

Par delà les *Connaissances inventées par les informaticiens : les Collections ?*

Francis ROUSSEAU*

RESUME. Lorsqu'en 1982 Allen Newell a inventé une nouvelle acception des connaissances pour permettre aux informaticiens d'unifier les deux inspirations turingiennes (Machine/Test) fondatrices de l'intelligence artificielle, il était peut-être loin d'imaginer l'immense succès qu'allaient rencontrer ses propositions dans la manière de penser les documents numériques et les outils interactifs d'accès à leurs contenus. Pourtant, une analyse de systèmes d'aide à l'interprétation de documents (deux systèmes de navigation dans des recueils numériques de morceaux de musique et deux autres de contrôle de situation seront présentés ici) réalisés depuis les quinze dernières années sur la base des propositions de Newell révèle une surprise de taille : pour concevoir une grande partie de ces systèmes, les ingénieurs se sont en réalité efforcés de déconstruire ces propositions et de contourner leur catégorisation réductrice. Typiquement, il apparaît qu'à la notion de connaissances est préférée celle de collections qui, par l'introduction d'une dimension organique, enrichit le terrain d'interaction Humain-Machine. Mais cette notion ne pouvait peut-être émerger qu'en mobilisant la première pour la tordre et la détourner.

Mots clés : *connaissances, collections, fouille de données numériques, apprentissage machine, aide à la décision.*

ABSTRACT. Singularity Collection: One Step Ahead from Knowledge Classification, even for Computer Scientists. Allen Newell wrote his paper "The Knowledge Level" in 1982, inventing a new meaning for knowledge, useful for computer scientists. This proposition was very innovative, allowing system designers to think differently the notions of digital document and browsing among content. But by analysing several recent systems, we have found that most of it tries to build down that Knowledge approach and to replace it by a Collection approach.

Key words: *knowledge, collections, digital data mining, machine learning, decision support.*

1. INTRODUCTION

Nous sommes marqués par une tradition qui voudrait que les documents aient un contenu de connaissances. Cette figure du contenant excède pourtant manifestement le phénomène qu'elle prétend décrire. Pourquoi ne pas résider au plus près du phénomène éprouvé, quitte à retarder l'acceptation d'explications trop *ad hoc* pour rester stimulantes ? Voici ce que nous vivons *en première main* : lorsqu'elle réussit, la « prise de connaissance » d'un document ébranle et anime la pensée, ouvre un horizon d'investigation et d'altérité, phénomène se traduisant par le désir de sa continuation, par une persévérance dans la confrontation au document (ou par glissements, à d'autres documents), et conduisant typiquement à la production de nouveaux documents.

* Laboratoire CRÉSTIC (EA 3804), Université de Reims URCA, francis.rousseau@univ-reims.fr

Lorsqu'ils se laissent recevoir sous la figure de l'attraction (continuation/répétition) et non de la répulsion, les documents donnent à concevoir et à produire d'autres documents.

Aussi, le propre de la culture est de ne jamais commencer et de ne pas finir dans l'instant, la vraie question étant celle de la possibilité de sa *reprise* et de sa *métamorphose* (Merleau-Ponty, 1969, p. 113). Si ce que je dis n'est déjà plus ce que je pense du fait même que je le dise, comment la pensée pourrait-elle consister en une manipulation de connaissances déjà là, ou en un simple réagencement d'unités élémentaires stockées dans des réservoirs appelés documents ?

Les informaticiens sont souvent des défenseurs ardents et innocents de cette tradition qui défend la thèse du contenu de connaissances des documents. Non pas qu'ils aient été recrutés par quelque promoteur militant de cette thèse, ni même qu'ils soient particulièrement intéressés au débat. Mais l'histoire de l'informatique, qui s'origine avec celle de l'Intelligence artificielle (IA), les conduit naturellement à prendre position implicite sur un terrain somme toute stratégique : en effet, à l'heure du document numérique, ce sont bien souvent les informaticiens qui sont amenés à concevoir et réaliser les systèmes d'accès et de navigation qui recouvrent désormais le monde de leurs réseaux et de leurs services (Enjalbert, 2004).

Dans cet article, nous proposons d'enquêter sur l'invention des Connaissances¹ en informatique, qui constitue selon nous l'origine du *regard sous influence* que portent beaucoup d'informaticiens sur le document numérique.

2. L'INVENTION DES CONNAISSANCES EN INFORMATIQUE

Si l'informatique est une discipline jeune, elle n'en a pas moins une histoire riche et tourmentée (Rousseaux, janvier 2002 et janvier 2003), qui commence avec la Guerre froide sous la forme d'un vaste et ambitieux projet transdisciplinaire dont le nom seul dit assez les finalités, si tant est qu'on se souvienne du sens de renseignement que revêt *intelligence* en anglais : *Artificial Intelligence*.

Le domaine de recherche est marqué par les propositions fondatrices d'Alan Turing, dynamisé par les prévisions dithyrambiques d'un Herbert Simon, pour ne rien dire des autres contributions déterminantes. Cela, tout le monde le sait. Mais on oublie souvent le rôle fondamental joué par Allen Newell, qui a littéralement inventé une acception nouvelle d'une notion très importante en métaphysique, en construisant les *Connaissances* au sens des informaticiens. Il s'agissait de bâtir une notion opérante et propice aux concepteurs et programmeurs de systèmes informatisés, tout en essayant de les convaincre qu'ils tenaient là le Graal que la métaphysique, depuis la nuit des temps, s'échinait en vain à définir. Alors que la gnose devenait subrepticement l'objet d'une tentative d'arraisonnement et de prise de pouvoir, rares sont ceux qui s'en sont émus, nombreux et judicieux sont les informaticiens qui ont cherché à innover

¹ Pour bien indiquer que la notion de *Connaissances* des informaticiens ne coïncide pas de manière évidente avec la notion de connaissance du sens commun, bien que le vocable choisi par les premiers vise à provoquer cette coïncidence, nous emploierons un *C majuscule* pour distinguer l'acception intrusive du vocable. Sur son pluriel systématique, nous aurons l'occasion de nous expliquer par la suite.

sur la base des propositions de Newell, et plus nombreux encore sont ceux qui ont subi ses idées sans même pouvoir situer leurs origines.

2.1. La situation de l'Intelligence artificielle en 1982

Quelle était la situation de l'IA en 1982, lorsque Newell entreprit de rédiger son fameux article "*The Knowledge Level*" (Newell, 1982) ? Pour le dire poétiquement, le programme de recherche IA était au bord de sombrer dans son gouffre originaire, qui ne cessait alors de se creuser entre les deux bords de sa circonscription utopique, ironiquement instituée par Alan Turing à travers les deux figures de sa Machine et de son Test (Turing, 1950).

La Machine de Turing est une machine virtuelle logique, qui sera plus tard architecturée par von Neumann (von Neumann, 1996) et bientôt réalisée matériellement dans le silicium des ordinateurs, qui permet d'opérationnaliser et de simuler certains phénomènes temporels et/ou causaux par assimilation de la raison nécessaire (*Modus Ponens* ou principe de déduction) avec la causalité, puis effectuation automatique des inférences logiques transformées en calcul (Turing, 1939). Du côté de la Machine de Turing, l'IA consiste en un corpus de techniques de programmation spécifiées pour aborder des questions de Résolution de problèmes², celles-là même que Newell adresse avec son *General Problem Solver* (GPS).

Le Test de Turing, lui, rattache au dialogue intersubjectif le mystère de sa *continuation* : un interlocuteur est considéré comme intelligent dès lors qu'il fait *rebondir* le dialogue. Tout acteur intelligent doit demeurer ainsi dans le champ du dialogue constructif et tenir son interlocuteur en haleine en proposant des tirades stimulantes. Quant à l'initiative de la rupture dialogique, chacun entend bien en disposer dans son propre intérêt et en décider l'avènement. C'est ainsi qu'un Humain peut en venir à personnifier un interlocuteur artificiel, dès lors que ce dernier est considéré comme intelligent, capable de prolonger l'échange dans la durée et de rester à la merci du locuteur humain³. Aussi du côté du Test de Turing, l'IA est-elle une investigation phénoménologique sur la question du sujet dialoguant.

Force est de constater que l'IA s'est développée sans parvenir jamais à combler le gouffre béant entre ces deux pôles également fondateurs. En 1982, le hiatus est critique : impossible de rapprocher les deux bords, malgré les promesses présomptueuses⁴ et les investissements massifs. Le projet de recherche avance pourtant sur son versant Machine, mais l'IA s'enferme dans la programmation des ordinateurs et les tentatives de satisfaire des exigences d'environnement technique et d'interfaces spécifiques, sous couvert des paradigmes dominants de la Théorie de l'information, se trouvant peu à peu réduite à une techno-science. Inversement, le projet tourne court sur son versant Test, inspiré par la philosophie analytique, et demeure à l'état d'une gnose consistant à s'interroger en boucle ouverte sur les similitudes entre une Machine intelligente et un système nerveux humain. En conséquence de cette schizophrénie,

² De manière générale, nous ferons débiter par une lettre majuscule tous les termes qui, dans cet article, font référence à des notions répertoriées de l'informatique.

³ Souvenons-nous du système ELISA (Weizenbaum, 1975) : le système jouait le rôle du psychanalyste, et non pas de l'analysé.

⁴ Les systèmes intelligents devaient remplacer l'Humain jusque dans les conduites/activités réputées intelligentes qu'il déploie, étendant la taylorisation à des sphères qui lui échappaient jusqu'alors.

les systèmes d'IA ne sortent pas significativement des Laboratoires de recherche, et cet échec retentissant devient difficile à cacher : il fallait se résoudre à jeter l'éponge ou bien ouvrir de nouvelles voies en tentant « le tout pour le tout ».

Newell veut agir pour défendre les chances de l'approche IA, refusant la réduction de l'ambitieux programme de recherche de Turing à une ingénierie au service de la Théorie de l'information. De par sa culture, en tant qu'ingénieur passionné par le versant ingénierie de l'IA, c'est du côté de la Machine que Newell intervient, en proposant de considérer les ordinateurs comme des systèmes en couches (*Symbol Level*), auxquels il propose d'ajouter une couche supérieure (le *Knowledge Level*), construite pour atteindre le versant Test de l'IA et solder définitivement la crise menaçante, par liquidation pure et simple de l'aporie consubstantielle à la discipline.

2.2. La proposition d'Allen Newell : The Knowledge Level

Newell invente les *Connaissances* pour résoudre la question problématique de l'organisation Humain-Machine en Intelligence artificielle : à la question controversée Qui est intelligent, de l'Humain ou de la Machine ?, il répond : Rendons-les intelligents ensemble, comme couple/groupe/organisation hybride multiagent ; les Connaissances seront le point d'articulation du couplage, l'interdépendance du couple.

