Modélisation de la démarche du décideur politique dans la perspective de l'intelligence artificielle

Thèse présentée
à la Faculté des sciences économiques et sociales
de l'Université de Genève

Par Daniel K. Schneider
pour l'obtention du grade de
Docteur ès sciences économiques et sociales,
mention science politique

Membres du jury de thèse:

M. Pierre Allan, Professeur, Université de Genève, directeur de thèse
M. Eugen Horber, Professeur, Université de Genève
M. Christian Pellegrini, Professeur, Université de Genève
M. Rolf Pfeifer, Professeur, Université de Zurich
M. Paolo Urio, Professeur, Université de Genève, président du jury

Thèse No 415
Genève, 1996

La Faculté des sciences économiques et sociales, sur préavis du jury, a autorisé l'impression de la présente thèse, sans entendre, par là, émettre aucune opinion sur les propositions qui s'y trouvent et qui n'engagent que la responsabilité de leur auteur

Genève, le 26 juin 1995

Le doyen
Paolo Urio

Coordonnées de l'auteur:

TECFA,
Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education,
Université de Genève
9 route de Drize, CH-1227 Carouge

Tel.: + 41 22 705 9694
email: Daniel.Schneider@tecfa.unige.ch

Une version "World-Wide Web" est disponible sous:
http://tecfa.unige.ch/tecfa/general/tecfa-people/schneider.html

Avant-propos

Notre projet était de voir comment, dans l'avenir, on devrait développer l'analyse du décideur. Les décideurs humains ont des intentions et des rationalités: ils perçoivent, traitent et produisent activement de l'information. L'acteur politique est volontariste, mais guidé par des normes sociales et bureaucratiques. Il est rationnel, mais de façon limitée. Il pense en utilisant des “logiques” de résolution de problèmes.

Ainsi, la modélisation de la conduite du décideur gagne en puissance si on traite celui-ci en tant qu'acteur qui perçoit et traite de l'information à travers son savoir et son savoir-faire. Nous montrons que les méthodes et les techniques de l'intelligence artificielle fournissent les moyens pour produire des modèles riches du décideur. Bien que complexes, ces modèles sont proches du langage naturel et facilitent donc l'échange entre les objets/sujets analysés, les chercheurs et le public cible.

Remerciements

J'exprime mes profonds remerciements à mon directeur de thèse, le professeur Pierre Allan pour l'aide compétente qu'il m'a apportée, pour sa patience et son encouragement à finir un travail commencé il y a longtemps. Son oeil critique m'a été très précieux pour structurer le travail et pour améliorer la qualité des différentes sections.

Ensuite je tiens à remercier les professeurs Charles Roig et Hayward R. Alker pour m'avoir donné la possibilité d'étudier la modélisation symbolique et pour m'avoir fait profiter de leurs connaissances sur les analyses systémiques et linguistiques en science politique.

Je remercie ma famille, Nina, Lucy, Elsa et Marielle, pour l'amour qu'elles portent à quelqu'un qui travaille souvent tard le soir....

Ma femme Marielle, ainsi que Flavie Vassor et sans oublier mon directeur de thèse ont beaucoup contribué à mettre en forme mon français très approximatif. Sans eux, j'aurais sans doute été découragé par cette langue que j'aime bien au quotidien, mais qui se marie mal à mes activités professionnelles.

J'exprime aussi ma gratitude à l'équipe du TECFA, qui, pendant cet été 1994, a été privée de mon soutien. Je tiens plus particulièrement à remercier Pierre Dillenbourg qui a dû renoncer à ma contribution dans une phase critique d'une recherche importante et qui a quand même trouvé le temps de lire intensivement quelques chapitres. Merci aussi à Patrick Mendelsohn, le chef de mon équipe, qui a fait des remarques pertinentes sur les quatre premiers chapitres.

L'aboutissement de cette thèse a aussi été encouragé par de nombreuses discussions avec des collègues de disciplines variées. Je ne citerai pas de noms ici, pour ne pas en oublier certains.

D'autres personnes m'ont encouragé à finir ce travail par des gestes d'amitié dont je suis reconnaissant. A titre d'exemple, je citerai M. Fedel pour son chalet qui m'a permis de réécrire la section difficile 7.1 dans le calme. Ou encore Bea Pfeifer qui a parié quelques bouteilles de champagne sur ma réussite.

“Last but not least”, j'exprime ma gratitude aux membres de mon jury de thèse: les professeurs Eugen Horber, Christian Pellegrini, Rolf Pfeifer et Paolo Urio.

Dédicace

Cette thèse est dédiée à toutes celles et ceux qui ont choisi de se consacrer, en sciences humaines, aux nouvelles méthodes liées à l'informatique. Une petite minorité d'entre eux a brillamment réussi leur carrière et je suis fier d'avoir des membres de cette “caste” dans mon jury de thèse. Grâce à leurs compétences informatiques, probablement une majorité de ces personnes ont trouvé un travail intéressant, au moins pour une part, le reste étant occupé par des tâches administratives. Ma pensée va particulièrement à ceux qui n'ont pas complètement abandonné leur carrière académique et qui essayent de trouver de temps en temps quelques jours pour travailler à leur thèse.

Table des matières

Table de figures

Résumé des sections principales

chapitre 1

Introduction 1

1-1 Projet et guide de lecture (p. 3)

La modélisation de la conduite du décideur gagne en puissance si on traite celui-ci en tant qu'acteur qui perçoit et traite de l'information à travers son savoir et son savoir-faire. La démarche scientifique s'enrichit grâce à la modélisation. Notre projet est de voir comment, à partir de ces deux prémisses, on doit développer l'analyse du décideu.

1-2 Vers une synthèse de "compréhension" et d' "explication" (p. 7)

L'explication passe par la modélisation de la compréhension, du sens (all. "Sinn", angl. "meaning") subjectivement attribué à une action par l'acteur et les autres. En modélisation ce sens par des constructions symboliques, on l'explicite et on l'explique.

chapitre 2

Modèles de l'individu et de l'acteur social 15

Ce chapitre a pour objectif de clarifier notre image de l'acteur et de la cognition. Cette image inspirera notre modèle général du décideur. Nous allons tout d'abord discuter le concept de la cognition qui a été développé dans une longue tradition psychologique. Ensuite, nous changerons de perspective pour définir notre image de l'acteur social. Finalement, nous ferons la synthèse de ces deux perspectives individuelles et sociales.

L'acteur humain est volontariste, mais guidé par des normes sociales et bureaucratiques. Il est rationnel, mais de façon limitée. Il est réflexif si la situation l'exige, mais ses capacités cognitives sont limitées en fonction de ses capacités de traitement de l'information, de ses connaissances et de ses états affectifs. Un acteur est un système de connaissances. Il interprète des situations et il réfléchit avant d'agir. Pour opérationaliser cette image dans des modélisations, nous proposons d'avoir recours aux langages de l'intelligence artificielle qui permettent de modéliser des structures de connaissances et leur manipulation.

2-1 Le paradigme émergent des sciences cognitives (p. 17)

Les sciences cognitives sont un ensemble de disciplines concernées par la recherche sur la pensée humaine et le cerveau humain. Etant donné que le décideur politique pense, ces nouvelles disciplines peuvent nous fournir un nombre important de théories, de connaissances plus spécifiques, et de techniques de modélisation.

L'idée centrale que nous retenons est que la pensée peut être modélisée comme "computation" qui opère avec et sur des structures symboliques. L'équation "cognition égale computation" est une construction analytique qui permet de décrire ce que l'on atrribue à un acteur quasi-rationnel.

2-2 La modélisation de l'action sociale (p. 33)

Distinguer entre les images de l'Homme qui se dégagent des approches psychologiques et celles que l'on retrouve dans des modèles de l'acteur social est assez artificiel. Schématiquement, les premières sont centrées sur l'individu et son fonctionnement par rapport à des "variables" psychologiques internes, alors que les modèles de l'action sociale s'intéressent à l'homme en tant qu'acteur qui prend des décisions en fonction de son environnement et de quelques principes (économiques, sociaux ou interactifs) de "pilotage".

L'acteur politique est un amalgame de plusieurs "rationalités" car la politique est au carrefour de plusieurs ordres sociaux.

2-3 Vers un modèle unifié de l'Homme (p. 43)

L'acteur qui est à la fois "cognitif" et "social", "intentionnel" et "quasi-rationnel", existe peu dans la littérature. Cela est en train de changer.Du côté des sciences cognitives, la dimension sociale gagne en importance et du côté des sciences politiques, sociologiques et économiques on commence à se rendre compte que l'acteur perçoit et traite de l'information avant d'agir. La difficulté est de trouver un "langage" interdisciplinaire qui satisfasse les exigences des disciplines concernées.

Nous remplaçons les raisons idéal-typiques Weberiennes de l'action sociale par les suivantes:l'action "téléologique" poursuit des buts de façon rationnelle;l'action "sociologique" suit les normes aveuglément, sans réflexion;l'action "normative" suit des normes en les interprétant et en tenant compte des motivations de l'acteur;l'action "bureaucratique" suit des recettes;l'action "dramaturgique" suit les besoins de la "maintenace" de l'acteur;l'action "interactive" possède la capacité de réfléchir sur les principes qui guident l'action, de les communiquer et de les négocier.Notre idéal-type de l'acteur politique est au croisement de ces idéal-types. Un langage computationnel permet, en principe, d'intégrer toutes sortes de logiques de l'action et de les intégrer dans un système s'adaptant à la nécessité et à la logique du type de la situation d'action.

chapitre 3

Modèles du décideur politique 51

Le décideur politique est un cas spécial de l'acteur social. Par conséquent, les théories du décideur politique s'insèrent dans les grandes lignes théoriques décrites au chapitre précédent. Etant donné que le domaine politique possède ses caractéristiques particulières, il est utile de discuter quelques modèles spécifiques à la science politique. Nous discuterons les théories rationnelles de la décision, les théories sur la décision quasi-rationnelle, et les méthodes du "cognitive mapping" et des "codes opérationnels". La majorité des modèles et théories émane des relations internationales et de la science administrative qui s'intéressent en effet beaucoup à la prise de décision de décideurs individuels ou collectifs. Toutefois, ces modèles ne s'intéressent qu'à des aspects particuliers du décideur politique. Nous complétons donc le panorama par des recherches cliniques en psychologie et nous finissons par un résumé sur les propriétés structurelles de la décision.

L'image de l'acteur social dégagée dans les chapitres précédents en tant que "naive problem solver" est confirmée par de nombreux auteurs en science politique. Les analyses empiriques en science politique de la perception des problèmes, des choix multi-critères, des processus bureaucratiques ainsi que toutes les études cliniques montrent que les théories de choix rationnel ont leurs utilités, mais elles n'ont pas beaucoup de pertinence empirique. La décision est un processus souvent long et de nature presque continue. Elle se fait dans un réseau logique d’anticipation, de rétroaction et de correction. Les capacités cognitives du décideur et l’ouverture de la décision elle-même imposent une limite à la rationalité et favorisent des stratégies heuristiques et approximatives pendant la démarche du décideur.

3-1 La notion de la décision (p. 53)

Ce qu’on l’entend par “décision” en sciences politiques (et dans les autres disciplines) concerne des phénomènes très distincts. Pour la plupart des écoles rationalistes-analytiques, la décision est définie comme un choix entre plusieurs alternatives. Pour d’autres, la décision concerne aussi le processus de sélection de buts et d’alternatives. Les approches cognitives finalement traitent la décision comme le résultat d’un processus global de résolution de problèmes.

La modélisation qui désire savoir comment un décideur (individuel et collectif) prend une décision doit s’intéresser à la façon dont le décideur modélise le monde et au savoir-faire subjectif et intersubjectif qui permet de traiter cette information

3-2 Les modèles rationnels de décision (p. 61)

Le but de cette section est de discuter quelques approches en science politique pour modéliser le décideur rationnel ou quasi-rationnel. Nous examinons deux traditions issues de la “théorie de la décision”: la théorie des jeux et la modélisation du choix quasi-rationnel. Nous abordons ensuite un modèle du décideur “administratif” qui suit des règles bureaucratiques incrémentales.

Les théories rationnelles du choix ont un intérêt philosophique et normatif, tout à fait approprié aux “first principle sciences”. Par contre, les travaux portant sur les méthodes quasi-rationnelles du choix ou encore sur l’application de règles bureaucratiques sont appropriés pour décrire et modéliser le déroulement de choix politiques empiriques.

3-3 ‘Cognitive maps’ et ‘operational code’ (p. 81)

La discussion des travaux de Saris et Gallhofer sur l’acteur quasi-rationnel a montré l’importance de la perception du monde dans le processus de décision. En effet, les choix sont formulés et même faits selon la façon de percevoir un problème. Dans cette section, nous allons nous pencher sur les deux approches “cognitivistes” les plus populaires en science politique qui permettent une analyse des représentations internes du monde du décideur.

Les nombreuses études effectuées à l’aide du “cognitive mapping” et de l’ “operational coding” ont montré l’importance de l’étude de la représentation symbolique des problèmes de décision et la modélisation des croyances philosophiques et instrumentales du décideur.

3-4 La modélisation des expériences du décideur (p. 89)

Dans cette section très courte nous introduisons une proposition de Alker pour modéliser l’effet des expériences du passé. Cette approche qui vise à faire le pont entre l’histoire et les modèles statiques du décideur mériterait une plus grande attention de la part des chercheurs.

Les décideurs ont une mémoire des événements. Elle peut et doit être modélisée car le passé joue un rôle important.

3-5 Le modèle “Lohhausen” (p. 91)

Les modèles, théories et méthodes d’analyses du décideur et de la décision qui ont été examinés jusqu’ici sont plutôt optimistes en ce qui concerne les capacités du décideur. Les expériences cliniques sont moins optimistes. Les travaux de Dörner en psychologie cognitive que nous allons discuter à plusieurs reprises dans ce travail mériteraient une reconnaissance beaucoup plus large en science politique, malgré la nature clinique de ses expériences.

Le décideur humain (et politique) opère dans des coupes de réalité (all. Realitätsausschnitten) complexes, partiellement inconnues, formant un réseau et possédant une auto-dynamique. De plus, il est guidé par plusieurs buts en même temps et l’objectif principal d’un processus de résolution de problème n’est souvent que partiellement défini voire complètement ouvert. La situation typique du décideur n’est pas celle d’un joueur faisant un choix isolé dans un jeu avec des règles bien définies, mais celle d’un acteur qui agit comme un élément dans un réseau complexe d’éléments actifs et passifs.

3-6 Les propriétés du décideur et de la décision (p. 97)

Dans les premiers deux chapitres, nous avons présenté notre paradigme quasi-rationnel de l’acteur social et dans les sections précédentes nous avons décortiqué quelques archétypes du décideur politique que l’on retrouve dans la littérature. Le but de cette petite section est de prendre ces caractéristiques et de formuler plus précisément ce que nous entendons par “décision” et par “décideur”, en faisant références à quelques travaux récents en science politique et en sciences cognitives.

La décision est un processus souvent long et de nature presque continue. Elle se fait dans un réseau logique d’anticipation, de rétroaction et de correction. Il existe un processus de structuration progressive du champ du possible vers une fermeture des possibilités

chapitre 4

La modélisation des processus cognitifs 107

Le but de ce chapitre est de présenter un paradigme du décideur selon les principes de la psychologie de l’information et d’introduire les concepts de la modélisation en IA nécessaires à notre entreprise. Nous commencerons par discuter la notion du processus de décision dans une vision cognitiviste. Ensuite nous introduirons les notions d’heuristique et de système à bases de connaissances. Nous conclurons le chapitre en discutant quelques travaux intéressants en “relations internationales et intelligence artificielle”.

Il est possible et utile d’utiliser des techniques IA pour construire des modèles du décideur politique. Les modélisations qui existent déjà, montrent qu’il faut choisir un niveau d’abstraction juste (la profondeur et la “granularité” de modélisation) et qu’il convient d’utiliser des techniques IA adaptées aux types de décisions étudiées et aux buts de recherche.

4-1 Modèles du décideur et du processus de la décision (p. 111)

Dans cette brève section, nous tentons d’abord de résumer l’image du décideur qui se dégage de la discussion dans les chapitres précédents pour ensuite discuter des propriétés structurelles de la décision. Nous dégagerons quatre définitions du concept de “décision” ayant une portée très différente. Nous voulons savoir comment une personne arrive à une décision et non pas pourquoi, car on peut toujours justifier rationnellement une décision en inventant un problème de choix a posteriori. Le “pourquoi” est une conséquence du “comment” et non inversement.

Nous distinguons entre (1) la décision-processus, (2) la décision complexe, (3) la décision simple (4) la décision-choix. En ce qui concerne le décideur lui-même, nous esquissons un modèle cognitiviste du décideur qui agit dans un environnement complexe.

4-2 Les heuristiques de résolution de problème (p. 121)

“Notre” décideur est avant un acteur intelligent qui doit résoudre des problèmes. Dans cette section nous introduisons quelques concepts du paradigme “classique” du “problem solver” de la psychologie de l’information

Le concept le plus important est celui de l’heuristique, une méthode pour résoudre un problème pour lequel il n’existe pas de simple solution préprogrammée.

4-3 Intelligence artificielle et résolution de problèmes (p. 135)

Après avoir discuté (1) la notion d’heuristique, (2) certaines opérations cognitives sur des réseaux cognitifs, et (3) l’insertion du décideur et de ses décisions dans l’environnement, il est temps de voir comment modéliser la résolution proprement dite de problèmes. Cette section donne une introduction conceptuelle aux techniques de base de l’intelligence artificielle (IA) concernant la résolution de problèmes.

Ce que nous présentons ici (notamment les systèmes de production) sont des techniques de base de l’intelligence artificielle. Elles sont attrayantes pour modéliser certains aspects du décideur.

4-4 Un modèle d’ “information” du décideur (p. 161)

Le modèle général du décideur que nous allons présenter est inspiré à la fois par le modèle “Lohhausen” de Dörner sur la décision dans l’environnement complexe et par les travaux de l’intelligence artificielle dans le domaine de la planification.

L’idée-force de ce modèle a déjà été bien souvent exposée dans ces pages: le décideur est une machine de traitement de l’information qui interagit avec un environnement actif. On postule en plus que le décideur peut être modélisé avantageusement comme processeur symbolique.

4-5 La modélisation IA de la décision en science politique (p. 165)

Nous passons en revue dans cette section quelques modélisations utilisées dans la recherche en science politique qui elles aussi tentent de modéliser certains types de décision.

La complexité de la notion de la décision se reflète dans la variété des types de modélisation.

chapitre 5

La modélisation d’une décision administrative par le génie cognitif 175

Dans ce chapitre, nous allons explorer la façon dont on peut modéliser une pratique juridico-politique d’une administration sous l’influence d’une politique cantonale. Par la suite, nous montrons l’utilité d’une modélisation des décideurs à l’aide d’un système expert.

Dans un premier temps, il apparaît que la construction d’un système IA force le chercheur à être systématique et complet. Dans un deuxième temps, un tel programme permet de mieux faire apparaître les aspects “intéressants” de la décision.

5-1 Les systèmes expert et un problème de modélisation (p. 177)

Avant de tenter la modélisation d’un fonctionnaire qui doit appliquer une loi à des cas sous certaines contraintes économiques et politiques, nous allons brièvement présenter la notion de “système expert”, la loi en question, ainsi que la modélisation du raisonnement juridique à l’aide de règles.

5-2 Les architectures “Mycin” (p. 183)

La méthode “Mycin” a fait ses preuves dans de nombreux domaines d’application qui nécessitent un raisonnement de type diagnostic ou classification. Nous allons discuter cette méthode avec quelque détail afin de donner aux personnes non-familières avec l’IA une idée complète de ce qu’est un système expert sur le plan technique.

“Mycin” est aujourd’hui un vieux langage, mais il n’a pas perdu son utilité. Mycin est une méthode de spécification d’un arbre de classification. Classifier, c’est-à-dire identifier un cas en fonction de certaines règles restera toujours une activité de décision très importante.

5-3 L’encodage d’un texte de loi - M-Lex (p. 195)

Une grande partie des décisions politiques sont fondées sur un texte codifié comme une loi, un règlement, etc. Pour le politologue, il peut s’avérer intéressant de pouvoir modéliser cet “arrière-plan” juridique couvrant une partie d’un “espace de décision”.

On peut traduire un tel code en un système informatique.

5-4 La dimension politique dans l’application d’une loi (p. 207)

A l’aide de l’exemple de la législation suisse sur l’acquisition d’immeubles par les étrangers (LAIE), nous allons arriver au coeur du débat de ce chapitre: la modélisation du facteur politique et économique dans la décision d’un fonctionnaire intégré à une administration cantonale.

Le modèle P-Lex représente quelques “snapshots” intéressants de la mise en oeuvre d’une loi. La modélisation d’une décision comprend d’abord la modélisation des règles juridiques, la jurisprudence infra-légale est modélisée comme fonction de l’environnement économique et politique.

chapitre 6

Le décideur, son organisation et son environnement 237

Ce chapitre présente un projet: la modélisation du décideur et de son environnement (y compris les systèmes d’acteurs). En même temps, il milite pour un renouvellement de la modélisation des systèmes en sciences politiques. Il existe aujourd’hui un certain nombre de techniques de simulation multi-modales qui permettent la simulation de systèmes complexes à des degrés très variés d’abstraction et de détail .

La simulation de l’avenir sera “multi-modale” ou “multi-facettes”. Elle permettra de modéliser le décideur dans son ensemble avec son environnement et les contraintes (connaissances, ressources) auxquelles il doit faire face.

6-1 Introduction (p. 239)

Le décideur politique individuel fait partie d'un environnement que l'on peut différencier selon une perspective "système d'acteurs" et règles sociales, politiques, économiques, etc.

6-2 La modélisation de l'environnement (p. 243)

L'action d'un décideur prend place dans un environnement complexe (cf. notre discussion dans la section 3-5 "Le modèle "Lohhausen"" [p. 91]). Un environnement dynamique "inanimé" peut être décrit par des langages de simulation numérique. Toutes ces techniques de simulation sont bien adaptées pour des problèmes qui peuvent être modélisés analytiquement et numériquement.

Les techniques basées sur la modélisation des connaissances sont en revanche adapteés pour les domaines où le raisonnement heuristique et analogique est prédominant. Nous suggérons ici comment intégrer ces deux type de techniques.

6-3 La modélisation d'objets et d'acteurs (p. 253)

Dans cette section, nous allons nous poser la question de savoir comment modéliser les objets et les acteurs actifs dans un système. Nous passerons en revue deux approches, celle de la simulation orientée objets et celle de la modélisation d'acteurs en intelligence artificielle.

La simulation orientée objets est adaptée à la modélisation des systèmes d'acteurs (comme des organisations) à condition de pouvoir interfacer ses objets avec un système à bases de connaissances.

6-4 La mémoire du décideur et l'apprentissage (p. 271)

Les expériences du passé ont une influence importante sur le décideur. Tout modèle statique diminue sa portée. Ainsi, il faut tenter de modéliser les phénomènes de raisonnement avec le passé, d'adaptation et d'apprentissage. Il s'agit ici d'un problème de recherche difficile, mais nécessaire à moyen terme.

Nous suggérons d'utiliser les méthodes développées dans le cadre des recherches sur l'analyse des événements historiques en relations internationales.

6-5 Vers un paradigme multi-modal de simulation et de modélisation (p. 277)

La simulation au sens large veut utiliser un objet "artificiel" à la place d'un autre en vue d'un gain de connaissances. La notion de simulation implique une certaine analogie du comportement du modélisé avec le modèle. Pour nous, il s'agit notamment de modéliser un comportement dans le temps avec certaines conditions de départ.

Nous argumentons ici que le choix d'une méthode de simulation doit se faire en fonction de l'objet de recherche et non pas en fonction des outils que l'on maîtrise. L'avenir appartient sans doute aux simulations multi-modales qui permettent de choisir les techniques appropriées pour chaque type de composante d'un système.

chapitre 7 Epistémologie et méthodes de la modélisation IA 285

Après avoir discuté la modélisation isolée du décideur et des approches de simulations multi-modales, nous faisons ici le point épistémologique et méthodologique de la "modélisation IA" au plan généra et de celle des sciences politiques et du décideur en particulier. Nous discutons d'abord les fondements épistémologiques de l'intelligence artificielle. Nous examinons notamment la question de savoir à quel point l'IA peut vraiment modéliser l'intelligence humaine. Ensuite, nous discuterons quelques aspects importants du génie cognitif, c'est-à-dire de la méthodologie pour construire un système à bases de connaissances. Nous concluons par une analyse de la notion de modèle en sciences sociales.

Un bon modèle de la démarche d'un décideur est un modèle exécutable par ordinateur. "Exécutable" ne signifie pas "imitation parfaite des processus cognitifs" du décideur. Un modèle du décideur sera nécessairement une construction analytique, mais une construction qui modélise les connaissances subjectives et intersubjectives potentiellement mises en jeu par l'individu.

7-1 Les bases épistémologiques de l'intelligence artificielle (p. 287)

L'intelligence artificielle est devenue un des terrains de bataille favoris de la philosophie de l'esprit. Comme peu de disciplines des sciences humaines, elle est explicite et revendicatrice. Elle s'attire en conséquence les critiques venant de nombreux autres domaines, mais elle se met également elle-même en question par le simple fait que ses programmes doivent tourner de mieux en mieux. Nous montrons ici que la plupart des critiques sont justifiées, mais que les solutions proposées aux problèmes font défaut. Ces critiques ont un impact sur l'ancrage épistémologique des modélisations IA en science politique.

Nous proposons une interprétation originale du statut des modèles. Le modèle devient le lieu, où observations empiriques et questions théoriques se discutent et se construisent en collaboration entre les chercheurs impliqués dans le projet, d'autres chercheurs et, si possible, les sujets étudiés. Le sens des représentations d'un modèle symbolique doit être socialement ancré.

7-2 La modélisation IA et le génie cognitif (p. 303)

Dans cette section, nous allons discuter la méthodologie et quelques techniques du génie cognitif (aussi appelé ingénierie de la connaissance, angl. "knowledge engineering"). Le génie cognitif fait référence à l'ensemble des méthodes utilisées pour les systèmes à bases de connaissances (angl. "knowledge based systems").

Il serait idéal, si en science politique, on pouvait mettre sur pied un groupe de travail chargé de développer des langages communs pour tout type de modélisation et si nécessaire des passerelles entre ces langages. Les systèmes de représentation constituent la pierre angulaire des systèmes à bases de connaissances et l'expressivité d'un dispositif de modélisation en dépend fortement. Des langages standardisés nous permettraient de créer des bases de données communes (comme c'est déjà le cas en relations internationales) et d'échanger des "briques" de modélisation entre chercheurs.

7-3 Pour une nouvelle modélisation systémique (p. 321)

Dans cette section, nous discuterons la notion de "modélisation" d'abord au plan général et ensuite par rapport aux modélisations IA en sciences sociales et plus particulièrement celles du décideur.

Les différents paradigmes de modélisation mettent en évidence plusieurs aspects des processus modélisés. Notre position en faveur des modèles multi-paradigme ne découle pas d'une vision "oecuméniste". Tout le monde n'a pas toujours raison. Néanmoins, lorsqu'une approche permet de modéliser de façon plus adéquate un phénomène, il ne faut pas hésiter à l'utiliser dans une modélisation hybride.

chapitre 8 Applications pratiques 331

Toute recherche sur les méthodes doit aussi s'interroger sur l'utilité de ces méthodes pour la pratique politique. La tâche de la science politique n'est pas uniquement d'étudier des phénomènes politiques, mais également de proposer des améliorations. Nous nous interrogeons sur la possibilité de mieux former nos décideurs et nous discutons brièvement les outils d'aide à la décision.

Nous estimons que notre démarche est également utile sur le plan pratique.

8-1 Le problème: le déficit de décision (p. 333)

Nos sociétés modernes semblent connaître un déficit de décision et certains décideurs politiques un certain déficit cognitif. Si c'est le cas il existe trois méthodes pour y rémédier: (1) améliorer les conditions de décision, (2) améliorer le décideur et (3) améliorer les outils de décision.

8-2 La formation des décideurs (p. 337)

L'avenir de nos sociétés se jouera sans doute en bonne partie sur les efforts consentis à la formation. Le déficit de décision semble être en augmentation aujourd'hui. Ainsi faudra-t-il (entre autre) tenter d'améliorer la formation de nos futurs décideurs.

Nous présentons ici une voie possible qui repose sur les techniques de simulation et de l'IA. Il s'agit d'environnements d'apprentissage de la décision complexe, composés d'un "micro-monde", d'une interface structurée, et d'agents pédagogiques.

8-3 Systèmes d'aide à la décision (p. 351)

Les systèmes d'aide à la décision font référence à un ensemble varié d'outils informatiques supportant directement ou indirectement la décision voire le travail général du gestionnaire. Nous nous y intéressons pour trois raisons (1) Ces systèmes vont modifier la décision. (2) Afin de produire des systèmes réellement utilisées, il est important d'avoir des modèles riches et justes du décideur et du fonctionnement de la décision. (3) On peut considérer qu'un modèle est un système d'aide au travail du chercheur.

chapitre 9 Conclusion 355

La conclusion se fera sur deux plans: celui de la démarche du décideur et celui de la modélisation.

Nous finirons par un plaidoyer en faveur du financement de grands projets, car sans équipe, tout travail de modélisation restera modeste.

9-1 La modélisation du décideur (p. 357)

Une méthodologie de la modélisation du décideur se dégage (a) d'une conceptualisation générale du décideur, (b) d'un cadre méthodologique général pour modéliser le décideur, (c) de nos études de cas méthodologiques et techniques, (d) et de la littérature sur des modélisations similaires. Nous allons ici brièvement revoir la notion du décideur.

Compte tenu de la richesse du phénomène du décideur et de la variété des types de décisions, on ne peut pas préconiser tel ou tel type précis de modélisation . Mais nous postulons que la modélisation du décideur à l'aide d'un système à bases de connaissances portera ses fruits.

9-2 La méthode IA en science politique (p. 363)

Les méthodes IA offrent un complément très intéressant aux techniques de modélisations actuellement utilisées en science politique et plus particulièrement celles pour modéliser un décideur. L'IA offre un ensemble de "langages" qui permettront d'augmenter la profondeur des modèles et d'améliorer la précision des théories "verbales". Nous présentons ici une réinterprétation du rôle du modèle dans le cadre de la communication scientifique.

Les données fondamentales sur lesquelles une décision individuelle est basée et auxquelles elle aboutit sont des informations qui peuvent être avantageusement modélisées par des constructions symboliques. Voici une première facette du "knowledge oriented modelling". L'autre facette concerne la construction et le partage des modèles. Là aussi, il s'agit de constructions symboliques qui peuvent être manipulées et transmises en tant qu'objets à étudier.

9-3 L'avenir de la modélisation en science politique (p. 373)

Nous pensons qu'il est important d'augmenter les ressources pour la modélisation en science politique. Sans avoir de structures de recherches similaires à celles des sciences naturelles, le programme dont nous nous faisons l'avocat ne pourra sans doute jamais vraiment commencer.

chapitre 1

Introduction

1-1 Projet et guide de lecture

La modélisation de la conduite du décideur gagne en puissance si on traite celui-ci en tant qu'acteur qui perçoit et traite de l'information à travers son savoir et son savoir-faire. La démarche scientifique s'enrichit grâce à la modélisation. Notre projet est de voir comment, à partir de ces deux prémisses, on doit développer l'analyse du décideu.

Le projet

Ce texte est un projet pour la modélisation de la démarche du décideur politique dans la perspective de l'intelligence artificielle.

Les décideurs humains sont des êtres ayant des intentions et des rationalités: ils perçoivent, traitent et produisent activement de l'information. Nous postulons que les théories de la décision et les modélisations du décideur devraient avoir un intérêt fondamental à respecter cette "donnée ontologique".

Le plus grand déficit auquel nous devons faire face aujourd'hui se trouve au niveau des modèles. Ce n'est qu'avec des modèles que nous arriverons à réduire l'écart énorme qui existe entre les prétentions des théories et la réalité de l'observation empirique. Le mécanisme de base de la compréhension de phénomènes complexes (en sciences et dans la vie quotidienne) fait usage de *modèles*. Nons pensons que les modèles les plus intéressants sont ceux qui sont en relation homomorphique avec les phénomènes qu'ils modélisent.

A partir de ces affirmations, nous dérivons les buts de notre "programme" qui se veut exploratoire et prospectif au niveau des méthodes et critique par rapport aux pratiques dominantes en science politique:

1. établir une définition du décideur politique (individuel) sur la base d'une littérature pluridisciplinaire.
2. développer un cadre méthodologique général pour la modélisation du décideur politique.

Guide de lecture

Nous clarifions d'abord le concept d'acteur humain et social, dont le décideur politique constitue un cas particulier. "Notre" décideur sera défini comme "intentionnellement rationnel" (Angl. "intentely rational") et "quasi-rationnel" ou "rationnel à limites" (Angl. "bounded rational"). Ces réflexions théoriques à l'appui, nous procédons à une évaluation critique des

approches du décideur en science politique. Partant de cette discussion et à l'aide de la méthodologie des sciences cognitives nous pouvons, par la suite, présenter un modèle du fonctionnement du décideur qui servira de cadre théorique et méthodologique pour les modélisations du décideur politique.

- Dans le chapitre 2 "Modèles de l'individu et de l'acteur social" [p. 15], nous discutons des résultats importants de traditions de recherche en psychologie et en sciences sociales pour aboutir à une définition psycho-sociale de l'acteur.
- Dans le chapitre 3 "Modèles du décideur politique" [p. 51] nous passons en revue la littérature de la science politique pour aboutir à une "spécification" générale du décideur politique.
- Dans le chapitre 4 "La modélisation des processus cognitifs" [p. 107] nous définissons finalement un modèle du fonctionnement du décideur sur la base des modèles de psychologie de l'information et d'intelligence artificielle.

En nous appuyant sur un cadre théorique cognitiviste, nous pouvons procéder à quelques explorations méthodologiques qui démontrent à la fois (a) l'intérêt de la démarche de l'intelligence artificielle et des modélisations cognitivistes et (b) la faisabilité technique de ce genre d'entreprise.

- Dans le chapitre 5 "La modélisation d'une décision administrative par le génie cognitif" [p. 175], nous procédons à une étude approfondie de la modélisation du décideur administratif et nous la comparons à d'autres modélisations du décideur politique utilisant des techniques et modèles de l'intelligence artificielle.
- Le chapitre 6 "Le décideur, son organisation et son environnement" [p. 237] discute un certain nombre de méthodes et techniques qui permettent la modélisation du décideur et de son environnement. Ce chapitre espère ouvrir la voie pour des simulations multi-modales permettant d'intégrer d'autres approches et d'élargir les champs d'étude.

L'utilité pratique d'une méthodologie se manifeste clairement par le gain de connaissances qu'elle permet d'obtenir dans les recherches empiriques, mais sa validité et ses limites épistémologiques doivent être cadrées par une réflexion épistémologique et méthodologique générale.

- Nous procédons à cet exercice dans le chapitre 7 "Epistémologie et méthodes de la modélisation IA" [p. 285].
- Le chapitre 8 "Applications pratiques" [p. 331] s'interroge sur le déficit de décision dans nos sociétés et dégage des perspectives pour y remédier.

Notre proposition pour une nouvelle méthodologie de la modélisation du décideur se fonde sur (a) notre image de l'homme, (b) notre cadre général du décideur, (c) notre cadre méthodologique général de modélisation du décideur, (d) nos études de cas méthodologiques et techniques, et (e) la littérature sur des modélisations similaires.

- Le chapitre 9 “Conclusion” [p. 355] fait brièvement le point sur les notions du décideur et de la modélisation et s’interroge également sur les conséquences pratiques en ce qui concerne l’organisation de la recherche en science politique.

Dans ce texte, nous nous faisons l’avocat de la modélisation inspirée par les travaux en “intelligence artificielle”. Le but que nous visons n’est pas de fournir des études empiriques sur des décideurs politiques déterminés, mais d’ouvrir une voie pour la création d’outils opérationnels valables pour la recherche empirique et méthodologique. En effet, les grandes lacunes en science politique (et en sciences sociales) se situent moins aux niveaux théorique et/ou empirique qu’au niveau méthodologique. De nouvelles méthodes permettront de faire le pont entre les exigences des théories modernes et le monde empirique sans être contraint de choisir entre le réductionnisme excessif et la description monographique. Nous avons l’ambition de fournir à la communauté scientifique deux résultats:

1. un cadre méthodologique général pour l’analyse du décideur individuel,
2. des méthodes et des techniques qui peuvent être appliquées directement pour la construction de modèles empiriques.

Ce travail porte sur la modélisation du décideur individuel mais, nous pensons que l’analyse du décideur collectif peut s’effectuer selon une approche similaire[1]. Lorsqu’on analyse le décideur collectif comme un décideur singulier, on opère une réduction de la réalité. Toutefois, même dans ce cas de figure, nous sommes convaincus de la nécessité d’une approche intentionnelle et quasi-rationaliste. Après tout, un collectif d’acteurs fonctionne selon des principes de base similaires à ceux de l’acteur individuel. Il perçoit et traite de l’information. Nous y revenons brièvement plus tard.

Si on choisit d’analyser la décision collective en tant que résultat de l’interaction entre décideurs individuels, les problèmes de modélisation seront plus difficiles. Il s’agit toujours d’acteurs intentionnels et quasi-rationnels, mais la modélisation des processus de communication, de coopération et de conflit entre acteurs individuels - notamment la question de coalitions - nécessite un travail supplémentaire que nous n’avons pas pu fournir ici[2].

---

1. Toutefois, nous limitons cette affirmation dans le sens où nous ne définirons pas de systèmes complexes (tels que la société entière) comme décideur. Nous définissons “l’acteur collectif” comme un ensemble réduit de décideurs en interaction plus ou moins directe (comme par exemple un gouvernement) ou encore comme une institution hiérarchique (comme par exemple une administration).
2. Toutefois, nous faisons parfois allusion à ces problématiques, notamment lors de la discussion des approches rationnalistes de la décision et lorsque nous évoquons le problème de l’environnement du décideur.

1-2 Vers une synthèse de "compréhension" et d' "explication"

L'explication passe par la modélisation de la compréhension, du sens (all. "Sinn", angl. "meaning") subjectivement attribué à une action par l'acteur et les autres. En modélisation ce sens par des constructions symboliques, on l'explicite et on l'explique.

Max Weber (81:19), au début de ce siècle, était le premier à formuler les principes d'une science sociale interprétative *et* explicative. Ces principes nous inspirent pour nos propres travaux.

> "Soziologie (im hier verstandenen Sinn dieses sehr vieldeutig gebrauchten Wortes) soll heissen: eine Wissenschaft, welche soziales Handeln deutend verstehen und dadurch in seinem Ablauf und seinen Wirkungen ursächlich erklären will. »Handeln« soll dabei ein menschliches Verhalten (einerlei ob äusseres oder innerliches Tun, Unterlassen oder Dulden) heissen, wenn und insofern als der oder die Handelnden mit ihm einen subjektiven *Sinn* verbinden. »Soziales« Handeln aber soll ein solches Handeln heissen, welches seinem von dem oder den Handelnden gemeinten Sinn nach auf das Verhalten *anderer* bezogen wird und daran in seinem Ablauf orientiert ist."

