

UN CAHIER DES CHARGES POUR LA MODÉLISATION D'AGENTS COGNITIFS AU SEIN D'UN SYSTÈME SOCIO-TECHNIQUE COMPLEXE

Violaine Prince

Professeur des Universités

Institut d'Enseignement à Distance

Université Paris 8

6 rue Edouard vaillant

93500 Saint-Denis

Résumé :

Pour développer des systèmes automatisés « évolués » et totalement intégrés dans leur environnement, nous proposerons de répondre aux trois questions suivantes :

1. comment peut-on définir de manière homogène un système et son environnement ?
2. Si on admet que c'est la notion d'agent qui est fondamentale et qui permet cette définition homogène, quelle est, parmi toutes les acceptions de l'agent, celle qui pourrait réaliser le plus clairement et le plus rigoureusement ce consensus ? Est-ce la notion d'agent à grain fin de l'IAD qui se calque au mieux sur le fonctionnement de la fourmi ou est-ce la notion, à gros grain, d'agent cognitif des autres sous-disciplines de l'IA admettant la variété individuelle ?
3. Quelles seraient les composantes, les propriétés et le fonctionnement de cet agent, comment peut-on le modéliser, et jusqu'à quel point répond-il à la condition de programmabilité ?

Mots-clefs : conception de systèmes d'information, modélisation cognitive, agents.

Abstract :

We define the issue of developing automated systems, both sophisticated and totally integrated in their environment, as an answer to the following three questions :

1. how can we homogenize the definition of a system and its environment ?
2. If we assume that an agent concept is fundamental and allows this homogeneous specification, which definition, among the various descriptions of an agent, could the most clearly and rigorously achieve this tradeoff ? Is it, for instance, the fine-grained agent of the Distributed Artificial Intelligence, that imitates at best the functioning of an ant ? Or is it the large-grained notion of a cognitive agent of the other subfields of AI, that allows for individual differentiation ?
3. What then would be the components, properties and functioning of this agent, how can we model it, and to what extent is it able to achieve the requirements of programmability ?

Key-words : Information Systems Design, Cognitive Modelling, Agents.

Introduction

La grande majorité des articles en informatique tend à présenter un modèle comme étant soit auto-défini (comme les systèmes formels et leur axiomatique propre) et à lui décliner ses propriétés, soit comme structure à instancier par une application, laquelle d'ailleurs suit l'énoncé du modèle. Cet article a un objectif contraire : il va rendre compte d'une modélisation qui a été issue des besoins, voire des insuffisances rencontrées en cours d'un travail tout à fait traditionnel de modélisation durant le développement. A un moment donné, il nous a été insuffisant de chercher une astuce pour combler un vide dans un modèle de représentation des connaissances, ou de rajouter une structure à celui d'un dialogue Homme-machine. De la même manière, nous ne ferons pas la nième version d'un système d'agents repiqué à plusieurs «générations» de recherches (la durée de vie «génération» dans une communauté informatique n'excédant pas les deux ou trois années) mais nous préférons proposer au lecteur une vision qui part tout simplement de la question suivante :

si aujourd'hui nous cherchons à développer des systèmes automatisés «avancés» et totalement intégrés dans leur environnement

1. comment peut-on définir de manière homogène un système et son environnement ?

2. Si on admet que c'est la notion d'agent qui est fondamentale et qui permet cette définition homogène, quelle est, parmi toutes les acceptions de l'agent, celle qui pourrait réaliser le plus clairement et le plus rigoureusement ce consensus ? Est-ce la notion d'agent à grain fin de l'IAD qui se calque au mieux sur le fonctionnement de la fourmi ou est-ce la notion, à gros grain, d'agent cognitif des autres sous-disciplines de l'IA et qui se calque à un fonctionnement admettant la variété individuelle ?

3. Quelles seraient les composantes, les propriétés et le fonctionnement de cet agent, comment peut-on le modéliser, et jusqu'à quel point répond-il à la condition de programmabilité ?

Ainsi c'est par une approche «cahier des charges» d'une modélisation des agents que nous souhaitons voir aborder le problème de leur intégration dans des systèmes dits socio-techniques complexes. On ne peut que se réjouir de voir apparaître une telle problématique dans la communauté scientifique. En effet, si l'on admet qu'un **système socio-technique complexe** est un «environnement» dans lequel des individus, des groupes sociaux, des processus à la fois technologiques et intellectuels coopèrent pour la réalisation d'un objectif, alors il est clair qu'il faut se donner les moyens de fouiller dans nos propres tiroirs ce qui peut nous éclairer pour répondre à la question 1 (et c'est ce que nous ferons dans la section 1). A partir de là, la nature et la granularité même des systèmes socio-techniques va nous imposer une catégorisation des agents allant du plus général au plus contraint, mais des agents qui vont être indubitablement de type cognitif, car si les agents-fourmi ont une popularité scientifique incontestée, ils ne sont que marginalement représentatifs de ce qui se passe dans un système complexe à échelle sociale. C'est pourquoi nous répondrons directement à la question 2 en présentant ce qui nous paraît être la véritable classe générique des agents de ces systèmes, en d'autres termes les agents cognitifs.

Si ces derniers sont modélisables in abstracto, seuls certains d'entre eux pourraient satisfaire aux conditions de programmabilité. **La programmabilité** est la capacité d'une description non seulement à être transcrite dans un langage de programmation, mais à fonctionner selon les attentes des concepteurs et des utilisateurs. On peut évaluer la programmabilité d'une modélisation en la programmant et en la testant, mais tout dépend du temps dont on dispose. Quand il s'agit de systèmes complexes, délicats, voire d'énormes volumes de code, il est préférable d'appliquer quelques heuristiques avant de se lancer dans une évaluation brutale. Dès lors, nous proposerons une solution (mais ce n'est pas la seule) d'agent cognitif programmable en section 3, et ce pour l'avoir testé. Ce genre d'agent reste très imparfait, parce qu'il est régi par des implicites dommageables, et c'est pourquoi nous conseillerons en conclusion d'investiguer des solutions dont les contraintes seraient différentes, et comme nous sommes en cours de recherche sur le domaine, nous pointerons rapidement les pistes que nous cherchons à explorer.

