

**Histoire de la logique floue.
Une approche sociologique des pratiques de démonstration.**

Claude Rosental

© Copyright Claude Rosental, 1998.

Version préliminaire de l'article suivant¹ :

Claude Rosental, «Histoire de la logique floue. Une approche sociologique des pratiques de démonstration», *Revue de Synthèse*, vol. 4, 4, octobre-décembre 1998, pp. 575-602.

"The boat of uncertainty reasoning is being rebuilt at sea. Plank by plank fuzzy theory is beginning to gradually shape its design. Today only a few fuzzy planks have been laid. But a hundred years from now, a thousand years from now, the boat of uncertainty reasoning may little resemble the boat of today. Notions and measures of overlap $A \cap A^c$ and underlap $A \cup A^c$ will have smoothed its rudder. Amassed fuzzy applications, hardware, and products will have broadened its sails. And no one on the boat will believe that there was a time when a concept as simple, as intuitive, as expressive as a fuzzy set met with such impassioned denial." ²

Comment mettre en oeuvre une histoire sociale des mathématiques et de la logique ? Face à cette question, cet article vise à discuter et à explorer certaines options méthodologiques, en les déployant sur un cas historique. Nous nous attacherons ainsi à rendre compte du développement d'une logique particulière, répondant au nom de "logique floue". Ce travail s'appuiera sur l'analyse de documents d'archives, mais aussi sur des entretiens et des observations empiriques que nous avons pu mener dans la première moitié des années 1990 en France et aux Etats Unis.

L'historiographie sur la logique floue est aujourd'hui circonscrite à une série de repères relevant avant tout de l'histoire des idées propres à ce domaine. Quelques récits mettent en scène d'autres éléments, relevant des conditions techniques, industrielles, et institutionnelles du développement de la logique floue. Toutefois, nous n'avons pas pu identifier de narrations qui intègrent et surtout articulent l'ensemble de ces données. Nous nous intéresserons aux possibilités d'un traitement global et homogène de ces dernières. Pour cela, nous mettrons en oeuvre une approche fondée sur l'analyse matérielle du travail logique, notamment des pratiques d'écriture et de lecture, et une sociologie des pratiques de démonstration.

¹ Attention : Ce texte est destiné exclusivement à un usage privé à caractère académique. D'importantes différences peuvent exister entre cette version et celle finalement publiée. Tout autre usage doit faire l'objet d'une demande écrite préalable auprès de l'auteur. Warning: This text is made available for private academic use only. There might be huge differences between this version and the final published one. Always first ask the author for authorization in writing for any other use.

² Kosko, 1990, p. 239.

Modes de présentation de l'histoire de la logique floue.

Quel est donc tout d'abord l'état actuel de l'historiographie sur la logique floue ? Quelles descriptions y sont faites des principes de cette théorie logique ? Il convient en premier lieu de préciser que les tentatives d'histoire de la logique floue que nous pu identifier ont été rédigées non pas par des historiens des sciences, mais par des contributeurs immédiats aux travaux et débats qui caractérisent ce domaine de recherche depuis la fin des années des années 1960. Si l'essor de la logique floue ne semble pas avoir jusqu'ici suscité d'intérêt auprès des historiens, les narrations à ce sujet, plus souvent orales qu'écrites, constituent depuis le début des années 1990 une activité notable pour les partisans de la logique floue, dotée d'enjeux spécifiques³. Ces derniers proposent des histoires et par là-même des définitions de leur objet à la fois diverses, évolutives et concurrentes.

Par delà la diversité des histoires de la logique floue que l'on peut ainsi rencontrer, la plupart d'entre elles se présentent à la manière d'une histoire des idées. Il s'agit généralement d'histoires de *l'invention* d'une théorie⁴. Ces récits insistent le plus souvent sur le fait que la logique floue permet de prendre en compte une infinité de degrés de vérité contrairement à la logique binaire, qui ne permet d'exprimer que deux valeurs de vérité ("vrai" et "faux").

De telles narrations associent communément l'invention de la logique floue à un premier article publié en 1965 par un professeur d'automatique de l'Université de Californie à Berkeley, Lotfi Zadeh⁵. Plusieurs de ces récits sont structurés par le déploiement d'un registre spécifique, celui des *motivations* du développement d'une théorie logique, propres à son inventeur. Dans ce cas de figure, la logique floue est fréquemment associée au souci de Lotfi Zadeh de construire un formalisme permettant d'effectuer des raisonnements qualifiés de qualitatifs. La capacité à effectuer de tels raisonnements étant alors présentée comme "naturelle" chez les êtres humains, ces narrations insistent au bout du compte sur la volonté originelle de Zadeh de doter les ordinateurs de facultés proprement humaines. Le passage suivant constitue une bonne illustration de ce type de présentation⁶ :

"The theory of Fuzzy Logic was introduced to the world by Professor Lotfi A. Zadeh of the University of California at Berkeley. Professor Zadeh observed that conventional computer logic is incapable of manipulating data representing subjective or vague human ideas, such as "an attractive person" or "pretty hot". Computer logic previously envisioned reality only in such simple terms, as on or off, yes or no, and black or white. Fuzzy Logic was designed to allow computers to determine valid distinctions among data with shades of gray, working similarly in essence to the processes which occur in human reasoning. Accordingly, Fuzzy technologies are designed to incorporate Fuzzy theories into modern control and data processing, to create more user-friendly systems and products."

³ Sur une situation comparable, voir Goldstein, 1995.

⁴ Pour une analyse systématique des modes de construction de l'histoire d'une invention, par delà les cas ici abordés, voir Mialet, 1994.

⁵ Zadeh, 1965.

⁶ Voir archives du forum électronique d'Internet "comp.ai.fuzzy", article n° 124. Adresse électronique : ftp.cs.cmu.edu; user/ai/pubs/news/comp.ai.fuzzy.

D'autres chercheurs en logique floue, adoptant une posture plus épistémologique, inscrivent le développement de leur objet dans le cadre de l'émergence récente et plus générale d'un nouveau champ de recherches, portant sur le traitement de diverses formes de *connaissances imparfaites*. Selon eux, la logique floue ferait partie d'un ensemble d'approches concurrentes ou complémentaires à la théorie des probabilités, qui était jusqu'à peu en situation de monopole sur ce champ. Ces chercheurs placent généralement dans cet ensemble diverses approches de l'incertain, du vague, de l'imprécision, de l'incomplétude et de l'inconsistance partielle, et des théories telles que les logiques non monotones, les logiques modales, les théories des probabilités bayésiennes et non bayésiennes, la théorie des fonctions de croyance, les ensembles flous, la théorie des possibilités, la théorie de l'évidence, ou encore les réseaux de croyance ⁷. Dans cette perspective, la logique floue contribuerait à aborder des problèmes de manipulation de connaissances imparfaites qui ne pouvaient pas être posés en théorie des probabilités. De plus, le développement de la logique floue constituerait un événement historique significatif, dans la construction d'un pont privilégié et particulièrement fécond entre le champ de la logique et celui des connaissances imparfaites.

Un troisième registre historiographique, d'inspiration plus logicienne, met avant tout l'accent sur les problèmes et les limites rencontrés par la logique binaire face aux paradoxes logiques classiques. Ces narrations présentent alors l'émergence de la logique floue comme une solution à ces problèmes et un dépassement de ces limites. L'histoire de ces problèmes est alors renvoyée à un passé bien plus ancien.

Ainsi Bart Kosko, professeur à l'Université de Californie du sud à Los Angeles et figure renommée de la logique floue, place l'essor de cette logique dans la continuité des travaux menés par Lukasiewicz sur les logiques à plusieurs valeurs de vérité, ainsi que de la philosophie du vague de Russell ⁸. Selon lui, l'essor de la logique floue constitue une réponse à "l'échec de la logique classique", et à "l'échec" de la loi du tiers exclu d'Aristote face aux paradoxes grecs, soulignés et développés par Russell. Selon Kosko, le philosophe de la mécanique quantique Max Black dessina les premiers diagrammes flous, dans le prolongement du développement par Lukasiewicz d'une logique à plusieurs valeurs de vérité dans les années 1920 ⁹. En nommant ces ensembles des ensembles vagues, Black aurait prolongé les travaux de Russell. Trente ans plus tard, Zadeh appliquait la logique de Lukasiewicz à chaque élément d'un ensemble, créant ainsi une algèbre complète pour les ensembles flous.

Un quatrième registre historiographique fait remonter l'histoire de la logique floue à l'antiquité grecque. Pour donner une illustration de ce type de narration, on peut par exemple se pencher sur un exposé de présentation de la logique floue élaboré pour un séminaire de formation continue pour ingénieurs aux Etats Unis en 1992. James Brule, l'auteur de ce texte, y construit une généalogie des idées liant Héraclite et Platon à Zadeh, en passant par Hegel, Marx, Engels et Knuth ¹⁰. Il s'agit là d'un exposé succinct, sans référence précise aux travaux des auteurs auxquels il est fait allusion. Pour James Brule, quand Parménide proposa la première version de la loi du tiers exclu, affirmant que toute proposition est soit vraie, soit fausse, des objections fortes et

⁷ Voir en particulier Dubois, Prade et Smets, 1994; Smets, 1991.