La décision en politique est un comportement intentionnel et social. Ainsi, un acteur qui agit avec intention (contrairement à celui qui se contente de réagir à des stimuli sans réfléchir) doit travailler à l'aide d'un modèle du monde au sein duquel il active des objets. Il doit créer des représentations, un monde symbolique qu'il doit manipuler consciemment ou inconsciemment pour arriver à prendre des décisions qui affecteront le "monde réel". En conséquence, les données fondamentales sur lesquelles se base une décision individuelle sont des *constructions symboliques*. Ceci signifie que pour le chercheur, la catégorie fondamentale de l'analyse du décideur (et des décisions) est le *sens* (angl. meaning).

La décision n'existe pas sans le *problème*. Ainsi, l'analyse de la décision ne doit pas se limiter à celle du choix entre certaines alternatives d'action. La décision est surtout engendrée par la définition de l' "espace du problème" et son traitement par le décideur. En simplifiant un peu, nous pouvons dire que la décision est le résultat de structures de sens qui opèrent sur des structures de sens. En d'autres termes, des décisions sont faites au moyen de processus symboliques et reposent sur des représentations. Techniquement, il est utile de décrire un décideur comme un système organisé symboliquement. Ces constatations nous semblent valables également pour l'acteur collectif.

L'importance de la pensée subjective

Le sens, en tant que donnée pour la décision, est symboliquement préstructuré, produit par le savoir pratique d'une raison non-théorique. Autrement dit, ce ne sont pas nos théories ou nos modèles qui attribuent une signification première aux actions. Ainsi, la description scientifique de ces "données" ne dépend pas seulement d'un fondement théorique solide mais est également déterminée par le savoir du chercheur sur le monde. Un chercheur en sciences sociales ne peut parler d'intentions et de sens sans comprendre, d'une certaine façon, ce que le sujet analysé pense et ce qu'il fait. Ainsi, le premier contact du chercheur avec ces données symboliquement préstructurées est, au fond , le même que celui d'une personne "ordinaire". Dans cette perspective de recherche orientée vers la "compréhension", le chercheur doit d'abord essayer de reconstruire le processus de décision et ses interactions avec le monde. Sa démarche peut être différente de celle de l'homme "ordinaire", mais il sera néanmoins obligé d' "imaginer" certaines structures de connaissance internes du décideur avant de commencer la modélisation proprement dite.

Pour les chercheurs qui reconnaissent l'importance de la pensée subjective, il est fréquent de postuler que le meilleur accès à ces "données" se fait à travers un processus de compréhension, dans le sens du "Verstehen" défini, par exemple, par Wilhelm Dilthey (l'un des pères fondateurs de l'herméneutique en sciences sociales). Examinons brièvement ce concept très radical. Selon Dilthey, la compréhension est la résultante des deux expressions "Erleben" (vivre) et "Verstehen" (compréhension). L'action humaine doit être racontée avec les termes du langage naturel, elle doit être associée à notre propre savoir sur le monde. On pourrait dire, presque "mystiquement": l'action humaine est comprise à travers un processus d'*identification* avec ce qui se passe "derrière" sa description symbolique. L'idée même de modélisation est en contradiction naturelle avec cette vision "humaniste" radicale. Les prémisses de base de l'herméneutique Diltheene sont (1) la *fusion* entre l'observateur et l'observé et donc (2) la conviction que les structures de pensée et de sens sont *pénétrables*, mais d'une façon intuitive.

Nous sommes en désaccord avec ces deux prémisses. Notre point de départ n'est pas cette notion forte de la compréhension, mais simplement l'idée que nous devons *exprimer explicitement ce que les décideurs pensent lorsqu'ils agissent*. D'autres chercheurs ont suivi la même direction. Au lieu de spéculer sur les possibilités psychologiques (et philosophiques) de "sentir" la pensée de quelqu'un, on se concentre sur la question de l'interprétation des textes et d'autres structures du savoir ou encore sur celle d'engendrer les structures du savoir utilisées par un décideur particulier. A ce stade de la recherche empirique, notre point focal sera donc de tenter de coupler "l'art de l'interprétation" à "l'art de la modélisation". Les sciences herméneutiques que nous appellerons "fortes" vivent sur l'idée que la communauté scientifique saurait "sentir" des "contes" fournis par le chercheur. Ces contes décrivent des phénomènes dans une perspective subjective qui prétend réunir le chercheur et l’objet. Nous soutenons, au contraire, que ces contes constituent déjà une sorte de modèle que le chercheur a du phénomène étudié. Pour que ce conte soit intelligible pour la communauté scientifique, il doit être structuré systématiquement. Au-delà, si le chercheur ne veut pas rester au niveau d’une description superficielle, il doit procéder à d’autres arrangements des données: par exemple, il doit rendre explicites certains liens. De plus, il ne peut pas éviter les questions du “pourquoi”et de ce qui est “derrière” une simple description. Ainsi on retrouve la notion du modèle.

En allant plus loin, nous soutenons non seulement que la modélisation fait partie de toute recherche scientifique, mais nous sommes certains qu’elle est essentielle. Seul un modèle explicite montre clairement ce que le chercheur “voit” dans un décideur ou plutôt dans les “aspects” du décideur qui l’intéressent. Presque tout le monde est d’accord pour dire que même les données subjectives de très bonne qualité (telles qu’on les obtient dans des recherches du type anthropologique) ne reflètent pas, par elles-mêmes, ni leur sens ni la raison de leur existence: elles doivent être interprétées. Les adhérents de l’herméneutique “dure” toutefois prétendent que seules les données subjectives (gagnées de l’objet) sont intéressantes et qu’il faut les interpréter contre un “background” commun. Leurs opposants les plus farouches, les “behavioristes-explicationnistes”, mettent déjà en cause ce genre de données. Notre position est intermédiaire. Pour les raisons déjà évoquées, la pensée subjective est cruciale pour l’analyse scientifique. Toutefois, nous affirmons aussi que la qualité de ces données laisse à désirer (une décision subjective n’est jamais vraiment pénétrable). De même, le “background” commun, même s’il existe, ne pourrait jamais combler ces lacunes de notre connaissance. De ce fait, l’interprétation de la pensée subjective et sa modélisation doivent souvent être combinées avec d’autres moyens d’investigation et de modélisation scientifique.

L’accès aux données est difficile

Revenons à la question des données subjectives et de leur interprétation. Nous acceptons le fait qu’il existe des connaissances dans l’esprit des décideurs qui demandent une “compréhension” de la part du chercheur. Ce postulat n’implique pas (comme on le prétend parfois) que le sujet-décideur sache exactement ce qu’il fait, et qu’il sache exactement comment sa connaissance est organisée dans des structures de connaissance et comment ces dernières guident une décision. Autrement dit, si on comprend pragmatiquement la signification d’une action, on n’est pas forcément à même de saisir les principes (c’est-à-dire les structures de connaissance) qui engendrent une telle action. Pire encore, la recherche empirique montre que beaucoup de décisions ne sont prises que semi-consciemment et que d’autres ne sont pas explicites. D’une manière caricaturale, on peut dire que le décideur ne “réfléchit” pas nécessairement lorsqu’il pense. Ainsi, même ses propres motivations peuvent échapper au décideur lors d’une décision. Certes, on peut éclairer telle décision à l’aide du savoir sur le monde que l’on peut “extraire” du décideur. Si on lui demande pourquoi il a pris telle ou telle décision, ou encore lorsqu’on le force à penser à voix haute durant la prise de décision, on gagne accès à des couches de savoir plus profondes. Toutefois ces techniques impliquent des distorsions comme des rationalisations a-posteriori. L’espoir de ces techniques ne réside pas en fait dans les résultats d’analyse de décisions singulières, mais dans la “construction” de l’ensemble de la connaissance subjective nécessaire à produire une certaine classe de décisions. Sur un plan pratique, on doit surmonter d’autres obstacles. Dans beaucoup de cas (notamment lorsqu’il s’agit de décideurs importants en politique), on n’a simplement pas la possibilité d’avoir des entretiens prolongés. Dans d’autres cas,le décideur refuse de s’ouvrir à des expériences. Qu’en est-il des décisions historiques dont les décideurs sont déjà décédés? Dans ces cas, le chercheur doit se rabattre sur d’autres sources et suit une démarche plus analytique.

Malgré ces problèmes pratiques de la recherche empirique, on le répéte, on ne peut pas ignorer que toute décision repose sur des structures de connaissance manipulant de la connaissance. Notre but n’a pas changé: modéliser les contenus d’une décision et ses principes organisateurs, même s’ils sont semi-cachés, voire inaccessibles.

Modèles et représentations

Le “modèle” tient une place centrale dans notre approche. Créer un modèle signifie non seulement décrire quelque chose, mais également l’expliquer en grande partie. La conviction que le modèle est en fait la pierre angulaire de la recherche devient de plus en plus populaire et en vient même à effacer la respectable notion de théorie, notamment dans toutes les approches “systémiques”. Herzog (84:84) met à égalité “connaissance” et “re-présentation” (all. “Vorstellung”): “Erkenntnis wurzelt in einem subjektiven Akt, der Vor-stellung des Seienden, d.h. *der Konstituierung des Gegenstandes der Erkenntnis*" (italiques de Herzog). Autrement dit, toute connaissance a besoin du médium “modèle” pour représenter une réalité d’une façon cohérente et compréhensible.[3] Pour être compris, le monde doit être représenté par des modèles, c’est-à-dire par des systèmes symboliques. Ces réflexions insistent non seulement sur l’importance du modèle, mais lui donnent une signification plus large que celle que l’on rencontre dans la tradition des systèmes axiomatiques (par exemple en économie politique contemporaine). En effet, notre notion de modèle englobe à la fois la représentation scientifique et son utilisation courante.

Il est temps de clarifier la notion de connaissance et de représentation. L’acteur humain a une capacité réflexive. Il possède des structures de

---

[3] Herzog (84:84) cite même Heidegger à l’appui: Le savoir scientifique est "Vergegenständlichung des Seienden [vollzogen] in einem Vor-stellen, das darauf zielt, jegliches Seiende so vor sich zu bringen, dass der rechnende Mensch des Seienden sicher und das heisst gewiss sein kann."

connaissances “procédurales”, c’est-à-dire des structures qui opèrent sur d’autres structures. Toutefois, ces structures sont à leur tour des sujets passifs qui peuvent également être examinés et manipulés. Même une simple décision est toujours le produit de structures qui sont potentiellement connectées. Souvent les connaissances sont utilisées d’une façon automatique, un peu comme des recettes. Mais lorsque ces “recettes” ne sont pas disponibles, un acteur humain commence à réfléchir au sens propre de ce terme. Dans ce cas, il lui est possible de “décompiler” plus ou moins ces recettes un peu obscures et automatiques. Autrement dit, une très grande partie de la connaissance humaine peut être rendue transparente sous forme symbolique. Pour le chercheur, ceci veut dire qu’il est envisageable de construire des modèles symboliques qui simulent des processus de décision par ordinateur. L’ordinateur est ainsi envisagé comme une machine qui permet de modéliser toute connaissance qui peut être décrite symboliquement.

Le savoir commun et la quasi-herméneutique

Un décideur est un acteur social: par conséquent, il partage une grande partie de son savoir avec d’autres personnes. L’interaction raisonnable entre individus et la coordination de leurs actions ne pourraient pas exister si le savoir individuel sur le monde social et physique ne reflétait pas ses objets et leurs relations d’une façon similaire. Toutefois, ceci ne signifie pas que les structures du savoir humain sont créées d’une façon simple et directe: elles ne reflètent pas simplement le monde. Toutes les situations de décision et d’interaction ont des propriétés auto-organisatrices qui affectent le décideur. Au cours d’une décision, elles sont représentées à l’aide des connaissances internes que le décideur possède déjà. Une partie de ces structures de connaissances temporaires seront accessibles à long terme dans la mémoire épisodique. Elles seront également responsables de la création d’un nouveau savoir de décision. Mais, dans tous les cas, la définition d’un “environnement de problème” (angl. “problem environment”) et de sa solution est le résultat d’un traitement d’information interne très complexe.

Par le fait que le décideur opère dans un monde social, une grande partie de sa décision est appuyée sur un savoir social (c’est-à-dire partagé) et sur une définition commune d’une situation de décision. Ceci facilite la pratique de la recherche: nous disposons d’un accès, même s’il est incomplet, aux structures de connaissance d’un décideur donné par le biais de l’introspection et des jeux de rôles. Nous appelons cette technique du “que pense-t-on si l’on agit de telle façon?” de la quasi-herméneutique. Cette analyse d’une décision doit effectuer une analyse de l’espace du problème (angl. “problem space”) et de la prétention (all. “Geltungsanspruch”) d’une action à la suite de la décision (que signifie-t-elle pour les autres?). En conclusion, un comportement social, comme la décision politique, possède certaines rationalités fondées sur des structures de connaissances “universelles” qui organisent, en concours avec les contraintes d’une situation de décision, des structures de savoir locales comme l’espace de problème subjectif et le processus de la résolution de problème proprement dite.

Interprétation, reconstruction et explication

Répétons quelques postulats exprimés jusqu’ici:

1. Les données les plus importantes pour l’analyse du décideur sont des structures de connaissance subjectives.
2. Nous avons un accès limité et incomplet à ces structures.
3. Par conséquent, la théorie politique doit s’efforcer de modéliser ces structures, même si elle ne peut le faire que de manière incomplète.

Ces postulats, qu’on peut trouver dans la littérature sur la décision[4], n’explicitent évidemment que le point de départ de notre recherche. La grande question que nous nous posons ici sera de savoir comment reconstruire le décideur, ou autrement dit comment faire des modèles riches, adaptés aux exigences théoriques et fidèles à la réalité complexe des décisions observées. Dans la littérature, on rencontre un grand nombre de stratégies de recherche dont aucune ne donne vraiment satisfaction. Faut-il suivre l’ “art” de la “sociologie du quotidien” (angl. everyday sociology) et de l’herméneutique en utilisant notre bagage personnel du savoir ordinaire sur le monde? Ou faut-il sacrifier cette richesse pour une analyse structurée explicite telle qu’elle est postulée par les écoles analytiques? Nous sommes persuadés qu’il existe une manière de modéliser des structures symboliques subjectives d’une façon systématique et explicite sans perdre trop de leur richesse dans la modélisation. Il est clair que des compromis doivent être faits. Il est très significatif à nos yeux que ce sont justement les adeptes les plus durs d’une approche qui ignorent tout l’éventail pratique de la recherche. Du côté herméneutique, on se borne souvent à analyser des individus accessibles, et du côté analytique à faire des modèles d’individus-type imaginaires. A notre avis, ces deux approches modélisant la “vie interne” du décideur doivent devenir partenaires. En effet, la compréhension du savoir individuel rend plus riche le modèle analytique, et le modèle analytique nous aide à combler les lacunes inévitables du savoir individuel.

Plusieurs philosophes du raisonnement scientifique, dont Hübner (83) et Habermas (84), cherchent des voies intéressantes pour marier explication et interprétation. Le premier montre l’importance des constructions a priori pour toute interprétation et le deuxième cherche à fonder une science de la reconstruction rationnelle des actions humaines. Tout le débat tourne autour de la question de savoir quel statut il faut accorder aux règles suivies par un acteur dans une certaine situation. Bien que ces règles aient une portée limitée dans le temps et l’espace, il faut néanmoins tenter de les

---

[4] Voir par exemple en psychologie cognitive: Dörner 87, Huber 92, Johnson-Laird et Shafir 93 , Simon 77, Tversky 81; en théories interdisplinaires de la décision: Karlssohn 89, Hagen 74, Klein 91; en science politique: Allison 71, Axelrod 76, Bonham 76, Edwards 67, Gallhofer et Saris 79, George 69c, Holsti 67, Shappiro 73, Steinbrunner 74, Sylvan et Chan 84.

dégager pour fournir une raison à l’action. Hübner (83:180-181) fait la remarque (juste) que même une simple narration historique du type:

```
1. X est dans un état E1 en temps t1,
2. un événement H arrive à Xen t2,
3. X est dans un état E2 en t3,
```

engendre une *explication* (implicite) car on évoque une *transition* (provoquée par l’événement H). Cet type d’arrangement des observations implique des a priori théoriques (attribuant des causalités dans ce cas). Toute interprétation systématique d’événements sociaux est donc nécessairement une explication, une reconstruction rationnelle d’un phénomène observé. Il existe une différence subtile entre l’explication interprétative et celle qui attribue une causalité externe à un acte social. Habermas (84:363-370) fait une distinction entre observation (expérience sensorielle), interprétation (expérience communicative) et explication (explicitation du sens et/ou attribution causale). L’explication causale simple ne met pas en cause le sens immédiat de l’interprétation d’une observation. Elle tente de montrer pourquoi (et à cause de quel principe de fonctionnement de la réalité) le phénomène s’est produit. L’explicitation du sens (all. “Bedeutung”) nécessite la *(re)construction rationnelle des connaissances* qui ont permis à un acteur social d’engendrer l’acte observé. Idéalement, il faut tenter de coupler les modèles de connaissances subjectives de l’acteur observé à des modèles de mécanismes psychologiques, sociaux et physiques attribuant des causalités. Par cette double stratégie seulement, on peut expliquer dans un sens Weberien pourquoi, objectivement et subjectivement, un acteur observé engendre telle ou telle action dans telle ou telle situation.

La clé du succès d’une telle approche de recherche réside dans le recours aux modèles de traitement de l’information tels qu’ils sont apparus en science cognitive (angl. Cognitive Science) ou en intelligence artificielle. Ces disciplines cherchent à modéliser la pensée humaine par des modèles symboliques “computationnels”. Quelles images nous donnent-elles de l’homme?

chapitre 2

Modèles de l'individu et de l'acteur social

Ce chapitre a pour objectif de clarifier notre image de l'acteur et de la cognition. Cette image inspirera notre modèle général du décideur. Nous allons tout d'abord discuter le concept de la cognition qui a été développé dans une longue tradition psychologique. Ensuite, nous changerons de perspective pour définir notre image de l'acteur social. Finalement, nous ferons la synthèse de ces deux perspectives individuelles et sociales.

L'acteur humain est volontariste, mais guidé par des normes sociales et bureaucratiques. Il est rationnel, mais de façon limitée. Il est réflexif si la situation l'exige, mais ses capacités cognitives sont limitées en fonction de ses capacités de traitement de l'information, de ses connaissances et de ses états affectifs. Un acteur est un système de connaissances. Il interprète des situations et il réfléchit avant d'agir. Pour opérationaliser cette image dans des modélisations, nous proposons d'avoir recours aux langages de l'intelligence artificielle qui permettent de modéliser des structures de connaissances et leur manipulation.

2-1 Le paradigme émergent des sciences cognitives

Les sciences cognitives sont un ensemble de disciplines concernées par la recherche sur la pensée humaine et le cerveau humain. Etant donné que le décideur politique pense, ces nouvelles disciplines peuvent nous fournir un nombre important de théories, de connaissances plus spécifiques, et de techniques de modélisation.

L'idée centrale que nous retenons est que la pensée peut être modélisée comme "computation" qui opère avec et sur des structures symboliques. L'équation "cognition égale computation" est une construction analytique qui permet de décrire ce que l'on atrribue à un acteur quasi-rationnel.

2-1.1 La modélisation de l'esprit

Un de nos postulats de base est que nos modèles du décideur doivent posséder une pertinence au niveau du sens (all. "Sinnadequanz"). Plus techniquement, nous visons une modélisation que l'on pourrait appeler "essentialiste" - opposée à une modélisation "behavioriste". Dans cette perspective de modélisation, expliquer une décision nous amène d'abord à comprendre l'acte de décision au lieu d' "expliquer" directement des régularités observées dans des décisions par un modèle formel. Toutefois il serait faux de tirer une ligne de séparation stricte entre ces deux approches. En effet, beaucoup d'approches tentent de réconcilier les données "subjectives" riches en contenu avec une modélisation "objective" riche en "plus-value" scientifique. Max Weber (81), déjà, a montré que l'opposition entre les écoles analytiques et les écoles orientées vers la "compréhension" peut être surmontée. Son apport bien connu était la technique de l'idéal-type (le modèle concis) à l'aide duquel on guide la recherche empirique. Le néo-behaviorisme, par ex. Hull (52), Tolman(51), Miller (60), et le structuralisme (Piaget 43,50) nous ont fourni une autre clé de la modélisation. En effet, ils sont également persuadés que l'être humain est un "processeur" actif d'information. Selon ces approches, l'explication scientifique doit tenter de reconstruire ces processus d'information aussi bien que possible. Modéliser de tels processus nécessite évidemment un modèle du processeur même. C'est-à-dire qu'il faut s'efforcer de montrer comment la raison est organisée et comment elle "organise" à son tour la décision. En d'autre mots: il nous faut un modèle de l'homme pensant. Malheureusement, on ne sait toujours que très peu de choses sur le traitement humain de l'information. Nos modèles resteront forcement très fonctionnels, une constatation un peu pessimiste. Toutefois, il existe un grand nombre d'idées propices à la modélisation de la pensée humaine.

Depuis Aristote au moins, on peut voir l'esprit comme organisation d'idées, d'images et de sensations. Sa théorie des associations, reprise par les empiristes anglais, était une première tentative pour expliquer comment des entités mentales se combinent dans un processus de raisonnement. Aujourd'hui les principes de similarité, d'opposition et de juxtaposition temporelles et spatiales sont considérés comme un peu dépassés. Cependant, l'association reste un facteur clé de la pensée et de l'apprentissage. Nous entendons le concept de l'association comme la capacité (active) d'accéder à un contenu par un autre et aussi, de savoir combiner un contenu cognitif avec un autre. On peut démontrer que la mémoire possède une organisation très structurée composée de liens et d'entités multiples. On observe aussi que certaines associations se font plus rapidement que d'autres et que nous avons des facultés étonnantes pour trouver des liens entre des structures très complexes. La psychologie de la forme (Gestalt) a en effet démontré qu'une structure peut être reconnue comme un tout, indépendamment des éléments qui la composent. Ceci veut dire qu'il doit exister des principes organisateurs de la mémoire sans lesquels la perception à très haut niveau, voire la pensée abstraite et générale, seraient impossibles. Toutefois ces principes organisateurs et leur fonctionnement ne sont que très peu connus (car opaques), et la modélisation de l'esprit doit avoir recours à des modèles théoriques - fournis par exemple par l'intelligence artificielle. Plus récemment le connexionisme (cf. par ex. Rummelhart 86, Memmi 90) a repris l'idée associative pour l'exprimer dans des formalismes computationnels plus près de la réalité physiologique du cerveau. Nous reviendrons plus en détail sur ces approches dans la section 7-1 "Les bases épistémologiques de l'intelligence artificielle" [p. 287].

Cette idée de structuration complexe du savoir doit être complétée par une autre idée qui a également de vieilles origines. Selon Wundt, l'esprit serait un composé d'éléments mentaux de base (comme la table des éléments) qui pourraient être combinés dans un certain ordre. Il existerait donc une sorte de grammaire composée d'éléments et de relations primitives à l'aide desquels des structures plus complexes seraient construites. Cette idée possède toujours des adhérents aujourd'hui, toutefois il n'est pas très clair à quel niveau ces éléments et ces relations existeraient. Par exemple, la question de l'explication des concepts nominaux dans une telle structure n'est pas évidente. [1]

Revenons à la question de savoir comment il faut procéder pour obtenir des données sur l'activité mentale humaine. Il va sans dire que la tradition behavioriste à la Skinner n'offre pas grand-chose. Son mérite était de soulever l'inévitable question de la mesure et de la fiabilité scientifique. Le cadre "stimulus-réponse" offre en effet des possibilités de rigueur scientifique remarquables, mais ses résultats sont plutôt maigres.

En élargissant ce cadre qui s'applique plus avantageusement aux rats qu'aux humains, le néo-béhaviorisme a fourni des pistes de recherche plus intéressantes. L'individu est compris en tant qu'unité qui réagit par rapport à une situation (et non pas un stimulus isolé) par une action complexe, via un processus de traitement d'information complexe. La fameuse boîte noire se remplit avec des "variables intervenantes" qui, pour certains chercheurs de cette tradition, deviennent des concepts compliqués comme des "cartes cognitives", des systèmes de besoins, des "matrices de croyances et de valeurs" etc. Ainsi le comportement humain est expliqué comme une combinaison de la perception d'un environnement complexe et du "guidage" par des entités cognitives. Déjà Miller et al. (1960) ont démontré que des tâches de résolution de problèmes apparemment très simples (comme clouer un clou avec un marteau) nécessitent un travail mental très complexe.

La psychologie expérimentale s'est intéressée très tôt aux limites et contraintes des capacités cognitives. Un des résultats expérimentaux le plus connu est "the magical number seven plus minus two"(Miller 56) qui fait référence à la capacité de rétention de la mémoire immédiate. Les recherches dans ce domaine s'articulent autour de la structure d'expérimentation suivante (Tiberghien et al. 90:4): (a) une phase d'encodage et de stockage où l'information perçue est transformée en représentations mentales pas très stables et faiblement associées à d'autres représentations, (b) une phase de rétention et (c) une phase de réactivation de ces représentations mentales. En variant les paramètres expérimentaux comme la nature des matériaux expérimentaux (mots, récits, etc.), le temps écoulé entre encodage et rappel, la façon dont s'effectue le rappel (rappel libre, associatif, etc.), les chercheurs ont identifié un grand nombre de contraintes du fonctionnement cognitif. Citons notamment la capacité réduite à pouvoir traiter plusieurs tâches en même temps et les difficultés de mémoriser de l'information à long terme. Ces expériences ont également mis en évidence le caractère sélectif de la mémorisation à long terme sur lequel nous allons revenir plus tard. Plus récemment, des chercheurs en psychologie cognitive (cf. par ex. Baddeley 90 ou Cowan 88) ont commencé à intégrer ces théories sur les capacité de la mémoire et du traitement aux théories de l'intelligence en montrant l'importance du concept de "charge mentale" pour les théories du fonctionnement cognitif. Ainsi la maîtrise de tâches complexes passe par l'apprentissage d'entités cognitives intégrées et hiérarchisées sans lesquelles toute activité cognitive se noierait sous un flot d'informations non traitable.

Malheureusement la complexité du phénomène de l'intelligence a amené les chercheurs à se concentrer sur des champs d'investigation assez réduits. Il est en effet difficile d'opérer des tests cliniques complets au niveau d'activités humaines plus complexes. La tradition humaniste de la psychologie (telle qu'elle existe par exemple chez William James) a mis très tôt le doigt sur ces problèmes. Il est en effet clair que l'isolation rigoureuse de certaines variables (qu'on retrouve aussi, mais dans une moindre mesure, dans l'école piagetienne) amène à ignorer toute la complexité de l'esprit adulte. En tant que chercheur en sciences sociales, on est également obligé de se demander ce qu'est une personne, ce qui constitue son autonomie, et comment l'individu se comporte dans le monde social. James par exemple fait remarquer qu'une personne se comporte d'un "je" (angl. "I") (conscience, "fleuve de la pensée"), d'un "soi" (angl. "me") (les sois sociaux) et d'un "à moi" (angl. "mine") (le soi matériel, les possessions) dont il faut tenir compte dans une analyse. Il est clair que cette richesse humaine ne peut pas être analysée comme un tout dans des expériences de laboratoire. Toutefois, comme nous le montrerons plus tard, les théories générales (mais imprécises) de l'esprit et les théories particulières sur certaines capacités de l'esprit peuvent se stimuler mutuellement.

Nous estimons aussi qu'il faut redéfinir le principe de parcimonie. Ce principe favorisant l'explication la plus courte d'un phénomène donné ne doit pas inciter à la simplification. En effet l'explication la plus courte est en général celle qui isole un phénomène de son contexte et qui fait des prévisions à court terme. A nos yeux, la valeur d'une explication scientifique ne se détermine pas simplement par son rapport immédiat avec un phénomène isolé donné, mais aussi par rapport à son insertion dans un cadre théorique riche et global. Le concept de parcimonie fait du sens à l'intérieur des a priori théoriques. L'orientation générale d'un cadre théorique se justifie avant tout par sa compréhension des phénomènes à étudier.

Par ces lignes, nous avons défini un petit nombre de principes très généraux du fonctionnement de l'esprit qu'il faut retenir dans les modèles de l'acteur humain:

1. L'esprit humain possède une organisation complexe à plusieurs niveaux
2. Il est capable de traiter activement de l'information
3. Ce traitement est soumis à un certain nombre de contraintes
4. La mémoire est composée de structures complexes de sens (structures de connaissance) qui reposent sur un ensemble de "primitives" statiques et dynamiques.

---

1. Les questions concernant l'organisation "*forme*lle" de l'esprit nous amènent évidemment à nous poser la question de ce qu'est l'esprit et comment il se définit par rapport au cerveau. Depuis Descartes, le problème de l'esprit et du cerveau a été discuté intensivement sans que l'on arrive vraiment à une solution convaincante. Ainsi selon certains théoriciens de l'intelligence artificielle, l'esprit peut être décrit en tant que *système symbolique physique*. Un tel système est organisé symboliquement (la pensée), mais il dépend d'un support mécanique organisé (comme le cerveau). En termes de recherche, ceci signifierait qu'il est possible de simuler le cerveau par un ordinateur. Il reste des problèmes pratiques importants. Ainsi il n'est pas du tout sûr qu'un ordinateur digital Neumanien puisse être l'instrument d'une simulation appropriée. Cependant, il est indéniable qu'on peut apprendre énormément par ces simulations complexes de processus. L'ordinateur reste le seul moyen pour mettre en oeuvre et étudier de manière approfondie des processus aussi complexes que ceux du raisonnement.

Nous discuterons plus loin en plus de détails comment les sciences cognitives attaquent ce problème épineux de l'organisation de l'esprit.

2-1.2 La mémoire dans les sciences cognitives

Les sciences cognitives symboliques forment un ensemble de disciplines qui s'intéressent à la connaissance (savoir) et à ses usages. En tant que généralisation de la psychologie du traitement de l'information, elles définissent le raisonnement humain comme un système composé de processeurs actifs de symboles liés à un environnement par des transmetteurs (angl. "transducers"). L'esprit humain se définit avant tout comme structure cognitive. Il contient de l'information et il la traite. Pour réagir face à un environnement, un système cognitif doit représenter de l'information sur le monde, ce que nous appellerons *une structure épistémique*. Ensuite, pour agir, il a besoin d'une *structure heuristique*, c'est-à-dire d'un savoir abstrait et d'un savoir concret pour la résolution de problèmes. Nous verrons plus loin que la valeur de ces deux distinctions est surtout analytique. Il n'est en effet pas toujours possible de faire la différence entre un savoir épistémique et un savoir heuristique.

Le traitement de l'information repose sur la mémoire. En s'exprimant poétiquement, on pourrait dire que la pensée et la mémoire se comporte l'une envers l'autre, "... wie Wellenbewegungen zum Wasser. Das eine ist das Medium, das andere der darin stattfindende Process[2]" (Doerner 76:28). Au niveau le plus général, beaucoup de modèles contemporains divisent la mémoire en *mémoire sensorielle*, en *mémoire à court terme* et en *mémoire à long terme*. La mémoire sensorielle dispose d'une capacité énorme (imaginez par exemple ce qui est contenu dans un regard autour de vous), mais elle ne garde pas l'information longtemps. La mémoire à court terme contient l'information manipulée consciemment durant une activité de résolution de problème. Elle peut contenir à peu près sept "morceaux" (angl. chunks) d'information en même temps et en utiliser deux directement. Ces morceaux sont connectés avec la mémoire à long terme, où réside tout le reste de l'information. Notons encore qu'aujourd'hui un grand nombre de chercheurs s'accordent pour dire que la mémoire à court terme ne correspond pas à une réalité physique à part dans le cerveau, mais qu'il s'agit en fait de la partie de la mémoire à long terme qui est activée à un moment donné.

Beaucoup de chercheurs doutent de la validité d'un schéma aussi simple, qui a été développé dans la tradition de la recherche sur la résolution de problèmes-puzzle. Par exemple, dans un tel modèle on n'arrive pas à intégrer la capacité étonnante des humains à saisir très rapidement une image perçue. D'une façon générale, on peut dire qu'il prouve sa valeur en ce qui concerne les activités conscientes de résolution de problème. La question fondamentale consiste à savoir comment est organisé le savoir

---

[2] "…. comme les mouvements des vagues par rapport à l'eau. L'un est le médium, l'autre le processus qui y a lieu."

(épistémique ou heuristique), qu'il réside dans une mémoire à long terme ou non. Avant de traiter cette question de façon approfondie, nous introduisons d'autres concepts fondamentaux des sciences cognitives: la représentation, la planification et la résolution de problèmes.

2-1.3 Les plans et la structure du comportement mental

Le comportement intelligent est en grande partie une activité de résolution de problème ou de planification. Cette conception apparît déjà dans l'oeuvre pionnière de Miller, Galanter et Pribram (60) qui ont été les premiers à intégrer des concepts provenant de la théorie des systèmes et de l'information en psychologie. [3] Leur cadre théorique est inspiré des cartes cognitives de Tolman (51) et des schémas de Bartlett (46). Voyons leur conceptualisation de base de l'action: une action (qui se reflète au niveau mental) est organisée hiérarchiquement à des niveaux différents. Plus spécifiquement, des unités molaires de l'action sont composées d'unités "moléculaires", qui peuvent être décomposables à leur tour. Ainsi un comportement X pourrait être décomposé en séquences (A, B, C, ..), et A à son tour dans les éléments (a, b, c, ...), etc.. Ceci signifie tout simplement que, pour bien décrire un comportement, il faut le faire à plusieurs niveaux. Une description complète doit inclure tous les niveaux si l'on ne veut pas perdre l'ensemble de la structure générale. Il est notamment important d'inclure les niveaux supérieurs de description sans lesquels les éléments isolés n'auront pas de signification.

La préoccupation centrale de ces auteurs était le *plan*. Un plan est défini comme une hiérarchie d'instructions, c'est-à-dire qu'il est une description procédurale d'un comportement mettant l'accent sur l'exécution d'actions en bonne séquence. Dans les termes de Miller et al. (60:16): "A plan is a very hierarchical process in the organism that can control the order in which a sequence of operations is to be performed". Cette définition post-behavioriste a ses attraits. Le plan comme modèle concorde avec notre volonté de pouvoir décrire des processus et des capacités mentales comme des structures symboliques. Mais il est également un objet opérationnel, c'est-à-dire, exécuté, il sert à piloter et à exécuter des actes. Le "plan" de Miller et al. est un véhicule général qui sert à la fois à décrire des *stratégies très abstraites de comportement* ainsi que les *opérations détaillées* à effectuer à l'intérieur d'un plan global. Si un plan ne contient qu'une esquisse générale d'une action globale, on parle de stratégie générale de comportement. Ses composantes moléculaires sont constituées par les différentes *tactiques* que l'individu peut suivre. Lorsqu'un plan est en exécution, les opérations sont guidées par le plan, et quelques étapes hiérarchiques du plan seront exécutées.

Un organisme a également besoin de ce que Miller et al. appellent des *images*. Ce sont des représentations symboliques complexes sur l'or-

---

[3] Pour la discussion de cette section, nous faisons référence à l'ouvrage de Cranach (80: 45-54)

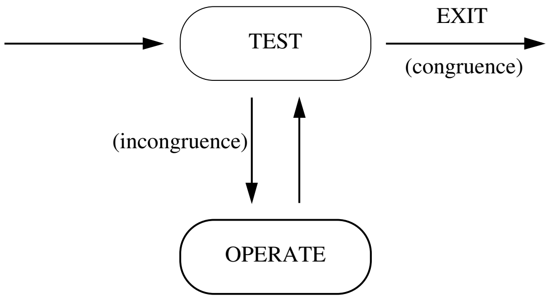


Figure 2-1: La boucle Test Operate Test Exit

ganisme lui-même et sur son environnement. Ils contiennent par exemple les noms des plans dont il dispose. En complément, les plans peuvent à leur tour contenir des images sur les objets intervenant dans un processus de résolution de problème. Il existe aussi des plans nécessaires à la création et la maintenance de ces images. Ces “images” sont les précurseurs de concepts plus modernes tels que les “frames”, les schémas et les scripts que nous discuterons par la suite.

Rappelons que chez Miller et al., les plans sont des “systèmes” hiérarchiques à plusieurs niveaux. On peut décrire leur opération avec la boucle de rétroaction bien connue en théorie des systèmes. Cette boucle devient la pierre angulaire structurelle du comportement et remplace complètement le modèle stimulus-réponse. Elle sera appelée unité “test-opération-test-exit” (TOTE) chez ces auteurs. L’unité TOTE telle qu’elle est décrite dans la figure 2-1 fonctionne de la façon suivante: une information entre dans l’unité et elle est comparée dans une phase test à un certain objectif. S’il y a incongruence, une réaction est activée. Cette phase opérative décrit en détail ce que l’organisme effectue dans ce cas. Après chaque opération (majeure), la congruence est testée de nouveau jusqu’à ce que le problème soit résolu. Ces unités TOTE peuvent être organisées hiérarchiquement. Au lieu d’exécuter des opérations simples, la phase d’opération peut à son tour contenir des plans complexes. La notion de plan chez ces auteurs est donc très large, en effet interprété “stratégiquement”, un plan peut par exemple représenter des valeurs. Les motivations trouveront leur place dans la phase test et les différentes stratégies et tactiques sont d’autres unités “TOTE” appelées dans la phase “operate”.

Nous ne pensons pas que l’unité TOTE nous permettra de représenter toute la variété des phénomènes cognitifs auxquels nous devons nous intéresser pour modéliser des décideurs. Par exemple, il nous semble problématique de définir un système de valeur d’une façon aussi “procédurale”. Par contre, ces unités simples (ou des constructions similaires que nous allons rencontrer plus tard) ont une valeur indéniable comme blocs de construction d’un large éventail de savoir de résolution de problèmes. Ce type d’approche est utile pour décrire un comportement conscient qui s’oriente grâce à des buts. A cause de sa simplicité, l’unité TOTE est certes dépassée aujourd’hui, mais elle illustre toujours bien le mécanisme de base de beaucoup de modèles de résolution de problème et elle a contribué à l’abandon de l’approche stimulus - réponse qui n’arrivait pas à fournir un modèle d’activité composée toute simple, comme celle d’enfoncer un clou avec un marteau. Les concepts importants à retenir sont ceux de la décomposition de buts et de l’application systématique d’opérateurs pour les poursuivre.

Ces concepts nous conduisent aux idées-clefs de la modélisation en intelligence artificielle chez Herbert Simon et Allan Newell (cf. Newell 72), des pionniers dans le domaine de la résolution de problèmes:

> (1) "Intelligence is not a matter of substance - whether protoplasm or glass or wire - but of the forms that substances take and the processes it undergoes" (Simon 81:14). (2) "Intelligent systems exhibit this intelligence by achieving goals [...] in the face of different and changing environments" (Simon 81:15). (3) "The task of empirical science is to discover and verify invariants in the phenomenon under study."

Voici tout un programme de recherche. Nous avons déjà rencontré les deux premiers postulats sous une forme ou sous une autre. Ils affirment qu’il est important de déterminer quelles caractéristiques un système intelligent doit posséder afin de s’adapter, d’apprendre et d’évoluer. Au risque de nous répéter, nous reprenons quelques idées déjà rencontrées chez Simon (81:16-18): pour lui, un système intelligent est symbolique - soit biologique, soit artificiel. Cette intelligence se manifeste par la capacité de symboliser des situations et des événements internes et externes et par la capacité de les manipuler. Les êtres humains (à l’exception de leurs sous-systèmes perceptifs) semblent fonctionner de façon sérielle ou en temps partagé (angl. time-sharing), c’est-à-dire ils font une chose après l’autre. Simon prétend aussi que le taux d’interaction entre composantes (et entre processus) est très petit par rapport aux interactions intra-composantes (et propre à un processus). Ici nous retrouvons les unités TOTE généralisées. Les systèmes ayant cette propriété sont appelés *quasi-décomposables* (angl. "nearly-decomposable"). Comme Simon (81:18) l’indique:

> “Intelligent systems will necessarily be symbol systems, their high frequency components will be serial in operation with attentional focus, and the more complex systems will be hierarchic and nearly decomposable”.