Les Connaissances désignent ainsi en informatique la condition de possibilité de l'hypothèse du Niveau des connaissances de Newell. Une coopération interactive Humain-Machine est ouverte sur la base d'un principe de rationalité (j'aime exprimer ce principe à la manière de Montaigne : dis-moi ce que veux, ce que peux, ce que sais, je te dirai ce que fais). En tant qu'elles sont manipulables par l'Humain, qui peut désormais penser sa pensée comme outil rationnel et finalisé, les Connaissances épuisent/réduisent/décrivent le phénomène de la pensée. En tant qu'elles sont représentables et engrammables dans des systèmes informatiques, elles informent les ordinateurs des situations et des degrés de liberté des actions humaines, qui pourront mobiliser l'opération d'instanciation⁵ ainsi que les inférences logiques pour s'enrôler dans des raisonnements rationnels divers.

Assez curieusement, les Connaissances sont d'emblée réifiées (Perrot, 1994) et catégorisées sous forme de molécules représentables par une topologie atomique granulaire : une Connaissance au singulier, à l'état isolé⁶, n'aurait pas de sens. La représentation est clairement calquée sur le modèle physique de la matière, avec ses atomes et ses molécules. Les Connaissances se donnent toujours sous une forme différentielle et cartographique.

Quoi qu'il en soit, grâce à Newell, l'IA quitte à la fois le champ limité de la programmation des ordinateurs et la poésie turingienne pour conquérir les organisations, considérées comme des communautés d'agents humains en

⁵ L'instanciation est le grand impensé de l'informatique, qui assimile violemment le *singulier* au *particulier* (Rousseaux, octobre 2004) par le truchement de la fameuse subsomption, alors même qu'Aristote (Aristote, 1993) affirmait déjà que la Science ne peut parler que du *général* et reste impuissante à rien dire du *singulier*.

⁶ Si les Connaissances ne sont jamais convoquées qu'au pluriel dans cet article, c'est parce que ce pluriel est natif, autant que le singulier est exclu. Le propre des Connaissances étant d'être représentées de façon différentielle, elles ne peuvent l'être qu'en configuration moléculaire.

interaction, dans lesquelles il s'agit désormais d'insérer avec productivité des agents artificiels rationnels. Car même si Newell s'adresse en priorité au couple Humain-Machine, ce seront bientôt des sociétés multiagent bien plus larges⁷ qui vont être modélisées au Knowledge Level.

Newell eut en effet le talent de concevoir le geste salvateur jusqu'au bout, en nommant le lieu du monstre dual qu'il venait de créer et en le baptisant de façon à l'amadouer et l'appriivoiser. Le lieu du monstre était d'ailleurs déjà pointé par Turing : l'interaction Humain-Machine, comme lieu hautement problématique dépassant à la fois les deux protagonistes, unifiant mystérieusement la Machine au Test. Sa condition de possibilité ? Partager les Connaissances. L'Humain permet à la Machine d'acquérir ses Connaissances, quand la Machine offre à l'Humain d'apparaître comme un interlocuteur digne de lui. À peine opérationnalisée, la notion de Connaissances est ainsi associée à la connaissance du sens commun, pour faire d'un monstre une figure reconnue et opérante (c'est la tératologie - la science des monstres, qui nous enseigne ce subterfuge).

Par là, Newell réalisait un coup de maître, ouvrant un horizon d'innovation très important, en proposant au fond aux chercheurs en IA et en informatique de se comporter stratégiquement comme si les Connaissances informatiques étaient mêmes que la connaissance du sens commun, et leur recommandait de *jouer* avec cette assimilation (Fink, 1966 ; Bachimont, 1996). Mais nul n'était tenu à se rendre naïvement au nouveau dogme, corps et âme.

2.3. Les conséquences du geste de Newell

Les Connaissances de Newell sont logiques, plus précisément téléologiques, *hors du temps et du désir humains*. Ses Connaissances peuvent être régionales/domaniales, orientées métier, mais elles ne sont pas situées, elles sont littéralement inhabitées, comme le montre le type d'aporie (logique) auquel Newell admet se heurter (*The Lady and the Tiger*). Newell est chercheur en Résolution de problèmes, il a réalisé son GPS : pour lui, la vie est un vaste problème, et vivre est un vaste mécanisme de résolution de ce problème. Les Connaissances de Newell prétendent réduire la connaissance banale de l'imaginaire humain, *narrative et discursive*, déployée dans la durée, pour la recouvrir définitivement d'une chape de rationalité immédiatement finalisée.

À l'occasion, l'exigence de rationalité des Connaissances stigmatisera l'irrationnel de la connaissance narrative : quel est votre *problème* ? Si vous n'en avez pas, si vous ne parvenez pas à en exhiber une expression formelle canonique, alors vous n'avez *pas de problème*, vous allez bien ... Les Connaissances - *Knowledge* (symbolisé par la lettre K en anglais, comme la nouvelle de Kafka), auront parfois des allures kafkaïennes.

Prise au pied de la lettre, la proposition de Newell appauvrit certes notre pensée, mais elle a aussi sa productivité et sa capacité d'innovation propres. De

⁷ L'approche a en effet le mérite de proposer nativement des représentations et des dispositifs d'extraction/acquisition des Connaissances. Dans les faits, elle conduira d'ailleurs souvent des institutions (qui prendront la proposition de Newell au pied de la lettre et s'y conformeront avec un conformisme qui frisera parfois une taylorisation d'un genre nouveau et inédit) à prescrire leurs organisations et leurs savoirs (1982 n'arrive jamais que deux ans avant la funeste prévision de Georges Orwell).

plus, rien n'empêche de chercher à la déconstruire, en mettant en avant des inventions moins durement réductrices comme la notion de *collection* (Vignaux, 2004), davantage située, se déployant ici et maintenant, en singularité, dans un champs d'attraction dynamique. Le parcours peut devenir chorégraphique/scénographique, et renoncer au caractère topologique, toujours *a priori* cartographiable, de son inscription. Mais de cela nous parlerons plus tard.

Car la question de l'interaction collaborative est certes celle de son établissement équitable et fructueux, mais aussi celle de sa durée, c'est-à-dire de son déploiement dans le temps⁸.

2.4. L'invention de Newell sur le terrain : retours d'expériences

Nous allons maintenant étudier et critiquer la productivité des Connaissances inventées par Allen Newell en nous appuyant sur des exemples de systèmes informatisés que nous connaissons bien pour avoir participé de près ou de loin à leur conception/réalisation : les systèmes de navigation dans des recueils numériques de morceaux de musique LE MUSICOLOGUE et CUIDADO d'une part, et les systèmes de contrôle de situations CHEOPS et VIRTUALIS d'autre part.

3. NAVIGUER AU TRAVERS DE DOCUMENTS NUMERIQUES MUSICAUX

La mise en place d'un système de navigation au travers de documents musicaux numérisés pose toujours de difficiles problèmes préalables d'acquisition et de restitution de données d'expérience, mais aussi de représentation et d'interface Humain-Machine. Lorsque ces problèmes sont enfin surmontés, c'est seulement alors qu'apparaît la difficulté fondamentale : mobiliser les outils basés sur le *Knowledge Level* de Newell pour néanmoins subvertir ses propositions initiales, affadir l'instanciation et la classification *a priori*, pour aller vers la similarité en situation et la collection déployée *en singularité*.

3.1. Le système de navigation musicale LE MUSICOLOGUE

Le système LE MUSICOLOGUE a été conçu et réalisé par une petite équipe d'informaticiens et de musicologues entre 1987 et 1990. Parmi les ambitions du système, nous nous intéressons ici à la fonctionnalité qui permet à un élève venant de s'exercer à la dictée musicale sur une certaine pièce de s'en voir proposer d'autres par le système (Rousseaux et Saoudi, 1991).

Il s'agit d'aider l'élève à évoluer dans un vaste corpus numérique pour constituer une collection d'exercices travaillés qu'on appelle ordinairement son cursus. Il est implicite que le cursus doit être le plus cohérent possible, dans le sens de la progression de l'élève. Mais il faut reconnaître qu'une telle vision est plus rétrospective que prospective : en réalité pour qu'un cursus soit cohérent, il faut avant tout qu'il ne cesse pas de se développer, c'est-à-dire que l'élève ne s'ennuie ni ne se décourage. Et c'est seulement en regardant en arrière qu'on pourra parler de progression de l'élève, sous condition qu'il persévère.

⁸ Newell aurait sans doute prétendu que son modèle permettait de coiffer la question de la durée en la réduisant à la variation dynamique et la mise à jour des Connaissances. Mais la dynamique n'est vraiment efficace que lorsqu'elle parvient à ne voir dans la statique qu'un cas particulier du mouvement, et pas le contraire. Avec Newell, le « calcul différentiel » sur les Connaissances reste à inventer.

On imagine facilement l'environnement que LE MUSICOLOGUE doit préalablement réaliser pour rendre possible l'expression, en situation d'exercice, d'un appel d'offres de pièces à travailler encore. LE MUSICOLOGUE était pensé comme un éventail de méthodes, chacune préparée par un enseignant.

Chaque méthode était composée pour l'essentiel (Rousseaux, 1989) :

- D'un recueil de textes musicaux choisis⁹, proposant plusieurs jeux de description des pièces (métadonnées) sur la base desquels il est notamment possible de naviguer - 1° éditorial, 2° solfégique et 3° pédagogique -, et qui donnait également accès aux formes sonore (gestuelle en réalité, le système ne prenant jamais en charge le timbre des notes mais seulement leur description « gestuelle » au format spécialisé MIDI) et graphique (la partition) des pièces ;

- D'outils permettant de saisir les pièces à partir de leur forme gestuelle et/ou de leur forme graphique (mobilisés par l'enseignant mais aussi par l'élève s'exerçant à noter sous forme graphique une forme sonore entendue selon un protocole contraint, soit l'exercice de la dictée musicale), ainsi que d'outils permettant de paramétrer et contrôler les séquences d'écoute ;

- D'une grille d'évaluation des exercices conformément à la vision pédagogique propre à la méthode, et préparée par l'enseignant.

Il est intéressant de préciser la structure de la grille d'évaluation, dont la conception exige de ramasser toutes les difficultés théoriques pour les lier en forme de solution heuristique. À elle seule, la conception de la grille s'apparente d'une certaine façon à la classe de ces gestes scientifiques bâtisseurs de monstres plus ou moins productifs.

3.2. Les Connaissances dans LE MUSICOLOGUE

En termes contemporains, cette grille représente l'Ontologie de la méthode, car elle représente les Connaissances qui vont permettre le dialogue coopératif Humain-Machine dans les conditions définies par Newell. Formellement, il est exigé que la grille soit un arbre n-aire étiqueté (de profondeur quelconque), de façon qu'elle possède les propriétés fondamentales requises, que nous exposons plus tard.

