

# Cognition de la décision : intérêts et limites de l'intelligence artificielle

## *Cognition of Decision : Interest and Limits of Artificial Intelligence*

**Bernard ESPINASSE**

GRASCE UA CNRS 935, Université Aix-Marseille III, Centre Forbin, 23 Cours Gambetta, 13627 Aix-en-Provence, Cedex 1, France, Tel: (33) 42 96 14 96.

---

*RESUME : L'intégration de techniques nouvelles d'intelligence artificielle dans la réalisation de systèmes d'aide à la décision nous conduit à aborder la décision avec une approche plus orientée vers les sciences de la cognition. Dans une première partie nous présentons tout d'abord un nouveau paradigme plus cognitif de la décision dont le principe de cohérence, le mécanisme de l'équilibration, tiennent une place fondamentale. Nous proposons ensuite un modèle pour l'étude des processus décisionnels percevant ces derniers en tant que processus cognitifs d'acquisition et d'organisation de connaissances d'un décideur face à une situation problématique (fondements piagetiens). Dans une seconde partie nous essayons d'estimer dans le cadre de ce modèle, la nature de la contribution qu'il est dès à présent raisonnable d'espérer de l'intégration de techniques d'intelligence artificielle dans la conception de nouveaux systèmes d'aide à la décision, dans l'identification, la formulation et la résolution de problèmes. Dans une dernière partie, nous tentons de définir les limites de cette contribution à la cognition de la décision, limites tant conceptuelles que techniques, liées à la formalisation, aux représentations et traitements symboliques des outils classiques de l'intelligence artificielle. Limites, que peuvent faire reculer de nouvelles voies de recherches que l'on expose.*

*MOTS-CLES : décision, cognition, formulation de problème, résolution de problème, systèmes d'aide à la décision, constructivisme, intelligence artificielle, connexionnisme*

*ABSTRACT: The integration of new artificial intelligence techniques in the realisation of decision support systems needs to abord decision with a more cognition sciences oriented approach. In the first part we present a more cognitive paradigme of the decision where the coherence principle and the equilibration mechanism have an important place. Then, we propose a model for the study of decision making processes. In this model where these processes are considered as knowledge acquisition and organization processes for a decidor facing a problematic situation (Piagetians foundations). In a second part, we try to estimate with this model, the nature of the contribution which we now may expect from the integration of artificial intelligence techniques in the design of new decision support systems, in problem identification, formulation and resolution. In a last part, we try to define conceptual and technical limits attached to the formalisation, symbolic representations and processes of artificial intelligence classical tools. For pass these limits we suggest new research ways.*

*KEY WORDS: decision, cognition, problem finding, problem solving, decision support systems, constructivisme, artificial intelligence, connectionism*

---

## **1 Introduction**

L'assistance que l'on pourrait attendre des systèmes d'aide à la décision dans l'identification, la formulation et la résolution de problème est complexe à concevoir car elle fait appel à une somme importante de connaissances. Des progrès très significatifs en intelligence artificielle permettent d'espérer une nouvelle génération de systèmes d'aide à la décision dont les performances seraient significatives. De nombreux travaux de recherches et réalisations tentent depuis quelques années d'intégrer des techniques d'intelligence artificielle dans de tels systèmes.

Une réelle assistance au décideur est complexe à concevoir. Tout d'abord, elle nécessite une somme importante de connaissances, difficile à répertorier et encore techniquement difficile à représenter et

à interpréter de façon explicite et souple avec les outils d'intelligence artificielle disponibles. En outre on ne dispose pas encore, pour modéliser les processus décisionnels de cadre conceptuel adapté suffisamment formalisé [Bourguine, Espinasse 87].

Dans la recherche d'un tel cadre conceptuel, il nous a semblé pertinent d'aborder l'aide à la décision par une approche plus orientée sciences de la cognition. Aussi allons-nous exposer brièvement cette tentative en présentant tout d'abord un paradigme plus cognitif des processus décisionnels et un modèle pour l'étude des processus décisionnels les percevant en tant que processus cognitifs d'acquisition et d'organisation de connaissances. Puis on essaiera en s'appuyant sur ce modèle d'estimer la nature et les limites de l'intégration de techniques d'intelligence artificielle dans la réalisation de nouveaux systèmes d'aide à la décision

## 2 Cognition de la décision

### 2.1. Paradigme cognitif de la décision

Si l'on excepte le paradigme de la rationalité procédurale proposé par H.A.Simon [78], la plupart des modèles descriptifs des processus décisionnels s'accrochent à un paradigme lié à une définition précise de la rationalité. Rationalité limitée, adaptative et politique [De Bruye 81], sont autant d'adaptation de la rationalité à un système de contraintes auquel est soumis le processus décisionnel, contraintes liées aux limites cognitives, à l'incertitude, à l'ambiguïté des préférences, etc....

De nombreuses études critiques de la rationalité ont été proposés [Sfez 73, March 78,...]. Elles n'éliminent pas vraiment la notion de rationalité, elles la transforment considérablement: la rationalité n'est plus celle d'un décideur mais tend à être celle d'un système global ou d'une situation d'interaction. Une alternative originale à la notion de rationalité proposée par P.Huard [Huard 80]<sup>1</sup>, nous semble très intéressante et pouvoir sous-tendre un nouveau paradigme plus "cognitif" de la décision. Cette alternative peut se résumer par la formulation des nouveaux postulats suivants:

- au caractère explicite, volontaire et positif de la décision, peut être opposé des automatismes largement inconscients
- le progrès comme raison d'être et justification de la rationalité comme changement orienté peut être remplacé par un mouvement d'unification, de cohérence de la situation existante, qui est liée à une recherche d'identité; principe de cohérence.

Ces deux hypothèses conduisent notamment à ce qu'aux procédures parfaitement discriminantes de la rationalité, peut être substituée des procédures d'imitation, de répétition de l'expérience passée, d'assimilation du nouveau à l'ancien (comportements mimétiques).