⁸ Kosko et Isaka, 1993.

⁹ Black, 1937.

¹⁰ Archives de comp.ai.fuzzy, article n° 40.

immédiates s'élevèrent, comme celle d'Héraclite qui avança l'idée que certaines propositions pouvaient être à la fois vraies et non vraies. Platon fait alors figure de fondateur de ce qui allait devenir la logique floue, dans la mesure il indiquait qu'il existait un domaine tiers (par delà le vrai et le faux) où les opposés "prenaient certaines libertés". Pour Brule, c'est dans cet esprit que Lotfi Zadeh aurait élaboré la logique floue comme une logique possédant une infinité de valeurs de vérité, sur les traces successives d'Hegel, de Marx, d'Engels, et plus récemment du travail de Lukasiewicz et de Knuth sur les logiques à trois valeurs de vérité.

Mais l'histoire des idées n'a pas l'exclusive dans cette historiographie. Plusieurs narrations essaient de situer l'invention de la logique floue dans le cadre d'une histoire événementielle, à l'appui de quelques données institutionnelles, techniques et industrielles. Analytiquement peu élaborés, ces récits ne prétendent pas offrir plus que quelques repères. Ils mettent en scène non seulement d'autres acteurs que Lotfi Zadeh, mais également d'autres ressources, comme des dispositifs technologiques, des produits commerciaux, des laboratoires, des associations, des colloques, des revues, ou encore des articles jugés clefs ou estimés avoir fait date. L'introduction de ces données contribue à faire apparaître l'essor de la logique floue comme la résultante d'une action collective ¹¹, et non plus simplement comme un pur produit de l'esprit de Lotfi Zadeh. Simultanément, l'objet "logique floue" n'est plus idéalisé, il est littéralement excorporé, désenclavé du cerveau de son inventeur. La description suivante, rédigée pour le compte d'une société japonaise d'électronique mettant en avant l'utilisation de la logique floue dans ses produits, illustrera clairement ce point ¹² :

"The year 1990 witnessed the 25th anniversary of the invention of Fuzzy theory. It has undergone numerous transformations since its inception with a variety of Fuzzy Logic applications emerging in many industrial areas. Dividing these past years into different stages, the early 1970s are the "theoretical study" stage, the period from the late 1970s to early 1980s the stage of "developing applications for control", and that from late 1980s to the present the stage of "expanding practical applications". Here are the major events in the history of Fuzzy Logic: 1965 : Professor L. A. Zadeh of the University of California at Berkeley introduces "Fuzzy sets" theory. 1968 : Zadeh presents "Fuzzy algorithm". 1972 : Japan Fuzzy Systems Research Foundation founded (later becoming the Japan Office of the International Fuzzy Systems Association (IFSA)). 1973 : Zadeh introduces a methodology for describing systems using language that incorporates fuzziness. 1974 : Dr. Mamdani of the University of London, UK succeeds with an experimental Fuzzy control for a steam engine. 1980 : F. L. Smidth & Co. A/S, Denmark, implements Fuzzy theory in cement kiln control (the world's first practical implementation of Fuzzy theory). 1983 : Fuji Electric Co., Ltd. implements Fuzzy theory in the control of chemical injection for water purification plants (Japan's first). 1984 : International Fuzzy Systems Association (IFSA) founded. 1985 : 1st IFSA International Conference. 1987 : 2nd IFSA International Conference. (Exhibit of OMRON's Fuzzy controller, a joint development with Assistant Professor Yamakawa). Fuzzy Logic-controlled subway system starts operation in Sendai, Japan. 1988 : International Workshop on applications of Fuzzy Logic - based systems (with

¹¹ Voir également Gaines et Kohout, 1977. Cet article présente le développement de la logique floue comme le produit d'une action collective impliquant un grand nombre d'acteurs, en présentant une large bibliographie sur la logique floue et des travaux jugés connexes jusqu'au milieu des années 1970.

¹² Archives de comp.ai.fuzzy, article 124.

eight Fuzzy models on display). 1989 : The Laboratory for International Fuzzy Engineering Research (LIFE) established as a joint affair between the Japanese Government, academic institutes and private concerns. Japan Society for Fuzzy Theory and Systems founded. [...] 1987 marked the start of Japan's so-called "Fuzzy boom", reaching a peak in 1990. A wide variety of new consumer products since then have included the word "Fuzzy" on their labels and have been advertised as offering the ultimate in convenience."

Bien que sommaire du point de vue de la construction analytique, omettant notamment toute discussion de nature épistémologique, une telle description suggère toutefois clairement que le développement de la logique floue, loin de consister en un simple déploiement d'idées, met en jeu un ensemble d'acteurs, de ressources variées, et de liens unissant (à un certain niveau descriptif) science, technologie, et société. Cette image est conforme à celles proposées dans des narrations, qui pour rendre compte de l'essor de la logique floue depuis le milieu des années 1960, insistent sur de nombreux points tels que : l'implication de plusieurs milliers de chercheurs et d'ingénieurs à travers le monde (en particulier aux Etats Unis, en Europe de l'ouest, au Japon, en Chine); la réalisation de travaux dans une multitude de disciplines et de champs de recherche (notamment logique, philosophie, mathématiques, automatique, informatique, linguistique, psychologie, sciences sociales, physique, biologie, médecine, théorie des jeux, reconnaissance des formes, gestion des bases de données, intelligence artificielle); l'implication d'un grand nombre de sociétés industrielles développant des produits informatiques et électroménagers dits flous; une production textuelle considérable, incluant livres, articles de revue, rapports d'expert, articles de journaux ¹³.

Médiations matérielles et pratiques de démonstration.

L'historiographie actuelle sur la logique floue apparaît donc osciller entre l'oubli des conditions institutionnelles, techniques, et industrielles de son essor, et l'omission de ses développements que l'on pourrait qualifier de théoriques et d'épistémologiques. On voit par là-même que l'exploration de l'histoire de la logique floue appelle une méthodologie permettant de prendre en compte l'ensemble de ces données, d'en proposer un traitement homogène, et de combler ainsi le fossé qui sépare les deux grands registres narratifs précédents.

Si le déploiement de ressources hétéroclites que nous avons souligné apparaît irréductible au point de focalisation d'une histoire des idées (à savoir à un simple engagement d'idées), il n'est guère plus réductible à l'objet d'une simple histoire disciplinaire, puisque les contributions à la logique floue ne peuvent être uniquement associés à une ni même à plusieurs disciplines scientifiques. Compte-tenu des descriptions précédentes, l'écriture de l'histoire de la logique floue semble exiger bien plus, la saisie de l'émergence d'un objet impliquant tout à la fois science, technologie, et société ¹⁴.

Une voie de recherche qui se dessine alors consiste à tenter de mettre en évidence les médiations entre développements théoriques, techniques, industriels, et institutionnels de la

¹³ Voir en particulier les articles n° 124, 1555, 2072 de *comp.ai.fuzzy*; *Synthèse Technologies de l'Information*, Paris, Aditech, Vol. 1, 1989-1990; *La lettre du club logique floue*, n° 1, Paris, Association Ecrin, Septembre 1991.

¹⁴ Eric Brian formule et traite un problème similaire, lié à l'émergence de la statistique au XVIIIe siècle, dans Brian, 1994.

logique floue. Autrement dit, il s'agit de chercher à saisir dans un même mouvement l'implication et la production d'un nouveau formalisme et de formes d'ordre technologique et social ¹⁵, ainsi que les liens éventuels qui unissent ces éléments.

Ceci implique en premier lieu de suivre et d'analyser en détail le travail des acteurs de la logique floue, en identifiant ses conditions matérielles et ses espaces de réalisation ¹⁶. De ce point de vue, les pratiques savantes d'écriture et de lecture (en d'autres termes les pratiques *scripto-visuelles*) ne sauraient être ignorées, ainsi que Lakatos, notamment, l'avait envisagé pour l'histoire de la logique lorsqu'il notait : "Malheureusement, même les meilleurs historiens de la logique tendent à ne prêter attention qu'aux *changements au niveau de la théorie logique* sans remarquer leurs liens avec les *changements au niveau de la pratique logique*" ¹⁷.

Il faut cependant insister sur le fait qu'en prenant l'activité scripto-visuelle des chercheurs pour objet, il ne s'agit pas simplement de faire apparaître les processus de production d'abstraction dans leur matérialité ¹⁸, mais bien surtout de tenter de saisir dans un même mouvement comment des représentations théoriques et des formes d'ordre social et technologique sont produites ou transformées.