Les environnements de Simon et de Newell sont des *environnements à problèmes* (angl. “problem-environments”). Ces environnements (contrairement à ceux de la théorie de la décision) n’offrent pas un chemin facile conduisant vers la solution. Souvent, les environnements de problèmes contiennent un grand nombre d’alternatives dont seule une fraction très réduite pourrait satisfaire les exigences des buts. Ainsi, résoudre un problème revient à effectuer une *recherche* (angl. “search”), plus précisément, à explorer un arbre de solutions. Le problème majeur de cette “recherche” est de savoir opérer d’une façon intelligente dans un espace de grande complexité. Pire, il est souvent impossible d’essayer - au hasard - dans cet espace toutes les opérations mentales dont on est capable. Cette recherche doit être conduite et optimisée à l’aide d’*heuristiques*. Ce savoir-faire heuristique permet à un système intelligent d’opérer grâce à deux mécanismes de base: “ [...] by (1) using information stored in memory to choose more promising over less promising paths, and (2) extracting from the problem environment new information about regularities in its structure that can similarly guide the search” (Simon 81:19). Il est clair que cette capacité heuristique n’est pas la seule qui différencie les systèmes intelligents des autres. Les capacités d’apprentissage et d’évolution sont d’autres caractéristiques qui s’y ajoutent, bien qu’on les retrouve dans presque tout les autres systèmes.

L’image simonienne et newellienne des systèmes intelligents ne couvre évidemment qu’un aspect particulier, et il faut se méfier de toute généralisation. En outre, au niveau de la modélisation du comportement humain, cette tradition de recherche met l’accent sur la résolution de problèmes qu’on arrive facilement à formaliser, tels que des puzzles “cryptoarithmétiques”. La critique que nous adressons au choix de ce type de problème est qu’ils sont peut-être assez difficiles d’un point de vue “computationnel”, mais leur description peut se faire à l’aide de quelques symboles seulement. Autrement dit, un tel système de résolution de problème n’opère pas vraiment dans le type d’environnement auquel les décideurs font face dans la vie de tous les jours. Regardons l’exemple très connu d’une personne qui fréquente un restaurant. Pour pouvoir s’orienter, il lui faut moins de capacités de recherche heuristique, que “simplement” une connaissance approfondie de ce type d’institution et des activités qui s’y rattachent. Par exemple, on sait qu’on va dans un restaurant pour manger, qu’il faut choisir dans une carte ce que l’on désire manger (au moins dans un restaurant standard) et que l’on doit payer avant de sortir. Ce savoir existe dans notre mémoire en forme de schéma et il n’est pas nécessaire de le construire juste pour cette occasion. Aller manger dans un restaurant ne pose donc pas un problème au sens de Newell et Simon.

Ainsi pour étudier les activités humaines de résolution de problème, il faut s’intéresser également de près au sujet de la *représentation* du savoir. Il faut étudier (et modéliser) comment le savoir sur le monde est mémorisé et comment il est interconnecté. En d’autres termes, *la complexité ne se définit pas uniquement en termes de complexité de la recherche (heuristique), mais aussi en termes de variété et de complexité de l’information à laquelle le décideur a accès*. Voilà pourquoi nous devons nous intéresser également de près à la question de représentation, dont certains disent qu’elle est plus importante que celle du savoir heuristique de “recherche” d’une solution.

Il convient ici d’ajouter une remarque sur le statut épistémologique de la notion de plan. Dans la psychologie de l’information “classique” à la Newell et Simon, le plan est une structure cognitive qui génère l’action. Certains critiques comme Suchman (87) qui ont observé les individus dans un contexte naturel mettent en cause la prépondérance de ce type de planification. Le plan devient une structure cognitive qui est créé a posteriori pour décrire, comprendre ou réparer une action, qui elle, est engendrée par des mécanismes beaucoup plus “opportunistes”. Une autre école de pensée plus analytique comprend le plan comme une propriété de l’observation permettant de dégager des invariants de l’action. Dans ce sens, le plan aura une réalité sociale (au sens du “monde 3” de Popper 84), mais pas psychologique. Nous discuterons plus en détail le statut épistémologique de ces structures cognitives dans la section 7-1 “Les bases épistémologiques de l’intelligence artificielle” [p. 287].

2-1.4 La représentation du savoir

Les sciences cognitives symboliques proposent de décrire des processus cognitifs en tant qu’opérations formelles qui s’exercent sur des structures symboliques. Pour que ces opérations puissent avoir lieu, le savoir doit être préalablement structuré, c’est-à-dire qu’il doit se composer d’éléments identifiables connectés d’une façon identifiable. Quels sont ces éléments et leurs combinaisons? Cette question n’est pas encore éclaircie. Toutefois, en termes de modélisation symbolique, la représentation du savoir conduit nécessairement à la construction d’un jeu de structures de données combiné avec des procédures d’interprétation. Ces deux éléments nécessaires à la reproduction d’un comportement intelligent nous rappellent la distinction faite entre savoir épistémique et heuristique. Toutefois, il serait trop simple de dire que le savoir est statique et le savoir-faire dynamique. Le savoir heuristique peut formellement être représenté statiquement (c’est-à-dire *déclarativement*) ou dynamiquement (c’est-à-dire *procéduralement*). Si l’on prend les unités TOTE comme exemple, en tant que procédures, elles font quelque chose (opèrent sur d’autres structures de savoir) et en tant que “déclarations”, elles “savent” quelque chose (comment manipuler d’autres structures de savoir).

Examinons la notion de savoir épistémique. Pour certains auteurs comme Dörner (76) ou Tulving (83), la plus grande partie du savoir réside soit dans la *mémoire épisodique,* soit dans la *mémoire sémantique*. La première est organisée dans des dimensions spatio-temporelles, la deuxième dans des dimensions sémantiques. Nous allons discuter plus loin ces deux notions en détail. Toutefois, à titre d’introduction, nous présentons la notion de réseau sémantique qui est à la base d’un bon nombre des modélisations de la mémoire. Une des questions les plus importantes est de savoir comment sont organisés les concepts dans la mémoire, notamment comment les mots du langage sont liés entre eux (sémantique intentionnelle). Dans le premier modèle de Collins et Quillian (69), un réseau sémantique est composé de simples concepts, de relations “concret-abstrait” (re-

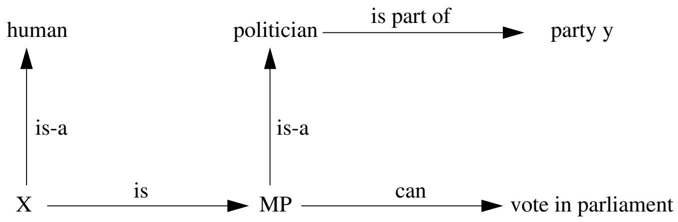


Figure 2-2: L'exemple d'un réseau sémantique simple

lations “is-a”, “ako” ou “a-kind-of”) et de relations “ensemble-partie” (relations “attribut”, “is”, “has”, “can”, ..). Nous montrons un réseau de ce type, très simple dans la figure 2-2, qui illustre la définition d'un acteur X, député d'un parlement.

Ce type de modèle était assez populaire, car il combinait une certaine simplicité de représentation avec un grand pouvoir d'expression. Toutefois, aujourd'hui les réseaux sémantiques ont tendance à être plus complexes, ils incorporent notamment des formes supplémentaires de représentation. En effet, il est facile d'imaginer que d'autres types de relations peuvent exister entre concepts, et même que de nombreux concepts doivent être compris en tant que relations. En fait, les choses se présentent d'une façon encore bien plus diffuse. Très généralement, on peut constater, que le savoir se représente d'une façon très dynamique, et qu'il apparaît sous des formes multiples qui s'interpénètrent. Il existe certainement des liens d'abstraction et des hiérarchies “ensemble-partie”, mais ces liens sont toujours connectés à d'autres structures. On peut dire que la signification d'un concept n'est pas définie statiquement, mais par ses utilisations potentielles. Cependant, ces utilisations potentielles ne sont pas complètement arbitraires, mais déterminées par les structures auxquelles elles sont liées d'une façon ou d'une autre.

Nous pouvons illustrer ce point par les recherches effectuées sur la compréhension de textes. Ces recherches nous amènent à croire que les humains ont tendance à opérer grâce à des structures de savoir très larges qui permettent l'insertion de l'information nouvelle dans quelque chose de connu. Ces blocs (angl. “chunks”) de savoir permettent de stabiliser du sens et par là de fonctionner à des “coûts” de réflexion relativement bas. Déjà en 1932, Bartlett a montré que des sujets confrontés à un court récit non connu, ont tendance à le connecter à leur savoir préalable et d'une façon systématique et particulière. Ces expériences de mémorisation ont montré qu'à partir d'un récit donné, beaucoup d'éléments étaient détruits ou déformés et que d'autres éléments étaient rajoutés. Mais ces transformations n'étaient pas arbitraires: (1) les éléments étranges du récit étaient “traduits” dans des concepts plus connus, (2) des concepts difficiles étaient

omis, et (3) le récit lui-même était réorganisé afin de lui donner un surplus de signification subjective. Nous pouvons généraliser ces observations: pour commencer, tout traitement cognitif d' “input” narratif repose sur une sorte de savoir stéréotypé que l'on possède sur les “épisodes sociaux” du monde réel ou des mondes imaginaires. Ensuite, cet “input” est intégré dans des structures canoniques organisant le récit et facilitant sa mémorisation. Des recherches sur la compréhension d'autres types de textes que les récits ont démontré que des hypothèses similaires doivent être posées en ce qui concerne par exemple les rôles des personnes et des institutions.

Parallèlement, il existe des travaux importants dans le domaine des “genres naturels” (angl. natural kinds), c'est-à-dire sur la façon dont les gens classifient spontanément les objets. Les théories les plus simples affirment que pour comprendre un objet, un sujet le compare toujours à une sorte de *prototype*, qui serait composé d'une description détaillée d'un objet-type et des règles de déviations possibles. Mais c'est la théorie de l' “ensemble des caractéristiques” (angl. feature set theory) qui nous semble la plus prometteuse. Voici une brève description de cette dernière: les individus possèdent une grande sensibilité à l'égard des corrélations entre caractéristiques qu'ils rencontrent dans l'environnement. Deuxièmement, ils ont tendance à créer des *abstractions* à partir du jeu de caractéristiques définissant une certaine catégorie d'objets rencontrés. Troisièmement, ils sont capables de mémoriser en détail des exemples spécifiques d'une certaine catégorie. Voici les conséquences qu'on a tiré de cette théorie: lorsque quelqu'un rencontre un objet, il l'identifie d'abord en le comparant avec le jeu des caractéristiques les plus importantes définissant une classe d'objets. Il compare également cet objet aussi avec des exemples spécifiques d'objets qui serviront de prototype négatif ou positif.

La plupart des chercheurs travaillant sur le thème des genres naturels procèdent à des expériences pour tester leurs théories. Cette procédure scientifique exige (en tous cas pour le moment) une concentration sur des classes d'objets physiques assez simples. Les théories qui en résultent ont donc une portée assez restreinte. Toutefois elles corroborent l'existence de structures cognitives abstraites permettant l'orientation humaine dans un monde complexe. D'autres recherches, par exemple celles de Tverski et Kahnemann (81), n'ont pas essayé de comprendre la nature et le fonctionnement de telles structures, mais elles ont simplement démontré avec perspicacité que les individus “encadrent” et situent (angl. “frame”) toute perception de façon systématique. En d'autres termes: *toute perception est un processus de mise en structure, de mise en correspondance par rapport aux connaissances structurées déjà existantes et toute action cognitive utilise de telles connaissances*. Pour le moment, on ne peut que spéculer sur la nature exacte des processus cognitifs intervenant dans une telle opération et sur la façon dont la connaissance est “enregistrée”. Il existe un consensus implicite sur le fait que des structures cognitives complexes existent à plusieurs niveaux d'abstraction et qu'elles peuvent avoir des rôles plutôt passifs ou plutôt actifs. Elles sont passives lorsqu'elles représentent statiquement du savoir, elles sont actives lorsqu'elles interviennent "procéduralement" dans un processus cognitif. Elles jouent un rôle à tous les stades d'une activité humaine, de la perception jusqu'à l'action physique.

Aujourd'hui, les sciences cognitives proposent plusieurs formes d'organisation de la connaissance. A titre d'exemple, nous en esquissons quelques unes en nous inspirant des définitions données par DeBeaugrande (81:90):

1. Les *"frames"* sont des structures (angl. "patterns") globales qui contiennent un savoir sur un concept central. Elles définissent quelles "choses" vont ensemble (et comment), mais pas forcément comment "une chose" est exécutée ou racontée.
2. Les *schémas* sont des structures globales ordonnant des événements et des "états" dans des séquences temporelles ou causales. Un schéma, par opposition au "frame" est donc toujours arrangé en forme de progression. Dans le processus de compréhension, il permet l'élaboration continue d'hypothèses sur ce qui va être fait ou raconté.
3. Les *plans* sont des structures globales composées d'opérateurs ou d'événements et d'états qui amènent vers un but désiré. Ils diffèrent des schémas dans la mesure où un "planificateur" (angl. planner) évalue tous les éléments en fonction de leur apport à la réalisation de son but.
4. Les *scripts* sont des plans "stabilisés" utilisés fréquemment pour spécifier les rôles des participants (à une action globale) et les actions que l'on attend d'eux. Ils diffèrent des plans par leur aspect de routine.

L'utilisation de telles structures globales permet aux individus de réduire la complexité d'une situation grâce à des processus d'inférence et d'action "standards". Ces structures permettent de façon générale la manipulation d'une quantité plus grande d'information dans la mémoire active. Par exemple, elles rendent possible la compréhension des situations complexes en intégrant l'information dans des structures de savoir cohérentes au lieu d'une manipulation plus difficile d'une grande multitude de petits concepts "locaux". Les structures citées de DeBeaugrande et même leur définition ne font pas du tout l'unanimité. Il existe des propositions plus sophistiquées comme par exemple les "MOP's" et les "TOP's" de Schank (80b, 82) et les concepts de "frame", de schéma, de plan et de script sont définis différemment selon les écoles. Toutefois, ces définitions illustrent suffisamment bien l'idée clé que nous désirons mettre en évidence: il existe des structures cognitives variées et complexes pour mémoriser l'information et celles-ci jouent un rôle important dans les processus de raisonnement. La plupart de ces structures possèdent à la fois un côté "savoir" et un côté "savoir-faire". Certaines sont des structures plutôt statiques qui seront *interprétées* par de structures plutôt heuristiques, certaines sont plus dynamiques, elles contiennent plutôt du savoir "procédural" *mis en oeuvre* directement sans interprétation. "Savoir" et "savoir-faire" sont des concepts intrinsèquement liés. On peut retrouver les deux dans une même structure de mémoire et ils peuvent être manipulés comme objets de la pensée, mais ils sont également manipulateur de la pensée d'une façon directe ou indirecte.

2-1.5 Vers une approche cognitiviste

Les deux concepts-clefs en science cognitive sont *représentation* et *"computation"*. [4] Nous postulons qu'il est utile de modéliser l'activité cognitive des individus par des processus symboliques, plus précisément par des structures symboliques opérant sur des structures symboliques. En bref, on fait l'équation: **Cognition égale computation** (Pylyshyn 80). Ces opérations de computation ont lieu dans une mémoire. Certaines recherches mettent l'accent sur les mécanismes très généraux de résolution de problème. Elles mettent en évidence la capacité humaine d'appliquer des "algorithmes" de "recherche" pour faire toutes sortes de déductions, inductions, analogies, etc. D'autres recherches mettent en évidence la nécessité de structures complexes de représentation qui ont aussi une fonction "computationnelle". La distinction entre structures de représentation et structures heuristiques générales est nécessairement floue. La plupart de ces structures sont postulées multifonctionnelles. Par exemple, un schéma (dans le sens de DeBeaugrande) sert à représenter un certain savoir-faire qui permet de comprendre une suite d'événements. Mais il permet également d'achever une suite d'actions cognitives ou physiques. Dans un modèle, on peut le mettre en oeuvre comme une structure symbolique qui doit être interprétée par un mécanisme cognitif pour réaliser sa fonction. Mais on pourrait également le définir comme une sorte de programme sachant s'activer et s'exécuter soi-même au besoin.

L'approche cognitive connaît ses propres limites pratiques et théoriques. En ce qui concerne les premières, citons la difficulté d'accéder aux connaissances humaines et la complexité des tels processus. En effet, même la tâche mentale la plus simple peut invoquer un très grand nombre de structures cognitives qui ne sont pas toujours transparentes. En ce qui concerne les limites théoriques, des problèmes tout aussi difficiles surgissent. Les sciences cognitives - disciplines-filles de la psychologie cognitive et de l'intelligence artificielle - s'intéressent peut-être trop aux processus symboliques qui résident à la surface de la pensée humaine, c'est-à-dire le type de pensées que l'on peut se faire dégager si l'on fait penser un sujet "à voix haute" pendant la résolution d'un problème. On pourrait se demander si certains processus de la pensée ne sont pas de nature symbolique. La sous-conscience, par exemple, est pratiquement opaque mais elle semble faire également usage de symboles. Quant aux émotions, la question est plus ardue. Il apparaît néanmoins qu'il est possible de modéliser symboliquement des processus émotifs ou tout au moins de les intégrer dans un cadre théorique plus large (cf. Scherer 84). Nous n'allons pas entrer dans les

---

[4] La traduction française du terme anglais "computation" en "calcul" ne nous plaît pas et nous garderons l'anglicisme.

détails ici, l'esquisse des principes de base du "cognitivisme" nous suffit pour le moment[5].

Nous devons également faire référence au *connexionisme* (cf. Memmi 90), une discipline récente qui repose sur les modèles neuronaux, c'est-à-dire des simulations par ordinateur s'inspirant des recherches sur la fonctionnement physiologique du cerveau. Ces recherches prometteuses nous offrent notamment des modèles de perception et d'apprentissage de structures. Le principe de base d'un modèle simple est le suivant: on simule un réseau neural par un ensemble de noeuds interconnectés par des liens d'activation et d'inhibition. Chaque noeud peut se trouver à un certain niveau d'activation. Lorsqu'il s'agit de modéliser un processus apprentissage particulier, on fait entrer par des noeuds récepteurs des stimuli numériques qui imprègnent après quelque temps une certaine structure d'activation sur les noeuds. Ce réseau apprend automatiquement à "observer" quels noeuds sont activés en même temps et crée à partir de là des liens d'activation ou d'inhibition reflétant la co-occurrence de stimuli. Dans un tel réseau, le concept de représentation n'existe presque plus, elle est répartie entre les noeuds associés par des connexions ayant un certain poids. Le savoir ne se reflète plus par des structures symboliques plus ou moins identifiables, mais dans un état d'un système non-symbolique (ou sous-symbolique si on préfère cette expression). Toute interprétation symbolique d'un tel réseau est donc donnée par une source externe (comme c'est également pour les systèmes symboliques).

Les paradigmes du cognitivisme et du connexionisme sont apparemment en contradiction. L'un privilégie la représentation et l'autre l'excitation de neurones. Toutefois, ils ne sont pas incompatibles dans un modèle de la pensée humaine. En effet, on peut concevoir que les processus symboliques ont lieu à un niveau plus "élevé" que les processus "connexionistes". Il faut rajouter que le connexionisme "pur" engendre des idées pour les sciences cognitives "symboliques", notamment en ce qui concerne la modélisation des processus parallèles et de processeurs parallèles (comme le cerveau). En effet, selon Minsky(87) par exemple, l'esprit serait composé d'une grande multitude d'agents à structures et à fonctions très variables s'activant un peu comme les noeuds d'un réseau "neuronal". L'auteur utilise la métaphore de la "society of mind". Mais comme toute société, elle sera organisée selon certains principes plus complexes que suggèrent les modèles connexionistes simplistes sur le plan conceptuel et elle accomode mieux les notions de structuration et d'abstraction nécessaires à la pensée humaine.

La science cognitive n'existe pas. Toutefois, la plupart des approches qui tentent de modéliser les activités humaine intelligentes se fondent sur les notions de *représentation* et de *"computation"*. Ces deux phénomènes sont en grande partie symboliques, postulant que l'être humain fonctionne essentiellement grâce à des processus de manipulation de structures de sens. Ces structures n'ont pas nécessairement une réalité formelle (comme par exemple dans le langage écrit ou dans un modèle d'ordinateur), mais l'existence du langage montre bien l'utilité du concept de représentation dans des descriptions scientifiques. La question de savoir si la représentation n'est qu'un phénomène émergent et volatile dans le cerveau ne nous concerne pas trop ici (cf. la section 7-1 "Les bases épistémologiques de l'intelligence artificielle" [p. 287] pour une discussion plus approfondie de ce sujet). L'important est de pouvoir formuler le contenu et le fonctionnement des activités cognitives d'un décideur d'une manière communicable et inspectable. Les approches connexionistes et fonctionalistes ne peuvent pas relever ce défi.

Il est évident que les activités cognitives sont difficiles à saisir et à décrire; il faut donc les explorer au moyen de modèles. Le seul outil permettant de réaliser ces modèles est l'ordinateur, car seul un "automate" peut gérer une grande quantité d'information et permet l'implantation des processus symboliques complexes. Par cette démarche, l'approche cognitiviste se situe entre la psychologie expérimentale (dont elle retient certaines techniques d'élucidation de l'esprit) et la psychologie théorique (dont elle retient la démarche spéculative). Elle choisit donc un mi-chemin entre la rigueur scientifique de l'expérimentation et la volonté de formuler des théories plus globales et donc plus difficiles à tester.

Cette démarche possède également ses limites. Il existe des phénomènes comme les émotions ou encore le traitement premier de stimuli sensori-moteurs qui seront difficilement explicables en termes de structures symboliques. Mais comme nous l'avons exposé plus haut, les sciences cognitives ne se limitent pas aux paradigmes décrits et ses théories peuvent être mises en rapport avec d'autres. Pour le modéliseur en science sociales, les recherches en science cognitive ont parfois tendance à trop se "perdre" dans des phénomènes particuliers, comme la résolution de puzzles ou la compréhension détaillée d'un récit. Toutefois, l'idée centrale - la pensée comme "computation" qui opère avec et sur des structures symboliques - peut être transportée à des niveaux d'analyse "plus élevés" comme on espère le montrer par la suite. En effet, pour modéliser un décideur politique, il n'est pas nécessaire d'entrer dans tous les détails de sa pensée. Il suffira de capturer l'essentiel, c'est-à-dire l'information qui permettra de "comprendre" le déroulement d'une résolution de problème au sens large du terme.

---

5. Voir la discussion dans la section 7-1 "Les bases épistémologiques de l'intelligence artificielle" [p. 287] où nous allons revenir sur les problèmes et avantages de cette approche.

2-2 La modélisation de l'action sociale

Distinguer entre les images de l'Homme qui se dégagent des approches psychologiques et celles que l'on retrouve dans des modèles de l'acteur social est assez artificiel. Schématiquement, les premières sont centrées sur l'individu et son fonctionnement par rapport à des "variables" psychologiques internes, alors que les modèles de l'action sociale s'intéressent à l'homme en tant qu'acteur qui prend des décisions en fonction de son environnement et de quelques principes (économiques, sociaux ou interactifs) de "pilotage".

L'acteur politique est un amalgame de plusieurs "rationalités" car la politique est au carrefour de plusieurs ordres sociaux.

En observant la grande variété de modèles en sciences sociales, on constate que les uns sont souvent radicalement opposés aux autres. Ceci ne reflète pas forcément un désaccord fondamental sur la nature de l'homme, mais simplement le fait que ces divers modèles ne sont axés que sur un seul genre de comportement humain et donc sur un seul type de rationalité. Habermas (81:114) distingue trois types de relations entre l'acteur et le monde (all. "Weltbezüge"). Les relations "objectives", "sociales" et "subjectives" avec la réalité sont d'abord trois aspects différents de l'action humain. Ces aspects semblent être plus ou moins dominants dans différentes classes de comportement. Tous les différents paradigmes des sciences sociales nous donnent des éléments intéressants pour la modélisation "essentialiste" de l'acteur. Il nous semble particulièrement important de ne pas réduire l'acteur politique à une seule "rationalité" car la politique est au carrefour de plusieurs ordres sociaux. Par la suite, nous allons discuter les concepts idéal-typiques "téléologique", "sociologique", "dramaturgique" et "interactif" de l'acteur social, ainsi que quelques variations et combinaisons. [6]

2-2.1 L'action téléologique et rationnelle

Dans la littérature, nous rencontrons l'acteur téléologique et rationnel sous plusieurs formes, par exemple sous forme de l' "homo economicus" qui optimise ses décisions grâce à une parfaite connaissance de l'information (cf. par ex. Raiffa 68)), ou encore sous forme de l'acteur "satisfaisant" de Simon (69) qui se contente de la première solution satisfaisant quelque critères. Ces modèles ont des traits en commun. Principalement, l'acteur vit dans monde composé de *faits objectifs* qu'il connaît et qu'il peut *manipuler* afin de créer de nouveaux faits. Ses relations avec la réalité sont assez simples et directes. Ses préoccupations principales sont la *vérité* et l'*intervention*. L'acteur téléologique possède également une *volonté* qui dirige son action. Dans ces modèles, il agit donc selon une certaine rationalité qui lui permet de *saisir un problème*, de *suivre des buts*, d'*évaluer des options*, de *faire des choix*, etc. C'est sur l'importance et la nature exacte de ces capacités que la littérature est divisée. Par exemple, pour un économiste, la question de savoir comment et pourquoi les buts sont choisis ne l'intéresse pas: les options sont connues et les choix peuvent être optimisés. Cette image nous apparaît trop irréelle, même dans le domaine limité de la simple maximisation du profit. Par contre, la thèse qu'il doit exister une sorte de rationalité de base n'est pas fausse. Interrogés, les gens sont assez souvent en mesure d'expliquer pourquoi ils ont pris une décision, surtout s'il s'agit d'un choix économique. Nous pouvons certainement supposer qu'ils possèdent une *rationalité subjective*: ils possèdent la capacité de prendre sciemment une décision en suivant certains critères qui peuvent être des principes de décision économique (optimisation, "satisfycing"), des normes sociales ou d'autres critères, mais qui peuvent être perturbés ou interagir avec des critères moins pertinents, moins conscients aussi.

Ces modèles de la rationalité économique sont analytico-normatifs. Leur logique n'est pas empirique, mais axiomatique. L'acteur économique suit des buts fixes et doit suivre des maximes strictes pour choisir entre les alternatives. Ceci implique une vision à court terme: les buts à suivre ne changent pas, l'action est simple décision, etc. A la décharge de ces modèles, il faut toutefois noter qu'il s'agit le plus souvent de définir un comportement moyen par rapport à des théories macro-économiques. Toutefois, ce type de comportement économique optimal peut devenir normatif s'il est traduit dans des procédures de décision pour des organisations. Le "management scientifique"[7] a été inspiré directement par ce modèle économique de l'homme. Et c'est surtout sur ce plan-là que ce modèle "réduit" devient quelque peu réalité.

Avant de discuter dans le chapitre 3 "Modèles du décideur politique" [p. 51] quelques modèles rationnels plus souples issus de la science politique, il est nécessaire d'évoquer quelques traits supplémentaires du modèle téléologique et rationnel. Nous avons défini l'action de l'homme rationnel et téléologique comme processus de résolution de problème (ou de prise de décision) où un but déterminé doit être atteint par des moyens efficaces. Souvent, ce type de modèle va au-delà d'une simple théorie de choix, comme cela ressort par exemple du schéma suivant tiré de la littérature sur la planification (par ex. Hussy 84:193) et la décision administrative (par ex. March & Simon 58 ou Svenson 79). Ce schéma qui associe "décision" et "résolution de problèmes", résume les étapes d'un processus de décision

---

[6] Nous nous appuyons sur l'ouvrage de Habermas (81) cité.

[7] qui comprend la recherche opérationnelle, la "théorie de la décision", les modèles de planification, etc.

où il s'agit en l'essence de trouver un bon plan d'action pour un but choisi.

Entrée:	1. Choix d'un but/ Définition d'un problème
Phase de décision:	2. Définition des possibilités d'action
	3. Analyse des risques et problèmes
	4. Choix d'un plan optimal
	5. Mise en oeuvre du plan
Sortie:	6. Evaluation de l'effet

Dans la littérature, ce type de modèle n'est pas toujours aussi strictement linéaire. On peut y trouver de l'anticipation (angl. “feedforward”) et des boucles de rétroaction pour ajuster l'action instrumentale. Souvent, ces modèles admettent que l'information dont dispose l'acteur n'est ni complète, ni de bonne qualité. En outre, on tient aussi compte du fait qu'il possède des ressources limitées disponibles pour le processus de planification.

Ce genre d'analyse modélise assez bien une certain type d'action sociale. Toutefois, une rationalité qui s'exerce à utiliser simplement les bons moyens pour poursuivre un but (choisi une fois pour toutes) n'est pas toujours rationnelle. Par exemple, il est bien connu que tout acteur individuel ou collectif doit adapter ses buts par rapport à des buts plus importants qui changent souvent plus lentement dans le temps. De plus, dans le monde réel, le processus de décision et de mise en oeuvre est souvent très ouvert par rapport à l'environnement. Ainsi, au niveau normatif, on a dû créer la discipline de la planification stratégique où décider signifie aussi définir des buts et créer des institutions à même de les poursuivre. Autrement dit, la décision ne se résume plus à l'élaboration de plans, mais inclut aussi la délégation de problèmes à des agents actifs. Au niveau de l'individu, on a ainsi réalisé que la simple rationalité instrumentale n'explique pas beaucoup. Pour survivre, l'individu doit se fixer (consciemment ou inconsciemment) des buts et sous-buts stratégiques qui peuvent être atteints grâce à une multitude de capacités cognitives à des moments donnés. Cette rationalité au niveau du choix des buts est assez difficile à modéliser, car elle apparaît moins explicitement dans le processus de décision qu'on peut observer. Les analyses portant sur les buts et les valeurs sont assez statiques et opèrent souvent dans une perspective de sociologie de la norme que nous allons présenter maintenant.

2-2.2 L'homme sociologique

L'approche de l' “homo sociologicus” possède également des traits extrêmes. L' “acteur sociologique” est piloté par des *normes* et des *valeurs* qui définissent des attentes pour un *comportement de rôle*. Dans ce contexte de recherche, les valeurs, les normes et les rôles sont par définition externes à l'individu. Ils sont simplement internalisés sans qu'il connaisse réellement leur contenu. En conséquence, cet acteur sait ce qui est - socialement parlant - *juste* (bien) ou *faux* (mal), et dans une mesure limitée quel fait est juste ou faux. Dans cette sociologie, l'acteur ne sait pas *pourquoi* il devrait agir, il agit simplement. Comme l'acteur rationnel-type, il ne possède pas de capacités réflexives mais peut agir aussi illogiquement que l'individu rationnel agit logiquement. Une telle image s'applique encore moins à l'acteur politique que celle de l'acteur rationnel. Certes, beaucoup d'actions se font sans réflexion en suivant des normes sociales, mais un acteur efficace doit être - exigence minimale - à même de mettre en balance deux normes s'il existe un conflit entre elles.

Introduisons également l' “utilisateur de formules de routine”. C'est le modèle normativement réduit d'un acteur téléologique et rationnel. Il fait usage de procédures organisationnelles à la place des normes. Ce modèle est également réducteur de la réalité du comportement social. Mais comme toujours, il s'agit de savoir quand exactement les acteurs réels ne sont que de simples exécutants. Normes et procédures ne sont à notre avis que des phénomènes qui permettent le fonctionnement de systèmes complexes. Leur existence et leur importance ne doivent pas nous induire à les prendre comme principes organisateurs uniques de l'action, même dans des contextes très limités de l'expérience. Par contre, il va falloir déterminer les situations où ils dominent.

Parsons I: L'acteur rationnel guidé par des normes

En combinant des traits de l'acteur utilitaire de Weber et de l'acteur social de Durkheim, Parsons (49) a créé *l'acteur à volonté guidé par des normes*. Ce premier modèle d'acteur de Parsons est en tension constante entre ses *intérêts* individuels et son *système de valeurs* intégré. Comme l'idéal-type rigide de l'acteur social, il est toujours piloté par des normes, mais il possède une certaine liberté, c'est-à-dire il est à même de calculer le coût de violation d'une norme. Son principe organisateur est une combinaison d'éléments, appelée *“orientation générale de l'action”* (angl. “general orientation of action”). Ces éléments sont des *voeux*, des *buts*, des *moyens* et des *valeurs*. Au niveau de l'analyse macro-sociologique par conséquent, l'ordre social est garanti par l'internalisation des normes et par un mécanisme d'interaction appelé double contingence. L'ordre, c'est-à-dire l'espace de réalité où se font les actions, devient au niveau subjectif un *système de significations* qui est activement utilisé par les acteurs sociaux, même s'il n'est pas toujours compris.

En suivant ces lignes d'analyse qui font une première synthèse des deux approches rationaliste et sociologique, Parsons nous propose également une définition intéressante de l'unité d'analyse “action” (angl. “unit act”). L'action se compose des éléments constitutifs suivants: *l'orientation vers un but*, des *normes* et des *valeurs*, des *situations* qui définissent les *moyens* et les *contraintes*, ainsi que *l'acteur lui-même et sa volonté*. Cette première définition de l'action et donc de la décision va au-delà d'un simple modèle unitaire. Parsons explique l'action de l'acteur par sa perception de la situation et par l'orientation de l'action qu'on vient de définir. Plus précisément, dans une première étape, l'acteur doit percevoir les contraintes d'une situation donnée, ainsi il doit constituer activement les “choix” à faire par la suite. Deuxièmement, les décisions qu'il prend sont une résultante de ses buts (chez Parsons fondés sur sa personalité), de ses valeurs et de ses normes internalisées. Ces contraintes “internes” contrôlent son “calcul” rationnel, i.e. la recherche des moyens pour aboutir à un but. En fait, dans ce schéma, les contraintes de la situation échappent au contrôle de l’acteur.

L’acteur à volonté de Parsons ne fonctionne donc pas d’une manière fondamentalement différente de l’acteur économique discuté. Techniquement parlant, son action peut être interprétée également comme une procédure de recherche, mais qui, elle, tient compte de standards normatifs. Sa capacité d’engendrer des buts est également limitée, car elle est contrôlée par des valeurs et des normes. Il poursuit ses buts par des moyens adéquats et s’il doit choisir entre des moyens, il utilise des critères normatifs et des critères rationnels. Ainsi l’on se retrouve avec une *rationalité sociologique*. Ce nouveau concept de rationalité nous paraît déjà beaucoup plus intéressant que les précédents. Toutefois, il ne couvre toujours pas toute la réalité de l’action sociale. En effet, au niveau subjectif de l’acteur, les buts viennent de l’extérieur plus ou moins par hasard (bien évidemment, c’est très souvent le cas). Dans ce premier modèle de Parsons, les motifs individuels sont produits par le système culturel de sens et sont perçus par l’individu comme des structures de signification complexes acceptées. En un mot, la motivation reste un concept social. Nous allons voir par la suite s’il n’est pas utile de donner à l’acteur social davantage de liberté.

Parsons II: Les normes et les rôles

Dans “Toward a General Theory of Action”, Parsons (51) nous propose un modèle révisé de l’action. Superficiellement, il ressemble à l’ancien. L’acteur est toujours à la poursuite de ses intérêts matériels et idéaux. Par contre, l’importance de l’environnement et la structure motivationnelle deviennent plus sophistiquées. Le nouveau modèle possède une base psychosociologique. Voici les éléments les plus importants de l’*acteur normatif*:

1. le comportement humain vise à la réalisation de buts,
2. il a lieu dans une situation,
3. il est dirigé par des normes,
4. il utilise des motivations, de l’énergie et de l’effort,
5. il fait usage de symboles.

Les intérêts de l’acteur normatif (à ne pas confondre avec l’acteur sociologique qui n’en possède pas) sont dérivés de ses pulsions innées (angl. “drives”) et de ses dispositions de besoins; il peut les formuler à l’aide de structures symboliques. Ils seront essentiellement dirigés vers des structures symboliques. Ainsi l’action agit également sur le sens. La situation dans laquelle a lieu l’action n’est pas un simple stimulus ou une contrainte, mais elle devient une structure subjective complexe composée de multiples objets physiques et symboliques, telle que la loi ou des idées.

L’intérêt de ce nouveau modèle d’action réside également dans son intégration à des niveaux supérieurs de l’analyse. Au niveau sociologique (pas celui de l’analyse de système!), l’action s’explique par la combinaison du système de personnalité, du système social et du système culturel. La culture est l’élément le plus important de cette triade. Composée par des significations symboliques, elle assemble des valeurs, des normes et des symboles dans des systèmes de valeurs et de croyances, des systèmes d’expression symbolique et des systèmes d’interprétation. Ce système symbolique complexe qu’est la culture est à la fois sujet et objet de l’action. Il dirige l’action individuelle, il est perçu et transformé par elle. Parsons ne nous ayant pas fourni beaucoup de détails opérationnels sur ce modèle, nous n’allons pas le discuter en détail. Nous retenons juste l’idée très importante que l’acteur individuel opère dans et grâce à des structures symboliques très complexes qui ont une signification sociale. On retrouve ici un peu la vision cognitiviste que nous avons déjà défendue.

Comme nous nous intéressons non seulement au décideur individuel isolé, mais également à la décision dans une organisation, nous allons brièvement introduire le concept de rôle tel qu’il existe dans la théorie classique du rôle. Dans la perspective parsonnienne de l’analyse de l’action, on peut définir le système social en tant que structure formée par l’interaction de rôles. Autrement dit, ce n’est pas l’individu qui est l’élément constitutif d’un système (par ex. d’une organisation), mais son statut-rôle, c’est-à-dire seulement le secteur de sa personnalité qui est défini par une structure sociale donnée. On peut comprendre les institutions comme des constellations de rôles qui fonctionnent grâce à des orientations de valeurs internalisées, des définitions précises de rôles et (tout de même!) leur contribution à la satisfaction des besoins de l’acteur. Dans cette perspective, le monde et la société deviennent des scènes de théâtre. Toutefois, le théâtre de Parsons, Linton, Merton, etc. est shakespearien: l’individu qui entre en scène y retrouve des structures déjà très bien définies. Les positions et statuts qu’il peut prendre sont, en règle générale, déjà fixés par rapport aux nombreuses autres positions occupées par d’autres acteurs. A chaque position appartient un rôle. Un rôle est donc un ensemble d’attentes d’actions adressées au détenteur de la position. Position (statut) et rôle représentent donc respectivement les côtés statiques et dynamiques du même phénomène.

Toutefois, même un Merton (68) postule que même des positions bien définies contiennent des ensembles de rôles. Le détenteur d’une position (par ex. un fonctionnaire) interagit en règle générale avec beaucoup d’autre positions. Les détenteurs de ces positions (par ex. les chefs, les clients) peuvent en effet avoir des attentes très variées à son égard. Comme chaque acteur détient plusieurs positions, il est obligé de gérer des ensembles de rôles. Où retrouve-t-on l’individu? Evidemment, dans de tels jeux de rôle, l’individu ne s’engage jamais dans son entier. Toutefois, on peut le définir comme un “paquet” de rôles. Ainsi, en ce qui concerne son existence sociale, l’individu est interchangeable, parce que d’autres individus peuvent prendre son rôle. Il existe quand même une subtilité dans cette théorie classique du rôle: il ne faut pas confondre la notion de rôle avec celle du comportement de rôle (angl. "role-play"). Certains individus (ceux qui sont plus socialisés) arrivent mieux à remplir un rôle. Cette école de pensée prétend même que plus l'on sait de rôles, plus l'on est apte à se maintenir dans la vie sociale.