1. Les systèmes socio-techniques complexes et leurs systèmes d'«Information»

1.1 Les systèmes d'information

En France, l'acception de **Système d'Information** (SI) prenant une valeur de «classe de systèmes», et incluant aussi bien les objets que les acteurs du traitement l'information s'est concrétisée sous forme d'une étude pluridisciplinaire de l'*organisation de l'information* (J.-L. Le Moigne, 1973), organisation que la technologie informatique avait fondamentalement modifiée.

Dans Alquier et Prince (1990), nous avons tenté de montrer qu'il existait, d'un point de vue fonctionnel, une insuffisance du SI tel qu'il est encore actuellement dénoté. En effet, la base d'information du SI est souvent implicitement constituée par «ce qui circule» dans l'Organisation, c'est-à-dire l'information sollicitée par un *mouvement*, de quelle que nature que soit ce dernier. Or ce qui circule est déjà une faible partie de «ce que l'on sait», puisque les flux sont variables, et peuvent éventuellement dépendre de conditions externes ou internes modifiables par les agents.

Dès lors nous proposerons — au vu de l'évolution de l'informatique en tant que science de l'information contrainte par la technologie, et de ses rapports avec les disciplines connexes —, deux «variantes» à la définition de SI, et à celle d'agent (au sens général du terme).

1.1.1.Re-définition du Système d'Information

Le SI doit être vu comme l'image «informationnelle» d'un système socio-technique complexe qui est une Organisation. Cette image est elle-même un système socio-technique complexe, en ce sens qu'elle composée d'individus, de technologie, de groupes et de procédés, mais dont on ne considère que l'aspect à la fois informationnel et cognitif. Les autres aspects — sociaux, économiques, écologiques ... — ne seront pas traités par le SI.

Ce système possède une autre fonctionnalité : il définit une classe de systèmes dite **classe «Informationnelle»**. Nous y incluons toutes les applications, tous les développements, qu'ils soient informatiques ou non, qui visent à modifier d'une façon ou d'une autre l'image informationnelle de l'Organisation; ceux-ci sont appelés **systèmes d'information** (en minuscules) relevant de cette classe de systèmes. C'est à ces systèmes que nous pensons en nous intéressant à la notion d'agent, et plus particulièrement à une sous-classe comprenant les systèmes automatisés. Dans la mesure où tout développement d'une application informatique ne peut se faire qu'en fonction des agents du SI et va forcément devoir les modifier (par ajout, suppression ou modification)², alors nous chercherons à traquer cette notion d'agent depuis sa définition sociale globale, jusqu'à sa définition formelle locale aux applications programmables.

1.1.2.Notion générale d'agent

Nous appellerons **agents** toutes les entités, sages ou non, jouant un rôle dans SI (individus, groupes, systèmes informatiques et leurs accessoires (outils bureautiques, télé-communicants, etc.)

Il est important de savoir discerner des **agents simples**, c'est-à-dire individuels ou isolés, des **agents collectifs**, sachant que les savoirs individuels sont souvent assujettis à un processus de réunion. Or le savoir de l'agent collectif n'est pas le résultat d'une opération intègre de réunion, mais se développe comme le savoir propre de la collectivité. Ainsi Varela parle-t-il de de l'*Organisation qui existe en tant qu'agent d'elle-même*, et en tant qu'**entité cognitive** (Varela, 1989), c'est-à-dire possédant, manipulant, produisant et acquérant des connaissances. C'est bien ce savoir propre de l'Organisation qui est susceptible de transformer «ce que l'on sait» et «ce qui circule» en informations compréhensibles et utilisables. Dès lors, le SI actuellement conçu, et *a fortiori* le SI Automatisé, doit absolument s'étendre vers l'intégration de ces dimensions jusqu'alors négligées.

Par ailleurs, sont appelés **agents naturels**, les agents individuels ou collectifs entièrement humains, et **agents artificiels** les agents entièrement technologiques (programmes et/ou machines).

¹ c'était d'ores et déjà la vision de Le Moigne, op.cit., mais n'a pas été exploitée per se.

² Voir aussi Morand et Nicolle (1992) qui préconisent un regroupement d'entités hétérogènes, et qui furent assez précurseurs le domaine.

Les autres agents, comme les tandems homme-machine, sont appelés **agents mixtes**. En tant qu'entité ou agent collectif, le SI est un agent mixte.

1.2. Quelques conditions à respecter pour l'analyse, la conception et l'évaluation des systèmes

Tous les agents du SI seront considérés en terme de conception d'un système relevant de la classe «*Informationnelle*». En revanche, l'extension de ce système par le biais d'ajouts de systèmes cognitifs de traitement de l'information, c'est-à-dire des agents faisant preuve de sagesse, se fera selon une méthodologie tenant compte des nouveaux impératifs.

Tout agent du SI peut être considéré comme susceptible de traiter, produire, stocker, diffuser ou recevoir des données. Les **agents sages** (intelligents) admettent aussi bien les informations, les connaissances que les données. Actuellement encore, du fait de leur «*conscience*», seuls les agents naturels (individuels ou collectifs) sont susceptibles d'être détenteurs d'un savoir-faire. Nous définissons ici le terme de **savoir-faire** comme étant un ensemble particulier de connaissances sur lesquelles certaines des fonctions précédemment citées sont difficiles à réaliser³. Il est par exemple assez ardu pour un individu de diffuser le contenu de ses automatismes, ou de ses réflexes professionnels (Prince, 1992). Par conséquent, le savoir-faire, au sens strict du terme, demeure une partie inatteignable par les agents artificiels, dans l'état actuel des choses : en revanche une définition très restreinte de ce savoir-faire est susceptible d'être intégrée dans certains agents artificiels, une autre, plus complète, est possible pour les agents mixtes.