Notons que le principe de cohérence est très présent en psychologie cognitive comme en psychosociologie. Ce principe est à rapprocher du processus d'équibration du modèle de l'organisation de l'intelligence de J.Piaget. Dans ce modèle l'adaptation intellectuelle peut être vue comme une mise en équilibre permanente, équibration, entre un mécanisme assimilateur et une accommodation complémentaire de structures de connaissances; l'individu tend à établir un équilibre dans les rapports entre les différents éléments cognitifs qu'il retient, cet équilibre assure une certaine cohérence aux connaissances retenues. Ce même principe de cohérence se retrouve aussi dans d'autres modèles comme celui de la dissonance cognitive [Festinger 57]. Cette recherche de cohérence s'avère nécessaire afin de construire une certaine stabilité de la structure de connaissance. Le principe de cohérence conduit ainsi à une certaine résistance à toute restructuration importante des éléments cognitifs.

Le principe de cohérence appliqué à l'étude des processus décisionnels conduit le décideur à rechercher une simplification (de la complexité de la situation problématique auquel il fait face) différente de celle postulée par les modèles rationalistes. Ainsi face à un problème complexe, le décideur aura souvent tendance à:

---

<sup>1</sup> - Pour Huard, la rationalité tend à "substituer à l'intentionnalité des acteurs, à leur liberté de choix, un déterminisme à la lumière duquel, leur capacité véritable de décision est, malgré les apparences, négligeable ou nulle" [Huard 80].

- percevoir des problèmes indépendants,
- en incertitude, imposer une signification claire aux événements, une explication globale, plutôt que de se livrer à des calculs probabilistes,
- formuler et résoudre le problème par des croyances, procédures, solutions, qu'il possède déjà en fonction de leurs anciennetés et de leur fréquences d'utilisation.

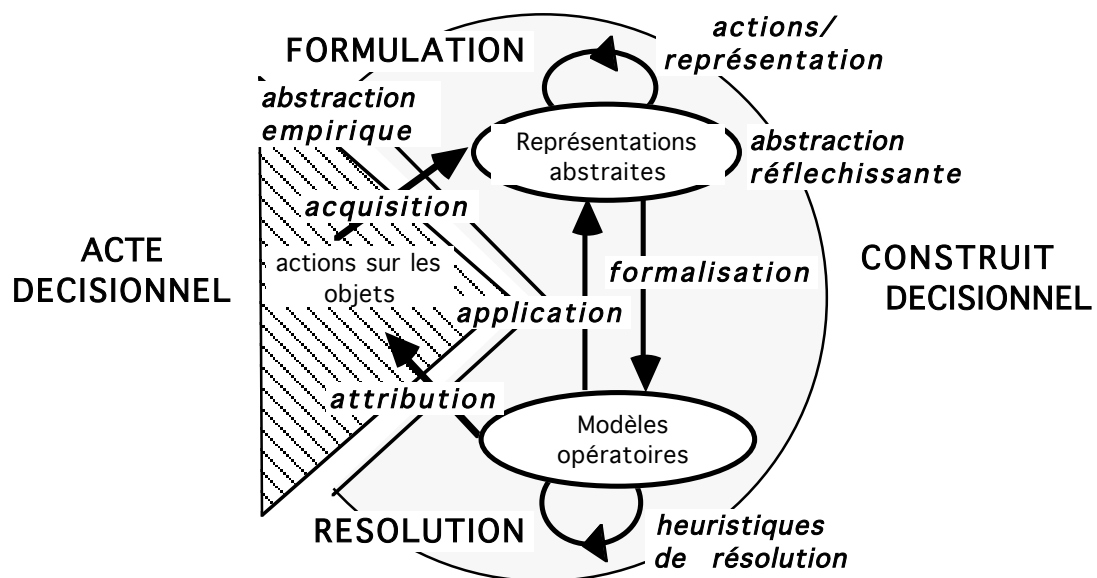
On observe ainsi un phénomène d'apprentissage, de renforcement. Pour préserver cette cohérence, des moyens importants d'équilibrage sont mis en œuvre:

- le renforcement des croyances sera facilité en leurs associant des images acquises et des analogies tirées de situations antérieures,
- lorsque de nouvelles informations viennent contredire l'organisation cognitive existante, le décideur pourra affirmer qu'en fait, dans une perspective temporelle plus large, la cohérence est maintenue (cas d'exception), où rejeter d'autres choix en les considérant impossibles ou possédant des conséquences perçues catastrophiques.

## 2.2. Modèle cognitif constructiviste

Ce paradigme cognitif de la décision succinctement présenté nous conduit à proposer un modèle instrumental pour l'étude des processus décisionnels. Nous avons qualifié ce modèle de "cognitif" du fait même qu'il aborde les processus décisionnels en tant que processus cognitifs d'acquisition et d'organisation de connaissances, et de "constructiviste" de par ses fondements épistémologiques Piagetiens. Dans ce modèle, la décision est définie comme une construction mentale que nous appellerons "construit décisionnel".

Ce construit décisionnel peut se représenter ainsi:



Ce construit décisionnel, processus cognitif de la décision, raisonnement même que fera le décideur, consiste tout d'abord à l'élaboration d'une ou plusieurs représentations abstraites de la situation posant problème, et que l'on assimilera à une phase de formulation du problème, ensuite à la conception de modèles opératoires (que l'on peut associer aux structures logico-mathématique de J.Piaget) permettant de générer des solutions et que nous assimilerons à une phase de résolution du problème. Notons que dans la compréhension des processus décisionnels, plusieurs chercheurs se sont inspirés des travaux de J.Piaget sur l'organisation de l'intelligence: [J.C.Courbon 84], [A.Ramaprasad et I.Mitroff 84].