Ce modèle prête le flanc à plusieurs critiques. Il n'est pas très utile de séparer l'individu de ce qu'il fait, bien que cette proposition reflète quelque part les temps modernes qui définit la personne sociale essentiellement par sa fonction. Ce modèle mertonien est en effet trop rigide pour expliquer les actions d'un acteur individuel: comme celui des théories économiques, il gagne surtout sa valeur au plan du comportement moyen des masses. L'individu n'est pas seulement l'ensemble des fonctions qu'il doit remplir pour la société - il existe des tensions. La recherche empirique a bien démontré que le rôle n'offre pas tout le temps un guide au comportement, même au sein de structures très institutionnalisées (cf. par exemple Goffman 59 ou 67). Ainsi nous allons retenir le concept du rôle et celui du jeu de rôles (a) comme concept qui permet à la fois de définir les contraintes et les moyens de l'action et (b) comme concept qui permet d'analyser un comportement moyen.

2-2.3 L'acteur dramaturgique

Sous l'influence de Goffman (59 et 67), des modèles existentialistes et dramaturgiques de l'action mettent en valeur la relation du sujet avec son environnement, ainsi que la dynamique des relations entre acteurs. Si l'on reprend la métaphore du théâtre, il faut choisir celui du "living theatre", du théâtre de l'action. Chez Goffman, un individu est *acteur* au sens théâtral du terme et il se trouve toujours sur *scène*. Il joue des personnages soit sur scène (angl. "front stage") soit dans les coulisses ("back stage"). Parce que tout le monde est à la fois acteur et public, la personnalité est définie et garantie par la collectivité. Les demandes du jeu changent régulièrement. Aussi, l'acteur doit s'efforcer de maintenir sa personnalité dans un environnement changeant. Quand il est en représentation (angl. "performance") ou quand il fait des rencontres, la gestion de sa présentation (angl. "face management") est une des activités principales de son activité autorégulatrice. Par opposition à l'homo sociologicus, l'acteur dramaturgique est une entité qui prend position: il est une personne. Sa personnalité émerge de son action, c'est-à-dire des conflits entre les "visages" (apparences) qu'il doit assumer et le soi qui performe. En somme, ce modèle est existentialiste: un acteur doit relier activement un monde interne et un monde externe quand il agit.

Les mérites de ce modèle sont de postuler qu'un acteur ne peut simplement avoir recours à des techniques de résolution de problème ou des normes internalisées lorsqu'il doit faire quelque chose. Son identité, même en tant qu'acteur social, est toujours un peu redéfinie dans chaque interaction, et chaque action contribue à son entretien. Dans les études de rôles et de rituels, et ceci même dans des institutions hautement organisées, on s'est aperçu que l'acteur doit absolument "re-connaître" son rôle et qu'il doit le jouer activement pour survivre. Ceci montre très clairement que la notion qu'un rôle est internalisé au point de ne pas pouvoir le reconnaître sous l'une ou l'une autre forme est fausse. Ce résultat fondamental de nombreuses recherches ethnologiques nous confirme dans notre vision cognitiviste et activiste de la personne.

Nous avons vu que selon Goffman la personnalité possède deux aspects principaux à un moment donné: celui de l' "apparence" (le "official self") et celui de la personne qui joue l' "apparence". Malgré tout, pour cette école, le soi réside principalement dans les événements et non dans l'individu. Le "faire" devient l' "être". On pourrait presque dire que l'Homme devient la somme de ses entreprises, leur organisation et leur interrelation, idée qui nous fait penser à l'existentialisme sartrien. Au plan pratique, ceci signifie que l'acteur est un système très flexible à capacité symbolique, capable de faire usage de multiples mécanismes pour s'adapter au "lit" (angl. "bed") des normes et valeurs sociales. Ou comme le dit Goffman(67:251): "As performers we are merchants of morality". Rappelons que le "selfhood" naît du conflit permanent entre les différentes "apparences" ("visages") et le soi qui performe. Ainsi, toute identité est finalement jouée, l'identité personnelle comme l'identité sociale. Toute la normalité apparante de l'individu est normalité de fantôme, mais c'est la seule qu'il possède. Le travail de gestion du "visage" et la gestion de l'identité cachent en fait une personnalité qui ne se trouve nulle part. Cette personnalité cherche à imiter les autres tout en pensant qu'elle est unique.

Quel contraste par rapport à l'homme sociologique qui "danse" sans souci grâce aux ficelles des normes! L'acteur dramaturgique possède de la liberté, mais cette liberté a de "sévères" limites. Elle ne sert qu'à le laisser dans un équilibre instable qu'il doit essayer de maintenir à tout moment. Sur un plan très abstrait, cela veut dire que tout est relatif. Rôles et normes ont bien leur utilité comme concept d'analyse de l'action. Toutefois, ils ne sont pas seulement joués, mais également interprétés et leur fonctionnement est seulement garanti dans la mesure où ils garantissent une identité à l'acteur.

2-2.4 L'homme - utilisateur de symboles

Intuitivement, beaucoup de chercheurs seraient probablement d'accord pour dire que les trois modèles idéal-typiques purs présentés (l'acteur téléologique/rationnel, l'acteur sociologique et l'acteur dramaturgique) ont leur utilité pour décrire certains aspects de l'action et de la décision individuelle. Le plus souvent en science politique, on rencontre une sorte d'acteur rationnel, surtout lorsqu'il s'agit d'études de décision, alors que les modèles sociologique et dramaturgique sont moins fréquemment utilisés. Ceci est dû au fait que le rôle du décideur politique possède sans doute une rationalité subjective (il résout consciemment des problèmes) et une rationalité objective (il existe des principes de décision acceptés). Toutefois, il ne faut pas oublier que ces rôles sont également hautement normatifs, principe qui opère plutôt de façon moins explicite. Dans la discussion du deuxième modèle de Parsons (51), nous avons donné en exemple la manière dont on pourrait intégrer la volonté qui poursuit un but et le rôle qui suit une norme. Rappelons quelques traits de ce modèle séduisant: l’action ou plutôt l’orientation de l’action, est un produit de l’interaction symboliquement médiatisée de la culture, de la société et la personnalité. L’acteur-décideur est défini comme utilisateur de symboles à la poursuite de buts idéaux et matériaux, déclenchés par des pulsions et des dispositions, mais également par des impulsions externes. La situation qui fait réagir l’acteur n’est pas un simple stimulus. A travers le filtre de la perception, elle est une construction symbolique complexe influencée de motivations et d’intérêts. Ces perceptions symboliquement construites déclenchent à leur tour un processus de résolution de problèmes complexes guidé (à nouveau) par des motivations et des intérêts qui tiennent compte des contraintes sociales et culturelles. La résolution de problèmes dans le monde social n’est pas simple. Les attentes et les recettes d’action ne sont pas toujours bien définies, mais l’environnement exige une solution et l’individu lui doit son “apparence” ou même sa position. Voilà de nouveau Goffman! La relation de l’individu avec le monde est instable et doit être gérée par toute une panoplie de savoir spécialisé.

Le but que nous nous posons est la construction de modèles représentant les mécanismes internes des décideurs. Ainsi, il nous faut maintenant examiner la relation des modèles discutés avec le langage et la pensée. Dans le modèle téléologique-rationnel, le langage n’est que le médium de l’action. Il sert à représenter et manipuler les faits. Dans le modèle sociologique et même dans les modèles de Parsons, le langage fait partie de l’ ordre qu’il faut reproduire. Finalement, l’acteur dramaturgique utilise le langage comme médium d’expression. En exagérant un peu, on pourrait dire que dans ces modèles, l’acteur n’est qu’un simple utilisateur du langage. Il est incapable de réfléchir sur sa volonté, sur les normes qu’il suit ou encore sur les mécanismes qui garantissent son interaction avec l’environnement. Il est certes vrai que la plus grande partie du comportement humain se fait sans réflexion, voire dans un état semi-conscient. Toutefois, il serait exagéré de prétendre que les décisions politiques se font à l’aide de recettes internalisées. Prenons l’exemple d’une simple action stratégique. S’il faut réfléchir sur ce que pense l’opposant, on tombe vite dans une spirale qui amène vers une action réflexive. Le fait que nous ayons très souvent affaire à l’action non-réflexive ne cautionne pas les modèles d’action non-réflexifs. Cela justifie seulement l’emploi de modèles limités à des fins bien précises. Mieux vaut partir avec une théorie générale et correcte qui pourra ensuite être réduite pour les besoins d’une analyse empirique déterminée.

Le modèle *interactionniste* qu’on peut relier à des traditions de recherche aussi différentes que l’interactionnisme symbolique (Mead 34, 38, 64. 82) et la philosophie pragmatique du langage (Wittgenstein 53), Austin 56, Searle 69) nous donne quelques indications sur le sens vers lequel nous devons nous orienter. Le langage ainsi que les autres systèmes symboliques gagnent de l’importance, le concept de l’action est presque remplacé par celui de l’interaction symbolique. Dans la vision un peu idéaliste de Habermas, le langage devient un médium pleinement développé pour la pensée et la communication. Un acteur pense et parle sur le monde objectif (faits), sur le monde social (normes) et sur le monde subjectif (expression de la personne). Ce modèle insiste également sur l’importance de l’interaction et de la communication: l’ego et l’acteur vivent dans un monde de vie (all. “Lebenswelt”) commun, dont les actes de parole contiennent à la fois un contenu propositionnel, des offres interpersonnelles et une exposition d’intentions; les principes de décision (rationalité), les normes sociales et les mécanismes interpersonnels agissent souvent très directement comme principes pilotes de l’action ou comme contraintes de l’action à respecter. Néanmoins, un modèle idéal devrait tenir compte de la capacité humaine de révision et d’apprentissage (qui précède l’action pleinement réflexive). Ces mécanismes ne fonctionnent que si l’on donne à l’acteur la capacité de traiter des symboles. Aussi, nous définissons le décideur individuel comme *système intentionnel qui possède un pouvoir symbolique et réflexif et qui dépend d’interactions sociales et, par là, d’ordres symboliques internalisés ou représentés de manière interne*. En conclusion, nous retrouvons notre système de traitement d’information auto-organisateur. Il perd néanmoins de son autonomie et un peu de sa rationlité.

2-3 Vers un modèle unifié de l'Homme

L'acteur qui est à la fois "cognitif" et "social", "intentionnel" et "quasi-rationnel", existe peu dans la littérature. Cela est en train de changer.Du côté des sciences cognitives, la dimension sociale gagne en importance et du côté des sciences politiques, sociologiques et économiques on commence à se rendre compte que l'acteur perçoit et traite de l'information avant d'agir. La difficulté est de trouver un "langage" interdisciplinaire qui satisfasse les exigences des disciplines concernées.

Nous remplaçons les raisons idéal-typiques Weberiennes de l'action sociale par les suivantes:l'action "téléologique" poursuit des buts de façon rationnelle;l'action "sociologique" suit les normes aveuglément, sans réflexion;l'action "normative" suit des normes en les interprétant et en tenant compte des motivations de l'acteur;l'action "bureaucratique" suit des recettes;l'action "dramaturgique" suit les besoins de la "maintenace" de l'acteur;l'action "interactive" possède la capacité de réfléchir sur les principes qui guident l'action, de les communiquer et de les négocier.Notre idéal-type de l'acteur politique est au croisement de ces idéal-types. Un langage computationnel permet, en principe, d'intégrer toutes sortes de logiques de l'action et de les intégrer dans un système s'adaptant à la nécessité et à la logique du type de la situation d'action.

En parcourant la littérature des sciences de l'homme, on retrouve beaucoup des théories très générales sur l'individu ou l'acteur social. Au niveau de la théorie très générale, nous n'avons pas trouvé grand-chose de nouveau ces deux dernières décennies, à part peut-être l'effort de synthèse de Habermas en sociologie. De plus, n'avons pas trouvé un seul modèle détaillé de l'acteur qui nous donne entièrement satisfaction. Une grande partie des recherches que nous jugeions intéressantes porte seulement sur des aspects très particuliers de la pensée et de l'action humaine. D'autres tentent une modélisation plus générale, mais sont souvent rigides et dogmatiques. Comme exemple, on peut citer les "logiques de l'action", par ex. celle de Kummer (75) où seuls les phénomènes qu'on arrive à intégrer dans un langage logique sont réputés intéressants.

Les seules approches qui nous semblent prometteuses au niveau de la modélisation réelle de l'acteur humain sont les travaux en science cognitive. Leur métaphore du système de traitement d'information permet en effet de modéliser l'acteur à choix (ou en combiné) comme un être intentionnel, rationnel, qui suit des règles sociales, qui communique, etc. Comme l'approche cognitiviste est au coeur de la démarche que nos proposons, nous renvoyons aux autres chapitres[8]. Toutefois, il existe un certain nombre de travaux en psychologie sociale cognitive qui à notre avis "vont dans le bons sens". Nous allons discuter l'approche de Harre et Secord pour leur volonté d'intégrer les dimensions psychologiques et sociales. Leur méthodes de modélisation sont peut-être quelque peu désuètes par rapport à celles des sciences cognitives, mais la philosophie de leur approche mérite d'être mieux connue en sciences politiques. Citons d'abord deux passages de Harre et Secord (78) qui nous donnent leur vision de l'action humaine.

> "(1) A man is capable of initiating action, action that may take place only after deliberation and with a more or less clear end in view. The whole of the action sequence may be anticipated in a more or less clearly formulated plan.
> (2) Most human actions cannot be, and many need not be traced to antecedent events linked to the actions in a regular, chain-like fashion in order to be explained in a satisfactory manner. An explanation is not unscientific because it makes reference to such items as plans and rules, or because it assumes the social actor to be one who deliberately follows them.
> (2) Action cannot be described reductively in terms of movements which are the vehicles for action, without losing its character and meaning. Human action is by nature psychological, and it cannot be reduced to physiology or physics, or even to simply observed behavioral elements without destroying it." (Harre et Secord 72:40-41)
>
> Et: "Two general principles have emerged from our study up to this point, which we believe, must lie behind any serious theory of social behaviour. In general social behaviour is the result of conscious self-monitoring of performance by the person himself, in the course of which he contrives to assess the meaning of the social situations in which he finds himself, and to choose amongst various rules and conventions, and to act in accordance with his choice, correcting this choice as further aspects of the situation make themselves clear to him. This is the basis of our conception of social behavior. Participants' accounts are accounts of this process. Our second general principle distinguishes the biological individual from the social individual, and we hold that most biological individuals are associated with a plurality of social selves or personas. The presentation of an appropriate social self is one of the important products of the self-monitoring of social performance." (Harre and Secord 72:151).

Les affirmations de ces deux auteurs expriment une position très similaire à la nôtre comme nous venons d'exposer. Leur importance tient au fait que les auteurs s'efforcent de développer un appareil conceptuel pour l'analyse empirique. Leur approche s'inspire d'une façon souple de la philosophie analytique. Le concept fondamental de la recherche empirique dans la psychologie behavioriste sont les choses que l'on fait *à* une personne. Harre et Secord (cf. 72:148) s'intéressent aux choses faites *par* une personne. En conséquence, leur explication de l'action humaine se fait en ter-

---

[8] Voir surtout la section 2-1 "Le paradigme émergent des sciences cognitives" [p. 17] et le chapitre chapitre 4 "La modélisation des processus cognitifs" [p. 107] pour une introduction à cette approche.

mes de *raison*, par opposition aux termes de *cause*. Le concept de raison implique l'analyse de ses propriétés, alors que le concept de cause pose simplement son existence, due à des prémisses. Dans les termes des auteurs (72: 160): "In terms of reasons, the consideration is of an active agent making a decision in a normative or justificatory context; in terms of causes, the consideration of a passive agent exposed to certain circumstances, both internal and external".

Ce qui est séduisant pour la modélisation du décideur, c'est leur affirmation que les unités atomiques du comportement social sont l'*acte* et l'*action*, et que ces unités possèdent un ancrage au niveau psychologique. [9] Examinons la définition de ces deux concepts:

> "An action [performed by an actor] acquires its social meaning through being identified as a performance which, when completed, constitutes by convention an *act*. Acts are not to be identified either with the actions needed to perform them, nor with the movements involved in the action. All have the same meaning through their identity with respect to the act, of which they are the performance" (Harre and Secord 72:42)

Dans notre terminologie empruntée aux sciences cognitives, il existe une sorte de relation instance-classe entre l'action (de Harre et Secord) et l'acte (plus général). Au niveau de l'analyse sociologique, une action est l'instance d'une partie du savoir général et stratégique sur l'accomplissement de quelque chose par un acte. En des termes plus simples: un acte peut être exécuté de façon multiple et il existe grâce au savoir général que possède l'acteur sur le monde. Ce savoir est à la fois ancré socialement et psychologiquement, car à la fois la société et l'esprit ont besoin de savoir-faire stable.

Chez Harre et Secord (72:154), les unités fondamentales de la vie sociale, c'est-à-dire du tissu d'actions sociales, sont les *épisodes*. Par ce concept, ils désignent *toute séquence d'événements (angl. "happening") qui forme une certaine unité*. Les épisodes sont les divisions naturelles de la vie sociale. Du fait de la variété de la vie sociale, beaucoup de principes organisateurs différents peuvent organiser ces épisodes. En accord avec la vision conforme à l'essence des acteurs, l'épisode ne contient pas seulement ce qu'on peut observer mais aussi les pensées, sentiments, plans, etc. des participants. La séquence a aussi été choisie comme unité d'analyse parce qu'il est relativement facile de décrire sa structure ouverte comme une séquence d'actions. Qu'est-ce qui lie les actions/actes dans une séquence? Comment peut-on dégager une structure actions/acte d'un épisode observé? Subjectivement, les mécanismes qui "ordonnent" les épisodes sociaux sont des structures de signification perçues. Les gens réagissent par rapport à une situation en fonction de ce qu'ils comprennent de sa signification et plus généralement en fonction de règles et conventions qu'ils acceptent en relation avec la situation. Notons que nous utilisons le concept de règle d'une façon très générale. Ces sont des structures de sens qui guident une action d'une certaine façon. Les auteurs en ont peut-être une définition plus restreinte. A titre d'illustration, nous évoquons leur définition de la règle, elle tient un rôle clef dans leur programme de recherche (cf. 72: 176-177):

---

[9] Nous utilisons ces termes d'une façon beaucoup moins précise que ces auteurs. Sauf indication contraire, ce sont des synonymes.

1. En surveillant et en contrôlant consciemment sa performance, l'acteur se réfère à des règles. Dans ce sens, les règles engendrent l'action.
2. Pour comprendre l'action, il est souvent nécessaire de faire appel à un deuxième ordre de règles utilisées pour sélectionner les règles intervenant dans l'action.
3. Les règles déterminent les attentes pour les mêmes raisons qu'elles guident l'action.
4. Les règles sont propositionnelles, on peut donc les retrouver dans des récits sur l'action et dans les raisons pour l'action.
5. Les règles sont générales, et on les distingue des ordres (commandes).
6. La détermination des règles est une tâche empirique.
7. Le rôle est un concept dérivé, c'est un jeu de règles observé par un participant particulier.
8. En utilisant des épisodes formels comme structure-source de l'action sociale, les auteurs tentent d'établir des modèles en forme de systèmes de rôle/règle.

Ces propositions montrent que le concept de règle peut fournir un pont entre la vision psychologique et la vision sociologique de l'acteur humain. Dans cette approche, les règles sont en effet *le* principe organisateur du comportement humain, elles agissent sur l'action par un effort d'interprétation et elles organisent leur propre choix. Comme les règles sont également des objets mentaux possédant une signification, elles sont transmissibles, et comme elles servent également à l'interprétation de l'action, elles garantissent l'interaction sociale. Evidemment, tout cela ne dit pas encore grand-chose en ce qui concerne la modélisation d'un décideur. Harre et Secord sont conscients de la difficulté d'une telle entreprise et proposent donc de démarrer la recherche par une analyse des épisodes formels (où les règles sont plus apparentes) avant de s'attaquer aux épisodes plus occultes de l'action humaine.

Récemment, les sciences cognitives ont commencé à s'intéresser à l'analyse cognitive des groupes. Nous citons à titre d'exemple les travaux de Resnik (91) sur la "cognition distribuée" qui considère le groupe, plutôt que l'individu comme l'élément principale de l'analyse. Vygotsky (Wygotski 88), il y a longtemps, a mis en évidence la relation forte qui existe entre les interactions sociales et la cognition individuelle. Aujourd'hui, pas seulement les approches plus "anthropologiques" comme la "situated cognition" (Lave 88, Suchman 87), mais également quelques chercheurs de la psychologie de l'apprentisse tentent d'intégrer la vision socio-culturelle du développement de Wygotski. "... research paradigms built on supposedly clear distinctions between what is social and what is cognitive will have an inherent weakness, because the causality of social and cognitive processesis, at the very least, circular and is perhaps even more complex" (Perret-Clermont et al. 91:50) [10].

En psychologie sociale, de nombreuses recherches ont été effectuées dans le domaine de la "cognition sociale". Ils portent par exemple sur les problèmes de l'acquisition et de la gestion de normes, du comportement dans des groupes, de la perception des autres acteurs, de l'attribution des causes à des événements etc. (cf. par exemple Beauvois 93 pour une introduction). Un certain nombre de recherches (cf. Heider 58) ont montré par exemple l'utilité de voir l'acteur comme une sorte de "scientifique naïf" qui opère avec un système de règles (biaisées) qui lui permet de fournir des explications. D'autres chercheurs mettent en avant l'absence d'esprit (angl. "mindlessness") que l'on peut parfois observer dans les interactions sociales (cf. Langer 78). Pratiquement toutes ces recherches s'insèrent en fait dans le paradigme de traitement d'information à la Simon. Elles mettent en évidence les limites humaines à raisonner "juste" et leur corollaire: minimiser l'effort cognitif pour faire face à une situation d'interaction. La question de savoir si la cognition sociale est différente de la cognition individuelle rencontrée par exemple lors des activités de résolution de problèmes n'a pas été résolue de façon concluante (Beauvois 93:218ff). Ainsi, l'éthno-sociologue Lucy Suchman (87) met aussi en évidence l'absence de planification dans l'action "quotidienne" individuelle.

Malheureusement, les sociologues et même certains psycho-sociologues ne tiennent que très rarement compte d'outils développés dans d'autres disciplines comme la psychologie cognitive ou les sciences cognitives encore plus récentes. La discussion des modèles de l'action a montré une richesse impressionnante au niveau de la théorie générale. Par contre, on a souvent l'impression qu'il leur manque un langage approprié pour décrire des structures de signification complexes. Rarement, les chercheurs, citons par exemple Habermas, vont au-delà d'un outillage assez simple, comme par exemple celui développé par les théoriciens de l'acte de parole (Austin, Searle). Aussi, de toutes ces approches, nous ne retiendrons que ce dont un acteur social doit être capable. Pour tout ce qui concerne la "formalisation" du savoir, nous allons nous tourner vers les sciences cognitives et l'intelligence artificielle qui fournissent un langage plus riche de description pour la modéliser les processus complexes.

Vers la modélisation du décideur

Dans la discussion précédente, nous avons surtout parlé d'action et non de décision. Il convient de dire clairement qu'en nous intéressant à la modélisation du décideur, nous nous intéressons en particulier à ses actes. Le terme de décision - surtout en science politique - a souvent une connotation très limitée que nous n'acceptons pas. Action et décision ne sont pour nous que deux façons de parler d'une activité qui consiste d'une réaction face à une situation. Un processus de décision est simplement un processus d'action complexe, et comme nous l'écrivions plus haut, au plan subjectif, la décision est le résultat de structures de sens opérant sur des structures de sens. Un décideur est un système intentionnel à capacité symbolique qui fonctionne grâce aux mécanismes de "computation" et de représentation.

Dans le chapitre suivant, nous allons discuter quelques approches de la modélisation de la décision en science politique. La science politique a des intérêts plus spécifiques que la théorie générale de l'individu et de l'action. Comme l'économie, elle opère de manière profitable à un niveau d'analyse plus élevé. Toutefois, même à ce niveau-là, il est important de posséder un cadre théorique général valable. Comme le politologue Alker (74:203-204), nous ne sommes pas les seuls à partager cette conviction. Alker résume les postulats de base (angl. "emphases") des théories d'action volontaristes qui ont eu leur origine dans les travaux de Weber et de Parsons:

> "(1) the explicit recognition of distinct norms (rules, order principles), ends, means and conditions of human actions, as well as ususally unintended or emergent longer range institutional consequences of such actions (*an augmented means-ends schema*);
>
> (2) the inclusion of irreducible *subjective, mentalistic, linguistic, or ideational variables* in the definition of norms and ends and of their symbolic expressions in a action situation (rules, principles, intentions, rituals, maxims, constitutional formulas of power relationships, etc.);
>
> (3) the existence in at least some cases of norms, ends and purposes of independent causal significance in choice situations after heredity and environment (including natural pressures like population growth and social induced ones, such as class conflict) have been taken into account (*a contextually limited freedom of the will perspective*);
>
> (4) the existence, development or decay in social patterns of *emergent properties at different system levels*, such as freely chosen purposive behavior, personality characteristics, overall economic rationality, a normatively regulated political order encouraging certain kinds of voluntary exchange market relationships, or different patterns of shared social ends, described by Parsons as "common-value-integrations";
>
> (5) an *interdisciplinary, pretheoretical conceptualization of the partly routinized nature of social process*, which legitimates the simultaneous use of psychological, social, economic or political variables, which give meaning and direction to synthetic process modelling efforts, and which allows dynamic causal analysis within a broader class of determinative possibilities".

Ces points nous rappellent sous forme très condensée, quelques idées que nous avons déjà présentées. Mais elles mettent davantage l'accent sur la dimension sociale que nous devons malheureusement négliger dans ce travail. Toutefois, un modèle d'un décideur ne peut pas se faire sans tenir

---

[10] Bien évidémment, ce paragraphe s'addresse au psychologue et non au politologue pour qui cette vérité est un a priori théorique en principe.

compte de ces dimensions, ne serait-ce que par l'analyse de son environnement et des structures de connaissance “sociales” qu'il possède. Les structures de savoir et de savoir-faire d'un acteur individuel sont largement partagées par d'autres acteurs, et c'est ce mécanisme-là qui garantit son efficacité. Sa volonté et sa rationalité se limitent effectivement à réconcilier activement contraintes externes et internes selon un certain ordre de priorités. Le problème principal du décideur est donc de savoir réduire la complexité à laquelle il doit faire face et de gérer des processus de mise en oeuvre complexes, et non pas de trancher entre un choix d'actions qui lui sont servies prêtes à l'exécution.

Le décideur individuel est un acteur au sens Weberien (81:41-46). *Il possède un pouvoir symbolique et réflexif et qui dépend d'interactions sociales et, par là, d'ordres symboliques internalisés ou représentés de manière interne*. Nous remplaçons les raisons idéal-typiques Weberiennes de l'action sociale (“zweckrational”, “wertrational”, “affektuell” et “traditional”) par les suivantes:

1. l'action “téléologique” poursuit des buts de façon rationnelle;
2. l'action “sociologique” suit les normes aveuglément, sans réflexion;
3. l'action “normative” suit des normes en les interprétant et en tenant compte des motivations de l'acteur;
4. l'action “bureaucratique” suit des recettes;
5. l'action “dramaturgique” suit les besoins de la “maintenace” de l'acteur;
6. l'action “interactive” possède la capacité de réfléchir sur les principes qui guident l'action, de les communiquer et de les négocier.

Notre idéal-type de l'acteur politique est au croisement de ces idéal-types. Il est volontariste, mais guidé par des normes sociales et bureaucratiques. Il est rationnel, mais de façon limitée, c'est-à-dire qu'il pense en utilisant des “logiques” de résolution de problèmes. Il est réflexif si la situation l'exige, mais ses capacités cognitives sont limitées en fonction de ses capacités de traitement de l'information, de ses connaissances (y compris les croyances) et de ses états affectifs. Un acteur est un système de connaissances. Il interprète des situations et il réfléchit avant d'agir. Pour opérationaliser cette image dans des modélisations, nous proposons d'avoir recours aux méthodes de l'intelligence artificielle, c'est-à-dire aux langages qui permettent de modéliser des structures de connaissances et leur manipulation. Un langage computationnel permet, en principe, d'intégrer toutes sortes de logiques de l'action et de les intégrer dans un système s'adaptant à la nécessite et la logique du type de la situation d'action.

chapitre 3

Modèles du décideur politique

Le décideur politique est un cas spécial de l'acteur social. Par conséquent, les théories du décideur politique s'insèrent dans les grandes lignes théoriques décrites au chapitre précédent. Etant donné que le domaine politique possède ses caractéristiques particulières, il est utile de discuter quelques modèles spécifiques à la science politique. Nous discuterons les théories rationnelles de la décision, les théories sur la décision quasi-rationnelle, et les méthodes du "cognitive mapping" et des "codes opérationnels". La majorité des modèles et théories émane des relations internationales et de la science administrative qui s'intéressent en effet beaucoup à la prise de décision de décideurs individuels ou collectifs. Toutefois, ces modèles ne s'intéressent qu'à des aspects particuliers du décideur politique. Nous complétons donc le panorama par des recherches cliniques en psychologie et nous finissons par un résumé sur les propriétés structurelles de la décision.

L'image de l'acteur social dégagée dans les chapitres précédents en tant que "naive problem solver" est confirmée par de nombreux auteurs en science politique. Les analyses empiriques en science politique de la perception des problèmes, des choix multi-critères, des processus bureaucratiques ainsi que toutes les études cliniques montrent que les théories de choix rationnel ont leurs utilités, mais elles n'ont pas beaucoup de pertinence empirique. La décision est un processus souvent long et de nature presque continue. Elle se fait dans un réseau logique d'anticipation, de rétroaction et de correction. Les capacités cognitives du décideur et l'ouverture de la décision elle-même imposent une limite à la rationalité et favorisent des stratégies heuristiques et approximatives pendant la démarche du décideur.

3-1 La notion de la décision

Ce qu'on l'entend par "décision" en sciences politiques (et dans les autres disciplines) concerne des phénomènes très distincts. Pour la plupart des écoles rationalistes-analytiques, la décision est définie comme un choix entre plusieurs alternatives. Pour d'autres, la décision concerne aussi le processus de sélection de buts et d'alternatives. Les approches cognitives finalement traitent la décision comme le résultat d'un processus global de résolution de problèmes.

La modélisation qui désire savoir comment un décideur (individuel et collectif) prend une décision doit s'intéresser à la façon dont le décideur modélise le monde et au savoir-faire subjectif et intersubjectif qui permet de traiter cette information

Pour beaucoup de chercheurs, une décision n'est qu'un choix, où comme le dit Castles (76:11): "A decision is a conscious choice between at least two possible courses of action". Chez d'autres, un peu moins extrémistes, on retrouve la notion de processus déjà rencontrée dans le concept de la résolution de problèmes en science cognitive. On introduit donc le temps et le changement en plus des choix. Scott (76:19) par exemple attribue à tout processus de prise de décision les éléments linéaires suivants:

1. Un processus de recherche pour découvrir des buts
2. La formulation d'objectifs exacts
3. La sélection d'alternatives (stratégiques) pour accomplir ces objectifs
4. L'évaluation des résultats

Tout chercheur ayant quelque expérience de la recherche empirique appliquée partagerait l'avis que cette liste d'éléments ne reflète que partiellement la réalité. Le processus de la décision ne conduit pas linéairement de la sélection des buts à la "conclusion". Comme le notent par exemple Pressman et Wildavski (84) ou Bardach (77), les buts d'une décision ne seront souvent "découverts" que durant le processus même de la mise en oeuvre de la décision. Voici d'autres critiques qui relativisent la valeur de ce type de schéma: "Where is the problem, and who defines it?" (Lindblom:27) et "All of [these images] ignore the whole lengthy, complex process of alerting, exploring and analyzing that precedes that final moment" (Simon 76a: 202). Des schémas de ce type - même les plus élaborés - reflètent une vision biaisée par le plan normatif. En effet, les recherches empiriques sur les prises de décisions politiques complexes montrent qu'aucune de ces étapes ne peut être effectuée d'une façon optimale et à un moment précis de la décision. Toutefois, on doit attribuer une certaine valeur heuristique à cette démarche simple, car il est vrai qu'un acteur (collectif ou individuel) est concerné par ces quatre éléments de décision. Dans certains cas, un tel schéma linéaire peut suffire à décrire une décision.

Ces écoles réductionnistes postulent également que la décision est un phénomène interne à une agence de décision. Une décision est le résultat de l'interaction entre beaucoup de facteurs et le processus lui-même possède une organisation logique imposée non seulement par la structure "normative" du principe de la décision (programme linéaire) mais également par des processus d'affinement et de réorganisation induits par l'interaction avec l'environnement et la "mémoire" du décideur.

Notre perspective sera systémique et cognitive: une décision est un processus complexe dont les "données" sont instables et dépendent également de l'interaction du décideur avec son environnement. La notion de décideur isolé est inutilisable dans la plupart des cas. Ainsi, un modèle de décideur devrait contenir également un modèle de l'environnement, même si ce dernier n'est pas sophistiqué.

La perception du décideur en science politique ne dépend pas uniquement d'orientations théoriques fondamentales. Les modèles du décideur sont également inspirés par le type du décideur analysé. Ainsi par exemple, certains spécialistes en sciences administratives ont tendance à voir le décideur comme un élément qui cherche à maximiser son "profit" par rapport à l'organisation (Allison 71), d'autres le voient comme "suiveur de règles administratives" (Crecine 69). Par contre, d'autres (Crozier 77) voient l'acteur comme élément constituant de l'organisation. Dans les relations internationales, compte tenu de l'importance relative des individus, on s'intéresse davantage aux éléments politiques et idéologiques de la perception qui précède l'action (George 69 et Holsti 70) ou encore à la nature conflictuelle des choix (Brams 75, Rappoport 66). D'autres encore évacuent presque le décideur de la décision et se concentrent sur son environnement (Meadows 82) ou sur les facteurs qui influencent la décision (Steinbrunner 74). Ce phénomène n'est guère surprenant. Les tâches cognitives ne sont pas du tout les mêmes pour les différents types de situations de décision. En outre, on peut étudier la décision à différents niveaux d'abstraction et sous des angles différents.

Revenons sur les étapes de la décision (qui ont donc une signification plutôt logique que temporelle). Celles qui sont les plus souvent citées par les auteurs non réductionnistes sont (1) la perception, (2) la préparation, (3) la décision et (4) l'exécution. Leurs opinions sur l'importance de ces processus varient énormément. Cette variété de vues et de paradigmes s'explique en partie par le type de décisions auquel ils s'intéressent. [1] Les éléments ontologiques (cf. Klaus 73:299) à l'aide desquels on pourrait définir des types de décision illustrent la richesse de ce concept. Ce sont:

1. Objet de la décision: but, “programme”, opération, instrument, ...
2. Organe de décision: organisation, groupe, individu, ...
3. Type de prise de décision: routine, créatif, application d’un programme, ...
4. Portée de la décision: stratégique, tactique, opérationnelle, ...
5. Contrôle des éléments de la décision: bonne, moyenne, ...

Sans discuter cette typologie en détail, nous affirmons que la différence structurelle entre certains types de décision peut être très grande. Cela explique en partie la divergence des paradigmes en ce qui concerne la définition de ce qu’est une décision et de ce qu’un décideur sait faire. Un grand nombre de ces théories de la décision, notamment la “decision theory” (Raiffa 68) ne concerne pas le phénomène global de la décision mais peut être utile pour un type de décision bien précis. Ces théories peuvent nous fournir encore des éléments importants pour une approche plus générale de l’étude du décideur politique.

Crozier et Friedberg (77) lient étroitement l’analyse de la décision à celle de l’organisation qui est à la fois cadre et résultat de l’action (plus précisément: fruit de la liberté et de l’incertitude des acteurs). Dans ce contexte, leur importante notion de l’action stratégique n’est pas rationnelle au sens strict du terme, mais implique une rationalité adaptée à chaque situation, influencée par les contraintes générales à la rationalité, par les multiples motivations des acteurs, et plus “localement” par le contexte technique, économique, social et culturel et l’interdépendance stratégique des acteurs dans l’organisation. Les auteurs mettent également en valeur les notions importantes de la négociation et du pouvoir reliant les acteurs concernés à un espace d’action donné.[2] Le pouvoir est vu comme facteur “structurant” dans des contextes flous et comme facteur de liberté dans des contextes apparemment structurés. Etudes empiriques à l’appui (par exemple Crozier 90), “décision” et “rationalité” sont vues larges et difficiles à définir avec précision. Dans un ouvrage plus récent, Friedberg (93:290) affirme explicitement la difficulté de toute généralisation de l’étude des organisations et de la décision. [La conception de l’organisation comme jeu de coopération conflictuelle entre acteurs] “nous oblige à nous contenter de savoirs partiels, de modèles locaux d'interprétation qui demandent constamment à être enracinés et concrétisés dans une connaissance fine du terrain et de ses configurations, chaque fois spécifiques”.

---

1. Notez que le concept de paradigme couramment utilisé se compose des sous-concepts interdépendants suivants: (1) intérêt pour un ensemble de phénomènes déterminé, (2) but(s) asymptotique(s) à chercher, (3) épistémologie et ontologie, (4) méthodes.
2. Notons que l’analyse des jeux d’acteurs de Crozier et de Friedberg dépasse le cadre de ce travail (voir “Guide de lecture” [p. 3]) mais les résultats de leur travaux ont une signification importante pour la modélisation du décideur individuel

Certaines théories de la décision (Steinbrunner (74), Dörner (83), Simon (80), etc) ont été fortement influencées par le phénomène de la société post-industrielle. Les agences de décision politique ont aujourd’hui un problème de taille et d’étendue [3] [4]. Leur problème le plus important est celui de l’ “effectivité” [5], c’est-à-dire la capacité de réunir l’information permettant de prendre de bonnes décisions dans un environnement très complexe avec la contrainte supplémentaire de ne pas tomber dans des pièges anti-démocratiques. [6] Exprimé moins normativement: un décideur politique moderne opère dans un *environnement de problèmes* très complexe et mal structuré et il doit intégrer beaucoup de demandes intra- et extra-organisationnelles et toutes les “logiques” qui leur sont attachées. La perception croissante de la complexité décisionnelle a focalisé la recherche sur la définition du problème, des processus de résolution de problème et de la mise en oeuvre. Le choix lui-même est maintenant envisagé comme élément répétitif dans un processus de traitement d’information mettant en interaction des individus avec une organisation.

L’analyse cognitive du décideur

Il existe une littérature importante, études cliniques à l’appui, qui démontre les limites du décideur. Cette littérature se concentre très souvent sur des problèmes de choix dans différents types de situation. Ces travaux comparant la stratégie adoptée par le sujet à une stratégie optimale basée sur la maximisation des résultats attendus. De façon générale, on constate que les décideurs ne maîtrisent pas “les stratégies basées sur les valeurs”, mais qu’ils utilisent toutes sortes de raisonnements autres ou approximatives: Voici quelques exemples:

1. “The framing of decision” (Tversky et Kahneman:81): Les gens décident en fonction de la façon dont on leur présente un problème. Le principe d’ “invariance” de la théorie d’espérances subjectives (Neumann et Morgenstern 47) n’est quasiment jamais respecté.
2. La violation de simples règles de calcul: Les règles de transitivité (répercussion des préférences relatives sur l’ensemble) et de dominance (choix de la meilleure solution dans un cas et au moins égal dans les autres) sont aussi fréquemment ignorées.
3. Le choix sans raisonnement (Nisbett et Wilson:77): Souvent on constate que les gens prennent des décisions sans savoir pourquoi[7]. Si on interroge ces sujets sur les raisons de leur décision, ils inventent des raisons fausses.