Au reste, le travail de Jack Goody sur la raison graphique illustre bien l'intérêt d'une telle démarche sur des terrains déconnectés des espaces de production logique ou mathématique ¹⁹. Au lieu d'appréhender le travail d'écriture comme un acte immatériel de représentation qui "s'extraîrait" du social, Goody montre en effet comment la matière même d'une opération de transcription est susceptible tout à la fois de modifier des dynamiques de relations sociales, et de transfigurer des systèmes de représentations du monde.

Toutefois, prendre uniquement pour objet les pratiques scripto-visuelles apparaît fort limitatif sur une période (en l'occurrence, le dernier tiers du XXe siècle) où le rapport de la production d'abstractions à ses conditions matérielles semble avoir fortement évolué, compte-tenu notamment de l'essor de l'informatique.

Lorsque nous avons effectué des observations empiriques sur le travail des chercheurs en logique floue en France et aux Etats Unis au début des années 1990, nous avons été confrontés à des acteurs qui non seulement produisaient des inscriptions logiques sur des feuilles de papier, mais aussi exhibaient et discutaient les propriétés de la logique floue à partir de logiciels informatiques ou d'automatismes qu'ils avaient conçus, et dont ils commentaient le fonctionnement face à des pairs ou des industriels. Dans ces conditions, le travail démonstratif pour les protagonistes revêtait des formes et des enjeux divers ²⁰. Cet exercice pouvait en effet

¹⁵ Nous employons ici le terme "social" dans un sens tout à fait fondamental, analogue à celui que Durkheim met en jeu lorsqu'il se demande pourquoi la "vie sociale" est "source de vie logique", et qu'il met en doute l'idée selon laquelle les hommes se sont *associés* pour satisfaire à de simples besoins spéculatifs. Voir Durkheim, 1990, pp. 616-617.

¹⁶ Voir à ce titre la méthodologie proposée pour une histoire matérielle de l'abstraction dans Brian, 1995.

¹⁷ Lakatos, 1984, p. 104.

¹⁸ A ce sujet, voir Alker, 1982, p. 29 : "there is a lot to be said for treating and teaching the Frege-Russell program of axiomatic, anti-metaphysical formal, extensional logic as an extraordinarily dialectical, anti-Hegelian exercise, in some ways parallel to Marx and Lenin's efforts to recast Hegelian thought in a materialist vein".

¹⁹ Voir Goody, 1977.

²⁰ Voir Rosental, 1996.

prendre la forme d'une rédaction d'article, d'un exposé oral et au tableau de résultats lors d'un séminaire, d'une présentation du fonctionnement d'un dispositif technique fonctionnant "à l'aide" de la logique floue. La pratique des démonstrations pouvait engager la construction de nouveaux objets formels, l'adhésion de lecteurs ou d'auditeurs à certains résultats, la reconnaissance d'un travail, des chaînes de crédit, et plus ou moins directement des formes de financement d'une activité de recherche, le développement et la vente de produits.

Les différentes formes de démonstration engagées et leurs usages sociaux apparaissent ainsi comme des médiations cruciales du co-développement théorique, technique, industriel et institutionnel de la logique floue. Tel est le point que nous souhaiterions développer dans ce qui suit. Nous nous attacherons plus particulièrement à la période allant du début à la fin de la première moitié des années 1990, pour pouvoir bien mettre en évidence la diversité des pratiques démonstratives et de leurs enjeux pour l'essor de la logique floue, à partir des observations empiriques que nous avons pu réaliser. Notre analyse portera sur des médiations tout à fait privilégiées, dont la signification et la portée seront précisées au fil de notre développement : des ressources scripto-visuelles, certains outils de visibilité de définitions concurrentes de la logique floue, et enfin les "demos" de dispositifs techniques.

Nous commencerons par examiner un passage d'un article rédigé par une figure de la logique floue déjà mentionnée et citée, Bart Kosko. L'importance de ce texte et la pertinence de ce choix par rapport à l'histoire récente de la logique floue apparaîtront clairement *a posteriori*.

Ressources scripto-visuelles.

Dans un passage d'un article intitulé "le flou contre les probabilités", son auteur, Bart Kosko, tente de démontrer la capacité de la logique floue à résoudre le paradoxe du barbier formulé par Russell. Ce texte pourrait être examiné comme un support d'idées, dont on pourrait faire abstraction pour établir par exemple une généalogie de concepts propres à la logique floue. Nous procéderons différemment en le considérant comme un dispositif scriptural susceptible de produire des effets propres sur ses lecteurs, une fois confronté à des pratiques de lecture dont il convient de souligner les conditions particulières. Nous étudierons l'objet logique floue situé historiquement qui émerge de ce texte, au fil des associations particulières et de la construction d'un champ de concurrence qu'il contribue à définir. La démonstration en question est reproduite ci-après ²¹ :

"Le barbier de Russell est un homme barbu qui vit dans une ville où il rase un homme si et seulement si ce dernier ne se rase pas lui-même. Donc qui rase le barbier ? S'il se rase lui-même, alors par définition il ne se rase pas. Mais s'il ne se rase pas lui-même, alors par définition il se rase.

[1] Donc il se rase et ne se rase pas - contradiction ("paradoxe"). Gaines ²² a noté que ce cas paradoxal peut être interprété numériquement de la façon suivante.

²¹ Notre traduction de Kosko, 1990, pp. 219-220. La numérotation entre crochets des énoncés relève de notre propre initiative.

²² Gaines, 1983.

[2] Soit S la proposition exprimant que le barbier se rase, et non- S qu'il ne se rase pas. Alors S implique non- S et non- S implique S , les deux propositions sont logiquement équivalentes :

[3] $S \Leftrightarrow \text{non-}S$

[4] Des propositions équivalentes ont les mêmes valeurs de vérité :

[5] $V(S) = V(\text{non-}S)$

[6] $V(S) = 1 - V(S)$

La résolution donne pour $V(S)$ le milieu de l'intervalle de vérité [...] :

[7] $V(S) = 1/2$.

[...] En logique bivalente, les deux énoncés S et non- S doivent avoir la valeur de vérité 0 ou 1. La résolution floue du paradoxe utilise uniquement le fait que les valeurs de vérité sont égales. [...] La valeur médiane $1/2$ émerge de la structure du problème. "

Partant de ce qui est parfois considéré par ses contemporains comme un des paradoxes dont la formulation a marqué la fin du logicisme au début du XXe siècle ²³, Kosko tente ici de montrer que la logique floue, contrairement à la logique binaire, n'est pas victime de contradictions. Comme il l'explique en effet un peu plus loin dans son article, le terme "paradoxe" n'est selon lui qu'un euphémisme utilisé pour éviter d'admettre les contradictions de la logique binaire.

Dans cette perspective, l'auteur tente de montrer que le fait de disposer de valeurs de vérité comprises entre 0 et 1, en d'autres termes d'énoncés ni complètement vrais ni complètement faux, ressources qu'il associe de fait à la logique floue, confère la propriété de résoudre le paradoxe du barbier. Comment faut-il ici entendre le terme "résoudre" ? Ou pour être plus précis, quelles ressources et quelles pratiques correspondent à ce terme ?

La première étape de cette résolution consiste à formuler un petit scénario, un énoncé en prose destiné à introduire une manipulation spécifique d'inscriptions. En termes wittgensteiniens, il s'agit d'amener et de justifier des opérations graphiques visualisables sur le papier par l'exhibition de formes de vie qui les naturalisent ²⁴. Le petit scénario exprimé en prose sur le barbier met précisément en scène une forme de vie, qui suivie de traductions adéquates, doit rendre "naturelle" le recours à une valeur de vérité intermédiaire entre 0 et 1 (ce que l'auteur exprime en affirmant que cette valeur de vérité émerge de la "structure" même du problème).

Cette première étape est alors suivie d'opérations de traduction, l'auteur cherchant à faire admettre l'équivalence entre toute une série d'énoncés mobilisant divers graphismes. Kosko

²³ Voir notamment Largeault, 1993, pp. 3-24. Le terme de logicisme fait généralement référence au programme de Frege-Russell de fondement d'une logique unitaire et totale, sous-jacente à toute la réalité. Il s'oppose notamment à des constructions formalistes ou algébristes de la logique, sous la forme de modèles éclatés avec des domaines et des relations différents. Pour une discussion de l'importance relative du paradoxe du barbier par rapport à d'autres paradoxes, et pour une discussion des similarités et des différences, voir Sainsbury, 1988. Pour une autre approche des paradoxes du barbier et du menteur, voir Barwise et Etchemendy, 1987.