Il est nécessaire que la grille :

1. Permette à l'élève de « prendre connaissance » du bilan de son travail de transcription de la dictée, en partant typiquement du nœud racine de la grille (qui porte trace matérielle du résultat synthétique de la comparaison entre la pièce source et son imitation par l'élève), et jusqu'à analyser les difficultés rencontrées en naviguant vers les feuilles de l'arbre ;

⁹ Plus tard, alors que la SSII qui m'employait voulait mieux gérer ses ressources humaines, j'ai réutilisé le recueil de LE MUSICOLOGUE pour constituer une mémoire d'entreprise et cartographier les compétences techniques des cadres de la Société.

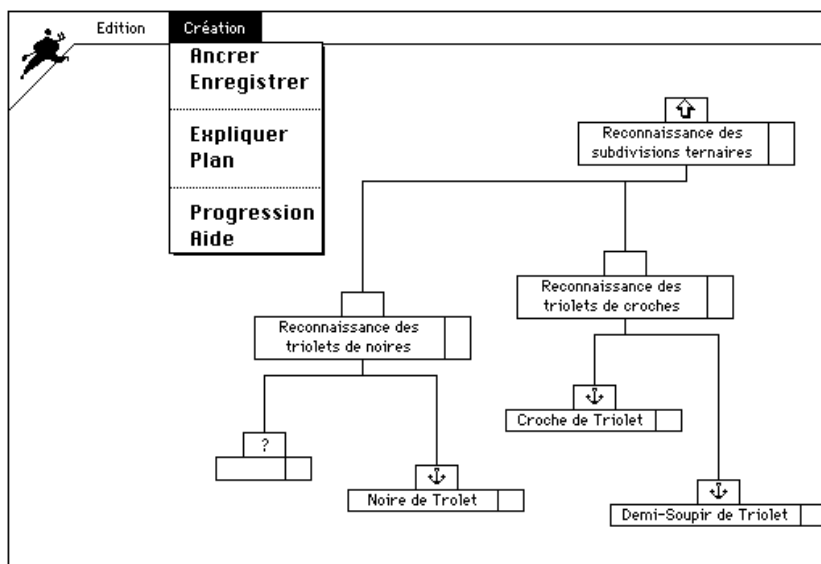


Figure 1. La grille des connaissances pédagogiques dans LE MUSICOLOGUE

2. Reflète aussi astucieusement que possible la manière dont l'enseignant s'acquitte d'une tâche impossible et néanmoins requise : décrire de façon hiérarchique, au moyen d'un arbre n-aire des notions solfégiques abstraites - les étiquettes des nœuds de l'arbre (à l'exception des feuilles), que l'enseignant peut libeller à sa guise -, à partir d'un vaste réservoir de notions solfégiques de base qui, elles, sont fournies en nombre par le système - les feuilles de l'arbre ;
3. Permette le calcul automatique ascendant de la valorisation de tous les nœuds de la grille lors de la demande d'évaluation de son travail par l'élève ;
4. Permette au système d'aide à la constitution de cursus (qui offre les pièces susceptibles d'être choisies pour le prochain exercice) de s'appuyer sur les résultats de l'élève confronté à la pièce courante, et également de garder trace de ces résultats pour le cas où un processus d'apprentissage de nouvelles règles de progression doive être engagé.

On sent bien que les exigences 1°, 3° et 4° doivent être offertes par l'exigence 2°, qui est précisément élaborée pour permettre la satisfaction de l'ensemble des fonctionnalités de la grille, en même temps qu'elle est proposée à l'enseignant comme un outil fertile pour promouvoir sa vision pédagogique¹⁰. Mais la satisfaction de l'exigence 2° n'est approchable qu'à condition d'user d'heuristiques très audacieuses. Dans le cas d'espèce en tout cas, voici le schéma d'heuristiques sur lequel nous avons misé :

¹⁰ Il faut bien remarquer que les informaticiens concepteurs de systèmes intelligents doivent se montrer encore plus persuasifs que les représentants de commerce qui cherchent à séduire de nouveaux clients. Il est très important que ces derniers prennent des vessies pour des lanternes ... ce qui n'est jamais faux qu'à moitié.

- Le niveau d'abstraction des notions solfégiques mobilisées pour étiqueter la grille est covariant avec leur niveau de granularité temporelle, les notions les moins abstraites étant les plus locales dans le temps (par exemple un intervalle de hauteur), les plus abstraites tendant à se présenter comme globale à la pièce (par exemple un genre musical) ;

- Les notions solfégiques de base proposées en réservoir du système, par construction locales et situées dans le temps, peuvent être valorisées pour chaque pièce selon des calculs d'extraction et des comptages d'occurrences ;

- Par simple comparaison arithmétique, il sera possible de comparer les valeurs des notions solfégiques de base entre deux pièces (par exemple un texte à travailler et son imitation produite par un élève) et d'informer les feuilles de la grille d'évaluation des difficultés de réalisation dont elles ont été l'objet (aucune localisation n'étant prise en compte, il s'agit bien d'une heuristique audacieuse, mais elle a fait preuve de son efficacité) ;

- Par simple propagation ascendante de la valeur logique des nœuds des feuilles (la logique de propagation des nœuds intermédiaires est éditable par l'enseignant), il est possible d'évaluer chacun des nœuds de l'arbre et ce jusqu'à ce que la racine elle-même soit évaluée.

Nous disposons ainsi d'un système capable de diagnostiquer les difficultés de l'élève en termes d'une théorie solfégique exprimée par l'enseignant, ainsi que de fournir des explications de ces difficultés par navigation dans la grille, depuis la racine (qui synthétise le résultat) jusqu'aux feuilles (qui en localisent les ultimes éléments d'analyse).

3.3. L'apprentissage de la Machine dans LE MUSICOLOGUE

Restait à imaginer et concevoir un sous-système capable de faire des propositions concrètes de pièces à travailler, fonction de la pièce couramment traitée et des difficultés particulières de l'élève. Pour ce faire, nous avons mobilisé le système DISCIPLE, développé quelques années auparavant dans l'équipe de recherche en Apprentissage automatique de l'Université Paris 11, et auquel nous avons eu l'occasion de contribuer (Kodratoff, Tecuci et Rousseaux, 1987).

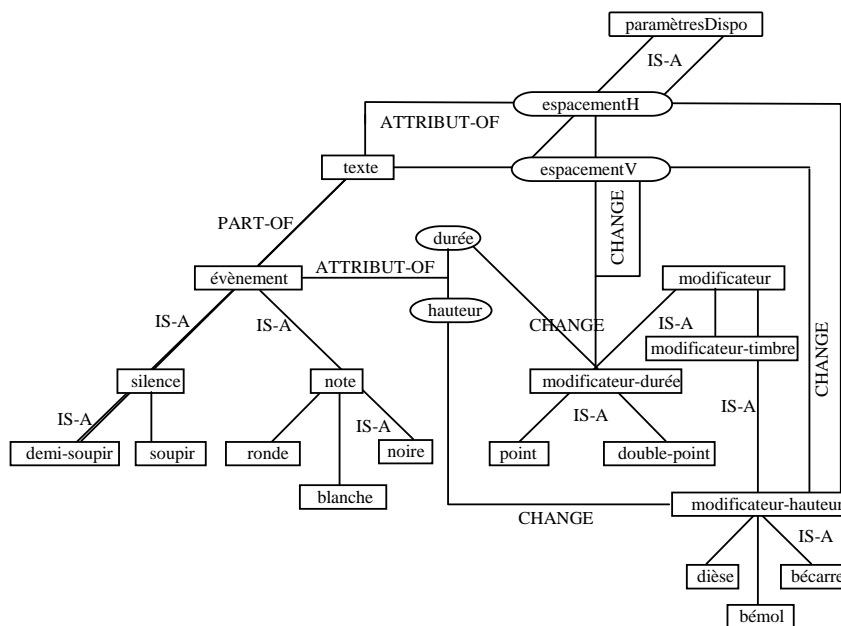


Figure 2. Les connaissances théoriques du système

DISCIPLÉ est un système apprenti d'aide à la navigation dans un processus logique de résolution de problèmes par régression de but, principalement mis en œuvre dans le domaine de la planification. DISCIPLÉ apprend en recherchant la mise en cohérence des deux champs de Connaissances qu'il maintient : les Connaissances pratiques, qui sont des règles de décomposition de problèmes d'une part, et les Connaissances théoriques du domaine d'autre part, qui sont représentées dans un vaste Réseau sémantique (Brachman, 1979) (on ne parlait pas encore d'ontologie) qui met en réseau les objets impliqués dans les règles.

DISCIPLÉ vient au secours d'un Système expert en charge de décliner un problème donné par régressions successives jusqu'à des actions élémentaires identifiées et bien maîtrisées, lorsque celui-ci vient à manquer de propositions pertinentes et adéquates à la situation. DISCIPLÉ prend alors en charge un processus interactif d'apprentissage de nouvelles Connaissances à partir d'un exemple de solution communiqué par un expert du domaine dépêché pour la circonstance, à qui DISCIPLÉ demandera des explications de la pertinence de la solution en termes de la théorie du domaine avant de généraliser cette solution pour finalement en contrôler dynamiquement le niveau de généralité en fonction du niveau de robustesse avéré de la règle en cours de ses mises à l'épreuve ultérieures.