2. Agents cognitifs : modélisation générale

2.1. Définition

Les agents cognitifs sont, parmi les agents sages, ceux qui vont essentiellement agir sur et par leurs connaissances. Lorsqu'ils sont naturels, les agents cognitifs sont confondus avec les individus ou les groupes humains en situation rationnelle. Lorsqu'ils sont artificiels, ces agents sont les structures à gros grain de l'IA cognitive, c'est-à-dire des systèmes incluant des bases de connaissances et de faits propres, une capacité d'apprentissage, et une structure de communication modifiant leurs connaissances, et ce, par opposition aux agents programmes de l'IAD qui ne sont pas modifiés par leur communication et qui ne possèdent pas forcément de connaissances propres. Par ailleurs, les agents cognitifs sont obligatoirement individuellement différenciés (contrairement aux agents fournis qui sont tous identiques au sein d'une même classe) et peuvent se spécialiser ou non dans la résolution d'une tâche ou d'un problème.

Pour définir un agent cognitif sur le plan de la modélisation, nous proposons de spécifier les aspects suivants :

- la composante rendant compte des conditions de fonctionnement : qu'est-ce qui est traité ou produit par l'agent
- la composante rendant compte des processus de fonctionnement : d'une part la dynamique externe, c'est-à-dire comment l'agent échange avec son environnement et le modifie, et la composante interne, c'est-à-dire comment l'agent est modifié par ce qu'il a traité et reçu de son environnement et de sa propre gestion du temps.

2.2. Modèle des composantes structurelles de fonctionnement, ou modèle DISC

Le premier modèle que nous présenterons d'un agent cognitif est dit *modèle graphique statique*. dénotant la structure et donc les conditions de fonctionnement. Il montre la répartition des quatre éléments de la cognition ; les données, les informations, les connaissances et le savoir-faire. Il est résumé dans la figure 1.

L'élément perçu, émis ou reçu par l'agent, est la *donnée*. Le résultat de l'interprétation de la donnée est l'*information*. Ce sont les deux composantes *émergentes* du processus cognitif. C'est pour cela que, lorsque l'on parle de système d'information, on court-circuite, dans le langage, toute la partie interne qui a servi de passage ou de transformation entre données et information. En bonne

³ Une définition opératoire plus précise est donnée dans la section suivante, mais il faut savoir que ce n'est pas une définition in abstracto du savoir-faire. Elle est purement locale aux besoins exprimés dans le modèle.

vision systémique, le système est surtout perçu par ses entrées et ses sorties. Dans le modèle graphique statique, données et informations sont placées côte à côte, pour rendre compte de leur émergence au niveau du monde opérationnel du système socio-technique.

Lorsque l'on souhaite rendre compte totalement des conditions structurelles de cette transformation, il faut adjoindre aux deux premières composantes, deux autres, qui servent à la métamorphose de la donnée en information, ou au contraire, à la matérialisation de l'information en donnée. Ces deux composantes sont elles-mêmes modifiées durant le processus, puisque l'objectif de l'opération informationnelle peut consister en l'augmentation de la base de l'une ou l'autre. Dans notre modèle statique, la première de ces composantes «Immergées» est la **base de connaissances**. Utilisée en amont ou en aval, enrichie ou complétée, pouvant receler parfois des incohérences, ou être inefficace face aux faits, la base de connaissances compose le patrimoine reconnu et reconnaissable de l'agent cognitif, qu'il soit entité simple (agent naturel ou artificiel) ou entité complexe (groupe d'agents, voire l'Organisation toute entière).

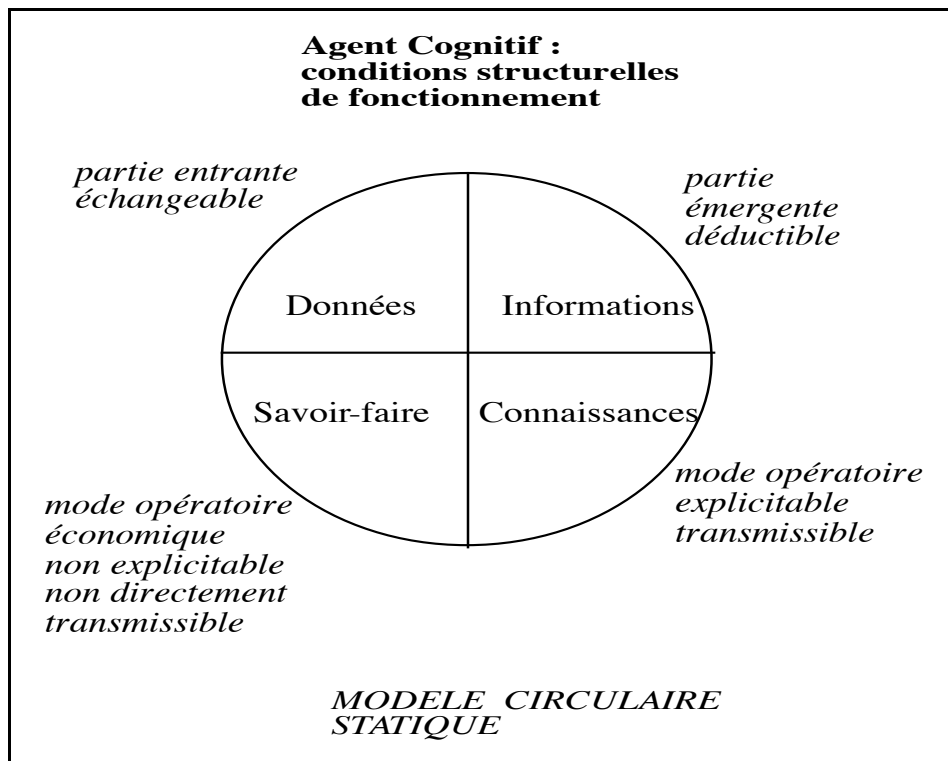


Figure 1. Le Modèle Données, Information, Savoir-faire et Connaissances (DISC).