### Formulation

Dans la formulation c'est la fondamentale prise en compte de l'interaction entre l'organisation et son fonctionnement ou entre la structure et sa structuration (perspective génétique du constructivisme); plus de genèse sans structure de même que de structure sans genèse, qui conduit à la construction

progressive de la connaissance [Piaget 79]. C'est aussi l'interaction dialectique entre le sujet et l'objet, constructiviste dialectique [Piaget 76]; "... *considérer la connaissance comme liée à une action (du sujet) qui modifie l'objet et qui ne l'atteint donc qu'à travers les transformations introduites par cette action...*".

Il n'y a pas de résolution de problème complexe sans formulation préalable. La formulation d'un problème sera vue comme la construction d'une certaine fermeture, ou plutôt d'une clôture. Nous proposons d'assimiler cette phase de formulation à un processus d'élaboration de représentations abstraites de la situation problématique. La clôture de cette formulation assurant sa stabilité, suit le principe de cohérence que nous avons précédemment évoqué, elle conduit à l'élaboration d'un énoncé formalisé du problème.

Notons que dans le cas de décision collective, cette clôture peut par exemple être obtenue par consensus des acteurs sur une représentation abstraite commune légitimée (pouvant être partielle). Enfin, dans le cas de problèmes organisationnels très peu structurés la formulation se fait souvent au niveau de l'argumentation, conduisant les décideurs à développer de façon progressive des arguments comme dans le discours.

### Résolution

Les représentations abstraites ainsi obtenues ne sont pas véritablement opérationnelles; pour cela il faut en dériver des modèles qui permettront d'envisager et de déduire des solutions possibles sur lesquelles reposeront l'acte décisionnel, ce qui correspond à une phase de résolution de problème. Nous assimilerons ainsi cette phase de résolution, à partir de représentations abstraites, à l'élaboration de modèles opératoires qui permettront de déduire des solutions (globales ou partielles) au problème (Cette phase de construction de modèles est à rapprocher de la phase de conception de H.A.Simon.) Notons que dans les problèmes organisationnels la phase de résolution peut par exemple consister en une démonstration des arguments retenus lors de la phase de formulation.

### **2.3. Elaboration des représentations abstraites**

Dans l'étude des mécanismes d'acquisition de la mémoire et de sa structuration, J.Piaget [Piaget 75] a mis en évidence un processus d'équilibration des représentations que l'on se forme (qu'il appelle schèmes) au cours duquel les faits nouveaux observés, conséquences des actions, sont soit assimilés par la représentation, soit conduisent à une accommodation de celle-ci, c'est-à-dire une déformation de cette dernière permettant de prendre en compte la nouveauté.

A partir de l'observation de la situation problématique, le décideur essaie d'inférer un certain nombre d'explications aux différences constatées (différence substantielle) entre la situation existante et la situation désirée. Ces explications donnent lieu à un certain nombre d'actions sur la représentation du problème qu'il se fait, conduisant à la stabiliser. C'est l'équilibration de la représentation abstraite. Cette dernière se fait selon deux mécanismes d'adaptation, l'assimilation où l'observation de la situation problématique conduit à un renforcement de la représentation, et l'accommodation où l'observation amène à une modification profonde de la représentation.

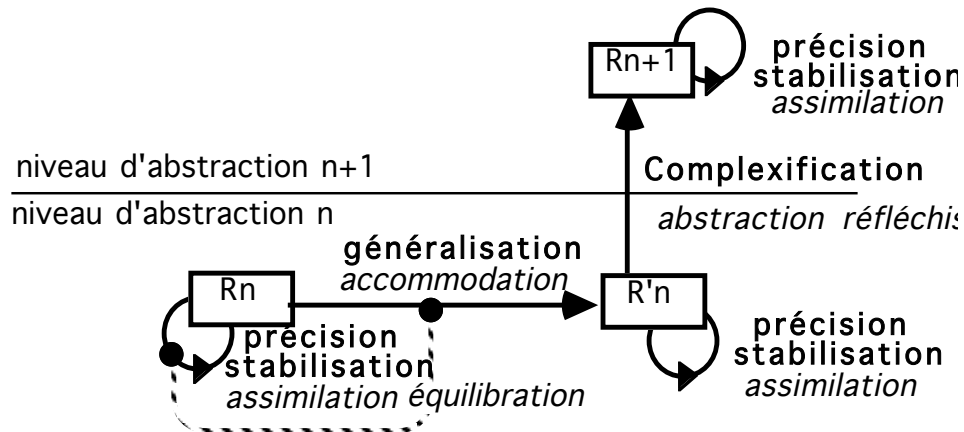
En s'inspirant du modèle de J.Piaget, il est possible de préciser, les différents processus de transformation des représentations abstraites. La représentation que le décideur se fait d'une situation problématique suit le principe de cohérence: les représentations abstraites sur lesquelles se fonderaient son modèle d'intervention peuvent ainsi:

- se préciser: amélioration fine de la représentation par une prise en compte de plus de détails (processus de précision).
- se généraliser: par une remise en cause, sans grande perturbation fondamentale, afin d'englober ces faits nouveaux; il y a accommodation de la représentation (processus de généralisation).
- se complexifier: par une remise en cause fondamentale conduisant par exemple à la prise en compte de nouveaux facteurs, de nouvelles variables, de nouvelles relations (processus de

complexification, comme déjà proposé par J.C.Courbon [Courbon 84]). Ce processus peut être associé au mécanisme de l'abstraction réfléchissante de J. Piaget .