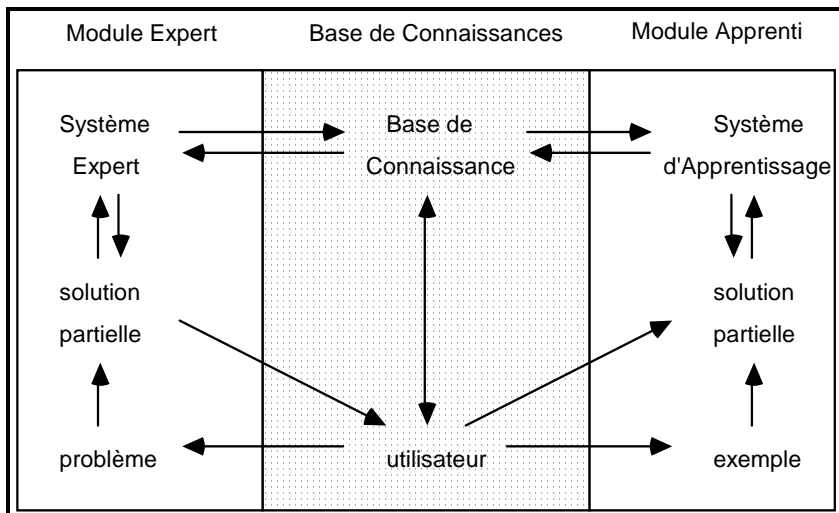


Figure 3. Le cycle d'apprentissage Machine de DISCIPLÉ

DISCIPLÉ était développé dans une logique de formalisme théorique d'apprentissage, faisant peu de cas de l'interaction Humain-Machine, la réduisant à une forme de clientélisme typique des Systèmes experts : l'Humain attend des solutions, le système lui en propose, et c'est seulement lorsque le système informatisé s'avère incompetent qu'un expert est mandaté pour engager un processus de mise à jour et d'apprentissage des Connaissances guidé par la Machine

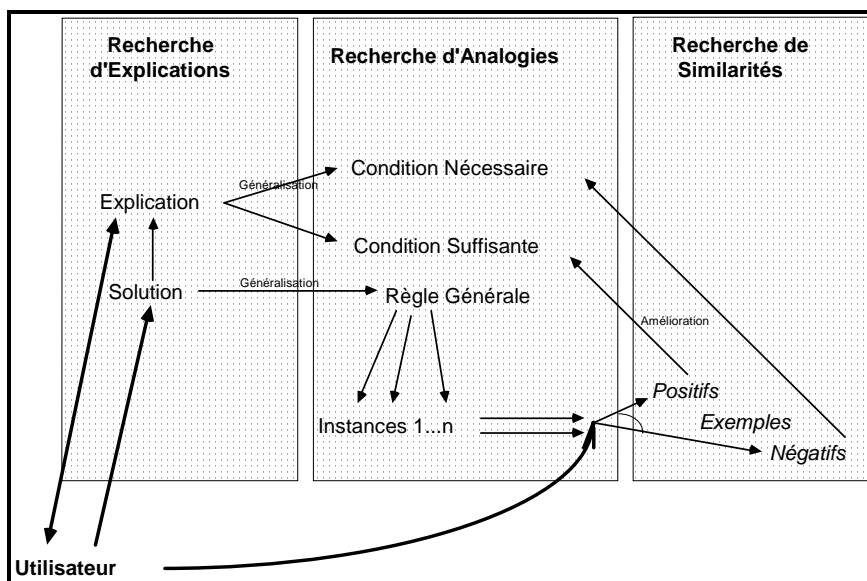


Figure 4. Les différentes modalités d'apprentissage combinées

Lors de l'engagement de DISCIPLÉ dans LE MUSICOLOGUE, on s'est efforcé de situer le dispositif d'apprentissage au cœur même du fonctionnement

nominal du système, le désir de l'utilisateur/élève faisant office de savoir d'expert, la progression de l'élève étant vue comme la constitution d'une collection plus que comme un cheminement différentiel formellement cohérent. Cependant, c'est l'enseignant qui initialise la procédure d'apprentissage de la Machine en proposant des exemples de progression pédagogique situés, et en répondant à l'enquête de justification que conduira aussitôt le sous-système apprenti.

3.4. Le cursus comme collection de pièces travaillées

LE MUSICOLOGUE aide en effet l'élève à constituer sa collection de pièces travaillées. Collectionner est plus originaire que catégoriser. C'est dans le fil du temps, du *lewensvelt*. C'est particulièrement vrai dans le cas d'un travail sur des pièces musicales, dont l'empreinte du succès est la continuation d'une activité qui ne cesse ni ne répète son objet, mais se prolonge sur des objets dont la succession fait parcours de collection (Rousseaux, octobre 2004), un peu comme lorsqu'on constitue une collection d'œuvres d'art (même si l'appropriation des objets temporels ne se compare pas aisément à l'appropriation des objets spatiaux). Mais si la trace dans le monde d'une activité n'est autre que sa continuation, comment installer un dialogue Humain-Machine, et sur quel type de Connaissances médianes l'instaurer ?

Dans le cas de l'environnement d'insertion de LE MUSICOLOGUE, l'élève laisse des traces de son activité d'exercice autres que la sélection préliminaire de la pièce qui l'occupe : l'évaluation de son travail, ainsi que l'évaluation de son niveau dans le cursus, ont été soigneusement conçues pour donner prise à un système apprenti qui pourra stimuler l'intérêt de l'élève en lui proposant des pièces *intéressantes* à travailler, parmi lesquelles l'élève aura tout loisir de faire son choix motivé. Mais qu'en serait-il de l'activité d'écoute musicale pure, sans prise de note ni autre trace que le seul désir de sa continuation ? Pourrait-on envisager un système qui se propose pour aider l'auditeur à constituer un parcours/collection, alors même qu'aucun but extérieur à l'activité en situation ne peut être assigné au système ? C'est l'objectif du *Music Browser* développé par Sony-CSL dans le cadre du projet européen CUIDADO, co-ordonné par l'Ircam entre les années 2000 et 2003 (Vinet, Herrera et Pachet, 2002).

3.5. Étude du système de navigation CUIDADO

La navigation musicale au sein de vastes corpus de titres numérisés est très influencée par la notion de *genre*, elle-même héritée de la nécessité de choisir physiquement les CDs qu'on désire se procurer parmi les bacs et les rayonnages des grands magasins spécialisés. Si les métadonnées éditoriales qui permettent d'indexer et de fouiller la musique numérisée sont efficaces, c'est parce qu'elles sont entretenues comme autant de passages obligés, typiquement mises en œuvre avant même l'écoute, dès la phase d'acquisition matérielle du support CD (Rousseaux, janvier et septembre 2002) .

Ainsi la possibilité théorique de fouiller des titres numérisés sans passer par l'acquisition de CDs rangés dans des rayons rend bientôt obsolète l'actualité des métadonnées éditoriales, et conduit bien vite à leur péremption, à tout le moins comme modèle hégémonique d'indexation.

C'est pourquoi le *Music Browser* de CUIDADO propose, concurremment à une indexation par métadonnées éditoriales, des possibilités de fouille *cultu-*

relle et acoustique, renonçant d'ailleurs à imposer des catégorisations exclusives basées sur ces types d'index, mais encourageant l'utilisateur à glisser par une recherche de similarités aussi transversale¹¹ et interactive que ses caprices le lui inspirent (Pachet, 2000 ; 2003). C'est encore une fois l'esprit de collection qui est à l'œuvre, et le système offre au collectionneur/auditeur des opportunités qui se conjuguent sur des plans différents mais toujours simultanément activables, liberté lui étant laissée de choisir celle sur laquelle il va localement exercer son contrôle.

Reprenons la démarche de façon resserrée :

1° La mise en marché des CDs via des rayonnages de magasins requiert une efficace mise en rayons *a priori* des produits et un système d'étiquetage par des métadonnées visibles/lisibles, déterminant du même coup une organisation qui prescrit nos descriptions de la musique et donc finalement notre culture et nos activités musicales (incluant en dernier ressort l'écoute).

2° La fin du support CD signe la fin de l'hégémonie de l'activité d'achat matériel originaire et laisse place à une ribambelle d'activités concurrentes et prétendant toutes infléchir l'indexation, d'où l'avènement de régimes d'indexations pléthoriques et concurrents.

3° Un constat s'impose : il est impossible de répertorier à l'avance (et clore) ces régimes d'indexation *mais à l'inverse* impossible de ne pas opter pour des index prédéterminés si l'on veut (semi-)automatiser la fouille de données désormais numériques à l'aide de machines. Il est donc vain de chercher à établir des ontologies qui feraient consensus pour relier des termes d'index abstraits (les descriptions « de haut niveau ») à des descriptions calculées (les descriptions de « bas niveau ») par instanciations de simples variables d'instances (les approches type « MPEG »).

4° L'idée est de proposer des *similarités* (par l'exemple et l'analogie) sur des *champs ouverts* de contenus/activités ad hoc et situés, comme cela est esquissé dans le système. Mais cette piste débouche sur une aporie : il y a contradiction dans les termes *similarité* et *champ ouvert* de contenus/activités, en tout cas dans l'horizon de la computationalité.

5° L'idée devient alors de fournir des moyens frustes pour inaugurer des similarités exploratoires (par exemple des classements heuristiques sur des éléments culturels, éditoriaux, acoustiques) et de proposer à l'utilisateur d'en faire un usage *dynamique, interactif et rectificatif*. Il s'agit de *mobiliser des instanciations*, qui ont une forte charge d'appariement entre un singulier et un particulier (concept), pour les affadir et les utiliser comme provocations glissantes et négociables par révisions successives, *réglables progressivement*.

6° Pratiquement, l'utilisateur se lance en provoquant le monde des possibles par une première tentative d'extraction partielle et locale avant d'opérer des sélections/appréciations, destructions/adjonctions et/ou classements sur le résultat, avant d'envisager une nouvelle contrainte partielle et locale sur le reliquat. Du fait de la mixité des opérations du côté de l'utilisateur, le proces-

¹¹ C'est bien une combinaison des descriptions qui est construite par l'Humain dans *Music Browser*, de type *et/ou* plutôt que de type *ou*, qui permet de faire glisser ses désirs, en appui sur des similarités toujours partielles mais néanmoins stimulantes, les aspects quantitatifs s'appréhendant d'emblée qualitativement, et la Machine étant en retrait bienveillant par rapport à l'utilisateur humain.

sus n'est pas linéaire, au sens où récapituler une requête globale de l'utilisateur sous l'égide de la logique formelle n'aurait pas de pertinence.

7° Avec la complicité du calcul, l'utilisateur opère par *provocations successives* (davantage que par spécifications) : similarités constatées ou proposées, approximations successives, différenciations répétitives de proche en proche (davantage que par sélections).

8° Ce dialogue avec le calcul livre ultimement à l'utilisateur une solution acceptable, mais elle l'aide aussi à élaborer ses concepts. Bizarrement, les concepts en question ne sont pas présents *a priori* dans le système, il n'y a pas de hiérarchies de concepts (ontologies organisées par généralisation/spécialisation). L'utilisateur récapitule sans cesse sa démarche interactive d'accès aux contenus fréquentés par des concepts qu'il pourrait préciser par spécialisation/généralisation. Mais les instanciations qu'il fait opérer par le système sont tellement locales et affadies par les interactions que l'utilisateur peut se les représenter comme des spécialisations floues (de concepts) qui restent toujours et encore à préciser par interaction/rectification et/ou adjonction/soustractions et/ou substitutions.

9° Voici encore d'importantes caractéristiques de l'approche *fouille de données interactive* mobilisée :

- On mobilise par facettes l'approche formelle, mais typiquement comme moyen provisoire ;
- La quantité joue un rôle qualitatif (jamais séparée du qualitatif) ;
- La structure de liste (ordonnée) est davantage usitée que celle d'ensemble.
- Les concepts sont définis *en extension*, et l'exigence de leur récapitulation *en intension* est abandonnée (ce par quoi l'IA diffère des mathématiques) — si la récapitulation à visée conceptualisante d'une extension est effectuée, elle ne le sera jamais par compilation d'explications logiques.