La deuxième composante est le savoir-faire, qui optimise le coût de l'opération cognitive lorsqu'il existe, et qui peut s'enrichir au fur et à mesure de l'expérimentation, c'est-à-dire, au fil des opérations cognitives qui sont soumises à l'agent ayant à les exécuter. Le savoir-faire est aussi un élément immergé, et son rapprochement volontaire, dans notre modèle, de la partie matérielle, c'est-à-dire les données, montre que nous le considérons comme un processus de matérialisation ou de sublimation à qualité très intuitive. Le savoir-faire est une des composantes de la cognition qui est la plus inscrite et modifiée dans le temps, et nous déplorons que, dans de nombreux modèles de représentation des opérations cognitives, la dimension temporelle soit en quelque sorte effacée, comme si elle n'avait eu aucun impact sur l'ensemble du système. Le savoir-faire correspond au patrimoine «traditionnel» (au sens des coutumes et des us) de l'agent cognitif, avec toute une possibilité d'évolution, ce que n'implique pas forcément la notion de tradition, tant on la sent rigidifiée par un code comportemental : les habitudes importent une forme d'inertie et empêchent le potentiel évolutif, qui provient de l'apprentissage par expérience, de se matérialiser. C'est une carence possible de la composante savoir-faire, et il ne faut pas la confondre avec une propriété intrinsèque.

Le modèle DISC de la figure 1 peut être employé sous différentes formes. Soit de manière dynamique externe pour rendre compte des mécanismes d'acquisition ou de production de données,

soit de manière plus interne, où ces données, devenues informations, viennent enrichir le patrimoine cognitif et le savoir-faire des agents, qu'ils soient naturels ou artificiels. L'utilisation du modèle se fait en général par une instanciation de sa partie dynamique qui est représentée dans la figure 4, et de sa dynamique interne, (figures 2 et 3), matérialisée par les processus de compréhension et de production.

2.3. La dynamique externe de l'agent cognitif : compréhension, production

L'agent naturel peut faire appel au patrimoine cognitif, au savoir-faire individuels ou collectifs, généralement aux deux variétés dans une proportion variable, pour réaliser la transformation des objets externes acquis (données) en objets internes (informations, connaissances, savoir-faire) ou inversement.

2.3.1. Acquisition et compréhension : une sélection par compatibilité

L'agent est souvent inondé de données en provenance de l'extérieur, qu'il ne traite pas obligatoirement toutes ; il existe une opération de tri qui est effectuée, en fonction de deux critères : d'une part ce que l'agent sait déjà et donc quelles données il est capable de traiter ; et ensuite en fonction de ses *but*s. Les *but*s d'un agent sont eux-mêmes des connaissances qui peuvent intervenir en amont du processus de transformation, puisqu'ils sont au sein du processus de sélection des données pertinentes. Beaucoup de données acquises ne sont ainsi pas transformées. Cela, parce que la notion d'utilité, liée à la rationalité de l'univers informationnel, empêche parfois un certain nombre d'opérations de compréhension, dans la mesure où celles-ci ne sont pas nécessaires.

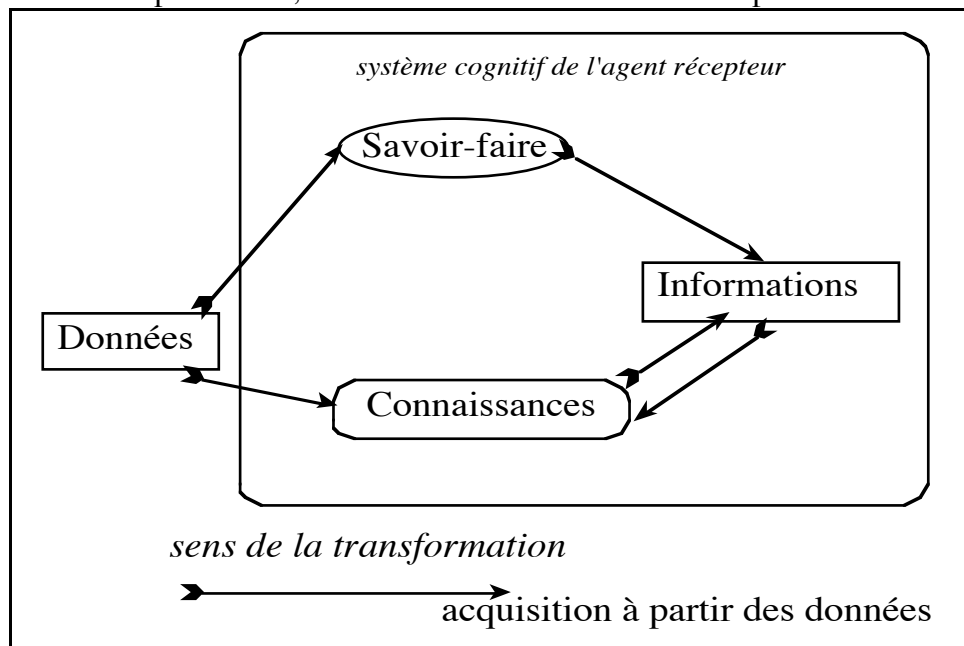


Figure 2. Compréhension.

La **compréhension** est un processus de transformation des données en informations, encore faut-il que ces données aient été considérées comme compatibles avec le système cognitif de l'agent qui reçoit ces données (donc sélectionnées en **acquisition**).

Nous admettons que la notion de *compréhension* n'est pas la même pour un agent artificiel que pour un agent naturel, dans la mesure où, pour le premier, il n'y a pas de réflexivité, c'est-à-dire qu'il ne s'agit pas d'une opération sur laquelle il peut faire porter sa réflexion, sa conscience, ou ses sensations

Néanmoins nous conserverons ce vocable dans son acception opérationnelle, c'est-à-dire le sens données vers informations, même si la signification des informations est irrecevable en tant que concept. Acceptons, par convention, que la compréhension opérationnelle, dans un système cognitif de traitement de l'information comprenant des agents artificiels, est le processus dynamique de transformation cité plus haut, sans aucunement préjuger des effets de ce processus sur l'agent.

2.3.2. Production

La **production**, ou génération, est le processus réciproque de la compréhension. Les données sont produites, par un agent émetteur, grâce à son stock existant de connaissances, d'informations et de savoir-faire, en fonction des objectifs informationnels inscrits dans sa trajectoire d'agent. Certaines de ces données sont à usage interne, d'individu à individu, de programme à programme, de groupe à groupe.