- se stabiliser: atteinte d'une représentation stable (clôture de la formulation, stabilisation)

Ce que l'on peut représenter ainsi :

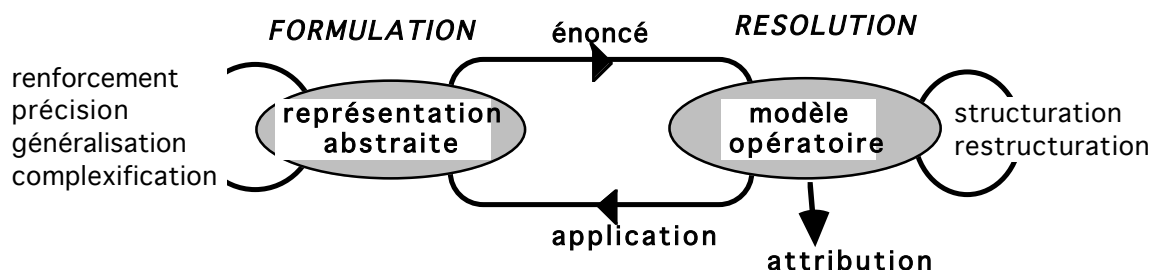


## 2.4. La conception de modèles opératoires

La conception de modèles opératoires peut être associée au développement des structures logico-mathématiques définies par J.Piaget. Rappelons qu'une structure logico-mathématique (SLM) est d'abord une connaissance et peut être un instrument de connaissance, permettant l'élaboration de nouvelles connaissances de type logico-mathématique et de type empirique. Les SLM peuvent être simples, par exemple un simple modèle de cause à effet, quelques règles du type SI... ALORS... ou complexe, par exemple une théorie élaborée [Bourgine, Espinasse 87].

Le développement des structures logico-mathématiques ou modèles se fait grâce à la mise en oeuvre d'autres SLM et à travers une interaction entre le modèle en cours d'élaboration par le décideur et le phénomène ou situation problématique observé ou plutôt la représentation abstraite qu'il s'en fait. Ainsi les données d'observation du phénomène observé entrant dans sa représentation sont comparées avec les déductions faites à partir du modèle, c'est ce que l'on peut appeler l'application du modèle.

Lorsqu'il y a conflit (incohérence, dissonance) entre les déductions inhérentes au modèle et la représentation du phénomène, il y a un retour en phase de formulation afin de modifier la représentation abstraite, par exemple en mettant en oeuvre de nouvelles structures logico-mathématiques permettant une acquisition de nouvelles connaissances de ce dernier et conduire par exemple à ce qu'un nouvel objet ou évènement vienne enrichir la représentation (celle-ci pourra le faire par assimilation, ou par accommodation, ou enfin par complexification). Ainsi, au fur et à mesure que le modèle se conçoit, les représentations abstraites s'enrichissent et conduisent soit à une déstructuration des modèles associés à cette représentation, soit si la représentation se renforce, s'affine, à une structuration des modèles associés:



Il y a ainsi un processus dynamique de déstructuration / restructuration des modèles, ajustement nécessaire à une bonne compréhension d'une situation. Ce cycle est répété plusieurs fois et conduit à rendre le modèle de plus en plus "abstrait" du phénomène observé. Quand la représentation abstraite

collera parfaitement avec les déductions du modèle, le modèle est attribué à la situation c'est ce que l'on peut appeler l'attribution du modèle.

### **3 Intelligence artificielle et cognition de la décision**

#### **3.1. Formulation et intelligence artificielle**

La formulation du problème peut être définie comme un processus d'acquisition et d'organisation de connaissances sur une situation donnée sur laquelle le décideur a projeté d'intervenir. Une assistance à l'identification, la formulation, la structuration d'une situation problématique nous apparaît fondamentale du fait même que le rôle d'un décideur ne se réduit pas exclusivement à faire un choix, trancher mais plutôt observer et se construire une certaine compréhension d'un phénomène, d'une situation, un environnement [M.S.Feldman, J.G.March 81]. Dans le cas des problèmes organisationnels, l'aide à la formulation est vitale bien souvent plus essentielle que la phase même de résolution; une bonne formulation étant faite, la solution peut s'avérer alors triviale.

Dans notre modèle, l'aboutissement de la phase de formulation est l'élaboration d'un énoncé. On peut distinguer deux niveaux d'aide à la formulation de problème: le premier niveau concerne la formulation d'un énoncé du problème, soit fournir une aide à l'élaboration (et la re-élaboration) d'un énoncé, le second niveau s'intéresse à l'élaboration et aux transformations de représentations abstraites devant conduire à l'énoncé.

##### Aide à la formulation d'un énoncé formel

Dans la formulation d'un énoncé formel de problème, l'intelligence artificielle apporte un certain nombre de solutions [Bourgine, Espinasse 87]. Pour cette aide, possible que pour des problèmes mal structurés, elle privilégie actuellement l'utilisation d'un certain nombre de langages de très haut niveaux permettant la formulation d'énoncés de façon déclarative.

On trouve tout d'abord des langages dédiés: ils permettent de spécifier et re-spécifier un énoncé, et sont capables d'accepter les multiples variantes possibles de cet énoncé. Ainsi, des systèmes comme ALICE [Laurière 76], PROMAT [Bourgine 89], ont précisément été conçus pour permettre la représentation déclarative d'énoncés de problèmes de recherche opérationnelle. Ensuite des langages généraux tels que les langages de programmation par objets (classes, frames, acteurs) particulièrement utiles lorsque le nombre d'objets associés au problème à représenter et à manipuler devient très grand, citons par exemple l'utilisation de schémas par M.S.Fox pour modéliser les objets et les contraintes des problèmes d'ordonnancement d'un atelier industriel [Fox 83, 85].

##### Aide à l'élaboration de représentations abstraites

Cette aide est plus délicate à concevoir et à réaliser, c'est dans le cas de problèmes très mal structurés qu'elle s'avère nécessaire. En l'intelligence artificielle il n'existe pratiquement pas d'outils appropriés. On pourrait imaginer des systèmes formels permettant d'élaborer des représentations abstraites, et disposant d'un certain nombre d'opérateurs de transformations mis en oeuvre de façon quasi automatique jusqu'à l'atteinte d'une certaine cohérence, d'une stabilité, d'un équilibre à définir. Ces opérateurs de transformation devraient être capable de construire et organiser de nouvelles connaissances sur le problème, mais aussi des connaissances sur le comportement du décideur, par exemple pour exprimer les rationalités cognitives ou instrumentales du décideur [Walliser 87] ou fixées par l'organisation. Ces langages devraient posséder une déclarativité, une plasticité encore plus grande que celle des langages d'énoncés évoqués ci-dessus, sans atteindre toutefois celles des langues naturelles.