---

3. Angl.: “scale and scope”.
4. Cf. Steinbrunner 74:4 ss et 14 pour la discussion suivante.
5. Angl.: effectiveness
6. Un exemple en est le problème de l’aménagement du territoire qui met en conflit intérêts individuels, communaux, régionaux et nationaux.
7. Ceci est également un phénomène qui est amplement discuté dans toute la littérature sur les systèmes experts (voir la section 7-2.2 “L’élicitation des connaissances” [p. 306] pour plus de détails).

4. Les jugements affectifs (Zajonc: 80): Les émotions ont un rôle très important. Cela se manifeste par exemple par exemple lors de l'évaluation d'alternatives affectivement chargées ou encore lors les choix dans des situations où le sujet se trouve sous des émotions fortes.

En règle générale, on peut observer que la décision repose sur un raisonnement (Shafir, Simonson and Tversky: 93). Ce raisonnement prend des formes très variées. On retrouve certaines formes de choix quasi-rationnel (voir la section 3-2.2 "Modèles de choix à rationalité limitée" [p. 69] pour un exemple), ou fréquemment d'autres stratégies comme le "case-based reasoning", le "explanation-based reasoning, le "rule-based reasoning", etc. que nous allons discuter plus loin[8]. Jusqu'à présent il existe un clivage très important entre les recherches sur le "raisonnement" et les recherches sur la "prise de décision"[9]. Les premières sont plutôt descriptives tandis que les deuxièmes sont plutôt critiques ou normatives. En tout cas, aucune étude n'a montré la pertinence empirique des théories de choix rationnel. Toutefois, certaines théories de choix quasi-rationnels peuvent être utiles pour la modélisation du décideur, à condition de les intégrer dans un modèle de décision à plusieurs étapes (cf. par ex. Kuipers, Moskowitz et Kassirer: 88). Le décideur humain est certainement totalement incapable de générer des arbres de décision longs ou complexes, entre autre, à cause de ses capacités très limités de "calcul". Par contre, il est en mesure de faire des choix relativement rationnels pour des problèmes à dimension "humaine". En somme, les décisions ne sont pas prises après avoir posé le problème et collecté toutes les informations, mais progressivement durant un long processus d'action et de planification. Le choix a une place limitée dans la décision et il faut évaluer un décideur en fonction de sa capacité à poursuivre (et réussir) un ensemble de buts à long terme[10]. Nous reviendrons plus en détail sur la place du "choix" dans la décision à la section 4-1.1 "Le décideur: une première synthèse" [p. 112]. Pour le moment, retournons à la dimension cognitive en sciences politiques.

Dans le passé, la science politique s'est centrée sur l'analyse des attitudes pour prédire leur comportement politique. L'aspect cognitif du décideur était donc traité très négligemment dans ces modèles. Ces analyses par les attitudes ont une valeur très limitée pour l'analyse du décideur. Il s'est en effet avéré que la cohérence des attitudes à travers les situations

---

[8] Voir par exemple la section 4-3 "Intelligence artificielle et résolution de problèmes" [p. 135] ou la section 4-5 "La modélisation IA de la décision en science politique" [p. 165].

[9] Une exception à cette règle qui marque peut-être le début d'une meilleure collaboration est annoncé par Johnson-Laird et Shafir (93) dans l'article d'introduction d'une édition spéciale de la revue "Cognition" sur "Reasoning and Decision Making".

[10] En d'autres termes il faut faire une distinction entre une "rationalité pratique" et une "rationalité théorique" (cf. Evans, Over et Manktelow: 93). Autrement dit, il faut gérer et non pas résoudre des problèmes mathématiques.

(angl. cross-situational consistency) est assez faible (cf. George 79:97). La décision s'explique souvent mieux par les contraintes dans lesquelles elle est réalisée. Par exemple Holsti (77:12) écrit: [There is] "little variance among leaders with respect to their decision-making behavior in any given circumstances; that is, whatever their individual differences they will tend to respond in similar ways". Les attributs individuels (ainsi que d'autres variables psychologiques à structure statique [11]) ne sont pas seulement instables à travers le temps et les situations, mais ils n'ont que très peu d'importance par rapport aux variables de l'environnement. Holsti utilise même le terme de "résidus".

Ces observations faites par de nombreux chercheurs dans le domaine des relations internationales ont donné naissance à une approche qui concorde bien avec le paradigme de la science cognitive. En effet, George (79:98) nous fait observer que l'homme (politique) ne recherche pas en priorité la cohérence, mais que c'est un "chercheur naïf" (angl. naive scientist), soit le "problem solver" de l'intelligence artificielle - concept qu'on pourrait presque traduire par "débrouillard" (cf. George 79:98). Comme le dit cet auteur: "[Models move] away from the conception of man as passive agent who respond to environmental stimuli and back to a conception of man as actively and selectively responding to and shaping his environment" (George 79:98). La distinction entre ces deux approches se reflète bien dans la distinction parfois faite entre "comportement" et "action". Un phénomène est une *action* si le sens [12] devient un motif pour l'action. Par contre, on peut définir le *comportement* que l'on peut observer et prédire dans un bon modèle. Ce modèle d'action implique une décision interne et il cherche à reconstruire au moins certains des mécanismes internes. Comme on l'a vu dans le chapitre précédent, il existe une gamme variée de modèles de ce type comme ceux d'inspiration herméneutique, néo-behavioriste ou appartenant à la psychologie de l'information. Certains ne vont pas très loin, mais d'autres essayent de reconstruire les systèmes de "règles" responsables de la génération de structures de sens (par ex. phrases ou actions) comme par exemple celui de Habermas (84).

Holsti (77:28) résume parfaitement l'influence de ce courant de recherche auquel nous adhérons:

> "First there is a general suspicion that simple S-R or "black box" formulations are insufficient bases for understanding decision outputs, either of individuals or nation-states. That is, intervening processes are often the locus of powerful explanations of choice behavior. Second, it is assumed that the content and structures of belief systems, information processing styles, strategies for coping with stress, and the like are systematically related to the manner in which leaders perceive, diagnose, prescribe and make choices, especially in situations of uncertainty. Both shared and idiosyncratic attributes and processes are of interest."

---

[11] "Statique" par opposition à des structures cognitives de savoir faire.

[12] angl.: "meaning"

Le décideur tel que défini par Holsti et par les autres modèles “cognitifs” de la décision n’est donc pas très différent de notre esquisse de l’homme [13]. La plupart des auteurs en science politique intéressés par la modélisation de ce qu’on appelle parfois les variables intervenantes sont d’accord pour affirmer que les propensions de diagnostic et de décision d’un individu sont en premier lieu le résultat d’ordres provenant de l’extérieur. Toutefois, les caractéristiques de l’individu ont aussi leur place, par exemple ses croyances et sa capacité à traiter une information complexe. On ne discutera pas ici l’importance relative des “constantes” individuelles par rapport aux constantes partagées par tous les individus remplissant un rôle d’une catégorie particulière. Comme il a été déjà souligné, le but de ce travail est de modéliser *comment* un décideur (individuel et collectif) prend une décision. Dans tous les cas, on sera certainement d’accord avec Falkowski (79:6) qui souligne que “the most crucial aspect of ultimate behavior is the definition of a situation the decision-maker uses,..” ainsi qu’avec Holsti (77:3) pour qui “an individual’s behavior is in large part shaped by the manner in which he perceives, diagnoses, and evaluates his physical and social environment”. La clé pour la modélisation du décideur est donc de s’intéresser plus particulièrement à la façon dont il représente les choses, autrement dit comment il modélise le monde. La question des mécanismes de décision proprement dite garde leur importance, bien sûr, mais ce n’est plus la question fondamentale. Ces observations faites en science politique coïncident d’une façon extraordinaire avec les travaux en intelligence artificielle qui ont découvert que c’est la “*representation of knowledge* that is the crux of AI”. (Hofstadter 79:615).

Parmi les catégories du savoir qui influencent beaucoup l’interprétation de l’environnement politique sont les croyances sur la vie sociale. Citons de nouveau Holsti (77:3): “it is recognized that in order to experience and cope with the complex, confusing reality of the environment, individuals have to form simplified, structured beliefs about the nature of their world.” Ces croyances ne constituent donc pas une collection désordonnée de savoir. Un grand nombre d’auteurs comme George (qui cite à son tour Converse) utilisent la notion de *système de croyances*. Un système de croyances est “[...] a configuration of ideas and attitudes in which the elements are bound together by some form of constraint or functional interdependence” (George 79:100). Un tel système ne doit pas nécessairement être cohérent - les connections entre éléments ne sont pas forcément logiques.

Cette courte discussion de quelques idées issues de la science politique, montre l’intérêt et le besoin d’une modélisation de type cognitiviste. Comme on le verra plus en détail par la suite, plusieurs modèles intéressants on été créés depuis bientôt deux décennies en science politique. Toutefois tous ces modèles comme le “operational coding” de George (69), Holsti (77), etc. ou le “cognitive mapping” de Axelrod (73,76) souffrent d’une approche trop statique. Ainsi le lien entre une structure plus ou moins fixe et l’action n’est pas bien élaboré. Ces analyses conduisent plutôt vers une typologie des décideurs (ou encore de leur perception du monde), mais pas vraiment vers des modèles qui “prennent” des décisions. Autrement dit, on ne voit pas très bien comment interviennent ces systèmes de croyance et de perception dans les processus actuels de décision.

Dans le reste de ce chapitre, nous allons discuter plus en détail certaines approches d’étude de la décision et du décideur en science politique. Le but de cette discussion ne sera pas de donner une introduction à ce champ de recherche ou encore de discuter les résultats de recherches avancées. Il s’agit uniquement de montrer la logique de quelques approches très populaires en science politique. Nous pourrons ainsi par la suite discuter les avantages et les inconvénients de ces optiques de la décision.

---

[13] Voir ci-dessus, chapitre 1.

3-2 Les modèles rationnels de décision

Le but de cette section est de discuter quelques approches en science politique pour modéliser le décideur rationnel ou quasi-rationnel. Nous examinons deux traditions issues de la “théorie de la décision”: la théorie des jeux et la modélisation du choix quasi-rationnel. Nous abordons ensuite un modèle du décideur “administratif” qui suit des règles bureaucratiques incrémentales.

Les théories rationnelles du choix ont un intérêt philosophique et normatif, tout à fait approprié aux “first principle sciences”. Par contre, les travaux portant sur les méthodes quasi-rationnelles du choix ou encore sur l’application de règles bureaucratiques sont appropriés pour décrire et modéliser le déroulement de choix politiques empiriques.

Parmi les théories analytiques ou normatives de la décision, la théorie mathématique de la décision fondée par von Neumann et Morgenstern (47) est aujourd’hui la plus développée. Pour la modélisation des processus cognitifs des décideurs, elle n’a pas grand-chose à offrir car elle opère avec des modèles mathématiques que le décideur humain n’utilise pas dans des circonstances normales. Elle opère à un niveau d’abstraction assez élvé et son orientation normative la prédestine plutôt à la préparation de décisions dans des contextes bien définis. Toutefois, plusieurs courants de recherche proches de cette théorie mathématique peuvent nous fournir quelques enseignements. Le premier est la théorie des jeux, surtout dans son orientation expérimentale, où l’on analyse le comportement d’individus dans des situations-type de conflit et de coopération. Dans un deuxième temps, nous nous pencherons sur les travaux de Gallhofer et Saris (69) sur les modèles de choix à rationalité limitée. [14] Ces auteurs ont fait un travail remarquable pour dépister les stratégies de choix des décideurs qui se trouvent dans des situations empiriques. A notre connaissance, il s’agit du seul travail sérieux en sciences politiques qui cherche à faire l’inventaire des stratégies quasi-rationnelles de décision des décideurs politiques. Notre discussion du modèle du “governmental problem-solving” de Crecine (69) sera en quelque sorte le pendant au plan de la science administrative: la thèse la plus provocante de cet auteur affirme que la notion de décision n’existe pratiquement pas dans le domaine de l’élaboration d’un budget municipal. Il voit ce processus comme un processus long de résolution “hiérarchique” et incrémentale des problèmes sans décision spectaculaire telles que celles rencontrées dans la théorie des jeux. L’importance du phénomène du choix, cher aux économistes, sera donc de nouveau relativisée.

---

[14] Angl. “Choice models of bounded rationality”.

3-2.1 La théorie des jeux

La théorie des jeux est un outil mathématique développé principalement par John von Neumann à partir de 1920. Le premier ouvrage fondamental date de 1944 (Von Neuman et Morgenstern 47). Assez rapidement, cette théorie a été saluée comme une solution éventuelle aux problèmes de formalisation que connaissent les sciences sociales. Son champ d’application est l’acteur intentionnel et rationnel qui est en interaction avec au moins un autre acteur. Voici une définition de sa rationalité limitée: “Very generally, behaving rationally in game theory means acting to maximize the achievement of some postulated goal, where the outcome depends not only on chance events and "nature", but also on the actions of other players with sometimes cooperative and sometimes conflicting interests” (Brams 75:XV). La théorie des jeux sert donc surtout à modéliser des situations où des acteurs sociaux prennent des décisions individuelles séparées, mais ayant un impact combiné sur les acteurs. Autrement dit: “It reveals the skeletal structure of those social systems where decisions interact, and it reveals, therefore, the essential structure of both conflict and cooperation” (Rappoport 65:front cover). Toutefois, malgré ces postulats de généralité, la théorie des jeux (en tout cas au plan de son outillage mathématique) est essentiellement une théorie normative des choix (et nécessairement du calcul des résultats). Elle n’est opérationnelle que sous des nombreuses conditions ceteris paribus.

Les ingrédients d’un jeu

Il est important de discuter les points essentiels d’un modèle, car ils définissent les éléments d’un langage que le chercheur surimpose à la réalité . Dans la théorie des jeux, les éléments centraux du modèle sont (1) la définition d’un jeu et (2) les stratégies rationnelles qu’on peut attribuer aux joueurs.

Les ingrédients de base d’un jeu sont implicitement donnés par le nom “théorie des jeux”: il y a des joueurs (acteurs), des rétributions (gains et pertes) et des règles du jeu. N’importe quelle unité poursuivant des buts d’une façon autonome peut être joueuse, donc il peut s’agir d’Etats, d’organisations ou encore de personnes. Les règles définissent les variables qu’un joueur peut contrôler: par exemple des possibilités de choix, d’information et de communication entre joueurs. Elles déterminent également les rétributions, les bénéfices négatifs (pertes) ou positifs qui résultent des choix de tous les joueurs. La notion de “game” est donc plutôt utilisée pour décrire les règles d’un jeu (au sens large du terme), tandis que la notion de “play” définit la “partie” (l’instance concrète d’un jeu).

Par rapport à nos recherches, l'aspect le plus intéressant de la théorie des jeux est celui de la stratégie, c'est-à-dire la procédure de décision que doivent prendre les joueurs pour optimiser leurs gains. Examinons ce concept à l'aide d'un exemple simple. Rappoport (66:18) définit la théorie des jeux par son objet, à savoir les situations ayant les caractéristiques suivantes:

1. Il existe au moins deux joueurs.
2. Le jeu débute par le choix effectué par un joueur parmi plusieurs alternatives.
3. Ce premier choix définit une certaine situation qui détermine le choix suivant (qui et quoi).
4. Les choix opérés par un joueur peuvent ou pas être connus par les autres joueurs.
5. Si l'on décrit un jeu par ces choix successifs, il existe une règle pour la fin du jeu.
6. La situation finale d'un jeu détermine la rétribution de chaque participant.

D'un point de vue procédural, un jeu est donc un ensemble de situations de décision à l'intérieur duquel les joueurs choisissent entre les actions possibles. Chaque choix (ou action) est connecté à un ensemble de résultats possibles décrits par valeur sur des échelles de préférence (qui peuvent être "ordinales", "par intervalle" ou "cardinales"). Dans la théorie des jeux, ces résultats sont en règle générale les mêmes pour tous les joueurs (angl. "interpersonnally exchangable"). Une chaîne de décision dans un jeu est donc un ensemble de choix déterminé par les utilités et les probabilités successives de résultats. Cette approche peut donner l'impression que les jeux sont déterministes, à condition que les joueurs agissent rationnellement. Toutefois, ceci est faux pour certains types de jeux; par exemple, il existe des jeux où le profit maximal n'est possible qu'à la suite d'une coopération entre joueurs.

La rationalité de base de la théorie des jeux est une règle de maximisation du profit individuel. Les joueurs doivent trouver une stratégie qui leur garantisse une utilité minimale dans toutes les circonstances. Dans des cas simples, il existe deux joueurs antagonistes qui ne communiquent pas, qui minimisent leur risque et qui supposent que l'opposant se comporte d'une façon rationnelle. A l'aide du jeu dans la figure 3-1 "Exemple de jeu à somme nulle" [p. 64], nous allons brièvement expliquer ces concepts et nous allons introduire la règle du "minimax". Ce jeu est un jeu à deux personnes à somme nulle, c'est-à-dire ce que l'un perd, l'autre le gagne. Chaque joueur possède deux stratégies (A1,A2 et B1,B2) La matrice montre les quatre résultats possibles résultant du choix de ces stratégies. Le joueur "ligne" A choisit la stratégie (représentée par une ligne dans la matrice) qui lui permet de maximiser son gain minimal. Par conséquent, il choisit la deuxième ligne A2 où il assure un gain minimal de 1 (8 est plus élevé que -5 et 1 est plus élevé que -7 de la stratégie une). Le joueur B choisit également la stratégie B2 pour les mêmes raisons (en fait il le ferait même s'il pensait que A était irrationnel). Ce jeu possède un équilibre stable {A2, B2; (1/-1)} et il est déterministe. Dans ce type de jeu, A et B vont toujours choisir une stratégie qui contient un "saddle-point" s'ils sont rationnels.

		Joueur B	
		Stratégie B1	**Stratégie B2**
Joueur A	**Stratégie A1**	**-5 / 5**	**-7 / 7**
	Stratégie A2	**8 / -8**	**1 / -1**

Figure 3-1: Exemple de jeu à somme nulle

Ce principe peut être généralisé pour toutes sortes de jeux où l'on connaît la matrice des gains et des pertes. En règle générale, le joueur d'un jeu antagoniste sans communication possible entre joueurs doit toujours *maximiser son gain minimal*, même dans les circonstances où le résultat n'est plus garanti. Souvent ces points d'équilibre n'ont qu'une définition statistique. Le raisonnement simple et déterministe ne fonctionne donc que pour une classe très réduite de jeux relativement simples. Certains types de jeux ne permettent pas de construire une matrice de jeu, car il n'existe plus de solution rationnelle (y compris celles de type statistique). Nous n'allons pas discuter les propriétés de jeux très complexes, par contre nous allons nous pencher sur le problème des jeux à rationalités multiples ou paradoxales tel qu'on le retrouve dans le "dilemme du prisonnier". Ce jeu relativise l'importance des règles de maximisation individuelle du profit chères à certaines théories de la décision rationnelle[15].

Jeux de conflit et de coopération

Les jeux de conflit et de coopération tiennent une place très importante dans la littérature en science politique. La science politique utilise souvent ces jeux-là pour décrire d'une façon formelle des situations de conflit et de coopération ou, comme le remarque Rappoport (66:214), pour mettre en évidence le "squelette" d'une situation. Les exemples les plus populaires ont montré que la maximisation du profit individuel à court terme peut conduire à des désastres à court ou à long terme.

Le dilemme du prisonnier dont la matrice se trouve représentée dans la figure 3-2 "Le dilemme du prisonnier" [p. 65] est le plus connu de ces

---

[15] Nous allons revenir à la problématique du choix dans des situations qui ne permettent pas un raisonnement aussi rationnel dans la section 3-2.2 "Modèles de choix à rationalité limitée" [p. 69].

		Player B	
		Cooperation	**Non-cooperation**
Player A	**Cooperation**	**R**eward, **R**eward	**S**ucker, **T**emptation
	Non-cooperation	**T**emptation, **S**ucker	**P**unishment, **P**unishment

Figure 3-2: Le dilemme du prisonnier

jeux. Il ne sert pas seulement d'exemple d'introduction à la théorie des jeux, mais également de cadre à des expériences psycho-sociologiques très intéressantes. Si A et B coopèrent dans ce jeu, les deux vont être récompensés ("reward", étant donné les circonstances). Si par contre A ne coopère pas et que B coopère, A va gagner gros ("temptation") et B va perdre gros ("sucker"). Si les deux ne coopèrent pas, les deux vont être punis ("punishment"). Si l'on suppose (comme on le fait en règle générale pour ces jeux simples) que A et B jouent une seule fois, qu'ils ne peuvent pas communiquer et qu'ils n'ont pas les moyens de s'assurer de leur coopération, le choix des joueurs doit se faire dans l'incertitude. Ils ne contrôlent pas toutes les variables de la décision.

Si l'on applique maintenant la stratégie "maximin"[16], c'est-à-dire le principe selon lequel chaque joueur doit maximiser son gain minimal (éviter d'être le "sucker"), on arrive à la punition. En effet, la stratégie "maximin" est "N" (non-coopération) pour les deux joueurs. On dit qu'elle est dominante parce qu'elle est choisie par le joueur rationnel. Nous deux joueurs arrivent donc à un résultat qui n'est pas optimal pour les deux. En situation (P,P) les deux sont dans une situation moins bonne qu'en (R,R) où les deux bénéficient de leur coopération mutuelle. Toutefois, alors que le résultat (P,P) est stable, ce n'est pas le cas pour (R,R) qui donne naissance au "dilemme du prisonnier". Une stratégie optimale selon la rationalité individuelle ne garantit donc pas forcément un bon résultat.

Il est intéressant d'observer comment des sujets expérimentaux se comportent dans ce jeu. Dans ce type d'expériences, on fait jouer le jeu à plusieurs reprises. A chaque tour, le joueur peut faire son choix en fonction des résultats des tours précédents. La stratégie simple qui donne le plus de succès au plan de la maximisation absolue (et non seulement relative) du profit est "tit-for-tat", c'est-à-dire la réciprocité conditionnelle. Elle se caractérise par le choix de la coopération la première fois, puis faire la même chose que l'autre aux coups précédents, un résultat obtenu suite à des analyses de tournois sur ordinateur Axelrod (1984). [17] Cette "rationalité" du

---

[16] Cette règle "pessimiste" de décision (partant du principe qu'il faut toujours s'attendre au pire) est plus fréquemment appelée "minimax". Ce terme (chercher un *mini*mal *max*imum) est moins mnémonique que "maximin" (*max*imiser le *min*imum).

"tit-for-tat" s'explique par le fait que chaque violation d'une coopération entraîne très vraisemblement une vengeance, et donc une baisse de profit à la longue. Les chances qu'une coopération s'établisse sont assez élevées dans ces expériences, surtout lorsque la fin du jeu est inconnue, c'est-à-dire si les joueurs ne savent pas quand le dernier round aura lieu. Parmi les sujets humains, la stratégie du "tit for tat" est assez populaire; souvent, elle est apprise après plusieurs tours; son choix dépend donc de la capacité d'apprentissage du sujet. Dans les jeux à tours fixés à l'avance, chaque joueur peut casser la coopération vers la fin afin de maximiser son ultime gain personnel. Chaque participant à un dilemme du prisonnier séquentiel doit posséder un ensemble d'heuristiques qui l'aident à prendre des décisions, mais qui ne peuvent pas garantir une stratégie optimale.

Un autre jeu très simple démontre également qu'il existe des situations où aucun choix rationnel individuel ne peut être conseillé. Rappoport (86:119) cite le jeu suivant: trois joueurs doivent partager 100 unités monétaires entre eux par une décision majoritaire (chacun votant au même instant). Ils ont le droit de communiquer entre eux et ils peuvent également s'isoler à deux pour discuter des alliances. Chaque joueur peut essayer de maximiser son propre profit en garantissant à un autre joueur un gain faible (ce qui est toujours mieux que rien). Les chances qu'une coopération s'établisse sont bonnes s'il existe un impératif (par exemple un contrat ou un rapport de force, etc.) de renforcer les gains collectifs. Une solution rationnelle simple à ce problème n'existe donc pas. La théorie ne peut que suggérer des solutions collectives qui se situent plutôt au niveau normatif des partages d'un bien. Cet exemple illustre que, plus une situation de "jeu" devient complexe, moins les enseignements de la théorie des jeux mathématiques deviennent instrumentaux pour expliquer ou conseiller un choix. Dans les termes de Rappoport (68:121) nous nous éloignons d'une théorie de la décision stratégique vers une théorie de la résolution des conflits. [18] La rationalité individuelle pure n'a de sens que dans des contextes très isolés. Un choix dans une situation complexe se réfère toujours à des structures collectives de signification et à des heuristiques qui permettent de les gérer.

Apprendre les stratégies

On peut également se demander comment les sujets apprennent à

---

[17] Des tels jeux séquentiels sont de nature très instable, et pour le moment il n'existe pas d'équilibre théorique. Depuis quelques années, il existent aux Etats-Unis également des tournois de programmes d'ordinateur qui jouent au dilemme du prisonnier (cf. par exemple Axelrod 1984 et Hofstadter 1987). Certains de ces programmes utilisent des algorithmes génétiques qui créent et sélectionnent des stratégies optimales par des procédures de filtrage et de recombinaison.

[18] Un autre jeu qui illustre bien ce point est celui de la "bataille des sexes" où un des joueurs préfère la sortie au théâtre et l'autre un événement sportif. Si les deux préfèrent faire quelque chose ensemble, ils doivent s'entendre sinon la probabilité d'obtenir un résultat désagréable pour les deux est trop élevée.

jouer un jeu. La théorie des jeux classique ne fournit que la recette pour la stratégie optimale (si elle existe) sans expliquer pourquoi les sujets l'utilisent ou non. Nous n'entrerons pas dans la question de savoir si la stratégie du "maximin" (ou de ses dérivés plus compliqués) est toujours optimale (elle néglige les avantages du coup dangereux à faible risque par exemple). Mais il faut constater que, pour la plupart des jeux imaginables, la stratégie à conseiller dépend plutôt du domaine social ou encore d'un savoir-faire difficilement réductible à une logique simple du calcul subjectif d'utilité du type "maximin". Pour trouver la stratégie optimale dans un dilemme de prisonnier à répétition, il a fallu avoir recours à des algorithmes génétiques inventés par Holland (cf. Axelrod 84). Ces algorithmes permettent à un système d'apprendre et surtout de sélectionner des règles de choix. Ils opèrent complètement en dehors de la théorie des jeux et fonctionnent grâce à un mécanisme de rétribution des règles qui conduit à des choix à succès dans le jeux. Ces algorithmes ont des propriétés intéressantes malgré leur "coût" computationel très élevé.

Vers la négociation des jeux

La théorie des jeux suppose en règle générale que les gains et les pertes d'un jeu sont fixés à l'avance. A la limite, les joueurs ont le "droit" de négocier leurs choix entre eux mais il n'est pas question de choisir le jeu à jouer ou encore la définition de la matrice des gains et des pertes. Dans le monde empirique, il existe beaucoup de situations où le joueur négocie le jeu qu'il va jouer. Imaginons un joueur qui est dans une situation de pertes ou encore de grande insécurité. Dans ces cas, il essaiera de négocier un compromis avec son adversaire, compromis qui, tout en étant avantageux pour l'adversaire, est toujours plus avantageux qu'une perte totale. A ce sujet, Rappoport (66:214) remarque que "game-theoretical analysis if pursued to its completion, *perforce* leads us to consider other than strategic modes of thought". Un de ces modes de pensée serait de jouer des jeux avec le but de définir des jeux. Dans Alker (80c), on trouve une analyse de la crise de Berlin qui va exactement dans ce sens. Les joueurs transforment un conflit qui a la forme du dilemme du prisonnier (avec une issue fatale pour les deux) en un jeu de "chicken"[19]. On retrouve ici non seulement l'importance des représentations du monde (comme dans l'exemple précédent), mais également la capacité réflexive et communicative de l'acteur humain. Pouvoir négocier le jeu auquel on joue est tout aussi important que de savoir bien le jouer.

Les apports potentiels de la théorie des jeux pour l'analyse du décideur sont difficiles à évaluer. A partir de la discussion qui précède, on peut définir trois utilisations très différentes:

- Les jeux comme cadre expérimental pour décortiquer le raisonnement de sujets dans des situations type: la discussion du dilemme du prisonnier séquentiel a montré les potentialités de cet usage. Grâce à un environnement contrôlé d'action, il nous est possible de formuler quelques heuristiques de décision, comme la règle "la confiance induit la confiance, et la méfiance induit la méfiance" applicable dans des situations où (1) la coopération est profitable, (2) la coopération de l'un et la non-coopération de l'autre est désastreuse pour l'un, et (3) la non-coopération des deux est mauvaise pour les deux.
- Deuxièmement, la théorie des jeux nous permet de définir formellement quelques unes des situations de conflit et de coopération ainsi que les choix offerts au joueurs. En effet,, si l'on arrive à classer une situation-type, on peut mieux décrire (du moins analytiquement) ce qu'un acteur peut potentiellement faire, même si cette théorie n'arrive pas souvent à fournir des recettes optimales. De plus, nous pouvons établir des mini-théories sur le comportement de systèmes d'acteurs par rapport à certaines situations. Nous citons comme exemple le résultat "tragique" du dilemme du prisonnier joué une seule fois.
- Finalement et paradoxalement, la théorie des jeux nous amène vers une négation de la pensée de la maximisation individuelle du profit. En effet, la méthode de choix rationnelle et formelle[20] n'est applicable qu'à une partie infime de l'action humaine. Selon Bertanlanffy (68:114), ce genre de théorie "fits not the majority of human actions but rather the "unreasoning" behavior of animals". Nous tirons une deuxième leçon de la théorie des jeux: des situations de décision qui ont l'air très simples ne sont pas si simples que cela. On constate très rapidement qu'un choix ne peut se fonder uniquement sur des règles d'utilité du type "maximin", mais également sur des heuristiques ayant trait au raisonnement à long terme ainsi qu'à l'interaction entre joueurs. Il existe même des situations où un jeu est d'abord construit par les joueurs avant d'être joué. Donc le choix n'est finalement qu'une étape parmi d'autres dans une décision.

Le côté élégant et formel de la théorie des jeux est très séduisant au point que, par exemple, un auteur comme Ordeshook (92), écrit un livre intitulé "A Political Theory Primer" qui ne parle que de la théorie des jeux. Ce livre montre à la fois l'intérêt toujours vif de la science politique pour ce genre de modélisation[21] et aussi le fait que les prémisses de base sont

---

[19] Le jeu de chicken ressemble au "dilemne du prisonnier" avec la différence que le "reward" (payment après une coopération) est positif.

---

[20] Dans beaucoup de cas, la méthode de choix rationnel fait appel à la règle de Bayes qui suggère le choix de l'alternative ayant la combinaison d'utilité et de probabilité la plus élevée.

[21] Ici il faudrait également mentionner la "public choice theory" (cf. par ex. Mueller 89) qui applique les outils analytiques micro-économiques (dont la théorie des jeux) à la science politique. L'acteur est également perçu comme égoïste, rationnel et maximiseur d'utilité. Dans la plupart des cas, ce domaine s'intéresse au vote public et au problème de distribution des richesses. Cette littérature montre de façon claire les insuffisances de la démocratie et du fonctionnement des institutions (avec études empiriques à l'appui). Par contre, elle n'apporte pas grand chose en plus pour la modélisation empirique du décideur.

restées les mêmes ces deux dernières décennies. Dans l'introduction de ce livre, l'auteur admet bien les limites du "rational choice". Mais il se réfugie derrière la notion de faire de la "first principle science" dont la tâche serait de mettre en évidence des vérités premières indépendantes de la réalité complexe du monde politique et des propriétés cognitives du décideur. Dans ce livre, l'auteur présente des modèles de jeux plus compliqués que les petits exemples qu'on vient de discuter. Il formalise par exemple l'absence partielle d'information dans des arbres de décision avec des modèles Bayesiens. L'idée que l'information n'est pas simplement absente ou présente, ou incomplète, mais peut-être contradictoire ne s'y retrouve presque pas. Pire, l'idée que le décideur politique n'est pas mathématicien est totalement ignorée. Même s'il l'était (par exemple grâce à des logiciels de support à la décision), la question du coût de calcul pour optenir un résultat optimal semble être négligée [22]. Il n'est pas surprenant de constater toute absence de références empiriques dans ce livre - ceci en contraste avec la littérature sur l'intelligence artificielle dans les relations internationales. Quand l'auteur (Ordeshook 92:5) affirme que la rationalité ne peut être modélisée autrement que par ce type de modélisation mathématique, il a clairement tort.

3-2.2 Modèles de choix à rationalité limitée

En politique, contrairement aux situations expérimentales de la science cognitive, les problèmes sont très souvent présentés et discutés sous une forme déjà structurée. Ce qu'un chercheur peut observer de l'extérieur ne représente que très rarement le processus de décision en entier, mais plutôt l'argumentation pour un choix déterminé à prendre. Ainsi, le travail empirique de Saris et Gallhofer [23]est fondé essentiellement sur l'argumentation de décideurs comme on la retrouve dans des transcriptions de décisions ou encore dans des textes officiels.

La plupart des modèles normatifs de choix sont fondés sur le modèle général de l'espérance subjective d'utilité (angl. "Subjective expected utility" (SEU), cf. Neumann and Morgenstern:47). Voici le principe de base du calcul de l'espérance subjective d'utilité: un décideur doit choisir la stratégie qui aura l'utilité espérée subjectivement la plus élevée. Un choix i peut conduire à plusieurs résultats ij. Le décideur calcule pour chaque résultat ij possible une probabilité d'occurrence ainsi qu'une utilité. L'utilité prévue d'un seul résultat devient le produit de son occurrence potentielle

---

[22] Cette question est surtout traitée dans littérature du "tree search". En ce qui concerne les "game trees", elle montre par exemple que la stratégie "minimax" peut être optimale, à condition d'arriver à calculer l'ensemble des possibilités (Charniak et McDermott 281-293). Les recherches sur les "machines échecs" ont montré que même un ordinateur est imparfait (pas assez rapide) à partir d'un certain niveau de complexité de l'arbre de jeu. Cf. par exemple Baum (92) sur le sujet de "game tree search for imperfect players" et Frank (94) pour un survol récent des travaux sur le "game tree search".

[23] Cf. par exemple Gallhofer et Saris (89) pour un survol de leur travaux.

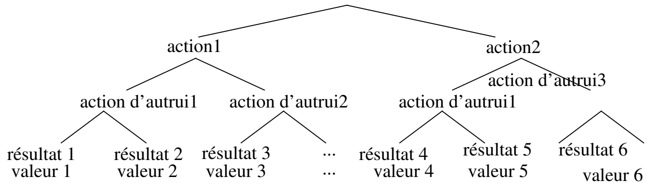


Figure 3-3: Un arbre de décision simple

et de son utilité. En conséquence, la SEU d'une stratégie (ou d'un choix dans un exemple simple) est égale à la somme des SEU de tous les résultats possibles pour cette stratégie. Voici la formule pour le modèle simple:

$$\text{SEU}(\text{stratégie}_i) = \text{Somme}(\text{probabilité}_{ij}) * \text{Utilité}(\text{résultat}_{ij})$$

Ce modèle normatif dont il existe des versions plus sophistiquées ayant par exemple des attributs multiples à juger pour chaque résultat, possède plusieurs défauts pour la description de la réalité empirique:

- Des recherches empiriques ont démontré que les décideurs structurent et simplifient d'une façon incrémentale un problème avant de procéder à des choix proprement dits.
- Il n'est pas toujours nécessaire d'utiliser un modèle SEU pour obtenir un bon résultat. On peut observer que les sujets utilisent en effet des heuristiques simples (et accessibles à tout le monde) qui sont presque aussi bonnes.
- Même si le décideur possède la volonté pour le faire, il est très souvent impossible de calculer les utilités et les probabilités des résultats potentiels d'une stratégie.

Examinons la structure d'un arbre simple de décision dans la figure 3-3. Il s'agit d'une action-réaction. Le premier décideur possède deux choix d'actions et l'autre trois. En tout, il existe donc 6 résultats possibles. Cet arbre est légèrement plus complexe que celui d'un jeu comme le dilemme du prisonnier. Tout d'abord, les actions des décideurs se suivent. Ensuite, chaque action possible de l'autre ainsi que les résultats potentiels possèdent un coefficient de probabilité. Ce diagramme arborescent représente donc la séquence chronologique des actions mises à disposition du décideur et de l'autre acteur à un certain moment dans un processus de décision. Si l'on imagine que les chaînes d'action peuvent se prolonger et que plusieurs acteurs peuvent y participer, etc., on peut vite se rendre compte d'une explosion combinatoire des calculs à faire si l'on désirait appliquer le modèle SEU jusqu'au bout. Comme les recherches en intelligence artificielle l'ont montré, il est plus "rationnel" de simplifier ces arbres de décision pour arriver à une solution plus abordable en termes de ressources, mais qui reste néanmoins presque aussi efficace. Avant de discuter ces stratégies en détail, nous nous pencherons brièvement sur la question du codage de ces arbres, tels qu'ils sont présentés dans des "traces" textuelles.

Les arbres de décision

Il est relativement aisé de traduire l'argumentation d'une décision dans des structures arborescentes. Des tests effectués par les auteurs (Gallhofer and Saris 1979, et Saris and Gallhofer 1983) ont même montré qu'une très haute fiabilité inter-codeurs est obtenue[24]. Un codeur doit effectuer les pas suivants: (cf. Gallhofer and Saris 1983:7, 1979:412-414)

1. Lecture du texte
2. Recherche des concepts de décision suivants:
3. Actions mises à disposition du décideur
4. Actions mises à disposition des autres
5. Résultats potentiels pour le décideur
6. Valeurs subjectives des résultats potentiels
7. Probabilités subjectives pour les résultats potentiels
8. Probabilités subjectives pour les actions des autres décideurs.
9. Elaboration d'un arbre de décision en faisant la combinaison des éléments de l'argumentation.

Pour garantir un codage uniforme, les règles additionnelles suivantes doivent être également respectées.

1. Si seule une alternative d'action est mentionnée explicitement mais que son résultat est exprimé sous forme probabiliste, son complément (la négation du résultat) doit être également représenté dans le diagramme.
2. Si la probabilité d'un événement est égale à la certitude (il n'existe donc pas d'alternative), une branche seulement doit être mentionnée.