3.6. Conclusion partielle et premiers enseignements

Les différences entre les systèmes LE MUSICOLOGUE et CUIDADO ne sont pas tant techniques qu'épistémologiques. D'un système à l'autre, on passe (LE MUSICOLOGUE) d'un monde de catégories formelles où la Machine tend à piloter la boucle d'événements interactifs à (CUIDADO) une situation où il est davantage question de collections et où l'Humain tend à rester maître et ultime responsable de cette boucle d'événements, ainsi que des résultats auxquels le système Humain-Machine aboutit. Encore ne parle-t-on plus de résultats dans le cas de CUIDADO mais de *parcours*, la connaissance étant située en ce sens qu'elle est toujours engagée dans une narration qui s'entretient sans nécessité de buts précis, par glissements en similarité assumés localement par l'utilisateur.

4. NAVIGUER AU SEIN DE DOCUMENTS CARTO/SCENOGRAPHIQUES

Dans cette deuxième phase d'analyse de systèmes, on s'intéresse à des réalisations qui traitent cette fois de documents de nature cartographique ou scénographique. Exactement dans le même mouvement qui va du système LE MUSICOLOGUE (1990) à CUIDADO (2000) en affranchissant la conception du système informatisé d'exigences téléologiques explicites ou implicites, nous

présentons les systèmes CHEOPS (1995) et VIRTUALIS (2005) en mettant en évidence un mouvement de même nature.

4.1. Étude du système de suivi de situations critiques CHEOPS

CHEOPS (Rousseaux, 1995) est un système d'aide à la décision en situations de crise géopolitique, conçu et réalisé entre 1990 et 1995, et intégrant des composants informatiques pour réaliser la possibilité de débats contradictoires de niveau stratégique entre un Humain et un Agent artificiel argumenteur (Rosenthal-Sabroux et Rousseaux, 1996 ; Zacklad et Rousseaux, 1996).

Le parti pris gnoseologique est d'emblée celui du Principe de raison (Heidegger, 1962), qui exclut toute autre approche de la décision. Cela signifie que seule une ligne du tableau suivant (non exhaustif) est retenue comme opératoire (**en gras**), toutes les autres étant relayées au statut de pratiques magiques ou d'élucubrations spécieuses.

Décider, c'est s'en remettre ...	Exemple
à des principes subjectifs (« tout est possible, mais tout n'édifie pas », principe de précaution)	l'édification de Paul de Tarse, la précaution de Hans Jonas
à l'art	les artistes
à la force	la guerre
à la logique, au plan	les encyclopédistes des Lumières, Thomas d'Aquin à la suite d'Averroès, les philosophes du cercle de Vienne, les bâtisseurs de la Nef de Beauvais
à la nature (humaine, astrologique)	les stoïciens, les panthéistes
à la raison « rationnelle »	Newell et ses Connaissances, les Arbres de décision
à la situation singulière	Le « discernement des esprits » d'Ignace de Loyola, la métapolitique d'Alain Badiou
à son instinct	les darwinistes
à son intelligence épique	Don Quichotte de la Mancha
à l'amour	Héloïse, Juliette, Manon
au hasard ou au jeu (cosmique)	Eugène Fink
aux autres (leur représentant, le plus grand nombre, le meilleur)	les promoteurs de l'autorité politique
aux dieux, dont il faut interpréter les messagers ou les signes (oracles, marc de café ou entrailles d'animaux)	les Ioniens anciens décrits par Feyerabend

Figure 5. Exemples de paradigmes possibles pour la décision

Dans CHEOPS, les documents numériques fondamentaux étaient des cartes géographiques (*raster* et/ou vecteur) augmentées de symboles décrivant une situation courante, et dont on supposait l'interprétation quasi-objective au niveau tactique, pour rechercher des interprétations raisonnables/justifiables au niveau stratégique (le rapport tactique/stratégique ressemble au rapport local/global des descripteurs solfégiques de la musique).

L'usage de CHEOPS était d'adresser le besoin présumé de décider des actions/choix stratégiques en établissant des chaînes d'explications issues du terrain tactique numérisé. À cette fin, le concepteur a réutilisé des Structures d'inférences de type KADS (Wielinga, Schreiber et Breuker, 1992), comme celle qui prétend mettre à disposition, sur étagère, l'essence de l'Induction de structures, et qui fût établie en 1975 par Simon et Léa (Figure 6.).

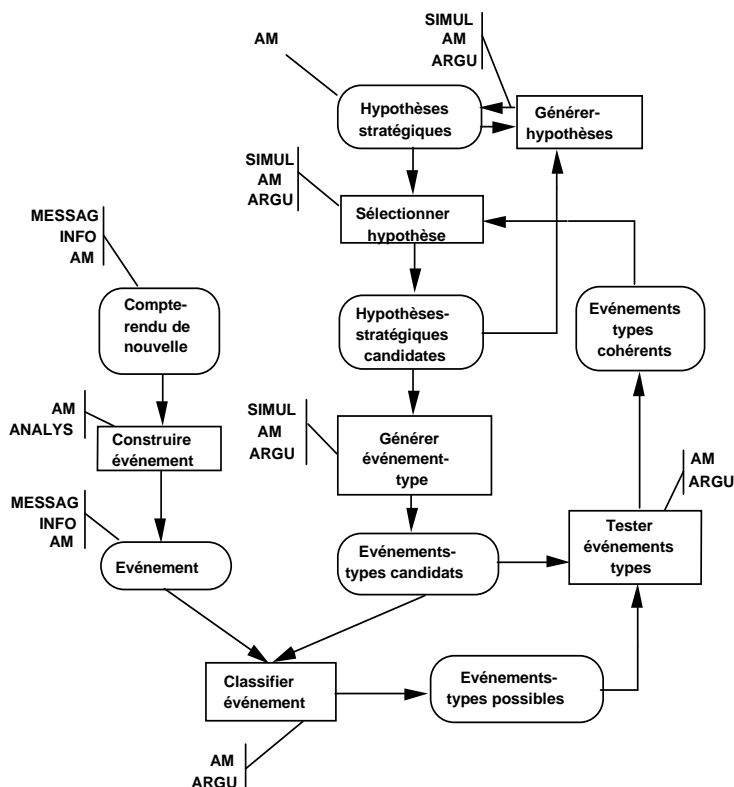


Figure 6. L'Induction de structure selon Simon et Léa

L'idée est de permettre que l'Humain utilisateur soit mis en contradiction permanente avec un Agent artificiel argumenteur, qui tente toujours de présenter d'autres facettes de la situation tactico-stratégique au décideur, pour éviter à ce dernier d'oublier des contradictions fructueuses possibles (et surtout celles qui pourraient faire triompher un éventuel contradicteur ou adversaire).

	Interprétation selon le point de vue du processus de résolution de problème	
1	AM : Avez-vous reçu le descriptif relatif aux événements de N'Djamena ? Il semble que ce soient des manifestations organisées par des étudiants proches de l'opposition. Ceci confirme que les événements de Biltine ne sont probablement que la conséquence de problèmes liés à la solde des militaires et que nous sommes donc bien en présence d'affaires intérieures ...	construire-événement classifier-événement tester-événement-type sélectionner-hypothèse
2	ARGU : Je ne suis pas d'accord. La cause précise des événements de Biltine n'est pas connue et l'ethnie M'Boutoul (impliqué dans les troubles de Biltine) est aussi la plus proche des rebelles.	classifier-événement
3	AM : Pouvez-vous montrer qu'il est possible que les rebelles sont impliqués dans les événements récents ?	tester-événement-type
4	ARGU : Oui, je peux le montrer (la démonstration suit).	classifier-événement tester-événement-type
5	AM : Quelles en sont selon vous les conséquences ?	générer-hypothèses- stratégiques
6	ARGU à SIMUL (sans que la communication soit visible pour AM) : Pourriez vous me faire une estimation des rapports de force en zone Sud en tenant compte des derniers événements ?	générer-hypothèses- stratégiques
7	SIMUL à ARGU (sans que la communication soit visible pour AM) : En intégrant les forces rebelles et les régiments Libyens, le rapport de force est défavorable aux Tchadiens.	générer-hypothèses- stratégiques
8	ARGU à AM : Si les rebelles et les Libyens sont impliqués, cela signifie qu'une attaque en zone Nord est peut-être imminente, alors que le potentiel de défense Tchadien est affaibli dans cette zone.	générer-hypothèses- stratégiques
12	Intervention de MESSAG : Je viens d'avoir l'information que nous attendions : il est possible que les avions qui ont largué des bombes sur l'aéroport de N'Djamena soient de type Marchetti SF 260.	construire-événement
13	AM à ARGU : Il se pourrait alors que vous ayez raison.	sélectionner-hypothèse- stratégique-candidate
14	ARGU : Pourquoi ce changement d'opinion ?	sélectionner-hypothèse- stratégique-candidate
15	AM : Parce qu'il se peut que le bombardement ait été le fait des Libyens, qui possèdent ce genre d'avion italien, ce qui peut signifier qu'une attaque de grande envergure est en train de se préparer.	construire-événement classifier-événement tester-événement sélectionner-hypothèse- stratégique-candidate

Figure 7. Un exemple de dialogue entre un décideur et l'Argumenteur artificiel

Mais CHEOPS permet aussi bien de légitimer les décisions que de les former, les intentions stratégiques du décideur infléchissant l'interprétation de la situation en concurrence avec les analyses tactiques qui en émergent. Quant aux explications qui sont supposées remonter du terrain jusqu'aux États-majors, elles sont concurrencées par des justifications d'action intentionnelles qui prescrivent l'interprétation du terrain.

Avec CHEOPS, il devient clair que le statut des Connaissances introduites par les informaticiens dans le paysage Humain-Machine peut avoir des conséquences sur les organisations, voir même des effets directs sur leur institution. D'abord « à extraire » en amont du cycle de conception des systèmes intelligents, les Connaissances sont vite devenues l'enjeu de l'Acquisition des Connaissances comme « principe constructif de modélisation » (Clancey, 1993). Mais finalement, ce principe modéré est vite devenu principe de management et d'organisation (par exemple en vue d'unifications normatives des vues au sein d'une même organisation), et donc principe d'institution organique. C'est ainsi que l'innovation de Newell tend à ébranler le champ d'insertion des outils qu'elle conduit à produire, c'est-à-dire l'organisation elle-même, sommée de laisser place à des agents rationnels artificiels, et finalement elle-même finalisée et normalisée en conséquence.