²⁴ Wittgenstein suggère par exemple que l'opération qui consiste à prendre la racine du nombre "moins un" a pu devenir *acceptable* en lui associant une traduction graphique de manipulation de vecteurs, visualisable sur le papier : "Similarly, by surrounding $V - 1$ by talk about vectors, it sounds quite natural to talk of a thing whose square is -1 . That which at first seemed out of the question, if you surround it by the right kind of intermediate cases, becomes the most natural thing possible". Voir Wittgenstein, 1976, p. 226.

s'exprime par périphrases successives afin d'amener et de faire apparaître des termes classiquement consacrés en symboles par des graphismes spécifiques. Cette démarche démonstrative d'ensemble (impliquant l'élaboration d'un scénario, des traductions, une production de périphrases et de symboles graphiques), relève dans ses modalités de pratiques tacites fortement sédimentées ²⁵.

C'est ainsi qu'à la proposition [1], Kosko lui substitue la périphrase [2]. Cette périphrase présentée comme équivalente, c'est à dire substituable visuellement à l'inscription précédente, ou en d'autres termes ce détour de formulation, lui permet de préparer littéralement graphiquement une symbolisation ou une formalisation en [3]. Nous entendons par là une mise en symboles ou une mise en formes matérielles nouvelles (en juxtaposant les termes "formes" et "matérielles", nous voulons insister sur le fait qu'il s'agit avant tout d'une production de nouveaux graphismes). Substituant alors à la proposition [3] la traduction à l'aide de graphismes consacrés [5], en introduisant les inscriptions correspondant à une "hypothèse" usuelle, c'est à dire à une pratique logique très répandue [4], Kosko parvient donc à traduire, au fil de cette production d'inscriptions, le scénario initial en un "calcul", un ensemble spécifique de manipulations. En imposant en effet implicitement la manipulation selon laquelle " $V(\text{non-S})=1-V(S)$ ", l'auteur aboutit à une équation algébrique simple [6], qu'il résout en [7] en mobilisant tacitement des pratiques de calcul élémentaires.

Nous voyons donc que l'apparition graphique de la capacité particulière de la logique floue à résoudre le paradoxe du barbier relève non seulement de la mobilisation de pratiques tacites gouvernant le déroulement d'ensemble et de détail de la production d'inscriptions, mais aussi de ressources scripto-visuelles imprimant si l'on peut dire leur propre "logique" ²⁶, des traces matérielles consultables et reconsultables ponctuant le déplacement des regards des lecteurs ²⁷. Ce processus échappe par là-même à la mise en oeuvre d'un simple conventionnalisme ²⁸, et n'est pas non plus justiciable d'un relativisme social qui ne porterait aucune attention aux manipulations d'inscriptions jugées arbitraires, ou dont l'action serait perçue comme entièrement déterminée par des relations d'autorité ²⁹. L'action démonstrative (que ce soit l'action d'écriture ou de lecture de la démonstration depuis un poste de travail), loin d'être elle-même abstraite ou localisable simplement dans la "tête" des acteurs, ou simplement assignable à des pratiques "contextuelles"

²⁵ La sédimentation de telles pratiques peut être retracée dans l'enseignement de la logique tel qu'il est pratiqué aux Etats-unis depuis la fin de la seconde guerre mondiale. A ce sujet, voir Rosental, 1993.

²⁶ Voir à nouveau le travail de Goody, 1977, sur la raison graphique. Lue elle-même dans une perspective matérialiste minimale, voir aussi à ce sujet la lecture par Jacques Bouveresse de Wittgenstein dans Bouveresse, 1976, p. 97 : "Le fait qu'elle [une proposition] soit composée d'éléments en tel ou tel nombre, se rapportant les uns aux autres de telle manière, lui confère une potentialité interne de signification, autrement dit d'être affectée à la représentation d'un certain type de situation".

²⁷ Voir également Livingston, 1985.

²⁸ Voir aussi la tentative de A. Pickering et A. Stephanides d'échapper au conventionnalisme, en distinguant mouvements libres et mouvements forcés dans le travail de recherche sur les quaternions du mathématicien Hamilton, dans Pickering et Stephanides, 1992. En revanche, pour une sociologie dénonciatrice développée à partir du cas d'Hamilton, voir Bloor, 1981.

²⁹ En particulier, ce type d'objet échappe complètement au relativisme social de Harry Collins, qui écrit pour sa part (voir Collins, 1985, p. 159) : "The locus of knowledge is not the written word or symbol but the community of expert practitioners".

de communautés scientifiques plus ou moins vastes, est ici au contraire distribuée jusque dans les inscriptions matérielles ³⁰.

Nous voyons ainsi comment un dispositif scripto-visuel, confronté à des pratiques de lecture adéquates, pouvait contribuer au début des années 1990 à la mise en avant d'un système de représentation particulier. Avant d'examiner comment ce même dispositif, relayé par d'autres, contribuait à créer des associations et des oppositions entre acteurs importantes du point de vue du développement de la logique floue, il convient de mieux cerner l'extension du système de représentation ainsi défini. Nous pourrions en effet penser avoir ici affaire à l'élaboration graphique d'une propriété formelle "pure". Si nous voulons saisir toutes les dimensions du travail démonstratif effectué dans cet article, il est important de noter qu'il n'en est rien.

Dans l'enchaînement immédiat de cette démonstration, Kosko met en effet en avant des propriétés historiques, culturelles et réalistes de la logique floue en liaison avec l'histoire particulière du paradoxe du barbier. Toujours par un procédé d'écriture, qui mêle les registres démonstratifs, l'auteur affirme dans la suite de son article qu'il a ainsi démontré que la logique floue est la seule description réaliste du monde (les énoncés du monde ne sont pas tous complètement vrais ou faux). Le paradoxe du barbier témoigne selon lui incontestablement de l'inconsistance de la logique binaire et notamment du principe du tiers exclu (selon lequel une proposition est soit vraie soit fausse). En rationaliste, Kosko estime avoir démontré que les résistances à l'abandon de la logique binaire et du principe du tiers exclu sont elles-mêmes irrationnelles, et relèvent par suite d'explications historico-culturelles. Pour l'historien Kosko, la "foi" dans la logique binaire et dans le principe de contradiction relève d'une prédilection culturelle transmise en occident dans une tradition d'enseignement qui remonterait "au moins" à Aristote. Selon lui, la logique floue marque un tournant entre la fin de la pensée binaire occidentale et la prédominance à venir de la pensée et de la civilisation orientales.

La démonstration de la propriété formelle de la logique floue à résoudre le paradoxe du barbier est ainsi elle-même le point de départ d'une démonstration mêlant des registres divers pour mettre en avant, également de façon textuelle, des propriétés réalistes, historiques et culturelles de cette logique. Si plusieurs travaux en sociologie des sciences ont montré comment des scientifiques peuvent chercher à reconstruire le monde à partir de leur laboratoire ³¹, nous voyons ici comment un logicien, par la médiation de l'écriture d'un simple article, et partant du déploiement graphique d'une propriété logique formelle, tente de reconstruire des catégories "universelles" de la représentation et l'histoire des civilisations.

Ecrire l'histoire de la logique, ou même des civilisations, peut être en fait appréhendé comme un moyen à part entière pour les spécialistes de la logique floue de démontrer la valeur de cette logique, et du travail effectué dans ce domaine. Ceci est bien entendu valable pour les histoires de la logique floue que nous avons examinées au début de cet article. En d'autres termes, les histoires de la logique floue que nous avons analysées jusqu'à présent peuvent être perçues rétrospectivement comme d'authentiques démonstrations. Même si on ne peut pas les réduire à cette unique dimension, les histoires qui situent l'essor de la logique floue essentiellement entre le milieu des années 1960 et les années 1990 constituent un moyen de promouvoir le rôle de

³⁰ Voir aussi le travail sur la cognition distribuée, liée à la manipulation de formalismes, réalisé dans Hutchins, 1995.

³¹ Voir en particulier Latour, 1983.

chercheurs contemporains, en insistant sur un essor *ex-nihilo* de la logique floue au travers de leurs actions singulières. A l'inverse, les récits qui situent l'origine de la logique floue dans des traditions plus anciennes correspondent généralement à des stratégies de légitimation.

Cependant, maintenant que nous avons vu comment la construction d'une opposition historique entre systèmes logiques et la constitution graphique de liens entre science et société contribuent en tant que telles, dans l'article de Kosko, à mettre en avant une définition de la logique floue, plusieurs questions se posent. Quelles associations et oppositions cette définition engendre-t-elle ? Quels en sont les autres véhicules, quels obstacles rencontre-t-elle, et en quoi marque-t-elle éventuellement l'histoire de la logique floue au début des années 1990 ? Il convient maintenant comme annoncé d'examiner un certain nombre d'autres médiations, qui prennent pour ainsi dire le relais de l'article de Kosko pour véhiculer plus avant l'ensemble de propriétés précédemment définies pour la logique floue ³². On l'aura compris, l'étude des formes de démonstration rejoint très étroitement à ce stade la question des outils de visibilité des propriétés attribuées à la logique floue.

Visibilité.