#### **3.2. Intelligence artificielle et résolution de problèmes**

La résolution de problème a été jusqu'ici le domaine privilégié des applications classique de l'intelligence artificielle. Aussi, l'aide que l'on peut en attendre est importante et se situe dans la formalisation, la validation, la simulation des modèles opératoires. L'emploi de techniques d'intelligence artificielle permet, notamment par la déclarativité des représentations symboliques de

mieux formaliser des raisonnements algébriques, fournir des explications ou des justifications de résultats permettant d'aider de façon fort appréciable les décideurs dans cette résolution.

On peut distinguer deux niveaux d'aide à la résolution de problème: le premier niveau concerne la dérivation d'un modèle résolutoire à partir d'un énoncé formel donné, le second niveau concerne la puissance même de ces modèles résolutoires: élaboration et la mise en oeuvre d'heuristiques, le choix de stratégies de résolution.

### De l'énoncé au modèle résolutoire

L'énoncé formel issu de la phase de formulation est traité en phase de résolution pour devenir modèle de résolution. Nous avons vu précédemment qu'il existait des systèmes solveurs de problèmes (problèmes de recherche opérationnelle par exemple) permettant de déclarer un énoncé. Dans de tels systèmes (ALICE, PROMAT,...) l'élaboration d'un modèle de résolution à partir d'un tel énoncé est automatique.

Selon les déductions de ce modèle (application du modèle), un retour sur une nouvelle formulation de l'énoncé peut s'imposer. Le va-et-vient entre formulation/résolution se poursuit jusqu'à l'obtention d'un point fixe (attribution du modèle), marque d'un "satisficing" [Simon 76]. A tout moment, l'initiative de reformulation reste à l'utilisateur; et le va-et-vient est susceptible d'amplifier le raisonnement humain. De nombreux problèmes de gestion des approvisionnements, de production, et de distribution peuvent être traités selon un tel va-et-vient.

### L'élaboration et la mise en oeuvre d'heuristiques, stratégie de résolution

La résolution d'un énoncé "donné" relève rarement d'un algorithme prédéfini, standard. Même si c'est le cas, il s'agit rarement d'un algorithme efficace, dont le temps croît comme une fonction polynomiale de la taille des algorithmes: le répertoire de ces algorithmes "polynomiaux" (la classe P) compte, en effet, une dizaine d'algorithmes.

Dans la majorité des cas, on peut constater que la résolution de problème, loin d'être une tâche algorithmique totalement automatisable, suppose une capacité à faire de bons choix. La recherche dans l'espace des solutions devient une démarche intelligente (importance du paradigme de recherche ("search") dans H.A.Simon [1983]). La question fondamentale devient alors: quelles sont les bonnes procédures pour estimer qu'un choix est un bon choix? quelles sont les heuristiques qui nous aident à faire ces choix? Ces heuristiques ne sont pas infaillibles (sinon le problème serait polynomial); mais elles fournissent, en moyenne, de bons résultats.

Citons ici une tentative particulièrement significative, avec le langage et solveur ALICE. Un but explicite de ce solveur est justement de reproduire les heuristiques que nous utilisons quand nous résolvons des problèmes avec papier et crayon. Dans PROMAT, l'utilisateur peut choisir ou élaborer sa propre stratégie de résolution et ceci dans un langage déclaratif.

## **4 Limites de l'intelligence artificielle aux processus cognitifs de décision**

Comme nous venons de le voir, l'intelligence artificielle offre dès à présent des perspectives intéressantes dans l'aide à la résolution de problème tant au niveau de la dérivation d'un modèle résolutoire à partir d'un énoncé formel donné, qu'au niveau de l'élaboration et la mise en oeuvre d'heuristiques, du choix de stratégies de résolution. En ce qui concerne la formulation de problème, l'intelligence artificielle ne permet pas d'apporter une assistance satisfaisante tant en ce qui concerne l'aide à la formulation d'un énoncé du problème, que dans l'élaboration et les transformations de représentations abstraites devant conduire à l'énoncé.

### **4.1. Formulation, argumentation et formalisation**

Bien souvent cette formulation se situe au niveau de l'argumentation. Comme le montre S.Toulmin [1958], il est difficile dans la démonstration et l'argumentation de faits, de délibérations, de

discussions et de décisions organisationnelles, de faire appel à la preuve expérimentale où par calcul de la logique formelle largement utilisée en intelligence artificielle: "*La raison délibératrice s'enracine dans la pensée argumentative et à l'opposé de la pensée démonstrative, recourt obligatoirement à des méthodes non-déductives et non-formelles*" [G.Busino dans Grize 82].

Ainsi la formulation des problèmes très mal structurés est souvent gouvernée par des règles qui semblent informulables immédiatement en termes logico-mathématiques de l'algèbre de Boole. Il y a un écart important entre la logique de Boole et la pensée naturelle [Borel et all 83]. Tout d'abord les faits ne sont pas inscrits dans le monde qui nous entoure, ni dans notre monde intérieur, il est naïf d'imaginer pouvoir enregistrer l'existence de faits résultant toujours d'un ensemble d'opérations mentales d'organisation, et que même si c'était le cas, ils ne suffiraient pas à supporter les déductions.

Ensuite une autre critique que l'on peut faire aux systèmes formalisés est qu'ils sont régulièrement dépourvus à la fois de sujets et de critères d'interprétation. Il est intéressant d'étudier comment l'argumentation appréhende la situation problématique, la manière selon laquelle elle est structurée en fonction d'une perspective donnée, de même comment elle se construit et se transforme. Parce qu'elle est avant tout discours, l'argumentation suppose que l'on est en présence d'un orateur et d'un auditoire, ce qui oblige à sortir de la logique mathématique et à concevoir une nouvelle logique qui prenne en compte la présence de sujets actifs; de telles logiques ont été définies par J.B.Grize sous le nom de logiques naturelles [Grize 82, Borel et all 83]. Divers travaux récents sur l'analyse du discours pourrait peut-être fournir quelques pistes dans l'élaboration de tels langages, notamment pour l'aide à la décision collective, notamment dans la recherche d'un consensus [Borillo et All 82].