Au fond, CHEOPS n'est pertinent que si l'on considère qu'il est possible de mettre à distance une situation pour procéder à des décisions, vues comme des réorganisations partielles de certaines composantes de cette situation. La situation serait en quelque sorte *congelée* avant cette opération, et ne serait pas affectée par la visée délibératrice. Or une grande partie de notre investigation philosophique, alors que nous animions entre 1997 et 2000 le groupe de recherche « Reconstitution de la décision politico-stratégique » du Collège international de philosophie, a consisté à montrer les considérables limites de cette vision (voir notamment, à l'adresse <http://recherche.ircam.fr/equipes/sel/rousseau/essais.htm> le texte *L'effondrement de la nef de Beauvais*).

C'est suite à cette enquête philosophique que l'idée du système d'aide à la scénographie VIRTUALIS est née, comme dispositif Humain-Machine destiné à explorer d'autres postures d'aide à la décision.

4.2. Le système de génération de collections d'interactions VIRTUALIS

VIRTUALIS (Bonardi et Rousseaux, 2001; 2004) est un système établi sur l'idée qu'un spectacle vivant peut être considéré comme une collection/procession d'interactions sous contrainte, et que la mise en œuvre de procédés de rétention de certains échanges interactifs peut ouvrir l'œuvre (au sens de l'œuvre ouverte d'Umberto Eco), en permettant de densifier l'espace des interactions (Rousseaux et Bonardi, 2003-2004).

Par exemple, Alain Bonardi, principal concepteur de VIRTUALIS, a mis en œuvre le système dans la création d'une pièce de Geneviève de Gaulle mettant en scène une narratrice et une danseuse Nô, mais aussi un immense écran de fond de scène sur lequel étaient dessinés des mobiles qui s'animaient en lien avec les émotions particulières de la voix de la narratrice. Ainsi, l'influence immédiate de la voix se trouvait concurremment médiatisée par l'écran et acquérait une portée et une rémanence supplémentaires dans l'ordre de l'épaisseur temporelle.



Figure 8. Une scène de *La traversée de la nuit*

Ce qui nous intéressait dans ce travail était de parvenir à affadir l'instanciation¹² (Rousseaux et Bonardi, 2004), l'impensé de l'informatique, en proposant qu'une mise en scène ne soit plus contrôlée et spécifiée par des variations d'instanciation dans des Ontologies de personnages et d'actions, mais davantage par un glissement de situation contrôlé par la situation elle-même. Comme pour CUIDADO tout à l'heure, essayons de rassembler brièvement les étapes de notre réflexion :

1° L'interprétation du metteur en scène repose classiquement sur une ontologie de la dramaturgie et des variations d'instanciation. Face à un texte de théâtre, chaque metteur en scène souhaite proposer sa lecture/interprétation, et une lecture/interprétation est toujours un effort pour créer des formes. Dans le cas du théâtre, cela commence par l'établissement d'une ontologie synthétique de la dramaturgie : on y décrit les personnages sous forme de types et d'instanciations (ce en quoi le théâtre de boulevard par exemple excelle avec son trio, mari, femme et amant !), en indiquant le nom du personnage, sa situation au début de la pièce et son costume. Le déroulement de la pièce propose des variations d'instanciation : le spectateur découvre au fil de l'action que tel ou tel personnage est différent de ce qu'il imaginait au départ. Ces variations d'instanciation peuvent même aboutir à des révisions de l'ontologie. C'est par exemple l'enjeu, autant métaphysique que théâtral, du *Don Juan* de Tirso de la

¹² *Instanciation* est un anglicisme couramment utilisé par les informaticiens, qui renvoie au mot *instance* signifiant *exemple, cas* ; l'instanciation généralise en quelque sorte l'opération, utilisée par les mathématiciens, d'affectation d'une valeur numérique à une variable : pour parler du réel, les informaticiens *instancient* des classes abstraites, décrétant ainsi que telle ou telle entité est un cas particulier d'une classe, elle-même reliée à d'autres classes par des hiérarchies de généralité et/ou des propriétés formelles, l'ensemble du dispositif constituant ce qu'on appelle une Ontologie (les ontologies prétendent ainsi décrire des pans de connaissances mondaines très utilisées en intelligence artificielle), parfois une *conception à objets* (une conception à objets est constituée de graphes d'héritage conçus pour donner lieu à des programmes informatiques par simple instanciation de paramètres clés).

Molina : l'ontologie du personnage peut-elle être radicalement modifiée à la fin de la pièce, qui correspond au moment de la mort du personnage principal ?

2° Cette conception traditionnelle du théâtre s'inscrit dans une approche formelle de la similarité reposant sur les ontologies. Dans cette approche traditionnelle du théâtre, la notion de similarité par les ontologies est centrale. Le metteur en scène règle chaque scène faisant unité en la considérant comme un exemple dans un ensemble de cas fournis par la littérature théâtrale. Expliquer un personnage à l'acteur qui le joue revient à le pointer dans l'ontologie proposée et à relier cette ontologie à celle d'autres pièces ou d'autres lectures de la même pièce par d'autres metteurs en scène, pour donner à comprendre par un exemple dit « similaire ». En généralisant, il s'agit d'une approche formelle, dans laquelle on représente l'exemple comme une instance d'une structure générale embrassant tous les cas, et on cherche les similarités en faisant varier l'instanciation. Cette approche présente l'avantage de fournir une explication du caractère « similaire à l'exemple » de la proposition, voire une mesure de distance: c'est par ce biais qu'un concept récapitulatif en *intension* peut être créé. Variante raffinée pour le cas où on disposerait de hiérarchies *a priori* de spécialisations/généralisation de concepts (Ontologies) : on recherche les similarités à un exemple en demeurant dans l'enceinte du concept, quitte à passer au concept plus général quand la quête est infructueuse. Ceci s'applique à bien d'autres activités que le théâtre, par exemple l'organisation de la vente de CDs dans un grand magasin de disques dont nous avons parlé précédemment.

3° En informatique, il existe une autre approche de la similarité : c'est l'approche typique de la *Fouille de données interactive*, dans laquelle on représente l'exemple comme une spécialisation de l'ensemble des cas, et où l'on cherche d'autres spécialisations voisines, mais sans disposer par avance d'une ontologie. L'utilisateur accepte de la façonner à sa main avec l'aide interactive de la machine, de manière *ad hoc*. Il s'agit d'une approche en extension : façonner une similarité revient à façonner une liste de contenus de forme similaire (des concepts – non langagiers – abordés en creux par leur capacité de détermination) par des opérations rectificatives successives mobilisant le calcul numérique et l'instanciation (du côté du système informatisé), en interaction interprétative avec des actions rectificatrices sur les contenus et leurs formes (du côté de l'utilisateur, provoqué par les propositions de la machine).

4° Que peut donner cette approche *Fouille de données interactive* au niveau de la mise en scène de théâtre ? Elle suppose l'introduction de l'ordinateur selon un mode de dialogue entre acteurs et machines. Une mise en scène peut-elle ne plus se conformer à une ontologie mais échapper à la spécification *a priori* en s'appuyant sur des interactions multimodales ? C'est le sens de la recherche menée sur le spectacle de théâtre intermédia *La traversée de la nuit*, sur le texte de Geneviève de Gaulle-Anthonioz, évoquant son emprisonnement au cachot du camp de Ravensbrück à la fin de la 2^{ème} Guerre Mondiale.

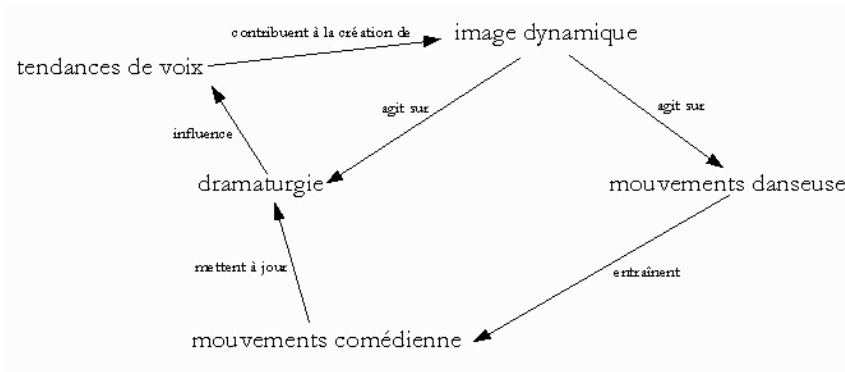


Figure 9. Les interactions entre acteurs Humains et artificiels

5° Le système des interactions multimodales dans *La traversée de la nuit* repose sur un système homme-machine « autarcique » : une comédienne, Valérie Le Louédec, disant l'intégralité du texte, une danseuse, Magali Bruneau, accomplissant un certain nombre de gestes inspirés du théâtre Nô et un ordinateur multimédia, acteur artificiel. L'ordinateur se manifeste sous forme d'images projetées sur un écran de fond de scène de très vastes dimensions (la comédienne et la danseuse en voient toujours au moins une partie sans se retourner), provoquant la réaction des deux comédiennes, notamment de la danseuse adaptant la réalisation de sa gestuelle aux mouvements et qualités de l'image. Or, les deux actrices sur scène constituent les deux versants - conscient et inconscient - du même personnage, selon les traditions du *shite* et du *waki* du théâtre Nô. Entraînée dans ses déplacements par la danseuse, la comédienne adapte elle aussi sa déclamation, sans compter les moments où elle regarde aussi l'écran. Pour boucler la boucle, l'ordinateur capte les états émotionnels de la voix de la comédienne¹³.

¹³ L'implémentation informatique du système Humain-Machine est fondée sur un réseau de neurones d'analyse de la voix en entrée et un système multi-agents générateur d'images en sortie. Le système informatique multimédia temps réel mis en œuvre est constitué en entrée d'un réseau de neurones destiné à reconnaître des états émotionnels dans la voix de la comédienne et en sortie d'un système multi-agents générateur d'images projetées sur l'écran.

Le réseau de neurones a été entraîné en mode supervisé pendant plusieurs mois par rapport à une liste d'états émotionnels que s'imposait la comédienne sur la lecture du texte complet. La voix en entrée est traitée phrase par phrase, chacune donnant lieu au calcul d'un vecteur de douze composantes : quatre d'entre elles concernent la prononciation des voyelles (formants), quatre d'entre elles représentent le caractère bruité de la voix et donc la prononciation des consonnes ; les quatre derniers paramètres s'attachent à la prosodie (courbe d'amplitude de la voix dans la phrase). Pour chaque vecteur présenté en entrée, le réseau de neurones fournit un état émotionnel « reconnu ».