Au début des années 1990, un des ouvrages de Kosko ³³ avait obtenu un succès considérable d'édition, devenant par là-même un véhicule majeur de la définition de la logique floue. Ce livre, qui mettait en avant les mêmes propriétés pour cette logique que celles que nous venons d'examiner, était en effet utilisé comme manuel d'enseignement dans les départements d'informatique et de sciences de l'ingénieur de nombreuses universités américaines. D'après des témoignages convergents, ce manuel avait été plus vendu aux Etats-unis que l'ensemble des autres ouvrages dédiés à la logique floue, faisant de Kosko une des figures centrales de ce domaine. Deux autres véhicules importants assurant le déploiement de ces propriétés consistaient dans un livre de vulgarisation du même auteur ³⁴, et dans une publication destinée au grand public, rédigée par d'autres, qui reprenait ses thèses ³⁵. A cela s'ajoutait un ensemble d'autres médiations : des articles comme celui que nous avons examiné, des cours à l'université où Kosko enseignait (*University of Southern California* à Los Angeles), et toujours aux Etats-unis des conférences, des séminaires de formation continue, des séances de dédicace dans des librairies, des interventions à la radio, des entretiens accordés aux journalistes cités dans des articles de presse, des campagnes de promotion de ses écrits dans des forums électroniques, dans des revues spécialisés ou des journaux d'associations d'ingénieurs, etc. Bref, un ensemble de médiations qui n'étaient pas propres à la mise en avant d'objets logiques et que l'on retrouvait dans d'autres modes de vie universitaire où les pratiques de l'écrit étaient essentielles.

La définition mise en avant par Kosko pour la logique floue suscitait en fait tout autant des adhésions que des oppositions parmi les spécialistes de ce domaine. Des coalitions se formaient vis à vis de cette définition (en sa faveur ou à son encontre). Ainsi, face aux modes de déploiement et de reprise toujours plus nombreux des propriétés précédemment décrites de la logique floue, et à la visibilité grandissante de la définition qui lui correspondait, de nombreux

³² Il faut noter qu'une analyse sémiotique du texte de Kosko, se focalisant sur ce seul texte, trouverait ici ses limites. Pour un exemple d'approche sémiotique des mathématiques, voir Rotman, 1993.

³³ Kosko, 1992.

³⁴ Kosko, 1993.

³⁵ McNeill et Freiburger, 1992.

chercheurs se coalisaient pour avancer une définition concurrente de cet objet aussi visible que possible. En fait, nous pouvons appréhender le terme "logique floue" moins comme un emblème durkheimien que comme un "énoncé collectif", pour reprendre l'expression de l'historien Alain Boureau ³⁶. L'expression "logique floue" était en effet adoptée par des chercheurs mettant en avant des définitions contradictoires de cette logique. L'utilisation commune de cette formule liait différents objets, et l'action de divers chercheurs d'une façon souple et complexe. Si les acteurs s'approprièrent cet énoncé de façon quasi-singulière pour qualifier des objets en fait différents, il n'en demeure pas moins que l'existence d'une terminologie commune jouait en tant que telle un rôle dans le détail et la globalité du développement de cette logique.

Les espaces où plusieurs définitions de la logique floue s'affrontaient, et où par ailleurs des chercheurs développant d'autres approches manifestaient leur hostilité à la logique floue, étaient nombreux. Cette lutte s'engageait notamment dans le cadre de l'introduction d'enseignements universitaires, d'associations, de séminaires de formation continue, de l'organisation de conférences, de la passation de contrats industriels, de processus de recrutement, de soutenances de thèse, d'articles de revue ou de presse, ou encore de la construction de récits historiques sur la logique floue. Il n'est pas ici possible d'examiner systématiquement toutes ces données, et d'établir une cartographie quelque peu fine des définitions émergentes pour la logique floue et des associations d'acteurs correspondantes. Il est en revanche possible d'illustrer notre propos en évoquant quelques exemples.

Lors d'un entretien que nous avons réalisé au début de l'année 1994, un spécialiste réputé de la logique floue ³⁷ estimait que Quine avait bien montré que le paradoxe du barbier ne pouvait pas être résolu à l'aide d'une logique à plusieurs valeurs de vérité ³⁸. Pour ce chercheur, il y avait un "truc" dans les traductions effectuées par Kosko, et la logique floue ne possédait pas cette capacité formelle de résolution. Les propriétés historiques et culturelles attribuées par Kosko à la logique floue étaient à ses yeux extravagantes, tout autant que ses thèses d'histoire des sciences conduisant au dénigrement de la tradition aristotélicienne, dans la mesure où les logiques à plusieurs valeurs de vérité avaient été développées selon lui dans cette tradition.

Par delà la médiation de la dénonciation orale effectuée au cours de cet entretien pour véhiculer une autre définition de la logique floue, ce chercheur menait d'autres actions. Il venait de publier dans une revue une critique virulente d'un ouvrage grand public reprenant les thèses koskoïennes. Il participait également à la rédaction d'un manuel d'enseignement concurrent de celui de Kosko où, dans le corps du premier chapitre, il proposait comme exercice de démontrer que la solution de Kosko du paradoxe du barbier était fautive. Les médiations de cette déconstruction (encore une fois graphique) consistaient à repérer et à mettre en cause une des

³⁶ Voir Boureau, 1989, et Boureau, 1992, p. 1072 : "j'appelle un énoncé collectif [...] un fragment verbal (ou iconique), qui crée autour de lui une certaine convergence des langages et des pensées, par le jeu d'un flou structurel susceptible de capter une thématique encore implicite et d'accueillir les projections et les appropriations les plus diverses". Voir aussi l'utilisation de la notion d'énoncé collectif pour rendre compte de la construction et du rôle de l'énoncé "politique scientifique" en France après la seconde guerre mondiale, dans Jacq, 1996.

³⁷ Nous préserverons son anonymat.

³⁸ Quine, 1976.

traductions, et à lui substituer à cet embranchement une nouvelle série de traductions conduisant à nouveau à un paradoxe ³⁹.

Donnons un autre exemple de médiations déployées dans de telles tensions. Dans la première moitié des années 1990, les organisateurs d'une grande conférence sur la logique floue ⁴⁰ estimaient que les thèses de Kosko étaient erronées, donnaient une image fautive de la logique floue, et menaçaient sa crédibilité en gagnant en visibilité. Aussi avaient-ils essayé de minimiser la visibilité de Kosko à cette conférence en lui attribuant un thème de communication qui ne touchait pas de façon centrale à la définition de la logique floue. Dans les couloirs de la conférence, ils exprimaient par ailleurs leurs craintes à d'autres universitaires, les encourageant à évoquer ce "problème" et à dénoncer ouvertement les erreurs effectuées par Kosko lors de ses interventions. Ils insistaient sur le fait que les thèses de Kosko menaçaient l'ensemble de l'activité de recherche dans ce domaine, tout particulièrement dans le contexte d'une "guerre froide" avec les partisans d'autres approches en intelligence artificielle, liée à une concurrence de plus en plus forte pour les mêmes sources de financement. D'ailleurs, un universitaire se présentant comme un partisan de l'intelligence artificielle "classique" avait publié un article en 1993, où il tentait de démontrer certaines contradictions de la logique floue, partant précisément de la présentation de cette logique effectuée dans le texte de Kosko que nous avons analysé. Cet article avait été primé par les organisateurs de la grande conférence américaine sur l'intelligence artificielle "AAAI" en 1993, suscitant par la suite une grande controverse aux Etats-unis sur cette logique et sur la validité de la démonstration engagée ⁴¹.

S'il n'est pas indispensable d'entrer ici dans les détails de ces débats, on peut en revanche se demander à ce stade pourquoi la question du positionnement de la logique floue par rapport à d'autres approches de l'intelligence artificielle et à leur financement pouvait sembler si importante pour les acteurs. Le lecteur aura d'ailleurs peut-être été intrigué par la métaphore introduite dans notre toute première citation, selon laquelle "une multitude d'applications, d'ordinateurs et de produits flous" devraient dans les prochains siècles venir "gonfler les voiles de la logique floue". En fait, il convient maintenant d'examiner comment le développement de la logique floue au début des années 1990 était largement obtenu, que ce soit en Europe, aux Etats Unis, ou au Japon, par l'exhibition de propriétés de ce formalisme dans des dispositifs technologiques. Les systèmes informatiques et les dispositifs de commande automatique de systèmes mécaniques ou électriques constituaient en effet des instruments à l'aide desquels de nombreux chercheurs tentaient de mettre en avant la valeur des propriétés de la logique floue, comparativement à d'autres logiques (comme la logique booléenne par exemple). Les spécialistes de la logique floue investissaient par

³⁹ Les processus que nous décrivons de transformation et de déplacement visuels se distinguent de ce que Kuhn qualifie de "révolutions comme transformations dans la vision du monde", ne serait-ce que parce que nous ne mettons pas en jeu de modification de paradigme. Dans notre perspective, si des modifications de la vision du monde pour des groupes d'acteurs relativement larges s'opèrent, c'est dans l'enchaînement de médiations qui peuvent intervenir *y compris* à un niveau interactionniste. L'analyse de la diversité de ces médiations ne saurait cependant être ramenée à des thèses générales de psychologie cognitive (notamment de psychologie de la forme) qui constituent le point de départ de l'analyse kuhnienne. Voir Kuhn, 1983, pp. 157-188.