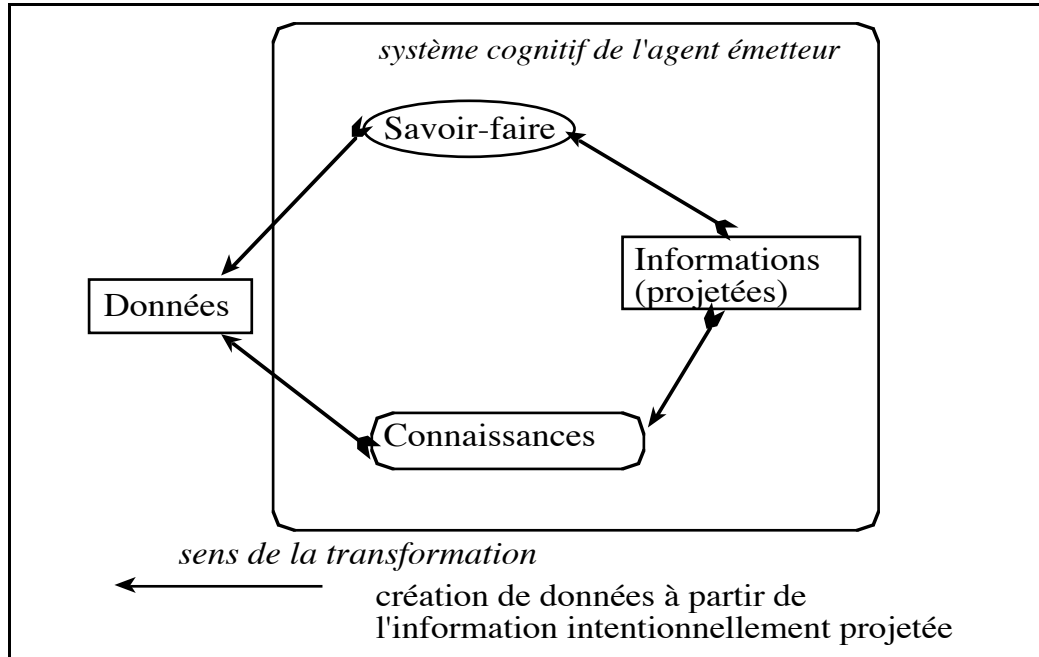


Figure 3. Production.

D'autres sont à usage externe et leur forme même, le langage dans lequel elle seront exprimées, la structure de leur organisation syntaxique dépendra de ces objectifs informationnels qui ont présidé à leur production. Forme et fond des données produites deviennent forme et fond d'un message émis par l'agent.

Les finesses de compréhension individuelle et collective, respectivement de la production, ne sont pas identiques, pas plus qu'un groupe ne se comporte comme la somme de ses individus composants.

2.4. La dynamique interne de l'agent cognitif

Compréhension (ou intégration des données en information) et production ont des effets sur le stock même des connaissances et du savoir-faire qui sont en place dans l'organisation. En effet, il existe une boucle de rétroaction des processus de compréhension et de production vers la "mémoire" ou le patrimoine qui ont servi à les alimenter. Celle-ci est mise en évidence dans les figures 2 et 3 puisque la transformation est à double sens : on a effectivement un système doublement bouclé.

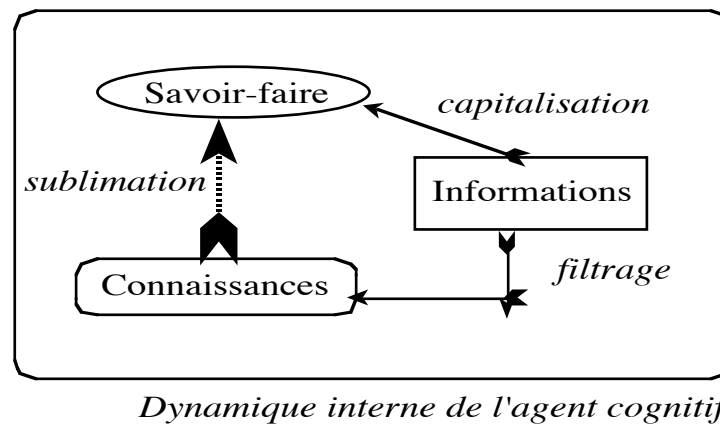


Figure 4. Les principales opérations de la dynamique interne de l'agent.

2.4.1. Le filtrage

De nombreuses informations, qui sont des données interprétées, ou comprises, ne se transforment pas nécessairement en connaissances et en savoir-faire. Tout dépend de leur pertinence vis-à-vis du système cognitif et du patrimoine de l'agent. Seule une partie des informations est transformée, en résonance avec les buts informationnels de l'agent. Celui-ci va, en utilisant son patrimoine cognitif et son savoir-faire jusqu'à décider de la forme même des données, de leur organisation syntaxique tout autant que de leur choix sémantique.

2.4.2. La capitalisation

Certaines informations sont souvent des «pointeurs» qui lient expériences, conditions d'occurrence et résultats. Ainsi, les agents cognitifs en particulier les agents «inconscients» évoluant sur une trajectoire temporelle et modifiant constamment leurs connaissances vont tenter de réduire le coût cognitif de l'apprentissage : la bonne méthode est une méthode connue en informatique. Plutôt que de stocker tout un ensemble de données de façon redondante, on stocke l'adresse d'une occurrence de ces données. Les structures mémorielles humaines n'utilisent pas autrement l'analogie de situation : l'information permet la capitalisation de l'expérience et aide à engendrer le savoir-faire au sens littéral.