Le système multi-agents permet la génération temps réel d'images projetées en fond de scène. Les agents sont comme des « colleurs d'affiches » dynamiques qui construiraient ensemble des images toujours renouvelées :

- Chaque agent possède un modèle psychologique de sensibilité (positive ou négative), qui varie selon les séquences de texte, aux états émotionnels du réseau de neurones. Il en résulte, en fonction de ce qu'indique le réseau de neurones, et en fonction des poids de sensibilité, une humeur qui conditionne leur « volonté » d'accomplir les tâches à mener ;
- Les agents coopèrent à un but qui est l'optimisation d'une fonction d'utilité de l'image ;
- Les agents se coordonnent dans l'exécution de ce but commun par rapport à l'état émotionnel reconnu par le réseau de neurones, par un mécanisme de compensation d'humeurs : ceux qui sont « d'excellente humeur » concèdent un peu de leur ardeur à ceux qui ont une humeur très négative ;

6° L'écran de fond de scène donne à voir une rétention de la voix de la comédienne, qui casse le caractère linéaire et markovien des interactions, en donnant une dimension rémanente à un médium particulier, la voix, en tant que porte des émotions différentielles. Ainsi la pièce comme collection d'interactions (microforme) est enchâssée dans la pièce comme collection d'images animées (macroforme).

4.3. Nouvelles conclusions et enseignements supplémentaires

Avec VIRTUALIS, Alain Bonardi et moi découvrons que la technologie permet de se passer des concepts mêmes qui lui ont permis d'exister, ou plus exactement de les déconstruire, au sens de Derrida. Ainsi, après même qu'elles aient subrepticement prescrit des organisations dans leurs méthodes de travail et de conception, les Connaissances moléculaires et cartographiées de Newell pouvaient être déconstruites. La notion laisse place à autant de scénographies/chorégraphies qu'il y a d'expériences à l'œuvre, dans un mouvement qui rappelle celui de la *concrétisation* au sens de Simondon (1989), l'innovation consistant à déconstruire ces Connaissances pour en liquider l'artifice, tout en continuant à mobiliser les outils que la notion dogmatique a permis de constituer.

Après l'Information et le *Rapport fonds/forme*¹⁴, c'est au tour des notions de *Connaissances* et de *Contenu des documents numériques* d'être mises en tension.

5. CONCLUSION

En revisitant nos expériences de conception de systèmes d'aide à l'interprétation de documents numériques, nous avons constaté que la proposition d'une description *a priori* de la connaissance, hors situation vécue, nous avait bien souvent laissé insatisfaits, et que nous lui avons préféré celle de glissement des situations, fondant une interaction Humain-Machine dans la durée, au travers de formes narratives, et permettant la constitution de collections inspirées, à l'intentionnalité mouvante.

Il s'agit maintenant de préciser ce mouvement, en opérant un bilan de la revue de systèmes avant de développer nos intuitions, pour finir par une tentative de déterminer la notion de Collection comme objet informatique (que nous pourrions alors seulement écrire avec une majuscule).

-
- Les agents communiquent entre eux deux à deux à période fixe en se transmettant leurs humeurs respectives ;
 - L'environnement des agents est constitué des états émotionnels reconnu par le réseau de neurones, du repère d'événement indiquant à quel endroit on se trouve dans la pièce et de valeurs propres à la séquence correspondante du texte et des indications d'un agent observateur indiquant les qualités de l'image globale construite.

¹⁴ Sur ce dernier point, la déconstruction avait commencé avec la notion de style dans les progiciels de traitement de texte, qui remettait en question l'ancienne dialectique, entraînant dans sa chute les préceptes scolastiques d'écriture ("dire qu'on va dire, dire et dire qu'on a dit" était la règle canonique pour rédiger une dissertation, caduque dès lors qu'on peut élaborer plan et contenu dans le même fil). Même l'ancestrale scolastique était tributaire du système technique papier/stylo ou rouleau/stylo.

5.1. Bilan de la revue de systèmes

Nous avons passé en revue un certain nombre de systèmes interactifs Humains-Machines que nous connaissons bien (on note H pour Humains et M pour Machines).

	collection	Connaissances, similarités	boucle d'événements	but assigné au système
LE MUSICOLOGUE	cursus = pièces musicales travaillées	1° descriptions éditoriale, pédagogique, solfégique, gestuelle et graphique des textes musicaux 2° grille d'évaluation 3° règles de progression dans le cursus	H pilote l'exercice M pilote l'offre de cursus	offre de continuation ancrée sur des traces formelles d'activité
CUIDADO	Play-list = pièces musicales écoutées	description éditoriale <i>et/ou culturelle et/ou acoustique des textes musicaux</i>	H pilote l'écoute M pilote l'offre de continuation par similarités	offre de continuation par provocation
CHEOPS	théâtre d'opération = situations critiques maîtrisées	1° description tactique des situations cartographiques 2° structures d'inférence des interprétations stratégiques	H pilote les propositions d'interprétation M fait des contre-propositions	offre de contre-propositions basées sur une vision rationnelle de la décision
VIRTUALIS	spectacle vivant = interactions scéniques	<i>Le rapport entre l'intonation de la voix et l'image d'écran n'est pas engramme au format de Connaissances</i>	H déploie le spectacle M réalise des rétentions	ouverture de l'œuvre

Figure 10. Récapitulatif des systèmes analysés

En confrontant les différentes approches de la similarité que nous avons repérées, nous avons privilégié la notion de *similarité située et interactive* :

- Similarité *formelle et machinique* (en intension) par variation d'une instantiation exemplaire (l'explication formelle du caractère exemplaire), l'exemple étant vu comme un particulier/prototype/spécimen d'un concept.
- Similarité *située et interactive* (en extension) par rectification/interprétation répétée de propositions heuristiques d'une similarité formelle, la forme des catégories étant affadée au profit d'agrégations préordonnées de singularités, l'explication procédurale résistant à toute tentative de récapitulation pertinente par une explication formelle.

Chemin faisant, nous avons mis en avant la notion de *collection*. À quoi correspondrait l'invention de la *Collection* en informatique ? A la déconstruction de la « prise de connaissances » par une « mise en collection », par le truchement d'un *parcours interactif*, de similarité située en similarité située ?

Après développement de nos intuitions sur cette notion inédite en informatique, nous concluons en essayant de caractériser en quoi elle pourrait correspondre à un objet nouveau au sens précis des informaticiens.

5.2. Intuitions autour de la notion de *Collection*

Depuis une quinzaine d'années et d'abord à notre insu, nous cherchons à subvertir les Connaissances de Newell pour parvenir à constituer des Collections.

La *Collection*, en alternative à l'ontologie formelle, apparaît comme un équilibre métastable émanant d'une tension productive entre structures catégoriques et singularités. A l'opposé du tout organique, la collection n'existerait que pour chacune de ses parties (à l'image de la figure du troupeau dans l'évangile selon Matthieu : « Chaque brebis du troupeau, prise à part, est aux yeux du berger plus précieuse à son tour que le reste du troupeau pris en bloc »), et contrairement à l'ensemble elle n'existe pas comme unité normative et égalisatrice.

Chaque objet ajouté à la collection (elle existe au travers d'une perspective permanente de déploiement) apporte son bagage de vécu et d'expériences intimes - de quête, d'acquisition, d'intégration - sujets à interaction avec les autres éléments de la Collection ; ainsi une Collection serait-elle constamment reconstituée, par le va-et-vient des objets la constituant et/ou par leur réagencement.

Par cette nouvelle dynamique les Collections, parce qu'elles sont ancrées dans le vécu et se déploient dans le temps, semblent offrir une nouvelle ampleur à l'interaction collaborative entre l'Humain et la Machine ; celle-là même qui manquait à la catégorisation *a priori* opérée par Newell avec le *Knowledge Level*. Les systèmes présentés plus haut en constitueraient une illustration pratique prometteuse.

Ainsi, depuis un système de *Connaissances* originellement biunivoques, statiques par leur représentation en Machine, et dynamiques par leur exploitation/interprétation par l'utilisateur, nous serions parvenus à faire tendre l'interaction Homme-Machine vers un dialogue Homme-Homme (par l'intermédiaire d'une Machine active dans l'interaction), et à affadir l'instanciation de traces statiques au profit de l'élaboration dynamique d'un parcours d'usage avec l'aide et les suggestions de la Machine, devenue interlocuteur (intelligent au sens du Test de Turing : elle fait rebondir le dialogue).

Ainsi les documents numériques ne *contiennent* pas de connaissances. Leur « prise de connaissance » est un processus élaboratif de Collection, qui vise concurrentement sa terminaison et sa continuation, les deux visées étant nécessaires ensemble parce qu'elles entretiennent leurs possibilités réciproques.

5.3. Légitimer le statut d'objet informatique prêté à la *Collection* ?

Si dans la vie courante, la collection se distingue de la liste, de l'ensemble, de la classe, de la série, du tas, du regroupement, de l'amas, du bazar et du vrac, mais aussi du tout organique, de la lignée et de la famille, ou encore de la cohorte et de la procession, c'est bien par le régime de sa donation.

La donation de la collection (sa réception au visiteur ou au collectionneur lui-même, que ce soit en acte d'acquisition ou même de recollection) apparaît

en effet sous les espèces paradoxales de l'impossibilité d'une donation comme un tout cohérent, hormis sous le régime réducteur de la gestion. Car de ce point de vue, même le fatras se donne comme un tout cohérent : les objets épars rejoignent le fatras à partir du prédicat « être différent », mais ils deviennent semblables dans un second temps en tant qu'ils ont en commun d'être différents, formant ainsi ce que Jean-Claude Milner appelle une classe paradoxale.

Autrement dit, on ne peut prendre une collection comme un tout cohérent qu'à condition de renoncer à ce qu'elle insiste pourtant pour offrir d'idiosyncrasique : l'effet « troupeau évangélique », à savoir l'impossibilité d'expérimenter autre chose qu'une brebis prise à part, toujours plus précieuse à son tour que le reste du troupeau pris en bloc.

Il s'ensuit que si on dispose d'un outil (informatique) d'aide à la gestion de collections, cet outil affecte bien la réception de la collection en présence dans la mesure où cet objet est condition de possibilité de l'effet « troupeau évangélique », mais qu'en aucun cas il ne prescrit directement les espèces singulières de sa donation paradoxale, qui résident tout entières dans l'objet courant pris à part du reste de la collection, au moment précis où il est pris à part, qui n'a aucune prétention à durer jusqu'à fixer le statut de la réception de la collection tout entière.

Ainsi, la collection s'avère manifester un régime de synthèse caractérisé par une susceptibilité à la reconstitution à partir du seul regard du berger (qu'il soit collectionneur ou visiteur) porté sur une seule de ses constituantes. Cette caractéristique distingue clairement la collection de la classe ou de la catégorie, dans lesquelles l'observation d'un prototype ou d'un exemple est typiquement incapable de préciser seule une reconstitution.

D'où la définition des Collections comme objets informatiques : considérés comme des listes ou des ensembles regroupant des objets en position synthétique d'être ensemble — (onto-chrono)logiques, synoptiques ou autres — au sein de l'environnement informatique à un certain niveau, ces mêmes objets sont considérés à tout moment comme étant susceptibles de reconstitution à un autre niveau du même environnement informatique. Cette schizophrénie de l'environnement est un trait caractéristique des outils informatisés d'aide à la constitution de collections ou d'aide à la navigation par les contenus dans des collections. Au bénéfice de l'utilisateur, tout puissant artisan des recollections singulières auxquelles il n'a de cesse de procéder.