⁴⁰ La description qui suit est le produit d'observations et d'entretiens que nous avons réalisés à l'occasion de notre participation à cette conférence, que nous ne situons pas précisément, afin de préserver l'anonymat des protagonistes.

⁴¹ Elkan, 1993.

là-même des activités industrielles très diverses ⁴². Nous allons nous intéresser dans ce qui suit à un type de médiation privilégié pour l'exhibition de propriétés de la logique floue, les "démos" (abréviation de démonstrations) du fonctionnement de dispositifs techniques.

Démos.

Dans la première moitié des années 1990, l'exhibition de propriétés de la logique floue dans des logiciels et des dispositifs électromécaniques constituait une médiation importante dans la constitution et le maintien de relations de partenariat entre industriels et chercheurs. Elle permettait à ces derniers d'obtenir des contrats, et de créer à court et moyen termes des réseaux autonomes pour financer leurs recherches. Cet exercice constituait pour eux un moyen de court-circuiter l'appel à des pairs hostiles, développant d'autres approches, et impliqués eux-mêmes dans une rude concurrence pour financer leur propre activité. Certains "ténors" de la logique floue voyaient dans l'investissement d'activités industrielles très diversifiées, et dans la vente de produits sous l'emblème logique floue, un moyen d'assurer à long terme le rayonnement aussi bien de la "théorie" que des "applications" de cette logique. De la même façon, l'exhibition de dispositifs technologiques qualifiés de "neuro-flous", sous le double emblème des réseaux de neurones et de la logique floue, constituait au début des années 1990 une stratégie démonstrative en plein essor. Elle procédait à un certain niveau d'une alliance sociotechnique, développée pour faire front et proposer l'alternative la plus visible possible aux méthodes de l'intelligence artificielle dite classique (avec notamment pour perspective l'accroissement du volume des financements industriels dans ces domaines).

Les "démos", terme employé par les protagonistes et que nous reprenons pour rendre compte d'un exercice dont la nature et les usages sociaux sont tout à fait singuliers, jouaient un rôle essentiel dans cette démarche ostentatoire. Cette forme de démonstration consistait en un huis clos où un démonstrateur se faisait le porte-parole d'un dispositif, liant son fonctionnement à des propriétés générales. Ces propriétés étaient exhibées face à des témoins, dans une sorte de mouvement d'élévation. "Mouvement d'élévation" constitue en effet l'expression la plus adaptée pour décrire la façon dont ces propriétés étaient mises en scène, puisqu'elles étaient présentées comme émanant et se détachant de la matérialité et de la spécificité du dispositif ⁴³.

Un ensemble de situations et de postures correspondaient aux démos. Il arrivait que des chercheurs en logique floue tentent par ce moyen d'intéresser des ingénieurs dans un séminaire de formation continue. Ou alors un ingénieur cherchait, en réalisant une démo depuis le stand d'une grande conférence internationale, et en commentant le fonctionnement d'un dispositif technique en mouvement, à convaincre un responsable d'une société industrielle d'acheter un système flou. Les démos étaient communément mobilisées dans des pratiques de vente. Dans ce cas, un produit, une marque, et l'emblème "logique floue" étaient généralement simultanément promus (par exemple l'appareil photo de la marque X utilisant la logique floue). Les démos étaient également mobilisées face à des pairs, le recours à cette forme de démonstration académique tendant à se développer de façon importante.

⁴² Il est intéressant de comparer le cas de la logique floue avec celui de l'essor de l'analyse mathématique, au travers du développement et de l'engagement de machines à calculer dans un grand nombre d'activités économiques en Angleterre à la fin du XIXe siècle. Voir Warwick, 1995.

⁴³ On rapprochera ces processus "d'apparition" de ceux analysés dans Daston, 1991, et Claverie, 1991.

Pour de nombreux partisans de la logique floue, la mise en oeuvre de démos entraine dans le cadre d'un apprentissage long des différentes formes de démonstrations à employer en fonction des situations et des interlocuteurs rencontrés. Le directeur d'un laboratoire français menant des recherches en logique floue nous décrivait ainsi comment il avait progressivement réalisé l'importance des démos pour séduire des responsables industriels américains ou japonais peu sensibles aux publications. Il avait pour cela embauché un ingénieur pour construire des dispositifs, et il lui avait fallu de longs mois pour mettre au point à la fois les systèmes et les répertoires pour en commenter le fonctionnement. A l'inverse également, un chercheur français en logique floue travaillant dans le secteur privé nous faisait part d'une de ses expériences qu'il jugeait caractéristique du goût immodéré pour les mathématiques, désastreux industriellement, de ce qu'il appelait les "technocrates" français. Comme il ne parvenait pas à convaincre un directeur de la recherche d'un grand groupe industriel français de l'intérêt de la logique floue en décrivant le principe de fonctionnement de dispositifs, il avait évoqué un résultat formel sur la logique floue. Ce registre avait aussitôt suscité l'enthousiasme de son interlocuteur, ce qu'une démo ne parvenait pas à produire. Ces cas en fournissent une bonne illustration, les acteurs de la logique floue étaient les premiers à construire, de façon plus ou moins élaborée, une approche sociologique des formes de démonstration dans le cadre même de leur activité.

Mais revenons au déroulement des démos en tant que tel. Ces démos, nous l'avons dit, consistaient à exhiber un dispositif technique en action devant une petite assemblée de personnes. Le démonstrateur attribuait des propriétés de la logique floue à son fonctionnement en s'en faisant le porte-parole ou encore son représentant, si ce n'est son représentant de commerce. Ce point sera bien illustré au travers du bref compte-rendu d'une démo réalisée en France dans le cadre d'une réunion d'association qui avait pour objet la promotion de la logique floue auprès des industriels. Un expert du domaine exhibait à cette occasion les propriétés de cette logique face à une petite assemblée de chercheurs, d'ingénieurs, et de responsables de la recherche de grandes entreprises ⁴⁴ :

"Il [le démonstrateur] a en particulier illustré l'efficacité et la simplicité de ce type de contrôle dans le cas du pendule inversé (en équilibre sur sa base), et dans un contexte de modifications dynamiques et même aléatoires : verre d'eau rempli en cours d'expérience et même souris vivantes se déplaçant sur un plateau au sommet d'un pendule, sans en rompre l'équilibre, tout ceci sans changer les règles de contrôle. "

L'objectif d'une telle démo est claire : convaincre des spectateurs de la réalité de certaines propriétés de la logique floue, et constituer des témoins ⁴⁵ qui puissent ultérieurement attester de la réalité de ces propriétés. Le déroulement de la démo consiste ici dans l'exhibition par le démonstrateur de propriétés telles que "efficacité", "simplicité", et dans leur attribution à la logique floue. Le démonstrateur se fait le porte-parole du dispositif en mouvement. Pour

⁴⁴ Compte-rendu daté du 15 Mai 1991 de la réunion tenue le 19 Avril 1991 à Paris, Club Crin Logique floue, Paris, Association Ecrin, p. 3.

⁴⁵ Le rôle de la constitution de témoins dans ce type de situation peut être comparé à celui qui est décrit dans Shapin et Schaffer, 1985.

introduire ces propriétés, un authentique décor est mis en place ⁴⁶. Le démonstrateur met en scène les conditions extrêmes et spectaculaires du fonctionnement du dispositif. En omettant de mentionner le rôle de toute autre médiation dans le fonctionnement de l'appareil (parties mécaniques par exemple), son "représentant" déploie un répertoire qui attribue son fonctionnement exclusivement à la logique floue. La spécificité de l'ensemble du système disparaît. Apparaissent à la place les propriétés générales de la logique floue exposées par le démonstrateur, qui s'extraient et émanent de la matérialité de l'appareil, et peuvent être perçues comme exportables à d'autres dispositifs.

Il faut en effet préciser que certains ingénieurs affirmaient que la commande du pendule inversé (c'est à dire d'un pendule oscillant à partir de sa base) est "emblématique" de la commande d'une fusée au décollage. Dans ces circonstances, il est important de maîtriser les oscillations de la fusée, dans la mesure où elle peut se briser en son milieu si elles sont trop intenses. Aussi, un responsable de la recherche de l'industrie aérospatiale pouvait littéralement *voir* dans une telle démo la maîtrise d'un problème technologique impliquant des milliards d'investissement. Une fois encore dans ce cas, la perception d'une élévation de propriétés par delà la matérialité d'un dispositif spécifique pouvait avoir lieu.