Nous avons traduit la structure de la décision que l'on retrouve de façon informelle chez Gallhofer and Saris (1979:412-413) dans une grammaire générative[25] que l'on retrouve dans la figure 3-4 "Une grammaire pour la génération des arbres de décision" [p. 72]. En étudiant cette grammaire, nous voyons qu'au début d'un arbre de décision se trouve le PROBLEME du décideur, qui résulte au moins en une ACTION à disposition. Si l'on analyse cette grammaire depuis le "bas", on peut remarquer que chaque branche de l'arbre de décision doit aboutir à un résultat simple ou complexe décrit par une liste d'attributs. Il n'existe pas beaucoup de restrictions pour cette grammaire. Chaque ACTION peut directement en entraîner une autre du ressort de celle qui l'a déclenchée ou de l' "autre". Les deux types d'ACTIONS (les actions du décideur et celles des autres) peuvent conduire à des RESULTATS, qui sont exprimés par un couple résultat+valeur au moins. Si un résultat qui n'a pas été lié à une action a eu lieu, on le code comme NOUVEAU-DEVELOPPEMENT. Finalement, un résultat peut également engendrer des sous-résultats. En somme, on peut combiner presque tous les éléments avec tous les éléments de cette grammaire. Cette souplesse correspond assez bien à celle de la perception qu'un décideur a de la réalité. Nous montrons l'eexemple d'un arbre de décision en indiquant quelles règles ont été utilisées dans la figure 3-5 "Exemple d'un

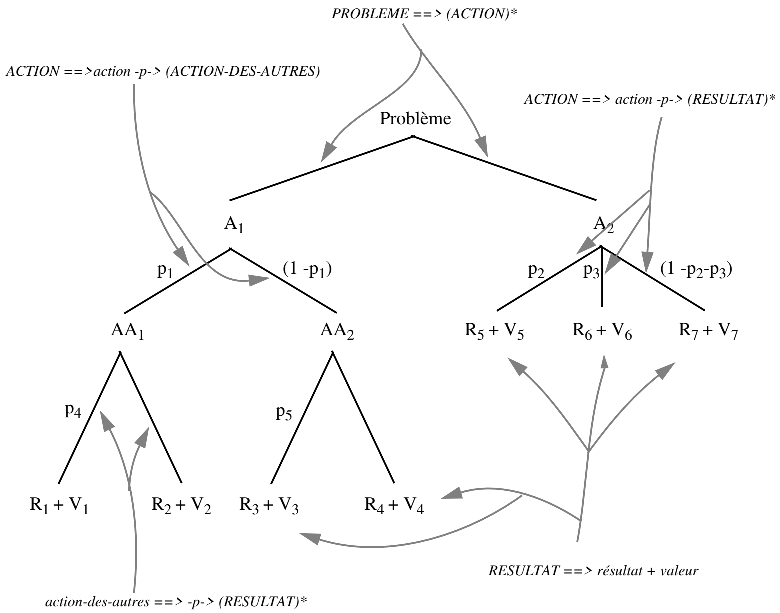
```
rule1: PROBLEME            ==> (ACTION)*
rule2: ACTION              ==> action -p-> (RESULAT)*
                           ==> action -p-> (ACTION-DES-AUTRES)*
                           ==> action -p-> (ACTION)*
rule3: ACTION-DES-AUTRES   ==> action-d'autres -p-> (RESULAT)*
                           ==> action-d'autres -p-> (ACTION-DES-AUTRES)*
                           ==> action-d'autres -p-> (ACTION)*
rule4: RESULTAT          ==> résulat+valeur | résulat + (attribut+valeur)*
                           [ + (ACTION)* | (ACTION-D'AUTRES)*
                               (NOUVEAU-DEVELOPPEMENT)* | (RESULAT)* ]
rule5: NOUVEAU-DEVELOPPEMENT ==> (RESULAT)*

"-p->" signifie un chemin de probabilité
```

Figure 3-4: Une grammaire pour la génération des arbres de décision

---

[24] Toutefois, il faut bien reconnaitre que différentes méthodes de codage à l'intérieur du paradigme de rationalité limité donnent d'autres résultats. Voir par exemple l'étude de Gallhofer et Saris (89) qui compare leur méthode "Empirical Decision Analysis" à la méthode "Multiple Paths to Choice (MPC)" de Gross-Stein et Tanter (67) et Maoz (81) que nous ne discutons pas ici parce que ses principes ressemblent beacoup à ceux utilisés par Gallhofer et Saris.

[25] Une grammaire générative comprend un ensemble de règles (dont une "règle-racine"). Les règles utilisent des symboles non-terminaux (en lettres MAJUSCULES) et des symboles terminaux. Le principe pour générer une structure est le suivant: le côté gauche d'une règle contient toujours un symbole non-terminal qu'il faut remplacer par une expression qui se trouve à droite. On peut choisir entre les expressions séparées par une "==>" ou par "|" . Chaque élément en lettres majuscules à droite représente également un symbole non-terminal et on recommence l'opération de substitution avec une autre règle. Les symboles en lettres minuscules représentent un symbole terminal, c'est-à-dire une expression qui représente un élément de codage dans notre cas. Les expressions entre parenthèses plus étoile "(..)*" peuvent être multipliées. Les expressions entre "[...]" sont des éléments à option. Pour définir un arbre à l'aide de cette grammaire, on peut également commencer à travailler "bottom-up" c'est-à-dire commencer par l'identification des symboles terminaux qui, dans ce cas, sont toujours une paire résultat+valeur, une paire attribut+valeur, des actions ou des actions d'autrui. Cette grammaire permet de générer hiérarchiquement n'importe quel arbre de décision de ce cadre théorique. Un tel arbre doit être interprété *dans le temps* de "haut" en "bas", c'est-à-dire les actions et les résultats à un moment donné représentent des contraintes logiques par rapport aux éléments se situant plus "bas" dans l'arbre. En outre, chaque arc dans l'arbre peut avoir des probabilités qui y sont rattachées.
En ce qui concerne la définition d'une grammaire générative, voir également la discussion des règles de production dans la section "Les systèmes de production" [p. 142].



A_i = action i du décideur
AA_i = action i de l’autre
R_i = résultat i
V_i = valeur du résultat i
P_i = probabilité de AOi ou Oi

Figure 3-5: Exemple d’un arbre de décision (selon Gallhofer et Saris 79)

arbre de décision (selon Gallhofer et Saris 79)” [p. 73].

La nature des résultats et des probabilités est discutée plus loin plus en détail. Le problème avec la méthode de travail de Saris et Gallhofer est que le décideur omet souvent les éléments de décision dans son argumentation et ne les exprime que très rarement d’une façon précise. Parfois, il indique seulement des ordres de priorité, parfois il emploie uniquement des valeurs binaires comme “probable/improbable” et “bien/mauvais”. Les arguments réellement utilisés sont donc souvent moins complexes que les possibilités offertes par notre grammaire. De plus, le décideur laisse volontiers aussi des branches improbables ou hautement indésirables en dehors de son arbre de décision.

dimensions:	résultat:	valeur:	probabilité:
argumentation des adhérents:			
résultats principaux:			
"Vente de la patrie"	arrêtée	+++	élevée
indépendance nationale	sauvée	+++	élevée
protection de la nature	un peu	+	élevée
protection des sites	un peu	++	élevée
spéculation	un peu	+	élevée
effets secondaires:			
constitutionnalité	non violée	+	élevée
procédure de consultation	rapide	0	1
liberté du commerce	faible restriction	0	1
droit international	faible incompatibilité	--	basse
commerce international	faible restriction	-	1
argumentation des opposants:			
"Vente de la patrie"	arrêtée	+	moyenne
constitutionnalité	violée	---	1
procédure de consultation	restrictions	-	1
liberté du commerce	restrictions	---	1
droit international	incompatible	---	élevée

Figure 3-6: Un problème complexe avec incertitude: la création d’un acte légal

Les problèmes des valeurs complexes avec incertitude

Les décisions politiques (en tout cas au plan analytique) sont très souvent d’une très grande complexité. Le décideur se trouve devant de multiples possibilités de choix, les résultats sont toujours probabilistes et représentent des aspects multiples qui devront être évaluées. Mais ceci ne signifie pas que les problèmes sont toujours formulés dans toute leur complexité par les décideurs (cf. Saris 83:1). Il existe un grand nombre de méthodes pour simplifier. Il y a plusieurs “méthodes” pour réduire la complexité des résultats, notamment les suivants:

- L’incertitude peut être fortement diminuée. Si ce n’est pas possible, il suffit de la placer sur une échelle ordinale par rapport aux résultats alternatifs.
- Des problèmes à valeurs complexes peuvent êtres réduits à des problèmes à valeur unique. Ainsi il suffit que le décideur compare des utilités simples parmi les résultats.
- La combinaison de ces deux techniques de réduction amène à des problèmes à valeur unique avec incertitude.

Un exemple peut illustrer ces trois méthodes: en Suisse, en 1960, plusieurs groupes sociaux et politiques auraient aimé instaurer un système pour contrôler, diminuer ou interdire l’acquisition d’immeubles par des étrangers[26]. Par ailleurs, beaucoup de gens étaient opposés à toute limitation de la liberté du commerce. L'affaire a été portée devant le parlement fédéral et il a été proposé d'instituer une législation réglant la matière. Dans la discussion très animée qui s'est ensuivie, un grand nombre des dimensions du problème ainsi que d'éventuelles solutions ont été discutées. L'exemple de la stratégie d'un acte légal et l'évaluation des dimensions du résultat possible est montré dans la figure 3-6 "Un problème complexe avec incertitude: la création d'un acte légal" [p. 74].

Parmi les participants à la discussion au parlement, plusieurs façons de représenter le problème sont apparues. Toutefois proposants et opposants ont structuré leur argumentation selon certaines lignes principales. Les avocats d'une solution législative ont eu tendance à rendre le problème de l'acquisition des immeubles très important et croyaient au succès éventuel d'une législation en la matière. Dans leur argumentation, des effets secondaires négatifs ont été exclus par l'attribution ou d'une valeur négative très petite ou d'une valeur neutre ou encore d'une probabilité très basse. Les adversaires ont soit nié le problème (c'est-à-dire l'utilité de l'acte), soit attribué des valeurs très négatives aux effet secondaires. Cette discussion sommaire montre d'une façon exemplaire que *le choix n'est qu'une composante parmi d'autres dans un processus de décision.* La perception et la présentation du problème sont tout aussi importantes que les choix, si ce n'est plus importantes. On voit également très bien qu'un problème est mis en rapport avec une vision du monde. Donc parler *du choix*, sans parler *de la vision du monde* qui est derrière n'a pas beaucoup de sens, car on choisit (explicitement) seulement parmi les options qu'on *se met soi-même à sa disposition ou qui sont imposées par d'autres participants au processus de décision*. [27].

Le tableau dans la figure 3-6 n'est qu'un résumé de la discussion sur les résultats finaux d'une action. Or les arguments ont été présentés en plusieurs étapes et non pas en une seule fois comme cette figure pourrait le faire croire. C'est une stratégie courante pour simplifier un problème, comme on peut le montrer par exemple par le message du Conseil Fédéral au parlement au sujet de l'arrêté fédéral qu'il lui soumettait pour discussion:

(1) Le Conseil fédéral, après une brève présentation de l'historique des événements, fait part de sa perception du problème. Le Conseil fédéral justifie l'idée d'une restriction de l'acquisition d'immeubles par des étrangers avec de simples arguments binaires: notre économie sera affaiblie si rien n'est fait (problème principal). Des avertissements à des vendeurs suisses ont été ignorés (donc des instruments para-légaux ne fonctionnent pas). Des restrictions limitées sur des opérations immobilières étrangères sont justifiées si elles protègent le bien public (donc quelques effets secon-

---

26. Voir la section 5-4.1 "La LAIE - histoire, structure et dynamique" [p. 207] pour plus de détail sur l'histoire de cette législation.

27. Cette vision des choses n'est pas niée par Saris et Gallhofer. Leurs recherches sur l'argumentation des décideurs va dans le sens d'une approche partielle de l'étude de la décision

stratégie:	résultat:	valeur globale	probabilité:
S1: interdiction de revente	anti-spéculation seulement	basse	haute
S2: restriction sur des prêts			
S2a: gentlemen's agreement	ne concerne que peu de peu de transactions	basse	basse
S2b: restriction légale	idem	négative	donc pas examinée
S3: droit de préemption			
S3a: achat et garde	nationalisation	négative	idem
S3b: achat et vente ensuite	cher	négative	idem
S4: régime d'approbation	efficace, mais ralentit les affaires	positive (sous réserves)	haute

Figure 3-7: Une évaluation des moyens d'action

daires doivent être acceptés). En somme, le problème est réduit au simple problème sans incertitude suivant: la valeur d'un acte légal est supérieure à la valeur d'une non-action.

(2) Une fois que cette réduction est acceptée comme valable (ce qui s'est produit), la discussion peut porter dans une deuxième étape sur les moyens légaux à employer. L'arbre de décision dans la figure 3-7 donne une partie de l'argumentation: Les stratégies S1 à S3 sont exclues soit par manque d'efficacité (les résultats ont une valeur totale basse), soit par une valeur négative forte. La stratégie S4, c'est-à-dire un acte légal instaurant un régime d'approbation, est jugée préférable sous réserve de sa constitutionnalité et de sa conformité au droit international.

(3) Dans une troisième étape, la constitutionnalité et la conformité au droit international seront discutées. Comme il n'existe pas de tribunal constitutionnel, la constitutionnalité est une affaire politique en ce qui concerne les cas tangents. Pour contourner le problème du droit international, le parlement décidera d'associer les sujets (assujettis au régime) aux personnes ayant un domicile à l'étranger. Les étrangers habitant la Suisse seront associés aux Suisses. Cette solution a été déclarée la seule possible tout en ayant des effets secondaires négatifs qui ont d'ailleurs été corrigés dans une certaine mesure au niveau des ordonnances d'application de la loi.

Cet exemple montre bien que dès qu'un problème atteint une certaine complexité, il est traité en plusieurs étapes, chacune réduisant la complexité des choix à faire. Pour chacune de ces étapes, différentes règles de décision ont été utilisées. Ces règles s'utilisent selon la façon de présenter le problème, comme nous allons le voir maintenant.

L'utilisation de règles de décision

En règle générale, les décideurs ne mentionnent pas explicitement les règles de décision qu'ils emploient pour choisir entre des alternatives. Ils ne présentent que les faits et la solution (cf. Gallhofer 83:3-4). D'un côté, on retrouve donc une présentation des composantes du problème de décision, à savoir les stratégies (choix) à disposition, les résultats potentiels et les probabilités. L'évaluation des résultats se fait selon des règles opaques. Comment faire le lien entre la description d'un problème de décision et les choix opérés? Comment trouver la règle de décision? Lorsqu'il est impossible d'étudier un décideur dans des conditions cliniques ou dans un interview ex post facto, il faut procéder analytiquement comme Gallhofer et Saris l'ont fait dans leurs études.

Nous allons présenter brièvement les règles heuristiques de décision que ces auteurs ont inférées dans leurs études de décisions. Tout d'abord, on peut classer un problème de décision selon les dimensions (1) valeurs simples/complexes, (2) valeurs avec ou sans intensité, (3) incertitude avec ou sans intensité. En combinant ces dimensions, nous arrivons à huit types de problèmes. En accord avec la présentation du problème et de la solution prise par le décideur, on peut inférer qu'il a choisi l'une des règles de décision suivantes:

1. "Subjective expected utility" (SEU) et SEU multi-attribut: choix de la stratégie qui offre l'utilité la plus élevée.
2. Eviter le risque: choix de la stratégie qui offre la plus grande probabilité d'un résultat positif (ou encore la plus faible possibilité d'un résultat négatif). Les probabilités des résultats doivent être classées au moins sur une échelle ordinale. Les valeurs doivent être au moins classéesen positives ou négatives.
3. Dominance: choix de la stratégie qui est meilleure que les autres par rapport à un aspect et au moins équivalente aux autres pour les autres aspects.
4. Lexicographique: Il faut d'abord classer les aspects dans leur ordre d'importance, et ensuite prendre la meilleure stratégie pour l'attribut le plus important.
5. Addition d'utilités: addition des valeurs de chaque attribut du résultat par stratégie et ensuite choix de la stratégie ayant la valeur totale la plus élevée. Il s'agit ici d'un calcul SEU sans incertitude.
6. La règle de Simon (satisfycing): choix de la première stratégie qui promet un résultat satisfaisant, certains critères posés comme nécessaires.
7. La règle de Simon renversée (negative satisfycing): exclusion de toutes les stratégies qui donnent un résultat négatif aussi longtemps qu'il existe une stratégie qui pourrait conduire à un résultat positif.

Les auteurs ont découvert qu'étant donné l'information sur les valeurs et les probabilités, le choix (et ainsi la règle de décision) peut facilement être prédit (Gallhofer 83:11). Ce constat apparaît surprenant, mais leurs recherches montrent que l'emploi des règles citées ci-dessus pour des problèmes simplifiés est en accord avec le modèle SEU. En ce qui concerne les problèmes avec des valeurs simples, la "" [p. 78], montre dans quelle situation quelle règle doit être choisie. En ce qui concerne les problèmes à résultats multi-attributs, ou les problèmes à étapes et résultats multiples, les décideurs utilisent des contraintes et des spécifications additionnelles qui dans beaucoup de cas garantissent également un résultat en accord avec le modèle SEU.

	valeurs avec intensités	***valeurs sans intensitées***
probabilitées avec intensités	modèle SEU	éviter le risque
probabilitées avec intensités	dominance lexicographique addition d'utilités	"Simon" "Simon renversé"

Figure 3-8: Le choix des règles de décision

Les recherches de Saris et Gallhofer sur l'argumentation des décideurs complètent les travaux théoriques et cliniques d'autres chercheurs comme Huber (82) et Svenson (89a). Il est clair que les arguments présentés dans des situations de discours ou de discussion ne représentent pas forcément le processus de décision en son entier. Toutefois il permettent de faire des inférences importantes sur ces processus. En complétant ces informations avec d'autres (comme des résultats d'expériences cliniques, des entretiens en profondeur, etc.), on se rapproche de la structure des processus réels.

3-2.3 Le "governmental problem solving" de Crecine

Crecine s'est beaucoup inspiré des travaux de Simon et March (March et Simon 58, Simon 77) donc indirectement aussi de ceux de Miller, Gallanter et Pribram (1960). Sa modélisation du processus de l'élaboration du budget municipal sort un peu de notre cadre plutôt axé sur l'analyse du décideur individuel. Néanmoins, les résultats de son étude ainsi que les méthodes employées sont dignes d'intérêt général et constituent des références bien établies en science politique. Le processus de décision du budget municipal est "an organizational means for the decision maker to deal with the potential complexity of the budgetary problem" (Crecine 68:129). Cette définition indique une perspective originale: la décision est vue comme moyen d'action politique et non pas comme un problème de choix en soi. Crecine (69:199) affirme aussi que ce processus de décision peut "very usefully be described as decision making or problem-solving in the face of a great deal of uncertainty, a large number of constraints, and few cues from the extra-governmental environment, rather than as a process having a great deal of political content". Le processus d'élaboration du budget a donc lieu dans un sous-système d'action assez indépendant du système politique global. Autrement dit, les demandes externes (comme celles de groupes de pression ou d'autres services par exemple) ne jouent pas un rôle très important. Par conséquent, seules l'information et des valeurs "paramétriques" (comme l'exigence d'un budget équilibré) exercent une influence externe au système.

Le processus de décision est modélisé par l'auteur à la fois comme un "système" hiérarchique de décisions à prendre et comme un système de contraintes. On détermine d'abord le revenu potentiel de la municipalité. Ensuite, en tenant compte des anciens budgets (c'est-à-dire de l'histoire) on définit un budget provisoire. Puis, de nombreuses décisions seront prises en tenant compte de ces deux contraintes. Il est très intéressant de noter que les différents départements de l'administration répondent à des demandes croissantes par une modification de la qualité, de la quantité et des coûts des services offerts. Très rarement, les règles budgétaires sont changées en fonction des besoins. A ce niveau-là, la capacité d'apprentissage de l'administration est donc très faible. Les conflits qui surgissent entre les différentes unités sont "résolus" par la satisfaction plus ou moins égalitaire de leur buts. Crecine (69:216) qualifie ce mode de décision de la façon suivante:

> "Concepts like "influence", "community needs", "service standards", "interest group", "politician", and "elite", do not prove to be very useful in understanding the process by which budget level decisions are made. Neither are internal bureaucratic phenomena like "conflict" and "competition for resources". The useful conceptualizations of the budgetary phenomena tend to deal with administrative decision processes, human information processing and problem-solving, organizational decision-making, satisfycing, sequential-attention-to-goals, and the like."

Ces affirmations de Crecine ont une portée plus générale que celle de l'élaboration du budget dans les municipalités américaines. Il existe en effet un grand nombre de sous-systèmes relativement autonomes dans les systèmes politiques modernes et pour certaines de leurs tâches, ils ont des "systèmes de décision" à disposition. Ces systèmes ont également pour propriété de devoir accomplir un but qu'on peut hiérarchiquement décomposer en sous-problèmes qui ont comme contraintes des décisions prises préalablement. D'un point de vue technique, le modèle de Crecine s'inspire de GPS (le "General Problem Solver", cf. Newell 72), une approche d'intelligence artificielle qui modélise le raisonnement par un calcul des buts et des moyens[28].

Crecine (69:211-215) a traduit le processus dans un graphe de flux qu'on peut décrire à l'aide d'un système de règles ou encore comme le démontre Alker (81:358-363) par des unités "Test-Operate-Test-Exit" (TOTE) déjà introduites (cf Figure 3-9: "L'unité TOTE de base de Crecine" [p. 80]). Dans la phase "Operate", le décideur effectue soit une opération de

---

[28] voir la section 4-3.1 "Le General Problem Solver" [p. 135] pour plus de détail sur ce programme de recherche.

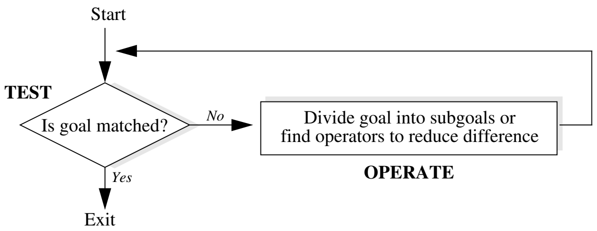


Figure 3-9: L'unité TOTE de base de Crecine

base, soit il spécifie un ensemble de sous-buts à satisfaire. La logique de ce modèle de décision représente un idéal-type de la décision entièrement différent de celui rencontré par exemple dans la théorie des jeux. Le poids de l'analyse est mis sur les concepts de la procédure, de la décision par pas incrémentés, etc. et non pas sur le choix de grandes alternatives. Il nous semble que ce type de décision est beaucoup plus fréquent en politique que la "décision-spectacle" et que ce type d'analyse devrait être plus privilégié.

3-3 ‘Cognitive maps’ et ‘operational code’

La discussion des travaux de Saris et Gallhofer sur l’acteur quasi-rationnel a montré l’importance de la perception du monde dans le processus de décision. En effet, les choix sont formulés et même faits selon la façon de percevoir un problème. Dans cette section, nous allons nous pencher sur les deux approches “cognitivistes” les plus populaires en science politique qui permettent une analyse des représentations internes du monde du décideur.

Les nombreuses études effectuées à l’aide du “cognitive mapping” et de l’ “operational coding” ont montré l’importance de l’étude de la représentation symbolique des problèmes de décision et la modélisation des croyances philosophiques et instrumentales du décideur.

3-3.1 “Cognitive mapping”

Le “cognitive mapping” était jusqu’à récemment une technique assez populaire pour l’analyse des systèmes de croyance politique[29]. Comme beaucoup d’autres approches pour l’analyse de la décision, les cartes cognitives (angl. cognitive maps) ont aussi un but normatif: il s’agit de rendre les décisions meilleures en rendant explicites les systèmes de croyance des décideurs afin qu’il puissent les utiliser consciemment pour leurs prises de décision.

Axelrod (76:55) définit une carte cognitive de manière très générale: “A cognitive map is a specific way of representing a person’s assertions about some limited domain, such as a policy problem”. Les croyances formant des cartes cognitives sont donc un peu comme Saris et Gallhofer des constructions “reconstructivistes”, c’est-à-dire le résultat de l’analyse du comportement verbal observé. Le cognitive mapping est donc une méthode d’analyse de textes. Axelrod affirme que les assertions du décideur représentent, dans beaucoup de cas, relativement correctement la structure de croyance d’un acteur telle qu’elle est perçue par le destinataire auquel le texte est adressé. En effet, le décideur est en règle générale sous la contrainte d’être cohérent et dans la plupart des cas, il est difficile de dire quelque chose et faire autre chose par la suite (cf. Axelrod 76: 253).

Formellement, les croyances d’une personne par rapport à un sujet sont représentées comme un graphe dirigé. Chaque noeud du graphe représente un concept utilisé par le décideur. Les noeuds sont connectés par des flèches représentant des liens de causalité simple. “Concept” est utilisé dans un sens très large. Cette notion représente toute entité atomique variable comme une alternative de politiques[30], un but, un moyen, etc. Un lien causal peut être négatif ou positif. “Positif” signifie que deux concepts évoluent dans le même sens. Un lien négatif change le sens de l’influence.[31] Le principe de codage est représenté schématiquement dans la figure 3-10.

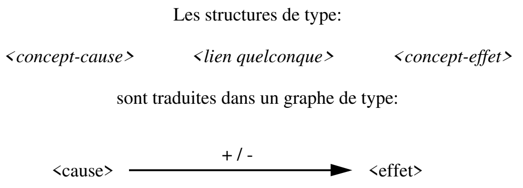


Figure 3-10: Le principe du codage du “cognitive mapping”

Ce dessin de la structure élémentaire d’un graphe (deux noeuds et un lien) montre que l’objectif des cartes cognitives est de représenter la structure des assertions causales d’une personne. Chaque noeud dans un système (codé) de croyance est lié à un autre noeud au moins par un lien de causalité négatif ou positif. On pourrait facilement imaginer l’utilisation de mesures plus complexes pour les relations entre concepts, par exemple l’assignation de valeurs pour mesurer la puissance d’une relation. Mais Axelrod (76:68-73) prétend qu’il est difficile de mesurer plus que de simples directions négatives ou positives. Cette affirmation ne paraît pas très convaincante, sauf peut-être dans le sens où il est plus facile d’obtenir une fiabilité élevée de codage de textes avec cette méthode simple et superficielle. En outre, Axelrod remarque que ce genre de graphe est plus simple à analyser que, par exemple, un système dynamique. Il est vrai qu’il est plus simple de comprendre un système à complexité fortement réduite.

L’opération de codage

Il existe plusieurs méthodes pour modéliser le graphe politique d’un décideur. La méthode la plus conseillée est de trouver tous les textes (écrits ou non) contenant des assertions sur le sujet donné. On peut également recourir à un questionnaire mais celui-ce présente l’inconvénient (comme toutes les méthodes actives de la collecte d’information) d’être trop influencé par le savoir du chercheur sur le domaine ou de l’acteur en question. Par contre, il possède, l’avantage de rendre explicites certains aspects

---

[29] Angl: “political belief systems”.

[30] Angl: “policies”.

[31] Toutefois, dans certaines recherches plus récentes, on retrouve aussi le lien neutre et différents types de liens de causalité.

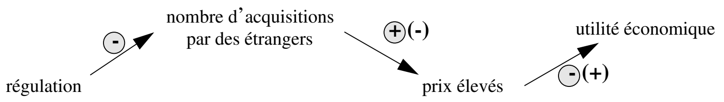


Figure 3-11: La mesure de l’effet d’un chemin causal

que l’on ne retrouve pas explicitement dans des textes. On peut également imaginer une combinaison des deux méthodes où l’analyse de texte constitue le “background” complété par d’autres méthodes de collecte d’information.

Le processus de codage comprend plusieurs étapes (cf. aussi Wrighton 76:292). Un bon codeur doit tenir compte à la fois du contenu (au sens superficiel) et de la structure du texte. Tout d’abord, il s’agit de trouver toutes les relations simples entre concepts. Le triplet concept-cause/lien/concept-effet doit guider l’analyse. Chaque concept doit être une entité variable, c’est-à-dire quelque chose qui pourrait, du moins potentiellement, se trouver dans un état différent. Autrement dit, un concept est un objet “cognitif” assez simple possédant seul un attribut avec une valeur. Dans une seule phrase, on peut évidemment retrouver plusieurs concepts ou relations. Dans ce cas il faut également les traduire en relations atomiques simples.

Une fois qu’on a identifié toutes les relations de base, il faut effectuer une classification des concepts, c’est-à-dire les grouper selon leur position virtuelle dans un graphe (par exemple selon les acteurs, options politiques ou effets). Une fois cette opération de tri effectuée, l’opération de la traduction de ces relations atomiques en un graphe complet est plus simple. Les instances multiples d’un concept et d’une relation doivent être joints (à condition d’avoir la même signification). Il n’existe pas de règles fixes pour dessiner un graphe, mais quelques heuristiques qui rendent la présentation meilleure et plus compréhensible: (1) les options politiques sont dessinées à l’opposé des utilités finales de ces choix. Les concepts intermédiaires, comme les effets d’une politique sur les autres acteurs, sont placés au milieu. (2) En règle générale, les flèches pointent dans la même direction, par ex. de droite à gauche ou du haut vers le bas. (3) Il faut éviter le croisement de flèches pour des raisons de clarté. Evidemment, il faut s’attendre à devoir dessiner plusieurs fois un graphe avant qu’il soit clairement lisible, surtout s’il contient des cycles.

L’analyse de graphes cognitifs

Le premier pas consiste à tracer l’effet global des chemins de causalité. Les relations positives et négatives sont propagées à travers le graphe, principe illustré dans la Figure 3-11: “La mesure de l’effet d’un chemin causal” [p. 83]. Les signes entre parenthèses indiquent l’effet accumulé d’une chaîne causale. [32]. S’il existe plus d’un chemin qui conduit d’un point A vers un point B, le graphe peut être équilibré ou déséquilibré. Il

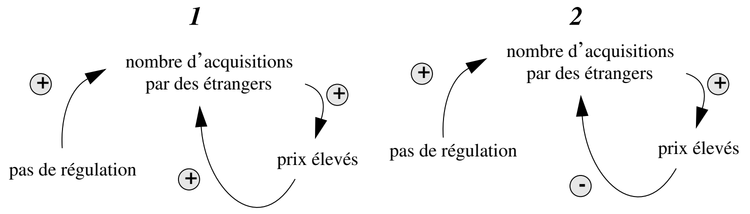


Figure 3-12: Les graphes cognitifs ayant des cycles

existe deux règles générales pour mesurer l’effet d’un chemin:

1. L’effet indirect d’un chemin est positif si le chemin possède un nombre pair de flèches négatives, et il est négatif s’il possède un nombre impair de flèches négatives.
2. L’effet total du concept A sur le concept B est égal à la somme des effets indirects de tous les chemins qui vont de A à B. Si tous les effets indirects sont positifs, la somme est aussi positive. Si tous sont négatifs, la somme est négative. Autrement, si certains effets sont positifs et d’autre négatifs, la somme devient indéterminée. La carte cognitive (le graphe) est déséquilibrée s’il existe au moins une somme d’effets indéterminés. Autrement, elle est équilibrée.

Lorsqu’un graphe contient des cycles, on doit procéder différemment. Les cycles représentent des boucles à rétro-action positive ou négative. Un cycle qui ne contient que des flèches positives augmente le changement original. Le premier exemple dans la figure 3-12 dit simplement que sans régulation, le nombre d’acquisitions d’immeubles par des étrangers va augmenter. Ceci provoque des prix plus élevés. Des prix plus élevés (on est dans la boucle) attirent plus d’investisseurs étrangers, .. et on recommence la boucle de “feed-back” positif. Un cycle qui contient un nombre pair de relations négatives aura le même effet parce qu’elles se neutralisent. Un cycle qui contient un nombre impair de flèches négatives agit contre les dérivations (“feed-back” négatif). Le deuxième graphe dans cette figure dit que les prix en augmentation dus aux investissements étrangers vont diminuer ces investissements. Ces deux exemples ne représentent évidemment pas une modélisation systémique de cette problématique mais la modélisation d’une argumentation cognitive. Il ne faut donc pas interpréter ces graphes d’une façon quantitative. Ainsi, le premier exemple ne prétend pas que les prix et les acquisitions des étrangers vont augmenter jusqu’à l’infini.

Une fois le graphe dessiné et les effets globaux connus, on peut également procéder à d’autres types d’analyse plus sophistiqués qu’on ne dis-

---

[32] Nous reprenons ici l’exemple de l’acquisition d’immeubles par des étrangers introduit dans la section précédente.

cutera pas ici. Un graphe cognitif peut être utilisé dans des multiples buts de recherche. Il sert par exemple à l’explication et à la prédiction de décisions ou encore à comparer la nature de décideurs ayant affaire au même sujet politique. Avant de discuter quelques mérites du “cognitive mapping”, nous allons discuter son alter ego en science politique: l’étude des codes opérationnels.

3-3.2 “L’étude des codes opérationnels”

L’étude des codes opérationnels (angl. “operational coding”) intervient à un autre niveau d’analyse des décideurs. Il s’agit de faire un portrait des croyances schématiques et relativement stables qui sont à la base du comportement du décideur. Holsti (77:38) fait référence à la notion de schéma de la psychologie sociale pour définir l’unité d’étude: “...schemata refer to those generalized principles about social life which must exist on a subjective and private level in order to enable an individual to order his relationship to his social environment” (Holsti 77:38). Ces schémas seront organisés dans un système: George (69), influencé par les travaux de Nathan Leites, définit un système de codes opérationnels (angl. “operational code system”) comme un jeu organisé de schémas touchant aux thèmes fondamentaux et stables de la politique et de l’action politique. En pratique, George (69) distingue entre les croyances[33] de nature “philosophique” et les croyances de nature instrumentale. Ces différentes sortes de codes (ou de croyances) sont liées et n’existent pas séparément.

Ce système symbolique de codes opérationnels constitue donc une sorte de savoir général (“master knowledge”) qui fait le pont entre le savoir (y compris les croyances) sur le monde politique et le monde de l’action politique. Etant donné la définition fonctionnelle presque axiomatique de ces codes (ou schémas) opérationnels, on peut déduire un certain nombre de caractéristiques fondamentales (Holsti 77:40):

1. Il en existe relativement peu (ce qui est intéressant au plan de l’économie de la recherche)
2. La portée de ces codes est suffisamment large pour être utilisables pour chaque type de décision.
3. Par conséquent, on peut les différencier et les élaborer.
4. Il est probable qu’ils soient relativement stables dans le temps.

Il nous semble raisonnable que des systèmes complexes comme les décideurs possèdent des critères de décision de “haut niveau” et qu’ils maintiennent une certaine stabilité. Ceci leur permet de réduire la complexité de leur environnement à un point supportable et de maintenir leur rôle dans des jeux d’interaction. Toutefois, cette stabilité qui existe pour des raisons cognitives et interactionnelles n’empêche pas une certaine flexibilité. Certains de ces codes changent de contenu selon le contexte ou

---

[33] Le mot “croyance” est utilisé au sens général de “belief”.

le rôle qu’un décideur est en train de jouer. Par exemple, un parlementaire devenu membre du gouvernement, ou encore un professeur devenu diplomate ne gardent pas le même raisonnement. Evidemment, on juge les acteurs et également les autres objets du monde politique suivant un contexte déterminé. Par exemple, la perception d’un opposant peut changer selon le rôle que ce dernier tient dans un système plus global. Un exemple classique est la perception de la Chine par les Etats-Unis qui s’est transformée radicalement sans changement du système politique chinois. Cet exemple montre également que toute stabilité nécessite une certaine stabilité du monde politique. Il est difficile de prédire ce qui arrivera à un système de croyance, lorsque l’on se trouve en face de situations radicalement différentes de celles déjà rencontrées, surtout lorsqu’il s’agit d’un problème de décision grave et important. Il faut également tenir compte du fait que ces “codes” ne sont pas censés être les seuls déterminants du comportement de l’individu. D’autres variables sont parfois tout aussi importantes, comme par exemple les intérêts de l’organisation dans laquelle l’individu en question prend ses décisions.

La méthode des codes opérationnels trouve ses racines dans l’étude des relations internationales, mais elle est également adaptable à d’autres champs de la science politique. Ainsi George (69) a défini une liste de catégories de codes opérationnels qui s’est avérée utile sans grand changements. La liste suivante est tirée de Holsti (77:41):

I. **Philosophical beliefs**

1. What is the "essential" nature of political life?
2. What is the fundamental character of one’s political opponents and of other significant political actors?
3. What is the nature of the contemporary international system?
4. What are the prospects for the eventual realization of one’s fundamental political values and aspirations?
5. Is the political future predictable?
6. How much "control" or "mastery" can one have over historical development?

II. **Instrumental beliefs**

7. What is the best approach for selecting goals or objectives for political actions?
8. How are goals of political action pursued most effectively?
9. How are risks of political action calculated, controlled, and accepted?
10. What is the best "timing" of action to advance one’s interests?
11. What is the utility and role of different means for advancing one’s interests?

Cette liste montre qu’un code opérationnel consiste en un nombre très varié d’ “unités cognitives”. Les adeptes du code opérationnel prétendent que ce schéma est universel et affirment de plus qu’ils possèdent une méthode très sûre pour le codage. En outre, ce jeu d’unités se comporterait comme un système dont il n’existerait qu’une variété limitée de types. Par exemple, Holsti (77) en discutant plusieurs recherches conclut qu’il existe environ six classes majeures de décideurs politiques. En particulier, la première des croyances philosophiques, la nature du politique, semble jouer un rôle primordial dans le système. Toutes les autres, à part la quatrième, à savoir la conception du rôle individuel sont fortement corrélées à cette croyance. Ce résultat provenant de recherches empiriques n’est guère surprenant. En effet, ces codes opérationnels ont des liens “naturels” au plan thématique.

3-3.3 Utilité

Le “cognitive mapping” et le “operational coding” nous ont donné des langages pour décrire des aspects intéressants de la prise de décision et des décideurs. Les cartes cognitives nous permettent de faire un modèle graphique, représentant la perception qu’a le décideur des relations causales entre objets. Ces objets peuvent représenter toutes sortes de choses, allant des “variables” de l’environnement aux liens causes-effets de l’action humaine.

Les codes opérationnels (qui sont moins formalisés que les “cognitive maps”) nous permettent de décrire la spécificité de certains décideurs. La distinction entre codes “philosophiques” et codes “instrumentaux” est intéressante. Les premiers ont plutôt trait à la perception, tandis que les seconds représentent plutôt des heuristiques intervenant dans le processus de décision proprement dit. Au plan de la modélisation du type “science cognitive”, nous pourrions utiliser ce type de schéma pour analyser les “paramètres” individuels dans des “machines de décision” qui reposent sur un savoir plus général. En effet, ces codes opérationnels sont loin d’être complets pour décrire un “mécanisme” de décision ou encore pour expliquer une décision individuelle. Dans un premier temps, il serait intéressant de combiner ce genre de recherche avec le travail plus formel effectué sur les arbres de décision par Saris et Gallhofer.

Le plus intéressant dans ces approches, ce n’est pas tellement leur capacité de représentation de la vision du monde et de la situation de décision par le décideur, mais tout simplement leur rôle pionnier pour l’étude empirique du décideur. En effet, les nombreuses études effectuées avec ces deux méthodes ont clairement montré l’utilité d’une approche plus cognitive de la décision. Elles ont notamment montré l’importance de l’étude de la représentation symbolique des problèmes de décision (cognitive mapping) et la modélisation des croyances philosophiques et instrumentales du décideur (operational coding).

3-4 La modélisation des expériences du décideur

Dans cette section très courte nous introduisons une proposition de Alker pour modéliser l'effet des expériences du passé. Cette approche qui vise à faire le pont entre l'histoire et les modèles statiques du décideur mériterait une plus grande attention de la part des chercheurs.

Les décideurs ont une mémoire des événements. Elle peut et doit être modélisée car le passé joue un rôle important.

