais publiée en 1962)
- LEHMANN F., *CCAT: The current status of the conceptual catalogue (Ontology) group with proposals* [en ligne], in *Proceedings of the Fourth International Workshop on Peirce 'A Conceptual Graph Workbench'*, 1994.

- LEONHARDT J.-L., *Test de Turing: Les ordinateurs peuvent-ils penser? Polémique*, Note de recherche, Maison de l'Orient Méditerranéen, CNRS, 1999.
- LEONHARDT J.-L., *Le champ philosophique est-il limité? ou La connaissance par révélation est-elle redevable de la philosophie?*, Note de recherche, Maison de l'Orient Méditerranéen, CNRS, 1999.
- PITRAT J., *Quelques remarques sur 'Intelligence artificielle, mythes et limites'*, in H.L. DREYFUS, *Intelligence Artificielle: Mythes et limites*, Flammarion, Paris, 1984 (Traduction française et commentaires).
- POPPER K. R., *La logique de la découverte scientifique*, Payot, Paris, 1973 (Édition originale en allemand publiée en 1935).
- SOWA J.F., *Knowledge Representation: Logical, Philosophical and Computational Foundations*, Brooks/Cole, Pacific Grove, 2000.
- SOWA J.F., *Automating Ontology Development*, IJCAI Workshop on Knowledge Discovery, August 6, 2001.
- WOOD L., *The World in a Box: little fanfare greets the coming out of a pivotal AI project*, «Scientific American», January 2002.