Ajoutons cependant que cette démo était également présentée à un plus large public, par la médiation d'un compte-rendu écrit expédié par courrier (et par la médiation de notre article, elle est maintenant présentée à de nouveaux lecteurs). Au cours d'une telle opération, le cercle démonstratif était (et est toujours) élargi d'autant.

Nous avons pu observer la mise en oeuvre de telles démos dans des configurations variées. Ainsi, un professeur d'automatique au MIT exhibait les propriétés de la logique floue à ses fréquents visiteurs à l'occasion de tours de laboratoire consistant en une série de démos. Ces tours de laboratoire étaient organisés dans leur moindre détail sous une forme stabilisée. Plusieurs dispositifs en mouvement étaient présentés tour à tour. Ces "visites" de laboratoire étaient tout particulièrement conçues pour les investisseurs industriels qui subventionnaient les projets de recherche du laboratoire ou desquels cet universitaire souhaitait obtenir un nouveau contrat.

Souvent ce professeur se faisait représentant de commerce et se déplaçait aux Etats-unis et au Japon pour démarcher de nouveaux investisseurs. Il emportait alors avec lui des cassettes vidéos présentant des dispositifs en mouvement selon un scénario élaboré avec la plus grande attention. Cette stratégie démonstrative lui évitait de se déplacer avec des dispositifs encombrants ou fragiles. Elle lui permettait également d'éviter un investissement en temps considérable et le risque d'échec lié aux aléas d'une réplique en temps réel de démos.

Des colloques, destinés à un public de chercheurs et d'industriels, comprenaient quant à eux dans leur programme communications et démos. Tel était ainsi le cas d'un colloque organisé à Paris en Mai 1992. Un quota de participants avait été fixé à l'avance pour permettre le déroulement matériel des démos face à de petites assemblées, pour "qu'il n'y ait pas de groupes trop compacts autour des démonstrations" comme le précisait la brochure de présentation. Un

⁴⁶ Les analyses de Goffman fondées sur des métaphores théâtrales semblent en fait particulièrement bien adaptées à la description des diverses formes de démonstration que nous avons identifiées chez les chercheurs en logique au cours de nos enquêtes. Voir Goffman, 1971.

compte-rendu de cette manifestation (précisément manifestation des propriétés de la logique floue) décrivait son déroulement en ces termes ⁴⁷ :

"L'intérêt de cette manifestation, c'est que, en plus des communications par les experts [...], on pouvait assister, dans une salle adjacente, à des démonstrations, sur ordinateur, de logiciels basés sur la logique floue. Les démonstrations ont porté sur le freinage des véhicules, la commande numérique, la fusion de données, l'aide à la décision, les applications financières, ou médicales, etc. Autant de domaines variés où les participants ont pu constater *de visu*, les performances de la logique floue. Des projections de films et des présentations de matériels ont complété le tout. Il reste à mettre en pratique ce potentiel, et pour cela susciter l'intérêt de certains industriels et des autorités gouvernementales. "

Ce compte-rendu rédigé par un membre d'une association, dont la vocation était de promouvoir la logique floue auprès des industriels français, montre en raccourci comment la mise en oeuvre de démos pouvait entrer dans le cadre d'une large démarche d'intéressement. Le colloque participait à la constitution de porte-parole de la logique floue, en exhibant des chercheurs présentés comme des experts du domaine. Il contribuait simultanément à la mise en avant de propriétés de cette logique, présentées comme incorporées dans des dispositifs, par diverses médiations : appareils en fonctionnement; vidéos de démos; présentations de logiciels sur des écrans d'ordinateurs. La production de témoins, qui verraient *in situ* les propriétés de la logique floue, procédait ici d'une entreprise explicite. La recherche d'un intéressement différencié d'acteurs engagés dans des activités diverses (banque, médecine, construction automobile, etc.) se combinait ici avec la mise en avant pour l'ensemble des spectateurs de propriétés universelles de cette logique (universelles au sens d'une capacité à être mobilisée dans tout type d'activité).

Nous voyons donc ici comment des démos étaient mobilisées au début des années 1990 pour construire de nouvelles associations avec des acteurs provenant d'horizons de plus en plus étendus, en exhibant un nombre toujours plus grand de propriétés de la logique floue face à de nouvelles assemblées. En d'autres termes, les démos pouvaient être appréhendées comme des médiations privilégiées entrant dans la construction de liens entre science, technologie et société.

Bien sûr, tout comme à l'occasion de l'exhibition de certaines propriétés formelles de la logique floue, il arrivait que des chercheurs nient la réalité de ces propriétés. Compte-tenu de la rude concurrence qui existait entre les partisans de plusieurs approches de l'automatique, les exhibitions de propriétés de la logique floue dans des dispositifs étaient parfois déconstruites par plusieurs médiations. Parmi elles, citons simplement un ensemble d'articles issus d'une revue française d'automatique, que nous pourrions qualifier de procès en paternité pour caractériser des narrations contestant l'attribution du fonctionnement de dispositifs dits flous à la logique floue en tant que telle. Un procès en paternité y prenait par exemple la forme suivante : Dans un petit article, un automaticien français, de retour d'un voyage au Japon, cherchait à montrer par la médiation de son récit l'absence de recherches sur la logique floue menées dans ce pays, en décrivant les coulisses des tours organisés de laboratoire. Il tentait de montrer que telle caméra vidéo présentée comme incarnant les propriétés générales de la logique floue devait en fait son

⁴⁷ *La lettre des clubs Crin*, n° 8, Paris, Association Ecrin, Octobre 1992, p. 7.

fonctionnement à d'autres médiations ⁴⁸. Une fois encore, la mise en avant de propriétés de la logique floue devait être appréhendée dans le cadre de démonstrations contradictoires constituant ou déconstruisant leur réalité ⁴⁹.

Conclusion.

En procédant continûment depuis l'examen de productions historiographiques jusqu'à l'étude de la mise en oeuvre de démos à vocations académiques et industrielles, nous avons cherché à mettre en évidence des médiations importantes du co-développement théorique, institutionnel, technique et industriel de la logique floue dans la première moitié des années 1990. Analyser de façon homogène, en partant de l'examen de leurs conditions matérielles, des productions textuelles à visée théorique ou historiographique, divers outils de visibilité de définitions concurrentes de la logique floue, ainsi que le déroulement et les usages sociaux de démos de dispositifs techniques, nous a permis de saisir dans un même mouvement l'implication et la coproduction d'un nouveau formalisme et de formes d'ordre technologique et social.

L'analyse des pratiques de la logique, celles d'écriture et de lecture bien sûr, mais surtout de démonstration, s'est révélée cruciale de ce point de vue. En effet, les exercices démonstratifs examinés engageaient, nous l'avons vu, tout à la fois la construction de nouveaux objets formels, l'adhésion de lecteurs ou d'auditeurs à divers résultats, la reconnaissance de travaux, des chaînes de crédit, la formation d'espaces de collaboration et de concurrence, et plus ou moins directement des formes de financement des activités de recherche, le développement et la vente de produits dits flous.

Certes, nous avons mobilisé le terme "démonstration" pour décrire des pratiques qui ne sont pas universellement célébrées comme telles, comme par exemple les démos. Mais cette extension sémantique ne constituait en aucune façon un "glissement" de sens qui nous aurait échappé, une reprise aveugle des catégories des acteurs, ou une quelconque facilité d'écriture. Il s'agissait au contraire de construire un outil pour appréhender l'unité d'une démarche possédant plusieurs déclinaisons, la mise en jeu des diverses formes de démonstration dépendant de l'appréhension par les chercheurs de la pertinence de leur mobilisation singulière en fonction des situations et des interlocuteurs rencontrés (par exemple, démos pour intéresser des industriels dans certains cas de figure, productions scripturales dans des articles destinés aux pairs, etc.).

Cependant, dans la mesure où les pratiques démonstratives sont clairement apparues fonction des variations d'usages et des conditions matérielles évolutives de production d'abstractions, c'est une histoire sociale des formes de démonstration que ce type d'analyse met en perspective. En effet, si par exemple la démo constituait au début des années 1990 une forme de démonstration qui, à titre de substitution d'autres, semblait être de plus en plus mobilisée dans de nombreuses situations (colloques par exemple, ou même encore soutenances de thèse en logique, aussi bien dans les pays anglo-saxons qu'en France), le suivi de l'évolution située de telles pratiques peut plus généralement donner matière à analyse socio-historique.

⁴⁸ Voir Lévine, 1991. Pour l'étude d'autres cas de voyageurs au "regard perçant", et cependant aveugles à ce qu'on leur montre, voir Schaffer, 1992, et Ashmore, 1993.

⁴⁹ Voir également Mackenzie, 1993. Cet article décrit un cas où la mise en avant par des ingénieurs de propriétés formelles dans un dispositif informatique (un micro-processeur) a pu donner lieu à controverse.