## **4.2. Limites des représentations symboliques**

Les représentations utilisées par l'intelligence artificielle sont dites symboliques du fait qu'elle signifient quelque chose, mais non du fait qu'il puisse y avoir ressemblance entre un symbole et sa signification. Elles sont caractérisées par une grande clarté. Les concepts, les formalismes qu'elles mettent en oeuvre sont en fait très proches du langage naturel (par exemple la notion de frame), ce qui conduit aussi à des explications relativement faciles à comprendre.

La déclarativité est aussi une autre caractéristique fondamentale de ces représentations symboliques. Cette déclarativité conduit à ce que les représentations semblent posséder une signification au spectateur humain indépendamment de leur utilisation par le système. Ce qui peut être parfois dangereux dans la mesure où cette signification psychologique peut être très différente de la signification de la représentation au sein du système. Ces représentations sont aussi de type discrètes et arbitraires: propositions abstraites, pas d'image analogue.

Enfin, ces représentations symboliques se décrivent dans un mode de description quasi-verbal. Cet état de fait est extrêmement pénétrant en intelligence artificielle. Il s'applique non seulement dans des domaines du raisonnement comme la résolution du problème (domaines où des processus conscients peuvent être plus ou moins verbalisés) mais aussi dans des domaines tels que la perception ou le langage naturel dans lesquels les processus mentaux sont largement inconscients et très difficiles à verbaliser.

Ces caractéristiques des représentations symboliques conduisent à une conception particulière de la cognition adoptée par l'intelligence artificielle. Cette conception peut être décrite par les grandes hypothèses ou suppositions suivantes [Memmi 89]:

La première hypothèse est l'existence inconditionnelle de représentations mentales et de modèles de cognition comme traitement de représentation symbolique [Newel et Simon 72]. Dans tous les domaines de recherches qu'elle aborde, l'intelligence artificielle utilise des langages de représentation symbolique adoptant un mode quasi-verbal; l'intelligence artificielle fait ainsi l'hypothèse de représentations mentales de type propositionnelles et d'un langage de la pensée proche du langage naturel en terme de contenu sémantique.



La deuxième hypothèse est la conviction que le niveau de la représentation symbolique est le niveau de description approprié, c'est à dire que les représentations et leurs manipulations sont pas seulement nécessaires mais aussi suffisantes pour une explication, une compréhension du processus cognitif. Cette hypothèse explique en partie le peu de place accordée à l'apprentissage: la façon avec laquelle ces représentations peuvent avoir été apprises n'est pas pertinente pour être ajoutée à leur contenu, structure et usage. L'apprentissage en intelligence artificielle se réduit souvent à une recombinaison de symboles existants.

### 4.3. Faiblesses du traitement symbolique

Après les représentations symboliques, intéressons nous maintenant au traitement que l'intelligence artificielle effectue sur ces dernières.

Tout d'abord, ce traitement des représentations symboliques est purement formel. La signification des expressions symboliques n'est pas requise pour leur traitement par le système alors que celle-ci est intuitivement manifeste pour l'utilisateur humain. Le traitement peut être largement réduit à des systèmes formels de la logique mathématique avec leur dérivation purement syntaxique. Ceci permet d'expliquer comment des processus mentaux peuvent prendre place au sein de systèmes physiques. On peut aussi expliquer comment réaliser une manipulation de symboles en terme de mécanismes ... et aussi permet toute simulation informatique. Ceci se fait malheureusement à un prix élevé : la complète séparation de la syntaxe et de la sémantique, ainsi que l'exclusion de significations du processus même de traitement symbolique; "*Même si la réduction de processus mentaux à une manipulation symbolique est heureuse, une pure manipulation syntaxique d'expressions pleines de significations devient paradoxale*" (J.Haugeland , "Artificial Intelligence: The Very Idea, MIT Press, 1985, dans Memmi 89).

Les représentations symboliques, structurées sont manipulées par des processus adaptés à ces structures (structure sensibles). Les structures de l'IA sont explicites et manipulées en tant que structures (Pattern Matching). Aussi, les structures ne sont pas seulement une voie de construction d'expressions complexes mais jouent aussi un rôle causal important dans le traitement même de ses représentations. Ce traitement est aussi principalement séquentiel. Aussi, dans le traitement des connaissances en IA symbolique, le parallélisme est difficile à implémenter et souvent peu productif pour des procédures qui n'ont pas à l'origine été conçues pour.

Enfin, le contrôle du traitement est principalement externe et centralisé. La séparation du contrôle des connaissances spécifiques du problème renvoie sur le débat déclaratif/procédural. Le contrôle peut cependant être formalisé de façon explicite et déclarative, par exemple par l'usage de méta-connaissances (méta-règles, ...) permettant au système de raisonner sur son fonctionnement.

### 4.4. Nouvelles voies de recherche

Deux nouvelles voies de recherche nous semblent pertinentes pour outrepasser les limites que nous venons de décrire. Toutes les deux vont dans le sens d'une distribution à la fois de la représentation des connaissances et du contrôle de leur interprétation. La première voie reste profondément symbolique, c'est l'intelligence artificielle distribuée, la seconde l'est moins, c'est le connexionnisme.

#### Intelligence artificielle distribuée

Dans la plupart des systèmes d'intelligence artificielle en résolution de problèmes utilisant heuristiques et méthodes orientées connaissances, n'est concerné qu'un seul agent intelligent raisonnant et agissant sous un unique filet de contrôle ou focus d'attention. Du fait du développement récents d'ordinateurs concurrents et de réseaux d'ordinateurs multi-noeuds, l'intérêt de la concurrence en Intelligence Artificielle va croissant.