2.4.3. La sublimation

Le processus de capitalisation n'agit pas seulement sur les informations, il transforme aussi les connaissances : la création de raccourcis dans les arbres cognitifs est elle-même une méta-connaissance, plus courte à dérouler que la totalité de l'arborescence. A l'extrême, les fonctionnements cognitifs humains (ce sont les seuls à le faire pour l'instant) en arrivent à supprimer même la totalité du chemin pour ne garder que les entrées et les sorties, c'est-à-dire à traiter immédiatement les données. Les connaissances ainsi épurées se retrouvent complètement «brûlées» : il ne reste rien de leur format, ni de leurs structures d'inférence. La connaissance, mainte fois répétée, s'est transformée en quelque chose qui n'a plus un format cognitif mais qui ressemble davantage à une «réaction» face à un stimulus ; c'est le savoir-faire opérant, avec tout ce qu'il a de risqué, car on peut l'appliquer parfois sur de mauvais paramètres et obtenir des résultats catastrophiques, vu qu'il ne permet pas le temps de la vérification cognitive.

2.5. L'apprentissage

Le système qui décide de conserver en stock les informations acquises (filtrées en connaissances ou capitalisées en savoir-faire) a réalisé un processus d'**apprentissage**. L'apprentissage doit alors être considéré comme une opération à la fois externe (compréhension de données capturées) et interne.

Pour une base de connaissances d'un système artificiel, l'acquisition de nouveaux faits vient naturellement augmenter l'ensemble cognitif. Cela peut être de nouvelles heuristiques, de nouvelles clauses (que celles-ci soient sous la forme de l'instance d'un schéma de relation ou de clauses de Horn), éventuellement un nouvel algorithme (connaissance procédurale). Dans les systèmes

naturels, le savoir-faire est enrichi par le processus de compréhension de même que les connaissances, lorsque les informations sont elles-mêmes transformables en règles de savoir, ou faits dont il faut tenir compte.

2.6. Conclusion

Ainsi, lorsque l'on observe les divers mouvements entre les quatre éléments, on s'aperçoit de leur caractère indissociable à tout moment, et quelle que soit la chaîne sur laquelle on concentre l'attention, les quatre interviennent d'une manière ou d'une autre, car ils comprennent des sous-variétés et des types différents qui les rendent présents lors du déroulement d'un mécanisme complexe lié à l'information. Cela explique pourquoi le modèle DISC ne fait pas référence aux flux : ces derniers sont trop omniprésents pour être figés dans un modèle. Cependant, il reste important de savoir distinguer entre les différents éléments du quatuor informationnel, car la confusion entraîne des incapacités méthodologiques.

3. Agents cognitifs : modèle à caractéristiques programmables

Les agents cognitifs sont une sous-catégorie particulière des agents sages, qu'ils soient individuels ou collectifs. A l'intérieur de cette catégorie, qui a le bon goût d'être facilement modélisable sous forme descriptive, nous ne nous intéresserons qu'aux agents artificiels puisque c'est pour eux que nous cherchons à réaliser ce cahier des charges.

Au sein des agents artificiels, nous restreindrons notre propos aux systèmes logiciels : en effet, nous n'avons pas compétence pour les systèmes matériels qui relèveraient alors d'une vision robotique. Si nous voulons maintenir la compatibilité entre ces agents cognitifs logiciels et leurs congénères de nature différente, nous sommes tenus d'examiner les conditions de programmabilité du modèle DISC, et des processus relevant de la dynamique externe aussi bien qu'interne (compréhension, production, filtrage, capitalisation, sublimation et apprentissage).

3.1. Programmabilité

La modélisation descriptive n'est pas une condition de programmabilité. Pour atteindre cette dernière, il faut se rapprocher de la formalisation, mais pas n'importe laquelle. La formalisation logique est une condition suffisante de programmabilité dès lors qu'il s'agit de logique des propositions ou de logique du premier ordre. Les problèmes relevant de la logique du second ordre ou au-dessus, comme la représentation du langage naturel, ne sont pas directement programmables (ils sont «*partiellement* programmables», mais c'est un concept que nous développerons dans un autre travail).

Nous avons défini rapidement en introduction la programmabilité d'un modèle, de manière générale, en disant qu'il fallait, premièrement, qu'il soit codable dans un langage de programmation, et deuxièmement, que son codage réponde à l'attente de l'utilisateur et du concepteur. L'expérience acquise en matière de génie logiciel et de génie cognitif tend à montrer que les systèmes qui veulent rendre compte in extenso de la pratique humaine ne sont pas programmables. Notre «*savoir-faire*» en matière de développement va concentrer l'hypothèse de programmabilité sur une des composantes du modèle DISC, la composante «*connaissances*». En effet, les données sont d'ores et déjà formatées, et celles qui ne le sont pas ne peuvent être sélectionnées par notre agent. Les informations, qui sont les données interprétées, seront soit stockées dans le système artificiel et relèveront alors de connaissances factuelles ou comportementales, soit non conservées et disparaîtront de la trajectoire du système. Reste la composante «*savoir-faire*» qui suppose, dans notre vision de cette notion, l'existence d'une «*conscience*» évaluatrice : bien que les recherches en IA tentent aujourd'hui de se poser la question de la modélisation de la conscience chez des agents logiciels, nous n'en sommes pas encore arrivés au point où cette dernière relève entièrement du paradigme de programmabilité.

3.2. Définition de l'agent cognitif formel

En examinant la composante «*connaissances*», nous avons cherché à en spécifier le contenu. On peut se donner plusieurs solutions en matière de formalisme, sachant que le formalisme est une pré-condition à la programmabilité, mais nous avons choisi personnellement le paradigme des

systèmes logiques formels, en se réservant d'y appliquer la contrainte de la logique du premier ordre (éventuellement modalisée), en ce qui concerne son fonctionnement.

Nous définissons donc un **agent cognitif formel** comme un système artificiel (à vocation logicielle) possédant un système DISC réduit aux trois composantes «Données, informations, connaissances» et dont la composante connaissances est programmable sous forme d'un système logique formel relevant de la logique du premier ordre. Dans la mesure où c'est cette composante qui va receler les propriétés de l'agent, nous chercherons à la modéliser en détail.