La mémoire épisodique est une partie importante du système cognitif et les épisodes enregistrés jouent un rôle important pour la prise de décision. En relations internationales, Alker (80 et 83) a introduit la notion de "generalized precedent logics", la logique générale des précédents. Après avoir expérimenté des modèles de la théorie des jeux, il est devenu important d'élargir ces modèles pour y inclure la capacité de l'acteur à réfléchir sur soi. Pour ses décisions, l'acteur ne tient pas seulement compte de la vision présente de l'opposant, mais aussi de ses propres expériences dans le passé, par conséquent des "leçons de l'histoire" construites comme des narrations (cf. Alker 80:170) La citation suivante de Alker (80:194) résume cette idée:

> "We label this subproject "narrative modelling" to underscore the primacy of what we feel to be the generic unit of political reasoning and calculation: practically interpreted and re-interpreted sequencies of actions. Read from the past, or read into the past, and reposited in institutional memory, these (re-)interpreted action sequencies constitute "histories"; fabricated within the contingent world of the present and used to anticipate conceivable futures, they comprise strategies, plans and utopias. The idea of narrative conveniently captures several of the characteristics of those systems we most want to exhibit in simulation. "Narrative" draws attention to a process of structuring information or imposing an intelligibility, while the act of "narrating" points to the scenario-building and justificatory activities which drive and focus the process of policy making. In a situation of actual or potential conflict, information is sought out and used to the extent that it can be assembled into hypothetical courses of action in which roles, capacities, propensities, and constraints are joined into plausible wholes."

La modélisation "narrative" pose quelques problèmes fondamentaux à la science cognitive. Il s'agit en effet de savoir (et de modéliser) (1) comment un décideur vit, traite et mémorise une expérience, (2) comment il tire des leçons de cette expérience en construisant par exemple un nouveau savoir-faire, et (3) comment - face à une nouvelle expérience - il utilise à la fois sa mémoire épisodique et les "leçons" retenues du passé pour résoudre un nouveau problème.

En résumé, il s'agit donc de savoir comment l'expérience est mémorisée et traitée, et comment elle "resurgit" à la fois sous la double forme d'un raisonnement analogique et de nouvelles heuristiques de résolution de problème. Au plan technique, il s'agit de savoir:

- comment modéliser la représentation d'une structure narratrice;
- comment fonctionnent les mécanismes d'apprentissage qui développent un futur savoir heuristique à partir d'une structure narratrice ou qui améliorent les connaissances déjà existantes;
- comment fonctionne le raisonnement analogique, c'est-à-dire modéliser l'utilisation du savoir du passé pour réussir une décision dans le présent.

Un premier problème, sur lequel des chercheurs se sont penchés, concerne la représentation d'un savoir épisodique. Evidemment, comme pour tout autre phénomène cognitif, il est extrêmement difficile de savoir comment les gens représentent une structure narratrice et comment ce phénomène peut être modélisé d'une façon pertinente.

L'histoire comme structure narratrice

Les techniques utilisées pour la modélisation narratrice ont également leur utilité pour décrire l'histoire d'un point de vue externe. Il s'agit donc de procéder à un nouveau type d'analyse de données et/ou de simulations. Cette perspective de recherche, ayant pour but de formaliser la représentation de l'histoire (c'est-à-dire de structures ayant une logique temporelle et causale) tout en gardant une grande richesse est devenue très populaire parmi les chercheurs utilisant des techniques d'intelligence artificielle en relations internationales (par exemple Mefford, Sylvan, Alker, Bennet, Schrodt, Thorston dont nous allons discuter les travaux dans la section 6-4 "La mémoire du décideur et l'apprentissage" [p. 271]). Ces recherches nous intéressent beaucoup dans la mesure où elles pourraient nous permettre de mieux modéliser l'environnement du décideur. En effet, modéliser un décideur implique de modéliser son environnement de décision au sens large du terme. Cette idée est voisine de celle présentée dans la prochaine section: la combinaison de l'analyse de systèmes dynamiques avec la psychologie cognitive.

3-5 Le modèle “Lohhausen”

Les modèles, théories et méthodes d’analyses du décideur et de la décision qui ont été examinés jusqu’ici sont plutôt optimistes en ce qui concerne les capacités du décideur. Les expériences cliniques sont moins optimistes. Les travaux de Dörner en psychologie cognitive que nous allons discuter à plusieurs reprises dans ce travail mériteraient une reconnaissance beaucoup plus large en science politique, malgré la nature clinique de ses expériences.

Le décideur humain (et politique) opère dans des coupes de réalité (all. Realitätsausschnitten) complexes, partiellement inconnues, formant un réseau et possédant une auto-dynamique. De plus, il est guidé par plusieurs buts en même temps et l’objectif principal d’un processus de résolution de problème n’est souvent que partiellement défini voire complètement ouvert. La situation typique du décideur n’est pas celle d’un joueur faisant un choix isolé dans un jeu avec des règles bien définies, mais celle d’un acteur qui agit comme un élément dans un réseau complexe d’éléments actifs et passifs.

“Lohhausen” est le nom d’une petite commune imaginaire modélisée par un modèle de simulation dynamique et qui est “gouvernée” par des sujets expérimentaux durant plusieurs séances espacées dans le temps. Il s’agit la de la première étude publié en forme de livre par l’équipe de Dörner (cf. Dörner 83). D’autres études ont été faites dans le cadre de la gestion d’une usine ou encore d’une zone en voie de développement. [34]Dans ces expériences, les sujets sont mis en interaction avec un expérimentateur qui leur transmet un certain nombre d’informations sur la commune et qui reçoit des décisions politiques des sujets. Les conséquences de ces décisions sont ensuite simulées par l’utilisation d’un modèle informatisé puis présentées au sujet. Ces expériences ont pour but général d’explorer systématiquement les processus de résolution de problème dans un environnement complexe. On cherche aussi la réponse à des questions plus pratiques, à savoir comment un humain réagit face à la complexité croissante du monde moderne, ou encore, quelles caractéristiques distinguent un bon décideur d’un mauvais. Dörner (83:19) caractérise la situation de décision étudiée de la façon suivante:

---

[34] Nous allons discuter le modèle Moro dans la section 8-2.2 “PEPS: Un micromonde d’apprentissage” [p. 341].

- La situation est *complexe*. Au moins dans une première phase, le décideur doit tenir compte de nombreux aspects. Une grande partie des informations nécessaires à la décision n’existe pas ou ne peut pas être obtenue faute de ressources. Une partie de l’information de départ peut être fausse.
- Quelques aspects de la situation dépendent de facteurs qui ne sont que vaguement liés au problème courant. Certaines décisions peuvent avoir un effet sur quelque chose qui influera à son tour d’autres décisions prises dans l’avenir. Autrement dit, la réalité dans laquelle le décideur opère est constituée d’éléments formant une sorte de *réseau*. Il est donc impossible de bien séparer un “environnement de décision” local du reste du système.
- Une situation n’est pas seulement complexe, peu transparente et dépendante, mais elle possède également des propriétés *auto-dynamiques*. Elle change d’elle-même sans attendre la décision et sans être entièrement affectée par une décision.
- Une autre propriété importante est ce que Dörner appelle la *politélie*. Souvent un décideur ne peut pas simplement se concentrer sur la poursuite d’un but unique, mais doit également s’occuper d’autres buts qui sont parfois en contradiction. Ce dernier problème surgit en général parmi les sous-buts engendrés pour atteindre un but. En termes techniques, ceci signifie qu’il est parfois impossible de décomposer certains problèmes en sous-problèmes indépendants.
- Une dernière caractéristique connue de la situation complexe est la nature fréquemment *peu précise* des buts. Un but imprécis suffit pour faire démarrer un processus de décision. Mais durant le processus, il doit être précisé, voire adapté ou modifié pour conduire à une action pertinente [35].

Ce type de décision est fréquent en politique. En conséquence les modèles dits “de décision” n’ont qu’une portée limitée, car ils portent essentiellement sur des questions de choix parmi des alternatives connues avec des moyens connus et des buts connus. En réalité, *le décideur humain (et politique) opère dans des coupes de réalité (all. Realitätsausschnitten) complexes, partiellement inconnues, formant un réseau et possédant une auto-dynamique. De plus, il est guidé par plusieurs buts en même temps et l’objectif principal d’un processus de résolution de problème n’est souvent que partiellement défini voire complètement ouvert* (cf. Dörner 83:23). La situation typique du décideur n’est donc pas celle d’un joueur faisant un choix isolé dans un jeu avec des règles bien définies, mais celle d’un acteur qui agit comme un élément dans un réseau complexe d’éléments actifs et passifs.

---

[35] Voir aussi des ouvrages de science politique comme Raybroom et Lindblom (70) ou Bardach (77) qui arrivent aux mêmes constats.

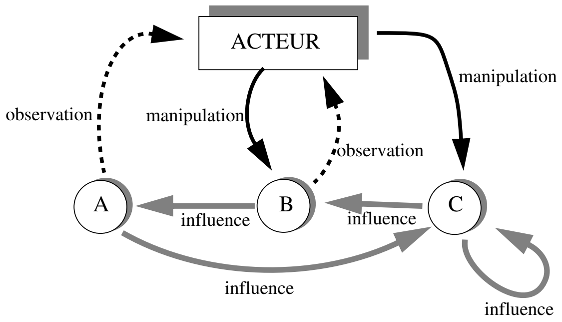


Figure 3-13: Un système simple de rétroaction

La nature de ce “réseau” qui est à l’origine de “l’environnement de décision” d’un acteur peut être décrite avec un langage un peu plus technique pour faciliter la modélisation. Un environnement de décision peut être un réseau construit à partir d’un jeu de relations causales. Typiquement, on peut parler d’une relation causale (simple) si le changement d’un état d’un élément A résulte dans le changement d’un état d’un élément B. Un élément actif dans ce réseau est donc une entité qui peut changer un état interne en fonction de sa propre structure. Typiquement, les éléments actifs dans un tel réseau sont des individus humains ou des organisations. Dans un langage encore un peu plus technique, on peut appeler un tel élément: *automate*. L’état d’un automate au temps t n’est pas seulement une fonction des états des autres éléments au temps t-1, mais également de ses propres états au temps t-1. Un élément passif change ses états seulement en fonction d’influences externes: toutefois, un tel processus n’est pas toujours transparent pour le décideur. Le type de relations fréquemment rencontrés sont des relations simples “A vers B”, mais également des relations-type “A est fonction de B,C,D et de leurs interrelations”. A un autre niveau on retrouve également des méta-relations du type “La relation R entre A et B est fonction d’un état de l’élément C”. Il devient donc parfois très difficile de saisir la logique même d’un système tel qu’il est perçu.

Il est très difficile de prévoir l’effet d’une action sur un tel réseau. Le décideur humain ne connaît que partiellement la structure du réseau et ne peut influencer que certaines de ses parties. Subjectivement, un environnement de décision est un système de relations probabilistes et quasi-causales entre éléments actifs et passifs de la représentation d’un réseau “réel”. Examinons maintenant le diagramme dans la figure 3-13. Ce diagramme nous permet d’introduire encore quelques définitions supplémentaires (cf. Dörner 83:26-32). Il montre un système simple de relations et il comporte 4 éléments, dont l’acteur et les éléments A,B et C. La partie qui comprend les éléments A, B, C peut être comprise comme un sous-système qui peut être influencé par l’acteur et qui peut influencer ce dernier. Dans cet exemple, A, B et C sont connectés par des liens causals. Ils représentent un simple système circulaire, comme on les trouve dans les système à rétroaction. A est déterminé par B, B par C, et C par A. C est un élément spécial: il est actif et possède donc une propre boucle à rétroaction. A,B et C constituent également une coupe de la réalité, ou autrement dit, un environnement de problèmes sur lequel l’acteur peut agir. Les lignes qui sont dessinées entre ces éléments et l’acteur montrent des types différents de relations causales (qui sont probabilistes pour l’acteur): l’acteur peut observer l’état des éléments A et B, mais pas de C.

Il peut influencer les états de B et C. A partir de la perspective de l’acteur, on peut distinguer un jeu de **variables d’entrée** (la frontière d’entrée) qui peuvent être manipulées et un jeu de variables qu’il ne peut pas manipuler directement (le noyau d’entrée, all. “Eingangskern”). Dans le cas de C, l’acteur ne peut savoir ce qu’il fait. Ainsi, on distingue entre un jeu de **variables observables** (la frontière de sortie) et un jeu de variables non-observables (le noyau de sortie, all. “Ausgangskern”).

Il est important de comprendre que les définitions ci-dessus ne constituent pas une nouvelle vision du décideur, mais qu’il s’agit en fait d’éclaircir “l’environnement du problème” tel qu’il se *présente* à l’acteur. Des concepts comme “frontière” ou “noyau” ont leur sens par rapport aux opérations de résolution du problème. Un acteur agit donc *par observation de la frontière de sortie du système et par la manipulantion de la frontière d’entrée*. En outre, il sait que des variables d’entrée et de sortie cachées existent et peut établir des hypothèses en ce qui concerne les causalités entre les variables. Il arrive souvent en politique que les hypothèses concernant ces interdépendances soient fausses. Typiquement, des phénomènes de croissance exponentielle sont souvent très mal compris.

L’image que le décideur se fait des systèmes et sous-systèmes auxquels il a affaire est fréquemment loin de la “réalité”. Souvent, il croit à la capacité du système à se gérer lui-même (angl. self-regulating capacity), en termes techniques, que l’espace de transformation du système sera plutôt le résultat d’auto-transformations que celui d’interventions par lui ou d’autres agents. On voit que l’image du décideur est plutôt pessimiste chez Dörner. Il nous fournit un cadre théorique et expérimental dans lequel nous pouvons étudier et conceptualiser les processus de décision apparaissant dans un environnement complexe et incertain. Le type de situation de décision décrit ci-dessus est *typique* en politique. Des situations de choix simples sont plutôt l’exception et les décisions bureaucratiques maîtrisées à la Crecine ne représentent qu’une minorité des décisions parmi celles qui nous intéressent.

Les recherches cliniques de Dörner (87 et 83) ont montré un niveau d’incompétence assez élevé chez beaucoup de sujets. Une partie des sujets montre des comportements très inadéquats comme:

- la léthargie,

Sujets “n”	Sujets “p”
possède pas de buts clairs	sait définir des buts et fixer des priorités
guidage par la situation	s’oriente selon ses buts
saute d’un thème à l’autre	persistance dans l’action
poursuite de peu de buts	poursuite de plusieurs buts avec les décisions
peu de décision pour un but	plus de décisions pour poursuivre un but
a peur, se sent incompétent	sait se critiquer, sembler maîtriser les situations
(fuites,	
résignation,	
décisions status-quo)	
aggressions	
(décisions "ballistiques")	
possède automatismes stéréo-typés	
orientation résultat (immédiat)	orientation conséquences
(ad-hocicisme)	(fait un calcul des "effets")
impulsivité	délai-réflexion
dépend du "champ" de perception	est indépendant,
	différencie entre "figure" et "arrière-plan"
	(demande renseignements)
simple	complexe
	(analyse causes et effets)

Figure 3-14: Caractéristiques des bons et des mauvais sujets chez Dörner

- souvent couplée à des décisions brutales,
- l’activisme (amour pour les détails et fuite devant les problèmes),
- le goût du risque (sans prise de responsabilité).

Il est remarquable qu’il n’existe pas de corrélation (parmi des sujets “normaux”) entre les tests d’intelligence et leur performance dans ces expériences (Dörner 83:329)[36]. Le comportement des 12 meilleurs (sujets “P”) et des 12 pires (sujets “N”) illustré dans la figure 3-14 est particulièrement intéressant. Les uns ratent totalement l’exercice et les autres arrivent à gérér la commune “virtuelle” de Lohhausen sans problèmes majeurs.

Toutes ces caractéristiques se traduisent dans la façon de traiter les “réseaux” d’informations: arranger les buts (plat vs. hiérarchique, importances), constituer et analyser un réseau (sans ou avec modèle), nombre de décisions prises, etc. Ces opérations nécessaires pour générer des systèmes complexes seront discutées plus en détail dans la section 4-2.2 “Les heuristiques de la gestion d’un environnement complexe” [p. 125]. Les seules “variables” un peu générales qui distinguent les bons des mauvais sujets sont les suivantes: un bon sujet

---

[36] Toutefois, il est intéressant de noter que la seule bonne prédiction de la réussite des sujets était l’évaluation subjective des sujets par les expérimentateurs après la deuxième séance. Ceci indique que l’on peut reconnaître relativement facilement l’intelligence “complexe” d’un sujet, mais que ne sais pas la mesurer par les dispositifs psychologiques habituels.

1. a plus *confiance* en soi,
2. a tendence à montrer plus de *curiosité* (comportement exploratoire et volonté de se confronter à des nouvelles situations),
3. utilise plus de concepts *abstraits*.

Ces trois paramètres sont probablement liés (Dörner 83:436). “Confiance”, “curiosité” et “capacité d’abstraction” sont des indicateurs d’une bonne capacité d’apprentissage de savoir et de savoir-faire. La confiance indique que la personne à a sa disposition un certain nombre de savoirs qui lui permettent d’attaquer un problème. La curiosité montre que la personne est prête à explorer des nouvelles connaissances. Sa capacité d’abstraction montre que le contenu des explorations ait bien été intégré dans les structures des connaissances actuelles. La capacité de savoir importer des nouvelles informations et de les digérer est donc centrale et montre pourquoi il n’y a pas de corrélation significative entre les tests d’intélligence (analytiques) et l’intelligence nécessaire pour générer des situations complexes.

Dörner et son équipe ont également présenté un modèle des processus cognitifs du décideur qui opère dans ce type d’environnement. Il est fondé sur une critique psycho-sociologique des modèles traditionnels de la décision et sur une étude de sujets qui ont dû jouer avec des modèles de simulation du type Lohhausen. Nous aurons l’occasion de discuter ce modèle en détail dans la section 4-2.2 “Les heuristiques de la gestion d’un environnement complexe” [p. 125]. Ce type de recherche a été introduit à la fin d’une section sur les modèles en science politique car notre volonté est de mettre en contraste l’optimisme des modèles maniables et unicistes avec une optique qui met en question le contrôle du décideur sur ce qu’il fait. Dans le chapitre qui suit , nous présentons le modèle de Dörner, car ses esquisses très détaillées de la “machine à décision” humaine constituent un excellent point de départ pour des recherches en science politique. Cette analyse montre également l’intérêt pour la science politique d’études cliniques de personnes interagissant avec un système qui simule un environnement de décision.

3-6 Les propriétés du décideur et de la décision

Dans les premiers deux chapitres, nous avons présenté notre paradigme quasi-rationnel de l'acteur social et dans les sections précédentes nous avons décortiqué quelques archétypes du décideur politique que l'on retrouve dans la littérature. Le but de cette petite section est de prendre ces caractéristiques et de formuler plus précisément ce que nous entendons par "décision" et par "décideur", en faisant références à quelques travaux récents en science politique et en sciences cognitives.

La décision est un processus souvent long et de nature presque continue. Elle se fait dans un réseau logique d'anticipation, de rétroaction et de correction. Il existe un processus de structuration progressive du champ du possible vers une fermeture des possibilités

Un décideur est un système, tel qu'il a déjà été défini par Bertanlanffy (68). Mais comme des auteurs plus récents tels que Varela, Maturana (Vaerala et Maturana 74) ou encore Morin (90) nous le font remarquer, un système est plus qu'un ensemble d'éléments en interaction. Avec LeMoigne(84:61/62) on dira qu'un système est "un objet, qui, dans un environnement, doté de finalités, exerce une activité et voit sa structure interne évoluer au fil du temps, sans qu'il perde pourtant son identité unique". Nous dirons qu'un système c'est:

- quelque chose (n'importe quoi, présumé identifiable),
- qui *dans* quelque chose (environnement),
- *pour* quelque chose (finalité ou projet),
- *fait* quelque chose (activité = fonctionnement),
- *par* quelque chose (structure),
- et qui se *transforme* dans le temps (évolution).

La constitution d'un système ne peut pas se faire par simple énumération de ses éléments "visibles", mais par une sorte de triangulation (Le Moigne 84:64): "...elle pondère une définition fonctionnelle (ce que l'objet fait), une définition ontologique (ce que l'objet est) et une définition génétique (ce que l'objet devient)". Cette trialectique de l'Etre, du Faire et du Devenir nous permettra seulement de construire les *éléments* et les *interactions* du système que nous désirons modéliser. Le modèle est ainsi un langage pour *parler* d'un système.

3-6.1 Le processus de décision et le temps

Le chercheur qui s'intéresse à la décision possède des problèmes communs à ceux de l'historien. Les analyses se font en règle générale ex post facto. Les processus qui nous intéressent sont rationalisés par le biais d'une interprétation. Malheureusement, le temps dans l'histoire est avant tout chronologique, les événements ont l'air uniques. Ce constat est en contradiction avec le but des sciences sociales: trouver des généralisations, des lois, voire même un système. En ce qui concerne la décision, on désire connaître les propriétés du problème, du décideur et de son environnement et trouver une logique qui a conduit à une décision. Le temps dans un modèle de décision doit couler du stade de la possibilité vers le stade de l'accomplissement (cf. Roig 73:30-31), sinon l'observateur procède à une énumération inintéressante de faits. En d'autres mots, l'ordre intéressant des phases dans un processus de décision est plutôt logique que chronologique.

Des nombreuses études en politique publique (cf. par ex. Bardach 77) ont mis en valeur la relativité des étapes de la décision. Ainsi, il arrive très rarement qu'un problème de décision soit bien défini au "moment" de la décision. Au contraire, décider veut souvent dire "définir le problème". Chaque étape de la décision peut être redéfinie par l'étape "suivante". Dans l'autre sens, un décideur peut anticiper des étapes de la décision sans avoir résolu les étapes précédentes. La notion de la décision est diluée dans le temps. Le choix entre des solutions ne représente qu'une composante (répétitive) de la décision. D'autres étapes, comme celle de la mise en oeuvre d'une décision sont toutes aussi importantes.

Dans le domaine de l'analyse des politiques publiques, on distingue par exemple les étapes suivantes de la mise en oeuvre d'une loi: (1) perception du problème, (2) formulation des buts, (3) législation (4) mise en oeuvre et (5) impact sur la société. Ces cinq étapes interagissent fortement par anticipation et par rétroaction (cf. Delley 82:15). Dans ce type de recherche empirique, la décision n'est plus au centre de la création d'une politique. Une politique est quelque chose qui se cherche et qui se crée dans un long processus douloureux.

Finalement, la décision peut modifier le décideur lui-même et par là changer tout le processus de décision. Aussi, au lieu de parler des étapes ou des stades de décision, il faudrait voir la décision comme un processus qui met en place une sorte de système ayant une durée de vie limitée qui a comme but de comprendre et de définir un problème, de trouver ou de créer des ressources qui fournissent des solutions et qui le mettent en oeuvre.

3-6.2 Le décideur, une vue systémique

Une façon simple de définir un système est de lui attribuer une fonction de décision par rapport à un environnement. Un environnement peut être conceptualisé de différentes façons. Certains ne s'intéressent à l'environnement que dans la mesure où il permet de fixer quelques paramètres externes du système (angl.: settings). Pour d'autres auteurs, l'environnement devient un facteur clé pour définir un système, c'est-à-dire que tout ce qui est à l'intérieur d'un sous-ensemble de l'environnement et qui peut faire des transactions devient le système. La décision devient alors à la fois une fonction de l' "input" de l'environnement et une sortie venant d'une boîte qui opère quelques transformations sur l' "input". Les positions divergent quant à la façon d'étudier cette "boîte". La méthode empirique la plus sûre est de la traiter comme une boîte noire, c'est-à-dire d'inférer la nature de la boîte de décision en observant son comportement externe. Le désavantage de ce "principled black-box modelling" est la portée très courte des résultats empiriques. Le potentiel d'une boîte de décision va au-delà de ce que l'on peut observer dans un laps de temps. Les observations n'auront pas de grande valeur sans théorie sur le décideur. La même remarque est vraie pour l'environnement du décideur. Dès que son "niveau d'équilibre" change, les données dont il doit tenir compte changent aussi. Mais comment développer une théorie du décideur qui veut aller au-delà des banalités de la théorie du choix qui se désintéresse de l'ensemble de la décision? Les décisions ne peuvent pas être prises sans processus de décision. Et le processus de décision repose sur un traitement de l'information par un agent intelligent.

Il est clair que ces boîtes de décision représentant des humains et des organisations ne sont pas accessibles comme certaines structures biologiques. Toutefois on possède certaines informations valables sur les plans empiriques et théoriques. Ces boîtes sont grises et non pas noires. D'autres informations peuvent faire l'objet d'hypothèses et être testées. Un bon exemple de recherche est celui de Gallhofer et Saris sur l'argumentation de décideurs que l'on a déjà présenté dans la section 3-2.2 "Modèles de choix à rationalité limitée" [p. 69]. On connaît le comportement du système à la sortie (les décisions prises), on possède des informations sur l'information que possédaient les décideurs et on connaît la justification de la décision. Ainsi, sans savoir ce que pensaient réellement les décideurs pendant les processus de la décision, ces chercheurs ont pu contribuer à l'étude de la décision politique.

Parmi les premières théories du système, la cybernétique de Wiener était une des approches les plus intéressantes. Le sous-titre du fameux "cybernetics" (1948/61) était "or control and communication in the animal and the machine". Wiener a fourni à la science politique de nouvelles métaphores[37]. Ces nouvelles métaphores sont la communication, le traitement de l'information, le contrôle, le "feed-back", l'homéostasie. Ce sont des notions qui ont eu aussi leur impact en psychologie, comme le montre la discussion du modèle de l'homme dans les chapitres 1 et 2. (cf. l'exemple de Miller et al. 60)

Les termes modernes comme celui du "feed-back" n'étaient qu'une nouvelle façon d'analyser un comportement téléologique. On y retrouve même la notion de but. Le but n'était pas explicitement traité dans l'original de Wiener, toutefois à partir de la notion du maintien de l'équilibre, on a nécessairement introduit les buts d'équilibre et la survie et d'autres buts principaux que le système doit poursuivre pour se maintenir dans son environnement. L'apport important de la cybernétique a été les notions de l'action continue sur l'environnement et de l'auto-adaptation du système. Deutsch (66:80) utilise la notion de "self-modifying communications network or learning net" pour décrire à la fois l'individu et l'organisation sociale. Un tel réseau fonctionne grâce au "drive", la tension interne provoquée par un déséquilibre et la volonté de rééquilibrage[38]. Il est intéressant de noter que la notion de but se réfère à la fois à la perception subjective du système et à un état "objectif" de l'environnement. Autrement dit, la théorie du système voit le décideur comme une "goal-seeking feedback engine" et comme une "learning engine" qui sont liées inextricablement à un environnement (cf. Deutsch 66:75-97). La décision est donc permanente. Les modèles de la théorie de décision et de la théorie des jeux sont à intégrer dans une telle approche si l'on désire étudier un décideur et non pas des décisions hypothétiques isolées (cf. Bertanlanffy 68:94).

On peut interpréter le succès de la théorie des systèmes il y a une trentaine d'années comme une réaction à des visions trop mécanistes et structurelles du monde. Le système de Deutsch est avant tout étudié en fonction de ses buts et de son interaction avec l'environnement. "La notion de structure dès lors s'efface au profit de la notion d'*interface*: l'interface d'un *projet conçu* dans un *environnement* perçu." (LeMoigne: 54). Les stystémiciens attribuent à ce mécanisme poursuivant des buts une structure interne qui permet non seulement les transactions avec l'environnement mais également sa propre réorganisation. La notion de mémoire existe bel et bien. Donc, le système pour les cybernéticiens n'est pas une simple structure statique, mais une machine de traitement de symboles. Pour des auteurs comme Deutsch, une transaction avec l'environnement n'est pas une simple fonction de correspondance entre entrée et sortie, mais une fonction qui manipule de la mémoire. C'est au niveau de la mémoire et de la représentation de l'information qu'elle peut traiter que réside le défi très peu relevé par les systémiciens des sciences sociales. La notion du traitement de l'information a été diluée au profit de l'analyse de systèmes dynamiques quantifiables à la Forrester(73).

---

37. La cybernétique comme technique mathématique est difficilement applicable au social comme il le dit lui-même (1948/61:24-25): "To begin with, the main quantities affecting society are not only statistical, but the runs of statistics on which they are based are excessively short. There is no great use in lumping under one head the economics of steel industry before and after the introduction of the Bessemer process, ..." et "Thus the human sciences are very poor testing-grounds for a new mathematical technique."

38. Il est intéressant de noter que l'on retrouve des notions similaires d'adaptation et de rééquilibrage dans la psychologie génétique (Piaget 50).

La décision est un processus souvent long et de nature presque continue. Et elle se fait dans un réseau logique d'anticipation, de rétroaction et de correction. Une raison pour ne pas assimiler choix et décision réside dans la complexité. En terme systémiques, la complexité est la relation entre le système de décision et le monde. De manière plus formelle, il s'agit de la somme des événements possibles par rapport à la structuration (ou sélection) du système ("Order-from-noise principle"). La complexité est un problème de contingence d'une trop grande liberté de choix. Ainsi les systèmes de décision (organisations ou individus) inventent un grand éventail de mécanismes pour ramener la contingence des possibilités d'actions à un seuil acceptable (cf. Wilke 82:17). Il existe aussi le mécanisme de double contingence discuté en détail chez Parsons (51:16). Un système sélectionne ses états en fonction des états possibles des autres systèmes (cf. aussi Luhman 75:171, 84:148). Cette contingence réciproque est le mécanisme qui assure la coordination et la convention humaines, mais elle joue aussi au niveau moléculaire de l'action isolée. Autrement dit, un acteur réduit les possibilités d'action car il tient compte des autres dans son environnement. Ainsi un décideur politique n'envisage que des actes "politiquement faisables".

Il existe d'autres caractéristiques des systèmes de décision qui réduisent la complexité innée du monde: "Structure will be imposed on uncertain situations and uncertainty thereby resolved, not by probabilistic judgements, but by categorical inferences" (Steinbrunner 75:110). Les décideurs possèdent des structures cognitives spécialisées pour représenter leurs connaissances sur leur environnement de décision. Les décideurs possèdent des "procédures" pour créer et transformer ces structures. La politique est un métier qui s'apprend en dépit des affirmations contraires que l'on peut entendre. Au niveau de l'organisation, il existe le même phénomène sous la forme de langages spécialisés et de procédures qui permettent de réduire la variance à des niveaux gérables. Notre rejet de voir la décision comme un problème de choix probabiliste n'implique pas que ces "catégories inférentielles" n'aient pas de caractère probabiliste. Il faut faire une distinction entre la théorie probabiliste du choix et les modèles du traitement d'information qui tiennent compte d'états probabilistes. En somme et en simplifiant nous affirmons qu'un système de décision tend à transformer l'entropie riche (complexité peu structurée) de l'environnement en entropie de moins en moins riche jusqu'à ce qu'on puisse interrompre ce processus par une décision. Dans les termes de Sfeze (84:35), il existe un processus de structuration progressive du champ du possible vers une fermeture des possibilités. Ce processus est représenté par un simple cône dans la figure 3-15 "La réduction de l'entropie" [p. 102].

Ce mécanisme de structuration implique un code, une structure symbolique qui permet de traduire un état perçu dans un langage X vers un langage Y ou encore d'abstraire, de combiner et de nommer des phénomènes. Traduction, combinaison et abstraction sont les maîtres mots des transformations que subit une information au cours de la décision. La décision est

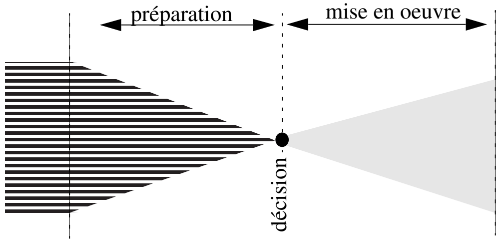


Figure 3-15: La réduction de l'entropie

donc toujours le résultat d'un ensemble de décisions subordonnées, d'un processus de délibération. Certaines de ces décisions sont du type étudié par la théorie des choix. Un modèle général de la décision ne peut pas éviter de distinguer entre différentes classes de décisions et décideurs. Les avantages intellectuels de la classification exigent une identification des étapes du processus de la décision, même si leur position chronologique est souvent douteuse. Il convient aussi de répéter que beaucoup de décisions à l'intérieur d'un processus de décision étudié n'ont pas lieu pendant les phases de décision au sens simple du terme. Rappelons à titre d'exemple les recherches de Steinbrunner et son concept de la "structural uncertainty of the outcome space" qui avoisine le concept de la double contingence de Parsons.

L'effet possible des actions propres est souvent perçu en fonction des intérêts des autres et de leur manière d'agir (angl.: patterns of action). Ce mécanisme fait négliger l'analyse poussée de ses propres buts et choix. Ainsi beaucoup de petites décisions et parfois même de grandes décisions sont laissées ouvertes (toutefois accompagnées par des contraintes) au moment de la phase de mise en oeuvre. En politique publique, on peut observer des négociations constantes lors de nombreux points de la "chronologie" de la décision. Il arrive que l'Etat crée des lois sans savoir exactement ce qu'il veut obtenir. Les buts se cristallisent seulement lors de la mise en oeuvre dans un processus de négociation. D'une manière générale, nous pouvons dire que le résultat d'une décision représente beaucoup moins un choix qu'une simple contrainte (négociable) pour les décisions à prendre dans l'avenir. Ceci implique, inversement, que bon nombre de décisions ne prennent pas en compte toute la richesse de l'information et des choix d'actions pour la simple raison qu'une décision antérieure a déjà limité le champ de perception et des actes à prendre. Les grands débats politiques auxquels le public a le droit de participer montrent un exemple de cette mécanique. Ainsi la participation de la Suisse à l' UE se résume souvent à la question de la politique agricole, à celle de l'immigration des étrangers ou encore à celle de la neutralité.

Un dernier facteur important en rapport avec la gestion de la complexité est lié à la capacité d'apprentissage d'un système de décision. L'histoire permet au décideur à un niveau plus immédiat un raisonnement à bases de cas précédents, et, à un niveau plus "profond", la création de schémas d'actions. Il est vrai que la complexité d'un processus de décision peut être mesuré par le nombre d'étapes qu'il faut exécuter pour arriver à une solution. Toutefois, la complexité ne mesure pas la facilité avec laquelle un système peut trouver une solution à un problème. On peut distinguer deux pôles très opposés de la décision: les décisions programmées et les décisions non-programmées. Les décisions programmées concernent la routine et la répétition tandis que les secondes touchent aux capacités générales de résolution de problème, par exemple identifier et définir un problème, se fixer un but, diviser un problème en sous-problèmes gérables, etc. Une décision programmée s'appuie, comme son nom l'indique, sur un programme (que nous pouvons aussi appeler schéma, schème ou script) que l'on peut appliquer sans beaucoup de raisonnement créatif. Ces décisions-là sont relativement simples à étudier grâce à ce cadre de référence qui existe assez souvent sous forme écrite. Les décisions non-programmées sont plus difficiles à étudier car elles impliquent un ensemble de connaissances très larges. Cet ensemble de connaissances est souvent conflictuel. Par exemple les sous-systèmes du politique (le droit, l'économie, la culture politique, etc.) et leurs langages spécialisés voient un problème d'une façon très différente les uns des autres.

Ces mêmes conflits peuvent se manifester au niveau du décideur individuel. La façon dont ces sous-systèmes interagissent et se hiérarchisent n'est pas facile à cataloguer. Par exemple, souvent un système n'agit que par contrainte "muette": le résultat des mécanismes spécialisés de perception et de résolution de problèmes sont automatiquement acceptés lorsqu'il s'agit d'un sous-problème qui "tombe" dans le rayon de compétence de l'autre système. Si l'on rajoute à cette imbrication de logiques toutes les connaissances générales de résolution de problème que nécessite la décision, ainsi que les connaissances spécialisées que l'on possède sur le domaine de la décision, on comprend pourquoi la science politique s'est aussi peu intéressée à un modèle général de la décision. La tâche semble être trop difficile. Toutefois, entre les extrêmes de la décision programmée et la décision innovative, il existe un grand nombre de variantes qui ont recours à des heuristiques de décision relativement bien identifiable ou encore à des mécanismes de raisonnement sur les cas précédents. Ces deux domaines font l'objet d'études en intelligence artificielle et il reste à espérer que ses méthodes d'analyse seront utiles pour l'analyse de la décision et du décideur politique.

Dans la discussion ci-dessus, mais également lors de la discussion du modèle de l'acteur humain, la question de la représentation de l'information, porteuse du processus de décision, s'est avérée cruciale. Nous avons déjà mentionné qu'il est intéressant de modéliser le processus de décision comme un récit pour la simple raison que le récit est la structure textuelle la plus appropriée pour raconter un tel processus. Au plan de l'analyse du texte, un récit est une structure de sens connecté temporellement et causalement ouvert à de multiples interprétations. La signification (perçue) d'un récit se fait à partir de l'interaction dynamique et non-linéaire de ses éléments. Du point de vue de la théorie du texte, tout texte cohérent comme le récit possède des propriétés systémiques (cf. Sfez 84:104 ss.) Beaucoup d'auteurs (cf. Schneider 83 pour un survol) ont montré que le récit peut être décomposé en blocs élémentaires et indépendants (comme les fonctions de Propp), mais qu'il possède également une structure globale que l'on analyse plus simplement à un niveau d'abstraction plus élevé, par exemple avec une grammaire générative.

Nous avons déjà mentionné que la décision est un lieu où des sous-systèmes échangent de l'information. Ainsi Sfez introduit la notion de "surcode", produit symbolique de l'interaction de systèmes multiples. Chaque code (ou langage) amène de nouvelles contraintes (déjà discuté cidessus), mais également de nouvelles significations. Sfez (84:112) rajoute: "En somme, quand les contraintes spécifiques d'un code s'ajoutent aux contraintes spécifiques d'un autre code, l'effet est imprévisible et, sur l'instant, invisible. C'est cela le surcode." En s'appuyant sur ses études de cas et pour conclure son livre (idem:124) il propose: "La décision contemporaine est un récit toujours interprétable, multi-rationnel, dominé par la multi-finalité, marqué par la reconnaissance de plusieurs buts possibles, simultanés, en rupture". On est presque tenté d'associer surcode et pathologie. Donc, exprimé dans un autre langage, le résultat global d'un processus peut être totalement imprévisible par les acteurs, puisque chacun apporte sa propre rationalité. Etant donné que le décideur individuel moderne doit souvent raisonner avec plusieurs langages (le droit, l'économie, etc.). Ce phénomène peut aussi se reproduire dans une moindre amplitude au niveau individuel.

La difficulté d'analyser des décisions mettant en oeuvre des rationalités multiples ne réside pas tant dans les interactions ou les échanges de ces systèmes que dans leur façon de se contraindre mutuellement. Le défi se situe au point de dépistage des diverses significations que les différents systèmes attribuent à un même texte, à une même décision. Ce danger est grand quand beaucoup d'acteurs ayant une fonction similaire participent à une décision. Sfez (84:114) cite par exemple la collaboration entre les différents systèmes de transports publics dans la région parisienne. La SNCF et la RATP n'ont pas du tout le même langage quand il s'agit de parler des transports en commun et de leur organisation. Ces ruptures verticales se manifestent également très souvent si des acteurs différents sont responsables à des étapes différentes de la décision. Nous pensons par exemple aux conflits de perception entre législateurs et applicateurs d'une loi.

Résumé: l'acteur et la décision ont des propriétés systémiques, par exemple des éléments, une cohésion interne et des finalités. Pour le chercheur, il existe un problème d'accès à l'information. Le décideur et la décision ont des multi-finalités et ils sont multi-rationnels. Il s'agit de bien savoir quand et comment on peut réduire cette complexité apparente qui semble parfois manquer du déterminisme nécessaire à l’établissement de lois.

chapitre 4
La modélisation des processus cognitifs

Le but de ce chapitre est de présenter un paradigme du décideur selon les principes de la psychologie de l'information et d'introduire les concepts de la modélisation en IA nécessaires à notre entreprise. Nous commencerons par discuter la notion du processus de décision dans une vision cognitiviste. Ensuite nous introduirons les notions d'heuristique et de système à bases de connaissances. Nous conclurons le chapitre en discutant quelques travaux intéressants en "relations internationales et intelligence artificielle".