Sous le label d'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD), peuvent être rassemblées les recherches concernant le parallélisme, la résolution distribuée de problèmes et les systèmes multi-agents. Le parallélisme concerne le développement de nouvelles architectures machine parallèles, langages et algorithmes pour le parallélisme. La résolution de problème distribuée consiste au développement de

techniques permettant de diviser le travail de résolution d'un problème entre plusieurs modules qui coopèrent par interaction en partageant des connaissances sur le problème et le développement de solutions. Les systèmes multi-agents, concernant la coordination intelligente entre plusieurs agents autonomes et intelligents; comment peuvent-ils coordonner leur connaissances, leurs buts, leurs compétences et plans pour agir et résoudre des problèmes pouvant être multiples et indépendants. Citons comme exemple le système MAPS (Multi-Agent Problem Solving System) [Garbay 89].

### Connexionisme

Connexionisme et intelligence artificielle peuvent tout deux être définis de façon très générale comme une simulation cognitive sur ordinateur. Ils sont en fait chacun lié à une conception particulière de la cognition humaine. Ils sont issus des mêmes bases: la théorie de la computation, l'informatique, la cybernétique et la simulation cognitive [Gardner 85]. Ils se sont progressivement différenciés pour devenir concurrents. Après quelques succès précoces (le perceptron), les recherches sur les réseaux neuro-mimétiques ont déclinés face à des difficultés tant conceptuelles que techniques. Corrélativement les recherches dans la voie symbolique prospéraient et conduisaient au succès des systèmes experts. Pourtant depuis quelques années, une somme importante de travaux de recherches [Rumelhart, Mc Clelland 87] donnant parfois lieu à des réalisations spectaculaires, à apporté une nouvelle vitalité à un courant, appelé connexionisme. Ce dernier semble d'ailleurs vouloir émerger en tant que nouveau domaine de recherche autonome.

Le récent et fulgurant succès des réseaux neuro-mimétiques semble pour l'essentiel dû à des applications souvent spectaculaires dans le domaine de la reconnaissance de formes et de l'apprentissage, relevant de ce que l'on appelle la sub-cognition (perception-cognition). D'autres applications concernent la résolution de problèmes d'optimisation pour lesquels la combinatoire est trop élevée pour être résolus de façon satisfaisante par des techniques symbolique de l'intelligence artificielle. C'est Kirkpatrick qui le premier (1983) eu l'idée d'utiliser de tels réseaux pour résoudre de tels problèmes. Le plus bel exemple d'application est le problème du voyageur de commerce.

Le connexionisme devrait avoir son intérêt dans l'aide à la formulation plus précisément dans l'élaboration de représentations abstraites devant conduire à un énoncé formel. En effet on peut expliquer la faible contribution de l'intelligence artificielle à cette aide par le fait que les représentations abstraites ne sont pas nécessairement de nature symbolique. L'élaboration de représentations abstraites non symboliques, semble plutôt relever du "sub-cognitif", c'est à dire ce qui se situerait au dessous du 100 milli-secondes et concerne le lien entre la perception et la cognition.

## **5 Conclusion**

Après avoir présenté des éléments pour un nouveau paradigme plus cognitif de la décision construit sur le principe de cohérence, d'équilibration cognitive, nous avons proposé un modèle instrumental pour l'étude des processus décisionnels les percevant en tant que processus cognitifs d'acquisition et d'organisation de connaissance. Nous avons ensuite essayé d'estimer dans le cadre de ce modèle la nature et les limites de la contribution qu'il est raisonnable d'espérer de l'intégration de nouvelles techniques de l'intelligence artificielle dans la conception de nouveaux systèmes d'aide à la décision. Cette intégration de techniques d'intelligence artificielle offre dès à présent des perspectives intéressantes dans l'aide à la résolution de problème, de la dérivation d'un modèle résolutoire à partir d'un énoncé formel donné à l'élaboration et la mise en oeuvre de stratégies de résolution. Dans la formulation de problème, cette intégration ne permet pas d'apporter une assistance satisfaisante tant pour l'aide à la formulation d'un énoncé du problème, que dans l'élaboration et les transformations de représentations abstraites devant conduire à l'énoncé.

Pour reculer ces limites, il nous semble tout d'abord nécessaire de mener plus à fond une réflexion sur les fondements paradigmatiques même des théories de la décision que nous avons à peine esquissé afin d'élaborer un cadre conceptuel "cognitif" solide permettant d'aborder les processus décisionnels en tant que processus cognitifs d'acquisition et d'organisation des connaissances. Dans cette réflexion le principe de cohérence [Huard 80] et le principe de clôture opérationnelle [Varela 79] occuperait une place centrale, avec le constructivisme lié aux fondements épistémologiques piagetiens déjà développés dans cet article.

Ensuite comme nous l'avons déjà souligné, il nous semble important d'investiguer de nouveaux concepts, outils et techniques allant dans le sens d'une distribution à la fois des connaissances et du contrôle, soit en restant symbolique (Intelligence Artificielle Distribuée), soit en s'en écartant, (Connexionisme), soit enfin en couplant ces deux approches, en concevant des systèmes que l'on peut qualifier d'hybrides [Hendler 89]. De tels systèmes coupleraient des systèmes symboliques avec des réseaux neuro-mimétiques. Ce couplage pourrait par exemple servir au pilotage même des réseaux en phase d'apprentissage, à l'élaboration de bases de connaissances symboliques de systèmes experts [Gallant 88], permettre l'émergence de connaissances symboliques par extraction de sémantique d'un réseau neuro-mimétique [Bouchereau, Bourguine 89]. C'est dans la voie des systèmes hybrides que nous nous sommes engagé, en travaillant sur un environnement de développement de tels systèmes, intégrant un réseaux neuro-mimétique à apprentissage par rétro-propagation du gradient avec un moteur d'inférences symbolique en logique d'ordre 1 et 2.