Bibliographie

- Aristote (1993). *Métaphysique*. Paris, Garnier Flammarion.
- Bachimont, B. (1996). *Herméneutique matérielle et Artefacture : des machines qui pensent aux machines qui donnent à penser*, thèse de doctorat de l'École Polytechnique, 1996.
- Bonardi, A., Rousseaux, F. (2004). *A la croisée de l'informatique et du théâtre : similarité en intension vs en extension*. Conférence Internationale ARCo, Compiègne, décembre 2004.
- Bonardi, A., Rousseaux, F. (2001). *Interagir avec un contenu opératif : le projet d'opéra virtuel interactif Virtualis*. Revue d'Interaction Homme-Machine, numéro spécial « Interaction et Documents », Volume 2, n°1.
- Brachman, R-J. (1979). *On the Epistemological Status of Semantic Networks, Associative Networks*. New-York: Academic Press.

- Cardon, A. (2000). L'informatique, science ou technologie ? Un formidable défi pour l'intelligence artificielle ! *Bulletin de l'AFIA* n° 42.
- Chandrasekaran, B. (1986). Generic Tasks in Knowledge-Based Reasoning: High-Level Building Blocks for Expert System Design. *IEEE Expert*, vol. 1(3), 23-30.
- Clancey, W. (1993). Notes on Epistemology of a Rule-Based Expert System. *Artificial Intelligence* 59: 191-204.
- Davidson, D. (1993). *Actions et événements*. Paris, PUF Epiméthée.
- Davis, R. (1980). Metarules: Reasoning about Control. *Artificial Intelligence*, vol. 24, 347-410.
- Deleuze, G. (1968). *Différence et répétition*. PARIS, PUF.
- Dewey, J. (1993). *Logique, la théorie de l'enquête*. Paris, PUF.
- Enjalbert, P., Gaio, M. (2004). Actualité d'une approche sémantique du document numérique. Conférence Internationale sur le Document Électronique, La Rochelle, 22-28 juin 2004.
- Fink, E. (1966). *Le jeu comme symbole du monde*. Paris, Les éditions de minuit.
- Foucault, M. (1969). *L'archéologie du savoir*. Paris, Gallimard.
- Gadamer, H-G. (1995). Il nous faudra apprendre de plus en plus qu'autrui, lui aussi, nous considère comme un autre. *Le Monde*, page 2, 3 janvier 1995.
- Goody, J. (1987). *The Interface Between the Written and the Oral*. New York: Cambridge University Press.
- Heidegger, M. (1962). *Le principe de raison*. Paris, Gallimard, (Tel n° 79).
- Jacques, F. (1979). *Dialogiques, recherches logiques sur le dialogue*. Paris, PUF.
- Jorion, P. (2000). Le mathématicien et sa magie : Théorème de Gödel et anthropologie des savoirs. *Cahiers STP Maison des Sciences de l'Homme*.
- Kodratoff, Y., Tecuci, G., Rousseaux, F. (1987). DISCIPLINE: a LAS for Weak Theory Domains. *Cognitiva*, Paris, mai 1987.
- Lassègue, J. (1998). *Turing*. Paris, Les Belles Lettres.
- Leroi-Gourhan, A. (1964). *Le geste et la parole*. Paris, Albin Michel.
- Longuet-Higgins, H-C. (1962). Letter to a Musical Friend. *Music Review*, 244-248.
- Marquet, J-F. (1995). *Singularité et événement*. Krisis Million.
- Merleau-Ponty, M. (1969). *La prose du monde*. Paris, Gallimard.
- Meunier, J-G. (1996). La théorie cognitive : son impact sur le traitement de l'information textuelle. In *Penser l'esprit : des sciences de la cognition à une philosophie cognitive*, PUG.
- Newell, A. (1982). The knowledge Level. *Artificial Intelligence*, Vol. 18, 87-127.
- Nicolle, A. (2001). Science et technique, l'évolution des rôles, actes des Journées de Rochebrune, 2001.
- Pacher, F. (1997). Computer Analysis of Jazz Chord Sequences. *Contemporary Music Review*, janvier 1997.
- Pachet, F. (2000). A Taxonomy of Musical Genres, RIAO, Paris, avril 2000.
- Pachet, F. (2003). Nom de fichiers : Le nom, Actes du séminaire STP de la MSH Paris, 2003.
- Perrot, J-F. (1994). Des objets aux connaissances, Journée Méthodes objets et Intelligence Artificielle : Frontières, Ponts et Synergies, Paris RIA, juin 1994.
- Rastier, F. (1996). Représentation ou interprétation ? Une perspective herméneutique sur la médiation sémiotique. In *Penser l'esprit : des sciences de la cognition à une philosophie cognitive*.
- Rialle, V. (1997). Artefacture et prolongement cognitif de l'homme par l'ordinateur, colloque interdisciplinaire « les modèles de représentation : quelles alternatives ? », Neuchâtel, 1997.
- Ricœur, P. (1990). *Le conflit des interprétations*. Paris, Seuil.
- Ricœur, P. (1991). *Temps et Récit*. Paris, Seuil (Points Essais).
- Rosenthal-Sabroux, C., Rousseaux, F. (1996). *Systèmes informatisés d'aide au traitement des crises*, article « acquisition des connaissances, aide à la décision et gestion de crises », in *Gestion de crises et médecine des catastrophes*, dirigé par Renaud Vié Le Sage, Elsevier.

- Rousseaux, F. (1989). *LE MUSICOLOGUE, A Learning Apprentice System for Music Education*, Artificial Intelligence & Music, IJCAI, Detroit, août 1989.
- Rousseaux, F. (1995). *Contribution à une méthodologie d'acquisition des connaissances pour l'ingénierie des SIC : l'exemple de Cheops pour l'aide à la gestion de crises collectives à caractère géographique*, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, rapport de recherche LAFORIA, 1995.
- Rousseaux, F. (2002). *Vagabonds, pédants ou philistins : choisir en beauté (à propos de Thomas Mann et du test de Turing)*, « Art lyrique et art numérique : à propos d'une scénographie interactive de NORMA », *Cahier de l'Observatoire Musical Français*, Université Paris-Sorbonne Edition, direction Alain Bonardi.
- Rousseaux, F. (2003). *Knowledge Acquisition or Manifestation of the Thought - Cathedral Builders and Knowledge Acquisition Method Designers*, Knowledge Management and Philosophy, <http://sunsite.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-85/>, Luzern, 3-4 avril 2003.
- Rousseaux, F. (2002). Connaissances musicales et affinités électives : acquérir les premières pour actualiser les secondes. Journées francophones d'Extraction et de Gestion des Connaissances, Montpellier (France), 21-23 janvier 2002.
- Rousseaux, F. (2003). Informatique, simulacre et simulation. Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, Megève Rochebrune, janvier 2003.
- Rousseaux, F. (2004). *Collecting or classifying? - Intimacy Clarified: a Collector's Ritual*, Special Interest Group on "Philosophy and Informatics", Professional Knowledge Management International Conference, Ulm, octobre 2004.
- Rousseaux, F. (1997). *L'intelligence artificielle peut-elle se passer du représentationnalisme ?*, « Les modèles de représentation : quelles alternatives ? », Association transdisciplinaire Ferdinand Gonseth, Neuchâtel, septembre 1997.
- Rousseaux, F. (2002). Electronic Music Distribution and Content Indexing. International Conference on Music and Artificial Intelligence, Edinburgh, Ecosse, septembre 2002.
- Rousseaux, F., Bonardi, A. (2003-2004). "Music-ripping" : des pratiques qui provoquent la musicologie. *MUSICAE SCIENTIAE*, numéro spécial.
- Rousseaux, F., Bonardi, A., Zeppenfeld, C. (2004). Une mise en scène inspirée de la fouille interactive de données. Conférence Internationale sur le Document Electronique, page 205-112, La Rochelle, 22-28 juin 2004.
- Rousseaux, F., Pachet, F. (1997). La question des espaces dans le projet « La Partition Intérieure Interactive ». In *Espace en musique et en philosophie*, L'Harmattan, Paris, mars 1997.
- Rousseaux, F., Saoudi, K. (1991). Informatique musicale, pédagogie et communication. Revue de pédagogie musicale *MARSYAS* de l'Institut de Pédagogie Musicale, dossier n°20 « Informatique et pédagogie ».
- Saurel, P. (1998). *Nécessité des modèles en sciences cognitives : de la modélisation à la mise en parangon*, thèse de doctorat en épistémologie, janvier 1998.
- Simondon, G. (1989). *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris, Aubier.
- Turing, A. (1939). Systems of Logic based on Ordinals. *Proceedings of the London Mathematical Society*, n°45.
- Turing, A. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind* LIX, n°236, 1950 ; réédité dans les *Collected Works of A-M. Turing*, vol 3. "Mechanical Intelligence"; traduction française dans A-M. Turing, J.-Y. Girard, *La machine de Turing*, Paris, Seuil, 1995.
- Vaudène, D. (1992). *Une contribution à l'étude des fondements de l'informatique*, thèse de doctorat d'État, octobre 1992.
- Vignaux, G. (2004). La notion de collection : genèse, développements, valorisations, rapport interne CNRS du RTP 33 « Document et contenu : création, indexation, navigation », 2004.
- Vinet, H., Herrera, P. et Pachet, F. (2002). The Cuidado Project. Actes des conférences ISMIR, Paris, 200.

- Von Neumann, J. (1996). *Theory of Self-Reproducing Automata*, London and Urbana, University of Illinois Press; traduction française : *Théorie générale et logique des automates*, Paris, Champ Vallon, 1996.
- Von Uexküll, J. (1956). *Mondes animaux et mondes humains*. Paris, Denoël.
- Warhol, A. (1977). *Ma Philosophie de A à B et vice-versa*. Paris, Flammarion.
- Weizenbaum, J. (1975). *Raisonnement de l'homme, intelligence de la machine*. Edition de l'informatique.
- Wielinga, B., Schreiber, G., Breuker, J. (1992). KADS: A Modelling Approach to Knowledge Engineering. *Knowledge Acquisition*, Vol. 4(1), 5-54.
- Winograd, T., Flores, F. (1989). *L'Intelligence artificielle en question*. Paris, PUF.
- Zacklad, M., Rousseaux, F. (1996). Modelling Co-Operation in the Design of Knowledge Production Systems: The MADEINCOOP Method - An example in the field of C3I systems, Computer Supported Co-operative Work. *The Journal of Collaborative Computing*, 1-22.