3.2.1. Modèle structurel de fonctionnement : schéma récursif DISC

La particularité du modèle DISC est qu'il peut être récursif. En réappliquant le même schéma à la composante «Connaissances» du système, nous allons définir :

- les connaissances sur les données et leurs format
- les connaissances permettant de produire de nouvelles connaissances
- les connaissances produites
- les formalismes choisis et leur «Performance» (en vue de l'évaluation du système lors de sa mise en œuvre)

Pour pouvoir sélectionner des données, il faut être en mesure de les reconnaître : dans un système formel on appelle cela le vocabulaire du système. Pour un agent cognitif naturel, c'est aussi sa couverture linguistique, ce qu'il est en mesure d'interpréter. La base de faits, le réseau sémantique, l'organisation du modèle du «monde» ou de l'application relèvent de la compétence de notre agent, **compétence** qui sera dite **lexicale**.

L'agent étant intelligent, il possède des **modes d'inférence**, la déduction logique puisqu'il est logique, mais aussi éventuellement quelques axiomes localement inductifs tels que la généralisation de classe, ou abductifs tels que l'appariement. C'est ce que nous avons nommé les connaissances de production dans la figure 5. Lorsque l'agent reçoit de nouvelles données qu'il arrive à interpréter, il va les engranger dans deux «compartiments» possibles : soit ces données sont des connaissances factuelles et elles enrichiront sa compétence (nouveau noeud dans le réseau, nouvelle instance d'une classe...) soit elles sont de type «Règles de production» ou stratégies, et viendront enrichir la base d'inférences. On remarquera que nous décrivons rigoureusement le fonctionnement des systèmes à base de connaissances : effectivement, nous cherchons à généraliser notre modèle, et il est heureux que ces systèmes relèvent du paradigme que nous espérons promouvoir.

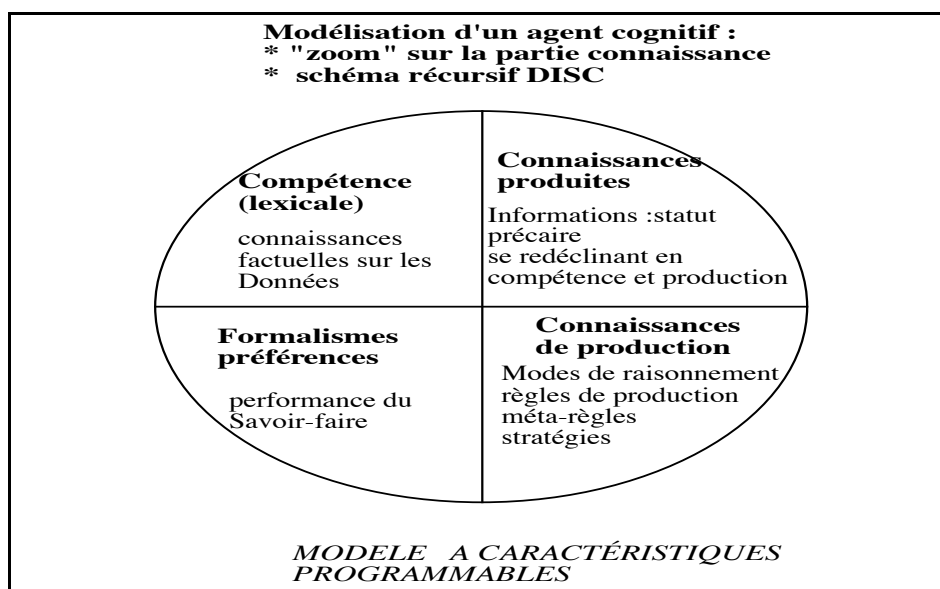


Figure 5. Les principales sous-composantes de la partie «Connaissances».

Là où nous pensons avoir ajouté un élément qui ne figure pas dans les fonctionnements décrits, c'est la quatrième composante. En effet, dans les systèmes complexes, il va falloir s'attendre à une hétérogénéité des formalismes, et des formats préférentiels de chaque agent. Le langage unique, pas plus que l'agent taillé sur un patron unique ne sont à envisager. Dès lors, il fait savoir adjoindre à

l'agent des renseignements sur ses formalismes, ses propres procédures d'optimisation (algorithmes spécifiques) puisque les notions d'évaluation d'agents et de communication entre agents hétérogènes doivent impérativement être «**prévues**» lors de la conception du modèle. D'une certaine manière, nous décrivons dans cette composante le «**savoir-faire**» cognitif de l'agent (et non pas son «**savoir-faire**» appliqué au monde). Un agent pourra être dit «**robuste**» ou «**tolérant**» s'il accepte et traite des données corrompues, ou multi-format, ou il sera dit «**performant**» s'il réalise ces traitements avec rapidité, quitte à ce que les résultats soient dégradés. Ces renseignements, souvent implicites quand on programme un agent, et qui ne figurent que dans les rapports d'accompagnement, doivent à notre avis être stockés directement dans la représentation du modèle cognitif DISC de l'agent.

3.2.2.Exemple de modèle réduit aux conditions nécessaires

L'agent cognitif formel décrit précédemment, qui est lui-même une solution parmi plusieurs, peut se redécliner en une famille de sous-modèles. Dans l'exemple fourni en figure 6, nous avons cherché à optimiser le contenu du modèle DISC. Nous avons décrit les composantes qui seraient «**nécessaires**» au fonctionnement normal du modèle, c'est-à-dire permettant les processus cognitifs de compréhension, production, filtrage, capitalisation et apprentissage.

Il est nécessaire que le système possède un lexique qui définit l'étendue de sa couverture. En revanche, il n'est pas utile de représenter les «**connaissances produites**», quart supérieur droit du DISC, puisque celles-ci n'ont pas de statut en soi.

Ensuite, nous avons appliqué un principe d'optimisation sur les deux composantes dynamiques du système. Les modes d'inférence chercheront essentiellement à représenter sans redondance et de la façon la plus performante possible la fonction de **traitement** des données et **d'augmentation** des connaissances. La composante du quart inférieur gauche, qui représentait jusque-là la spécificité absolue de l'agent, est consacrée aux formats et protocoles régissant les **structures** de données acceptées, et l'optimisation de la **représentation** des connaissances. En effet, tous ceux qui ont développé des systèmes à base de connaissances savent exactement que le choix d'un formalisme qui serait adéquat pour l'inférence, se révèle coûteux pour les réseaux sémantiques (ou «**ontologies**» comme on les appelle aujourd'hui puisqu'on ne sait gérer que des arborescences) ou le modèle du monde. Il faut donc non seulement choisir des formalismes adaptés à chaque type de connaissance, mais il faut maintenir la compatibilité entre tous ces formalismes au **moindre coût**.