## Bibliographie

- L. BOCHEREAU, P. BOURGINE, "Implémentation et extraction de traits sémantiques sur un réseaux neuro-mimétique: exemple de la première annonce au bridge", Actes du congrés Neuro-Nimes 89, Nimes novembre 89, Publication EC2, Paris.
- M.J. BOREL, J.B. GRIZE et D. MIEVILLE, "Essai de logique naturelle", Peter Lang, Berne, Francfort, New York, 1983.
- P. BOURGINE, "Le langage PROMAT et sa machine virtuelle", 7° Congrès Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle, Paris 29 novembre 89, Publication AFCET, novembre 89, pp. 1011.
- P. BOURGINE, B.ESPINASSE, "Aide à la désision: une approche constructiviste", in *Aide à la décision dans l'organisation*, publication AFCET, 1987, pp.47-55.
- M. BORILLO et All, "Approches formelles de la sémantique naturelle", Laboratoire de Langages et Systèmes Informatiques, Toulouse, C.N.R.S., 1982.
- J.C. COURBON, "Transparency of Data Information and Models in Decision Support Systems", IFORS, Washington, august 1984.
- J.C. COURBON, "Processus de décision et aide à la décision", in *Economies et Sociétés*, Séries Sciences de gestion, n°3, tome XVI, n°12, decembre 1982.
- P. De BRUYE, "Modèles de décision; les rationalités de l'action", Centre d'Etudes Praxéologiques, Louvain-la-Neuve, 1981.
- B. ESPINASSE, D. PASCOT, "Decision Support Systems: A Knowledge Oriented Approach" in *Economics and Artificial Intelligence*, Pergamon Press 1987.
- M.S. FELDMAN, J.G. MARCH, "Information in Organization as Signal and Symbol", *Administrative Science Quaterly*, n°26, 1981, pp.171-186.
- M.S. FOX, "ISIS: A Constraint-Directed Reasoning Approach to Job Shop Scheduling", Proceeding of IEEE Conference on Trends and Applications 83, National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, May 1983.
- M.S. FOX, "Knowledge Representation for Decision Support Systems", in *Knowledge Representation for Decision Support Systems*, edited by L.B.METHLIE and R.M.SPRAGUE, North Holland 1985.
- L. FESTINGER, "A Theory of Cognitive Dissonance", N.Y. Harper & Row Publishers, 1957.
- C.GARBAY, S.PESTY, "MAPS, un Système Multi-Agents pour la Résolution de Problèmes", 7° Congrès Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle, Paris 29 novembre 89, Publication AFCET, novembre 89, pp. 355.
- S.I.GALLANT, "Connectionist Expert Systems", *Communication of the ACM*, february 88, volume 31, Number 2.
- H.GARDNER, "The Mind's New Science: a History of Cognitive Révolution", Basic Books, New York 85.
- J.B. GRIZE, "De la logique à l'argumentation", Librairie Droz, Genève, 1982.
- J.A.HENDLER, "Problem Solving and Reaseaning: A Connectionist Perspective", in *Connectionism in Perspective*, R.PEIFER, Z.SCHRETER, F.FOGELMAN-SOULIER, L.STEELS Editors, Elsevier Science Publisher, B.V., North Holland, 1989.
- P.HUARD, "Rationalité et Identité: vers une alternative à la théorie de la décision dans les organisations", *Revue économique*, Paris, vol.31, n°3, 1980, pp.540-572.

- M. LANDRY, D. PASCOT, D. BRIOLAT, "Can DSS Evolve without Changing Our View of the Concept of Problem", *North Holland, Decision Support Systems 1*, 1985, pp.25-36.
- J.L. LAURIERE, "Un langage et un programme pour énoncer et résoudre des problèmes combinatoires", Thèse de Doctorat d'état, Université Paris VI, 1976.
- J.L. LE MOIGNE, "Intelligence des mécanismes et mécanismes de l'intelligence", in *Nouvelle encyclopédie des Sciences et des Techniques*, Fayard Paris, 1987.
- J.G. MARCH, "Bounded Rationality, Ambiguity, and the engineering of choice", *The Bell Journal of Economics*, vol.9, n°2, fall 1978, pp.587-608.
- D. MEMMI, "Connexionism and Artificial Intelligence as Cognitive Models", Notes et Document du LIMSI-CNRS, juin 89.
- A. NEWELL, "Heuristic Programming III-Structured Problems", in *Progress in Operations Research*, Volume III, J.S. Aronofsky (ed.), John Wiley & Sons, 1969.
- A. NEWELL, H.A. SIMON, "Humain Problem Solving", Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1972.
- J. PIAGET, "L'épistémologie génétique", Presses Universitaires de France, 3<sup>e</sup> édition, 1979.
- J. PIAGET, "L'équilibration des structures cognitives", Presses Universitaires de France, 1975.
- A. RAMAPRASAD, I. MITROFF, "On Formulating Strategic Problems", *Academy of Management Review*, 1984, No.4, pp.597-605.
- D.E. RUMELHART, J.L. Mc CLELLAND, "Parallel Distributed Processing", Cambridge, Ma., MIT Press, Volume I & II.
- H.A. SIMON, "Rational Decision Making in Business Organisations", *American economic Review*, 1979, in *Models of Bounded Rationality*, Vol.II, 1982, MIT Press, Cambridge, Mass.
- H.A. SIMON, "Search and Reasoning in Problem Solving", *Artificial Intelligence n°21*, 1983, pp. 7
- S. TOULMIN, "The uses of the Argument", Cambridge, University Press, 1958.
- F. VARELA, "Principles of Biological Autonomy", North Holland, 1979, Traduction française "Autonomie et connaissance; Essai sur le vivant", Editions du Seuil, 1989.
- B. WALLISER, "Rationalité instrumentale et rationalité cognitive", C.E.R.A.S., note de recherche numéro 65, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.