L'objet n'est pas anodin. Dans le cas qui nous intéressait, l'exercice des démonstrations engageait pleinement les constructions d'objets des acteurs impliqués, et déterminait en grande partie l'activité de ces derniers. Le développement d'une histoire sociale des formes de démonstration quant à elle n'engage sans doute rien de moins (et ce tout particulièrement dans le cas des sciences dites "déductives"⁵⁰) que la saisie des transformations de la production et des modes de travail scientifiques.

Références bibliographiques

Alker Hayward, "Standard logic versus dialectical logic : which is better for scientific political discourse ?", communication au 12ème congrès mondial de l'association internationale de science politique, Rio de Janeiro, 8-15 Août 1982.

Archives du forum électronique d'Internet "comp.ai.fuzzy", articles n° 40,124, 1555, 2072. Coordonnées FTP : ftp.cs.cmu.edu; user/ai/pubs/news/comp.ai.fuzzy.

Ashmore Malcolm, "The Theatre of the Blind : Starring a Promethean Prankster, a Phoney Phenomenon, a Prism, a Pocket, and a Piece of Wood", *Social Studies of Science*, Vol. 23, 1993, pp. 67-106.

Barwise Jon, Etchemendy John, 1987, *The Liar : An Essay on truth and circularity*, Oxford, Oxford University Press.

Black Max, "Vagueness : An Exercise in Logical Analysis", *Philosophy of Science*, Vol. 4, n° 4, octobre 1937, pp. 427-455.

Bloor David, "Hamilton and Peacock on the essence of algebra" dans Mehrkens Herbert, Bos Henk et Schneider Ivo (ed.), *Social History of 19th Century Mathematics*, Boston, Birkhauser, 1981, pp. 202-232.

Boureau Alain, "Propositions pour une histoire restreinte des mentalités", *Annales ESC*, 1989, 6, pp. 1491-1504.

Boureau Alain, "L'adage *Vox Populi, Vox Dei* et l'invention de la nation anglaise (VIIIe-XIIe siècle)", *Annales ESC*, 1992, 4-5, pp. 1071-1089.

Bouveresse Jacques, 1976, *Le mythe de l'intériorité, expérience, signification et langage privé chez Wittgenstein*, Paris, Editions de Minuit.

Brian Eric, 1994, *La mesure de l'Etat - Administrateurs et géomètres au XVIIIe siècle*, Paris, Albin Michel.

⁵⁰ Pour ce qui est des sciences dites "inductives", voir Licoppe, 1996.

Brian Eric, "Le livre des sciences est-il écrit dans la langue des historiens ?", dans Lepetit Bernard (ed.), *Les Formes de l'expérience - Une autre histoire sociale*, Paris, Albin Michel, 1995, pp. 85-98.

Claverie Elisabeth, "Voir apparaître, regarder voir", *Raisons Pratiques*, Vol. 2, 1991, pp. 1-19.

Collins Harry, 1985, *Changing Order : Replication and Induction in Scientific Practice*, Londres, Sage.

Compte-rendu daté du 15 Mai 1991 de la réunion tenue le 19 Avril 1991 à Paris, Club Crin Logique floue, Paris, Association Ecrin.

Daston Lorraine, "Marvelous Facts and Miraculous Evidence in Early Modern Europe", *Critical Inquiry*, Vol. 18, 1991, pp. 93-124.

Dubois Didier, Prade Henri, Smets Philippe, "Partial Truth is not Uncertainty : Fuzzy Logic versus Possibilistic Logic", *IEEE Expert*, août 1994, pp. 15-19.

Durkheim Emile, 1990, *Les formes élémentaires de la vie religieuse*, Paris, PUF.

Elkan Charles, "The Paradoxical Success of Fuzzy Logic", *Proceedings of AAAI 1993*, Cambridge (MA), MIT Press, pp. 698-703.

Gaines Brian, "Precise past, fuzzy future", *International Journal of Man-Machines Studies*, 19, 1983, pp. 117-134.

Gaines Brian et Kohout Ladislav, "The fuzzy decade : a bibliography of fuzzy systems and closely related topics", *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 9, 1977, pp. 1-68.

Goffman Erving, 1971, *The Presentation of Self in Everyday Life*, Harmondsworth, Penguin.

Goldstein Catherine, 1995, *Un théorème de Fermat et ses lecteurs*, Saint Denis, Presses Universitaires de Vincennes.

Goody Jack, 1977, *The Domestication of the Savage Mind*, Cambridge, Cambridge University Press.

Hutchins Edwin, 1995, *Cognition in the Wild*, Cambridge (MA), MIT Press.

Jacq François, *Pratiques scientifiques, formes d'organisation et représentations politiques de la science dans la France de l'après-guerre : la "politique de la science" comme énoncé collectif (1944-1962)*, thèse de doctorat de sociologie, Paris, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1996.

Kosko Bart, "Fuzziness Vs. Probability", *International Journal of General Systems*, Vol. 17, 1990, pp. 211-240.

Kosko Bart, 1992, *Neural Networks and Fuzzy Systems*, Englewood Cliffs (NJ), Prentice Hall.

Kosko Bart et Isaka Satoru, "La logique floue", *Pour la Science*, n° 191, Septembre 1993, pp. 62-68.

Kosko Bart, 1993, *Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic*, New York, Hyperion.

La lettre du club logique floue, n° 1, Paris, Association Ecrin, Septembre 1991.

La lettre des clubs Crin, n° 8, Paris, Association Ecrin, Octobre 1992.

Kuhn Thomas, 1983, *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion.

Lakatos Imre, 1984, *Preuves et Réfutations : Essai sur la logique de la découverte mathématique*, Paris, Hermann.

Largeault Jean, 1993, *La logique*, Paris, PUF.

Latour Bruno, "Give me a Laboratory and I will raise the World", dans Knorr-Cetina Karin et Mulkay Michael (ed.), *Science Observed : Perspectives on the Social Studies of Science*, Londres, Sage, 1983, pp. 141-170.

Lévine Jean, "Où sont passés les contrôleurs flous nippons ?", *La Lettre de l'Automatique*, Fontainebleau, Centre Automatique et Systèmes, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, n° 12, Septembre 1991, pp. 2-4.

Licoppe Christian, 1996, *La formation de la pratique scientifique, le discours de l'expérience en France et en Angleterre (1630-1820)*, Paris, La Découverte.

Livingston Eric, 1985, *The ethnomethodological foundations of mathematics*, Londres, Routledge.

Mackenzie Donald, "Negotiating Arithmetic, Constructing Proof : The Sociology of Mathematics and Information Technology", *Social Studies of Science*, Vol. 23, 1993, pp. 37-65.

McNeill Daniel, Freiberger Paul, 1992, *Fuzzy Logic : The Discovery of a Revolutionary Computer Technology - And How it is Changing Our World*, New York, Simon and Schuster.

Mialet Hélène, *Le sujet de l'invention*, thèse de doctorat de philosophie, Paris, Université de Paris I Sorbonne, 1994.

Pickering Andrew et Stephanides Adam, "Constructing Quaternions : On the Analysis of Conceptual Practice", dans Pickering Andrew (ed.), *Science as Practice and Culture*, Chicago, University of Chicago Press, 1992, pp. 139-167.

Quine Willard Van Orman, 1976, *The ways of Paradox and other essays*, Cambridge (MA), Harvard University Press.

Rosental Claude, « An ethnography of the teaching of logic », communication au colloque *Historical Epistemology*, Institute for the History of Science, University of Toronto, 1993.

Rosental Claude, *L'émergence d'un théorème logique. Une approche sociologique des pratiques contemporaines de démonstration*, thèse de doctorat de sociologie, Paris, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1996.

Rotman Brian, 1993, *Ad Infinitum... The Ghost in Turing's Machine*, Stanford, Stanford University Press.

Sainsbury Richard Mark, 1988, *Paradoxes*, Cambridge, Cambridge University Press.

Schaffer Simon, "Self Evidence", *Critical Inquiry*, Vol. 18, Winter 1992, pp. 327-362.

Shapin Steven, Schaffer Simon, 1985, *Leviathan and the air-pump*, Princeton (NJ), Princeton University Press.

Smets Philippe, "Varieties of ignorance and the need for well-founded theory", *Information Sciences*, 57-58, 1991, pp. 135-144.

Synthèse Technologies de l'Information, Paris, Aditech, Vol. 1, 1989-1990.

Warwick Andrew, "The laboratory of theory or what's exact about the exact sciences ?", dans Wise M. Norton (ed.), *The Values of Precision - Exactitude*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1995, pp. 311-351.

Wittgenstein Ludwig, 1976, *Wittgenstein's Lectures on the Foundations of the Mathematics*, Diamond Cora (ed.), New York, Harvester.

Zadeh Lotfi, "Fuzzy sets," *Information & Control*, 8, 1965, pp. 338-353.