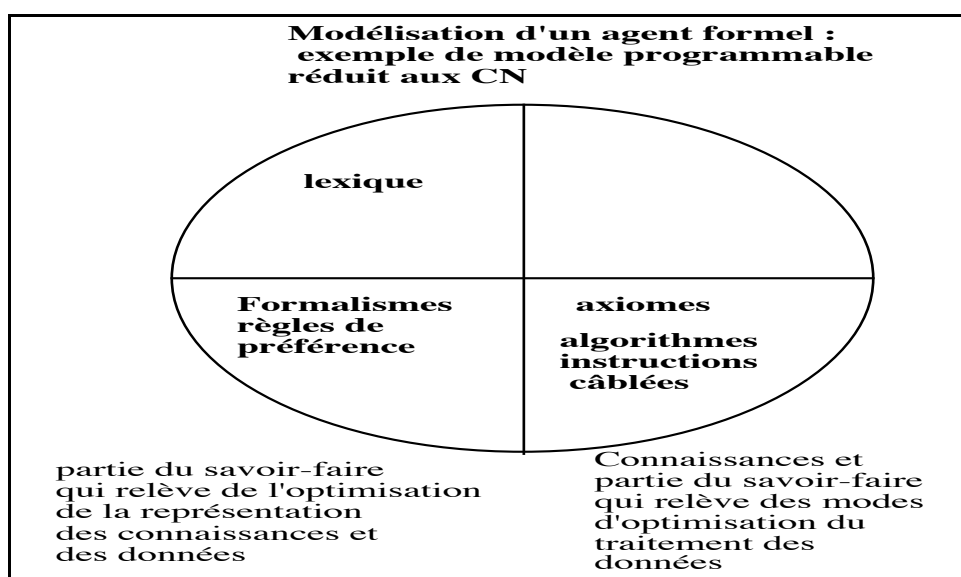


Figure 6. Une représentation simplifiée du schéma de la composante cognitive.

Conclusion

Dans cet article nous n'avons pas cherché à décrire une application d'un modèle d'agent existant, mais nous avons tenté d'inventorier les différentes composantes d'un cahier des charges répondant aux impératifs d'une modélisation la plus homogène possible d'objets ou d'entités

intrinsèquement hétérogènes, mais devant collaborer à la réalisation d'une tâche. Aborder le problème sous cet angle nous a infailliblement menés à définir, en s'inspirant à la fois de la définition sociologique d'agent, et d'une de ses multiples acceptions considérées en informatique, une notion générale d'agent, que nous avons raffinée successivement tout au long de ces pages jusqu'à arriver à ce que nous appelons un agent programmable. Ce raffinement s'est fait par spécialisation (recherche de sous-classe) et non pas par description de variété. Ainsi, il est possible de définir une hiérarchie de modèles d'agent, allant du programmable, au formalisable, au modélisable, au décrit, par ordre décroissant de contrainte.

Cependant, toutes ces classes héritent des propriétés des agents sur lesquels nous nous sommes focalisés, c'est-à-dire les agents cognitifs, à gros grain, différenciés individuellement, capables de «compréhension» (et nous avons défini ce terme), de génération de connaissances, et d'apprentissage. La différenciation individuelle (même lorsqu'il s'agit d'agents collectifs) — co-produite par le modèle de chaque agent aussi bien que par les données fournies par son environnement, donc par l'expérience — est gérée grâce à une dynamique interne de filtrage et de capitalisation. Elle atteint son «paroxysme» dans les procédures mises en place par l'agent pour optimiser son fonctionnement et c'est ce que nous avons appelé le savoir-faire, en s'appuyant sur le sens littéral de ce terme. En introduisant la notion d'optimisation comme constitutive de la modélisation d'un agent, nous avons cherché à rendre compte de l'évaluation des systèmes, non pas a posteriori comme cela se fait souvent, mais a priori. Enfin, en allant jusqu'à spécifier des agents programmables (qui ont été en réalité «subsumés» à partir de programmes applicatifs préalablement réalisés), nous avons tenté de montrer que notre cahier des charges contient d'ores et déjà des solutions techniques.

Cependant, nous ne cacherons pas que la modélisation par conditions nécessaires n'est pas à notre avis la meilleure, puisqu'elle suppose forcément un effort de clarification des implicites ab initio. Aussi cherchons-nous aujourd'hui à réaliser une modélisation par conditions suffisantes, une modélisation qui, partant d'une représentation minimaliste, chercherait à utiliser le temps non seulement pour augmenter la base de connaissances, mais pour générer toute partie du modèle DISC susceptible de résulter d'un processus convergent.

Bibliographie

- ALQUIER A.M.& PRINCE V. 1990 «Cognitive Modelling of Knowledge Dynamics in Automatized Information Systems.» Actes de Cognitiva-90 vol.2, Pp.561-569. Madrid, Espagne.
- LE MOIGNE J.L. 1973 *Les systèmes d'Information dans les Organisations*. Presses Universitaires de France. Paris.
- MORAND B.& NICOLLE A. 1992 «Agents, acteurs et ressources abstraits : un modèle orienté représentation des connaissances pour les systèmes d'information.» Rapport technique du LAIAC n° 92-5. Université de Caen.
- PRINCE V. 1992 «L'automatisation de l'expertise peut-elle rendre compte des automatismes des experts?» Revue Internationale de Systémique, n° special «Connaissances explicites vs connaissances implicites», vol 6, n° 1-2. Pp. 159-166.
- PRINCE V. 1996 *Vers une informatique cognitive dans les organisations, le rôle central du langage*. Editions Masson, Paris. 190 p.
- VARELA F. 1989 *Sciences de la cognition*. Editions du Seuil, Paris.