Il est possible et utile d'utiliser des techniques IA pour construire des modèles du décideur politique. Les modélisations qui existent déjà, montrent qu'il faut choisir un niveau d'abstraction juste (la profondeur et la "granularité" de modélisation) et qu'il convient d'utiliser des techniques IA adaptées aux types de décisions étudiées et aux buts de recherche.

> "Oui, encore une fois, tout est organisation"
> (La Mettrie, L'homme machine) [1]

---

[1] cité par Le Moigne:17

Introduction

Après avoir avoir discuté quelques paradigmes majeurs de la modélisation de l'acteur humain dans le chapitre 2 "Modèles de l'individu et de l'acteur social" [p. 15] et du décideur politique dans chapitre 3 "Modèles du décideur politique" [p. 51], il convient de clarifier les niveaux des modèles du décideur que nous utilisons. Un modèle doit toujours avoir une portée qui va au-delà de son utilité immédiate pour un problème donné. Cette portée peut être améliorée si l'on garde une référence à un modèle théorique d'une portée plus large, même s'il est moins précis. Une telle référence permet d'évaluer les effets des conditions ceteris paribus qui sont utilisées trop souvent sans justification aucune. Ainsi, dans ce texte, nous faisons références à plusieurs couches de modélisation qui vont de l'abstrait vers le concret et du général vers le particulier.

1. La définition de l'acteur quasi-rationnel
2. La définition générale du décideur politique
3. Les modèles de processus de décision
4. Les simulations par ordinateur de compétences et de processus

Au fur et à mesure que l'on descend dans cette hiérarchie, on gagne en précision, mais on perd en portée. La qualité d'un modèle peut se mesurer dans deux dimensions: celle de l'homomorphie avec un modèle d'une validité théorique large et celle de l'utilité et de la maniabilité pour répondre à une question de recherche concrète. En sciences sociales, l'écart entre le modèle utilisé dans une recherche empirique et le modèle général de l'acteur humain est souvent important. Il est à la fois trop difficile de trouver les données nécessaires à une telle entreprise et il semble presque impossible de trouver un langage de modélisation[2] qui permette la représentation et la maîtrise de la complexité de l'action humaine. Il est important de clairement identifier les éléments théoriques que l'on perd en descendant vers l'empirique. Seulement en adoptant cette stratégie d'ancrage global seront nous en mesure de faire progresser de façon incrémentale ce type de modélisation qui veut réunir à la fois l'image humaniste de l'homme et celle plus formelle de la théorie des systèmes et des modèles en intelligence artificielle.

En intelligence artificielle, nous rencontrons des problèmes qui se manifestent dans d'autres disciplines systémiques, notamment, le problème de la "reproduction" de processus complexes et de leur gestion dans un modèle accessible et manipulable. L'accès aux données (la pensée, la communication ainsi que son support externe) reste incomplet. Les catégories centrales de l'action humaine comme celle de la pensée sont difficilement accessibles par des moyens scientifiques. Nous ne serons donc jamais en mesure, de faire des modèles isomorphes. Toutefois, si l'on postule qu'un

---

[2] Cf. la section 7-3.1 "La notion de modèle scientifique" [p. 321] pour une discussion plus détaillée des notions de modèle et de modélisation.

acteur réfléchit, il faut construire des modèles qui produisent des processus ayant un sens à ce niveau de description. On visera donc une homomorphie réduite, adaptée à la fois aux exigences de l'économie de la recherche et à la nécessité de modéliser un acteur et non pas un système de paramètres dénué de tout sens. Evidemment, le débat suivant tournera autour de la question de savoir ce qui peut encore compter comme modélisation de la connaissance et des processus de réflexion d'acteurs humains. La frontière entre un modèle qui représente vraiment quelque chose et un modèle qui a une pure valeur prédictive n'est pas facile à identifier. On peut même dire que c'est le "no man's land" entre ces deux extrêmes qui sera notre terrain de recherche. "Modéliser, c'est aussi instrumenter" (LeMoigne 84:22) et c'est avant tout la construction des instruments qui nous intéresse dans ce travail.

4-1 Modèles du décideur et du processus de la décision

Dans cette brève section, nous tentons d'abord de résumer l'image du décideur qui se dégage de la discussion dans les chapitres précédents pour ensuite discuter des propriétés structurelles de la décision. Nous dégagerons quatre définitions du concept de "décision" ayant une portée très différente. Nous voulons savoir comment une personne arrive à une décision et non pas pourquoi, car on peut toujours justifier rationnellement une décision en inventant un problème de choix a posteriori. Le "pourquoi" est une conséquence du "comment" et non inversement.

Nous distinguons entre (1) la décision-processus, (2) la décision complexe, (3) la décision simple (4) la décision-choix. En ce qui concerne le décideur lui-même, nous esquissons un modèle cognitiviste du décideur qui agit dans un environnement complexe.

Les éléments les plus importants d'un paradigme de recherche sont: un cadre général de recherche (angl. "framework"), des buts de recherche et les méthodes (au sens large) à employer. Le "framework" psychologique et social du décideur présenté dans les deux premiers chapitres est provisoire mais nous sert de référence pour un cadre plus spécifique au décideur. Ce cadre de recherche s'oriente autour du *processus* de décision et il emploie un langage emprunté au traitement de l'information et à la théorie des systèmes. A un niveau assez abstrait et général, il décrit "ce" qui constitue un décideur et par quels moyens le décideur participe à la décision. Un paradigme doit déterminer l'objet précis de la recherche, par exemple justifier pourquoi l'analyse du processus de décision est plus intéressante que l'analyse du choix. Ensuite, pour maintenir le "drive", il faut se fixer des buts de recherche à long terme qui sont peut-être asymptotiques, mais en tout cas intéressants, par exemple, modéliser l'ensemble de la création et de l'implantation d'une législation importante. Un paradigme doit également préciser l'éventail des méthodes utiles. A ce niveau, il reste encore un travail important à faire. Notre but est de développer des techniques de modélisation quasi-rationalistes "riches", mais cela revient à trouver un équilibre difficile entre les modèles trop simplificateurs des théoriciens du choix et les descriptions floues des historiens.

Un paradigme de recherche ne peut pas être jugé par sa justesse, mais par sa valeur subjective car, paradoxalement, c'est le paradigme lui-même qui dit ce qui est vrai ou faux. La valeur d'un nouveau paradigme se manifeste souvent seulement après de longues années de travail qui auront permis d'exploiter empiriquement et théoriquement un cadre de recherche initialement assez flou. Le but de la recherche est la connaissance mais comme toute connaissance d'un nouveau type passe par la création douloureuse d'un nouveau langage de recherche, on ne peut pas s'attendre à des résultats à court terme intéressants pour l'ensemble de la communauté de recherche. Dans une première phase qui dure quelques années, un nouveau paradigme n'a d'intérêt que pour les gens qui y croient.

4-1.1 Le décideur: une première synthèse

Le décideur humain est un organisme ancré dans un environnement: c'est un acteur social. Il doit être décrit et traité comme un système ouvert qui, activement, saisit de l'information, qui la traite et qui agit. Il possède une certaine indépendance cognitive: il est "équifinal" (il peut atteindre le même but avec des moyens différents) et il est auto-organisateur. Décider veut dire agir. Une action, dans le cas idéal, possède une finalité, elle est consciente, planifiée et voulue. (Cranach 80:77). Un tel idéal-type doit être distingué du "pur comportement" qui n'est que réaction. L'action du décideur se trouve quelque part entre ces deux extrêmes, mais plus près de l'action "idéale".

La décision, même simple, fait partie d'une action (angl. "acting behavior"). Dans un sens étroit seulement, elle se ramène à un choix. Dans un sens plus général, la décision implique des opérations cognitives: la perception initiale du problème, la formulation de buts, leur définition pas à pas, leur transformation et leur réduction par des processus de résolution de problèmes (y compris le choix) jusqu'à ce qu'une solution soit trouvée. La solution peut être définie comme plan d'action à exécuter partiellement par l'acteur et partiellement par l'environnement. L'action sociale est toujours "située" (cf. Suchman 87 ou Friedberg 93). Les décisions-actions complexes dans des environnements actifs et complexes comme le monde politique ont une structure qui ne se limite pas à l'enchaînement des quelques éléments cités, elle se constitue à partir de multiples décisions subordonnées.

La décision est un produit de "fonctions" internes et externes. Pour le psychologue, elle est le produit d'un problème (tel qu'il est perçu par le décideur) et de la nature du décideur. Cette perspective isole trop le décideur de son environnement cognitif externe. Pour le sociologue ou le politologue cognitiviste, la décision implique des processus cognitifs, des requêtes de communication et des facteurs sociaux internalisés. Le processus de décision interne est le fruit d'une multitude de structures de connaissances interagissantes, actives et passives, épistémiques et heuristiques.

Nous distinguons entre (1) la décision-processus, (2) la décision simple et (3) la decision complexe (ou les décisions au sens propre), et finalement (4) la décision-choix. En ignorant un peu le principe d' “ouverture” de la décision sociale, on définit ces trois catégories de la façon suivante:

1. La décision-processus possède comme point de départ la perception floue d'un problème. Ensuite interviennent des décisions simples ou d'autres opérations cognitives qui aboutissent parfois à des exécutions de plans, à la définition de buts, ou parfois à la redéfinition du problème. Elle aboutit à une évaluation des résultats.
2. La décision complexe commence par un problème flou qui appelle à être préciser et factoriser en sous-problèmes abordables. Elle aboutit également à une évaluation des résultats.
3. La décision simple a comme point de départ un problème bien formulé, un ensemble d'activités de résolution de problème et aboutit à l'élaboration d'un plan.
4. La décision-choix possède comme point de départ un ensemble d'alternatives (d'action) et aboutit à un choix (d'action).

Ces quatres types de décision peuvent apparaître récursivement les unes dans les autres. En règle générale, en politique, les décisions simples font toujours partie d'une décision-processus, et les décisions-choix font partie de décisions simples. Donc, à priori, une décision en politique est liée à un processus. La perspective de recherche qui ne s'intéresse qu'aux résultats de choix n'est pas la nôtre. Dans le monde empirique, la prise de décision et même le simple choix entre plusieurs alternatives impliquent toujours un traitement d'information en plusieurs étapes (cf. Svenson 79). Ce qui nous intéresse, c'est de savoir *comment* une personne arrive à une décision et non pas *pourquoi*, car on peut toujours justifier rationnellement une décision en inventant un problème de choix a posteriori. Le “pourquoi” est une conséquence du “comment” et non inversement.

Par la suite, nous esquisserons la décision simple et la décision processus par deux modèles idéal-typiques. Les étapes de la décision que nous allons présenter ne sont pas des étapes causales et temporelles strictes. Ces modèles décrivent en termes rationnels la prise d'une décision, mais ne représentent pas une réalité psychologique précise[3]. Il existe trois raisons principales pour cela: (1) seuls des problèmes fermés (comme un problème arithmétique) peuvent être définis en terme d'état indésiré à transformer en état de but à l'aide d'un certain nombre d'opérateurs connus[4]. Beaucoup de problèmes en politique sont mal définis. L'état actuel du problème et le but à atteindre sont souvent mal connus et doivent être élaborés dans un dur labeur. (2) Un décideur politique doit s'occuper de plusieurs problèmes à la fois. Ces problèmes ont une interdépendance qui peut être forte, par exemple, ils peuvent affecter des buts communs. Aussi, même si un problème est attaqué d'une façon isolée, il n'est jamais perçu totalement en dehors du contexte. Sa perception, la définition de buts, les moyens d'actions envisagés etc. sont affectés par cet effet “réseau”. (3) Dans de nombreux problèmes, les solutions ne sont pas trouvées par des moyens clairs et transparents, mais par des processus de raisonnement (individuels ou institutionnels) associatifs comme l'analogie. Ce dernier argument nous impose des limites épistémologiques que nous allons discuter plus tard.

---

[3] Toutefois, ces modèles représent souvent assez bien la rationalisation ex-posteriori par les agents impliqués dans la décision.

[4] Voir par exemple la méthode “GPS” (section 4-3.1 “Le General Problem Solver” [p. 135]).

4-1.2 Les “étapes” de la décision

La décision est un processus de résolution de problème qui met en oeuvre des connaissances de nature très variée. Dans cette section, nous discuterons brièvement de l'anatomie idéalisée d'une décision-processus globale isolée.

Pour mieux discuter cette anatomie, nous allons d'abord donner une définition de la décision simple. Elle correspond à la classe de “problème relativement bien défini” que l'on retrouve dans la littérature de la science cognitive. (Cf. Huber 82:109) qui s'inspire des travaux de Dörner et de Simon).

Un problème existe, si:

1. Le décideur perçoit un état interne ou externe non désiré A.
2. L'état de départ A non désiré doit être transformé dans un état de but B.
3. Le décideur ne sait pas au départ, comment parcourir le “chemin” qui va du point de départ A vers le point de solution B.

Prendre ce type de décision simple équivaut en termes de psychologie cognitive à résoudre un problème bien structuré en appliquant des opérateurs cognitifs à un “espace de problème”. Etant donné, que même les décisions simples ne possèdent ni problème ni but bien défini, il convient d'élargir cette définition de “problème” en une recette d'action (décision complexe):

1. Le décideur doit transformer la perception peu précise du problème en problème plus précis et mieux structuré.
2. Les buts de la décision doivent être précisés.
3. Le problème doit être transformé en sous-problèmes abordables.
4. Chaque sous-problème peut être résumé par un but à atteindre. Pour chaque sous-but il s'agit de trouver des heuristiques (opérateurs) qui permettent de le résoudre.
5. La poursuite des sous-buts doit être coordonnée stratégiquement. Il s'agit aussi de résoudre des conflits entre sous-buts.
6. Une fois que tous les sous-buts ont été atteints, il faut évaluer si le but général a été atteint.

Ces points nous rapprochent de la décision-processus plus fréquente en politique, la différence est que le processus de résolution d'un problème n'est que très rarement une affaire aussi bien structurée[5]. Comme on l'a déjà fait remarquer, ces étapes de la décision forment une suite suggestive plutôt qu'une suite causale et temporelle. Il faut donc interpréter ces étapes de la décision comme un ensemble de processus cognitifs impliqués dans une décision. Ils peuvent exister en parallèle et sont en interaction. Seulement, leur importance relative varie beaucoup pendant le déroulement de la décision. Nous proposons donc d'étudier la décision plutôt comme une fonction de connaissances intervenues que comme le déroulement séquentiel de N étapes de décision. Examinons de plus près quelques uns de ces processus qui impliquent des connaissances de résolution de problème:

(a) La définition du problème

Au premier stade, le décideur perçoit un problème. Ce problème doit être exprimé dans des termes plus précis. Le décideur rassemble autant d'informations que nécessaires pour prendre sa décision (cf. Hussy 84:196). Ce qui est nécessaire est défini par plusieurs facteurs, entre autres par les exigences du problème et par les ressources que les agents peuvent investir. Une partie importante de cette information est fournie par l'environnement. A l'aide de média variés, le décideur se renseigne sur le problème à résoudre (angl. "problem instruction"). Lui-même ou d'autres agents donnent au décideur une définition (parfois cohérente, parfois non) de la situation. Très souvent, le décideur identifie au même moment les buts à atteindre à la fin du processus. Une autre source importante pour la définition du problème est la mémoire sémantique et épistémique du décideur. Tout ce qu'il perçoit l'est en fonction de connaissances déjà existantes. Ainsi on comprend déjà pourquoi le stade suivant (définition de buts) est très lié à celui de la définition du problème.

(b) Définition et utilisation de buts

Les buts ont des fonctions multiples à la fois au niveau du comportement général (survie) et au niveau instrumental (planification des actions). Par rapport aux activités du décideur politique, nous pouvons distinguer plusieurs classes de buts.

Il existe des buts de très longue durée, voire permanents. Ceux-ci sont souvent liés au bien-être du décideur et n'ont pas forcément un rapport très direct avec le problème qu'il doit résoudre. Toutefois, leur rôle est crucial. Quand, par exemple, un fonctionnaire doit prendre une décision délicate, il pense aussi aux implications qu'a sa décision sur lui et son organisation. Ou encore, lorsqu'il y a une pression "de la rue" pour résoudre un problème perçu, le politicien ne perçoit peut-être pas lui-même le phénomène en tant que problème, mais il a concrètement le problème d'avoir un problème sur les bras. Autrement dit, le but de préservation (politique) est activé, car une non-réponse à l'environnement est potentiellement menaçante. Un deuxième ensemble important de buts à long terme est lié à la fonction du décideur. Plus sa position politique est élevée, plus il a des buts généraux de maintien ou de poursuite de quelque chose qui concernent son environnement. Cognitivement parlant, ces buts restent souvent dans un état semi-actif. Ils sont scrutés périodiquement ou alors activés par un stimulus venant de l'environnement. Lorsqu'un problème apparaît, plusieurs de ces buts peuvent "s'activer". Ils sont souvent liés entre eux, parfois de façon conflictuelle. (Par exemple, l'Etat doit fournir des bonnes prestations mais il doit limiter ses dépenses). Ces deux classes de buts (maintien du décideur, buts de l'environnement liés à sa fonction) peuvent être exceptionnellement créées lors d'un processus de décision, mais le plus souvent ils sont seulement activés, identifiés, poursuivis ou légèrement modifiés. Nous les appelons **buts universaux ou centraux**. Ces buts sont organisés dans un réseau relativement stable ayant des relations hiérarchiques (but - sous-but) et des relations de priorité (importance relative). Sans être logiquement cohérent, ce réseau joue un rôle important dans toute activité du décideur. Une grande partie des croyances d'Axelrod et des codes opératoires de George déjà discutés concernent ces buts généraux.

---

[5] 5. Voir aussi les analyses du raisonnements des experts qui pointent dans le même sens (par exemple: Kuipers, Moskowitz et Kassirer: 88 pour le domaine médical)

Le buts qui concernent plus spécifiquement la finalité d'une décision seront appelés **buts généraux de la décision** ou simplement **objectifs de la décision**. Dans les théories de choix traditionnels (par exemple la théorie des jeux discutée plus haut), on présuppose que ces buts sont connus par le décideur et qu'ils sont bien définis. Les études de politique publique et de politique étrangère (Steinbrunner, Lindbloom, Crecine, Allison, etc.) ont montré que ce n'est pas le cas en règle générale. La définition de ces buts généraux de la décision ne sont obtenus qu'après un long processus. Souvent, ils restent mal définis, voire contradictoires. Ces objectifs de décision sont toujours en interaction avec les buts universaux et parfois sont engendrés par ces derniers.

Au début du processus de décision, il faut faire une analyse de la situation comme nous l'avons vu et une analyse de buts qui tienne compte des buts universaux concernés. La plupart des buts généraux de la décision sont définis dans les termes suivants: il existe une situation B dans laquelle la situation A actuelle doit être transformée. Ceci ne signifie pas que la définition du problème et les buts à atteindre soient complètement identiques au fond. Le but doit tenir compte du nécessaire et du possible. Par exemple, le chômage est un problème pour certains dans nos sociétés, mais cela ne signifie pas que la société devrait avoir pour but le plein emploi. Trop de chômage est un problème pour la société, mais il est parfois trop coûteux de le réduire à un niveau plus acceptable.

Une troisième catégorie de buts intervenant dans le processus de la décision fait partie de cette décision, elle possède un rôle instrumental à la poursuite de la décision. Nous allons les discuter ci-dessous.

(c) La résolution du problème

Résoudre un problème identifié signifie plusieurs choses. Au problème à résoudre, on associe au moins un but à atteindre. En politique, atteindre ce but implique souvent atteindre plusieurs sous-buts en parallèle. Ces sous-buts peuvent être décomposés à leur tour. Ce processus est appelé factorisation car chaque sous-but reflète un problème partiel à résoudre. Grâce à des connaissances stratégiques, le décideur essaie de diviser un problème en des unités plus réduites qui respectent un ordre hiérarchique, temporel et causal. Une fois cette factorisation accomplie, il s'agit de coordonner et de contrôler la poursuite des sous-buts et de régler d'éventuels conflits. Cette décomposition du problème en sous-buts (ou sous-problèmes selon un autre point de vue) ne représente que le niveau supérieur des opérations. La réalisation de sous-buts met en oeuvre des connaissances multiples, telles que l'application d'instruments de pilotage (comme des instruments juridiques) ou l'allocation de ressources. Au plan cognitif, il s'agit d'élaborer, ou de retrouver et d'adapter, des plans que l'on peut exécuter. Nous reviendrons plus tard sur ce point.

(d) L'évaluation

Vers la fin d'une décision-processus, le décideur évalue l'effet des mesures (décisions) prises par rapport au but à résoudre. Il teste si les actions ont eu l'effet voulu. En fonction des résultats, certains processus de résolution de problème doivent être répétés et modifiés, jusqu'à ce que le sous-but concerné ait été atteint de façon satisfaisante. En politique, cette évaluation se fait souvent d'une façon informelle. S'il existe parfois un contrôle détaillé des effets voulus, il manque en règle générale une analyse de l'impact global d'une action politique. Un tel impact entre seulement dans l'évaluation lorsqu'un but universel a été “réveillé” dans le cours du processus complet de la décision.

(e) Le processus complet de décision

L'organisation globale d'une décision-processus (donc de la décision qui inclut les stades cités ci-dessus) est le résultat de l'interaction de plusieurs couches de “processus”. Il existe une ou plusieurs stratégies générales de la décision ou de résolution de problème. Ces stratégies ne sont pas des “programmes” fixes, mais des heuristiques qui organisent et qui contrôlent le processus. Certaines connaissances s'activent peut-être comme des “démons” (c'est-à-dire quand c'est nécessaire), mais d'autres sont mobilisées de façon “top-down” ou “goal-driven”). Ainsi, il ne faut pas confondre la description d'un processus de décision avec le savoir qui est impliqué dans sa génération.

Jusqu'à présent, nous avons traité la décision comme un processus qui a comme point de départ un problème et comme fin une sorte de solution. Pour que notre modèle soit encore plus près de la réalité politique, il faut inclure la décision-processus dès le départ dans l'activité totale du décideur, pour cela nous revenons au modèle de Doerner (83).

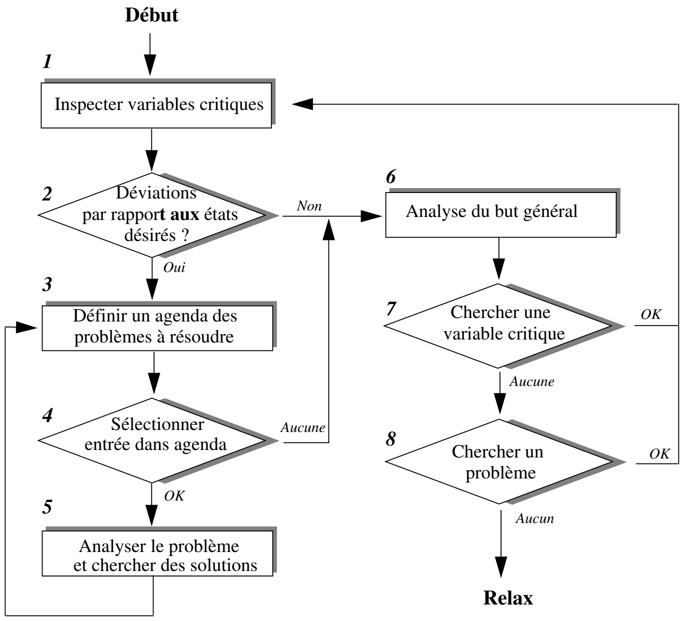


Figure 4-1: Le décideur dans l'environnement politique complexe

4-1.3 Le décideur dans un environnement complexe

Nous avons déjà présenté les études de Dörner (le modèle de Lohhausen) dans lesquelles il étudie cliniquement les processus cognitifs des décideurs sur une longue période. Après l'analyse de l'expérience Lohhausen, Dörner présente un cadre théorique pour modéliser le comportement de décideurs dans un environnement complexe de décision. Dans ses propres termes, l'auteur nous présente une théorie de traitement de l'information sur la résolution de problèmes dans des situations complexes et incertaines (Dörner 83:397 ff). Bien que son modèle soit le fruit d'analyses cliniques, il nous suggère un bon modèle de la structure du traitement de l'information qui peut se mettre en place chaque fois qu'un décideur individuel travaille. Un modèle légèrement modifié pourrait tenir compte de l'activité d'une organisation.

Le modèle est esquissé dans la Figure 4-1: “Le décideur dans l'environnement politique complexe” [p. 118] (cf. Dörner 83:398). Il représente un condensé des observations expérimentales sur le comportement des “maires” de la ville simulée de Lohhausen lors des sessions de travail. Le groupe de recherche a noté que, généralement, une personne commence son activité par l’observation de l’état et des déviations d’un certain nombre de variables qu’elle juge critique (processus 1 dans la figure). Ces variables sont critiques par rapport au but très général qui est de bien gouverner la ville. Ensuite, s’il existe au moins une différence par rapport à un état désiré (2), le décideur passe au point (3) dans le diagramme. Ici les problèmes perçus doivent être réexprimés en termes d’intentions (buts à résoudre) et coordonnés. Une fois que la personne sait ce qu’elle désire résoudre, elle choisit une intention sur l’agenda (4) et elle procède à une analyse approfondie du problème pour ensuite essayer de trouver une solution (5). Il s’agit du traitement proprement dit du problème. Si aucune intention ne reste sur l’agenda, la personne reporte son attention à un niveau plus général de la politique. Elle se rappelle quel est le but général principal (le bien-être de la population de Lohhausen) (6) et elle essaye de l’opérationnaliser en sous-buts plus spécifiques qui correspondent en règle générale à changer les états de variables critiques (processus 7). Si cela n’aboutit à rien, il faut alors activement chercher un problème. Même dans une simulation du type Lohhausen, il existe toujours des problèmes auxquels on peut s’attaquer. Dans le cas contraire, le décideur mérite une pause et peut attendre à ce que le système engendre lui-même un problème.

De toutes les façons, comme le graphique l’implique bien, un problème est rarement résolu grâce à une décision unique. Il s’agit au contraire de piloter en permanence des “variables critiques” du système et d’observer l’effet que des décisions (et actions qui en découlent) ont eu sur cet environnement. Il est souvent difficile de trouver un point de départ et une fin pour un processus de décision. Il faut procéder à des coupures subjectives, c’est-à-dire des périodes où le décideur se désintéresse d’un problème parce qu’il semble être résolu ou autrement inintéressant. En politique, une seule décision importante peut prendre entre quelques heures et plusieurs années. Dans le deuxième cas, il s’agit en règle générale de mettre en place tout un dispositif (lois, institutions, etc) pour poursuivre un but. Ce genre d’activité se déroule en parallèle avec les activités courantes et un certain nombre de ressources du décideur y sont consacrées. Ce type d’activité qui interagit toutefois avec l’activité courante ne se trouve pas dans cette figure mais pourrait y être intégrée.

Un autre point important que l’on voit dans ce schéma est le va et vient entre les activités plutôt réactives et les activités de gestion plutôt actives (chercher un problème). Le décideur a en règle générale trop de travail par rapport à ses ressources et les activités plus réactives (qui ont comme point de départ l’inspection des variables critiques) sont plus importantes.

Il est clair que ce modèle n’a qu’une valeur d’idéal-type. Il ne faut

pas oublier qu’il a été suggéré et corroboré par des situations artificielles d’expérimentation. Malgré cette limitation importante, il nous semble marquer un pas vers la simulation de situations réelles de décision dans la mesure où les éléments du temps, du processus et de l’environnement, etc. sont prises en considération.

4-2 Les heuristiques de résolution de problème

"Notre" décideur est avant un acteur intelligent qui doit résoudre des problèmes. Dans cette section nous introduisons quelques concepts du paradigme "classique" du "problem solver" de la psychologie de l'information

Le concept le plus important est celui de l'heuristique, une méthode pour résoudre un problème pour lequel il n'existe pas de simple solution préprogrammée.

4-2.1 Introduction: Opérateurs mentaux et heuristiques

Résoudre un problème consiste à exécuter un certain nombre d'opérations internes (cognition) et externes (actions). Nous allons d'abord définir quelque peu notre terminologie en nous inspirant à nouveau des travaux de Dörner (76:15 ff). Chaque processus de décision prend place dans un **domaine d'action**, qui possède un certain nombre **d'opérateurs** connus. Un opérateur est une action générique que l'on peut appliquer à certaines classes d'objets mentaux ou physiques. Une **opération** est donc définie comme une utilisation (application) d'un opérateur. Un opérateur est un objet plus abstrait et plus général que sa manifestation ou instantiation dans une opération. Chaque chose qui peut être perçue comme un problème correspond à un domaine d'action ou encore à un objet qui peut être dans des **états** variables. L'état courant d'un objet-problème est défini par un ensemble de sous-états que l'on peut appeler **faits**. L'ensemble des faits qui caractérisent un problème constitue la **description du problème** (all. "Sachverhalt"). Ainsi, dans ce contexte, résoudre un problème veut dire transformer des états en appliquant des opérateurs à des faits, un fait pouvant être un objet mental ou physique et une opération pouvant être un processus mental ou physique.

Un domaine d'actions potentielles, aussi appelé **domaine du problème** est défini par un ensemble de faits possibles et par l'ensemble des opérateurs applicables. Puisque nous possédons des connaissances sur nos connaissances, c'est-à-dire des méta-connaissances, les opérateurs d'un domaine de problème peuvent devenir les faits pour un autre domaine. Un domaine de problème est un objet artificiel dans le sens où il est perçu et défini subjectivement par le décideur ou le chercheur, par exemple selon des critères de "clustering" ("mettre ensemble ce qui se ressemble").

Dans la section 2-1 "Le paradigme émergent des sciences cognitives" [p. 17], nous avons présenté la connaissance heuristique comme un élément central de l'action humaine. On fait souvent référence au concept de connaissances épistémiques (mémoires sémantiques et épisodiques). Elles produisent l'image du domaine du problème. Le savoir-faire ou la mémoire de l'action tombe en règle générale dans une autre catégorie analytique de la psychologie de l'information. Les connaissances heuristiques générales font partie de cet ensemble [6] assez mal étudié en psychologie (cf. Richard 90:71).

Le mot heuristique connaît en règle générale deux significations: Une **heuristique** est une méthode pour résoudre un problème. Alternativement, une **heuristique** est une méthode floue pour résoudre un problème pour lequel il n'existe pas de solution programmée. En politique, ces deux définitions se confondent pratiquement, puisqu'il existe peu de problèmes ayant des solutions toutes faites. Toutefois, il faut distinguer entre **la mémoire heuristique** qui contient tout le savoir-faire à partir d'un certain niveau de généralité et les heuristiques qui représentent la catégorie la plus importante de savoir-faire humain. Il existe des heuristiques à de multiples niveaux de généralité, dont quelques heuristiques de base. L'heuristique la plus simple que l'on puisse s'imaginer est terriblement inefficace mais innovatrice: il s'agit du comportement d'essai-erreur au hasard. Une méthode presque tout aussi simple consiste à appliquer systématiquement au problème tous les opérateurs utilisables. Ces méthodes sont, bien sûr, inutilisables et il existe un grand nombre de connaissances (heuristiques) pour choisir des heuristiques appropriées à un problème.

A des fins analytiques, on peut postuler l'existence d'une heuristique simple et universelle pour choisir des heuristiques. Nous avons simplifié un schéma que l'on retrouve chez Dörner (79:48) dans la Figure 4-2: "L'heuristique des heuristiques" [p. 123]: on part de l'idée que beaucoup de problèmes ont un nom, c'est-à-dire qu'on peut les identifier par rapport à un prototype ou une classe abstraite. Souvent, il existe des recettes fixes pour s'attaquer à un problème et si c'est le cas, elles sont utilisées. S'il n'existe pas de plan fixe (étape 1) pour cette catégorie de problèmes, il faut engendrer une description plus exacte du problème (2) qui permet de mieux choisir une heuristique (3). Si on en trouve une, elle sera appliquée (4) et son succès sera évalué (5). Sinon (6), il faut essayer soit d'en construire une autre (a), soit de reformuler le problème en d'autres termes (b), soit d'appliquer une heuristique moins puissante, mais plus générale (c), soit de sélectionner l'heuristique suivante si l'on se trouve à l'intérieur d'une macro-heuristique qui suggère d'utiliser plusieurs heuristiques les

---

[6] Nous aimerions rendre le lecteur bien attentif au fait que toutes ces catégories n'ont pas de définition universellement acceptée dans la littérature. En outre, il y a un grand débat autour de la question de savoir si ces distinctions sont purement analytiques ou si elles reflètent véritablement une structure d'organisation du savoir dans le cerveau. Nous tenons à introduire ces concepts pour des besoins de modélisation qui nécessite une structuration du savoir du décideur.

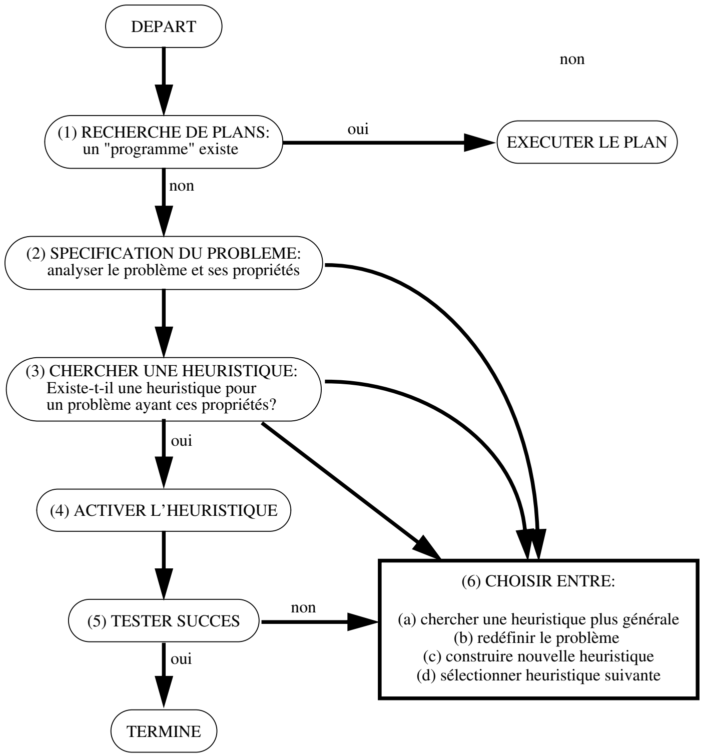


Figure 4-2: L'heuristique des heuristiques

unes après les autres (d). La stratégie qui pousse à reformuler un problème est souvent rencontrée en politique. En règle générale, elle permet de substituer au problème un sous-problème qui sera plus facile à régler. Par exemple, on réduit les problèmes de conjoncture à un problème monétaire. L'inverse, la substitution d'un problème par un problème supérieur est aussi possible. Par exemple, pour diminuer le chômage, on essayera de stimuler l'économie dans son ensemble.

Nous avons introduit la distinction entre les connaissances *heuristiques* et les connaissances *épistémiques*, ainsi que la distinction entre compétence heuristique de résolution de problèmes et épistémique. Ces distinctions sont un peu artificielles étant donné que le savoir-faire est toujours couplé au savoir sur les objets. Parfois, il est même difficile de distinguer entre une fraction de connaissance sur le monde et une fraction de connaissance abstraite qui permet de résoudre un problème. La définition de “connaissance heuristique” n'est pas partout la même dans la littérature. Le plus souvent, il s'agit du savoir-faire abstrait (angl. “general problem-solving knowledge”). Cette catégorie analytique ne doit pas être confondue avec les “heuristiques”, c'est-à-dire des “morceaux” de connaissances destinés à résoudre des problèmes mal définis.

On a distingué entre deux types de connaissances épistémiques: sémantique et épisodique. Les connaissances sémantiques et les connaissances épistémiques sont fortement connectées aux connaissances heuristiques. Par exemple, une expérience vécue dans le passé peut non seulement servir d'exemple (épistémique) à étudier pour résoudre un cas similaire (méthode heuristique), mais également à abstraire des plans (heuristiques) applicables directement à des situations futures similaires. Ainsi le savoir se transforme en savoir-faire. On pourrait toujours appeler ce type de connaissances “savoir-faire épistémique”, mais il a clairement une fonction heuristique. Sans vouloir continuer la discussion, on peut voir facilement la limite de ces frontières catégoriques de la psychologie du traitement de l'information. La mémoire humaine est organisée d'une façon trop connectée pour que ces distinctions soient réalistes, mais elles ont leur valeur analytique. La force de l'intelligence artificielle (IA) est d'avoir montré comment opérationnaliser ces concepts à la fois précis (en termes de définition) et flous (en termes de réalité empirique et de modélisation de pensée). Lorsque nous discuterons plus précisément des systèmes IA, nous travaillerons à un niveau plus détaillé qui utilise une variété de structures de connaissances aptes à remplir la *fonction* heuristique et épistémique.

Un bon système de représentation des connaissances ne doit pas seulement modéliser la manière d'encoder des connaissances mais également la manière de les utiliser. Ceci implique qu'il nous faut aussi un modèle de la mémoire qui dicte où et comment stocker et comment retrouver une connaissance. Evidemment, ces “comment” peuvent être encodés en partie sous forme de connaissances explicites et manipulables. Donc, dans un modèle, “ce” qui organise une procédure peut tout à fait avoir la forme d'une connaissance que l'on manipule de la même façon que les connaissances statiques. Ainsi la distinction traditionnelle que fait l'informatique entre procédures et données n'existe pas sous cette forme dans la science cognitive. Enfin, dans tous les cas, il nous faut en outre une mécanique, une machine qui applique du savoir-(faire) à du savoir-(faire). Pour les fameux systèmes à bases de règles, ce sont les non moins fameux moteurs d'inférence qui remplissent cette fonction. Dans les systèmes connexionistes (neuronaux), c'est le mécanisme de mise à jour des noeuds du réseau. Nous allons voir de plus près certains de ces mécanismes au fond assez simples, mais puissants grâce aux connaissances qu'ils manipulent, dans les chapitres qui suivent.

Souvent, la littérature (par ex. Chandrasekaran 87) postule un certain nombre d'opérations élémentaires de résolution de problème qui constituent, via des heuristiques intermédiaires (telles que l'unité TOTE déjà rencontrée), les blocs à bâtir des heuristiques. Et on postule, logiquement, que les heuristiques complexes ont été créées à partir d'heuristiques simples. Ainsi, il est important de connaître des opérations cognitives simples, même si leur utilité immédiate pour la modélisation du décideur n'est pas apparente. Par la suite, nous allons approfondir le modèle de Dörner et montrer quelles sont les heuristiques les plus importantes qu'il faut connaître pour modéliser son décideur dans un environnement complexe.

4-2.2 Les heuristiques de la gestion d'un environnement complexe

Opérations cognitives de base portant sur des relations

Maintenant que nous avons donné une idée de l'heuristique principale pour s'attaquer à un problème, nous allons continuer la discussion à l'autre bout, c'est-à-dire le savoir épistémique. Nous allons introduire trois types de "réseaux sémantiques" importants pour la décision politique, ainsi que les opérations que l'on peut leur appliquer. Ces réseaux ont une importance particulière pour la modélisation du décideur qui raisonne sur l'ensemble de l'environnement politique (comme le fait le sujet expérimental dans la ville simulée de Lohhausen).

Un grand nombre des connaissances du décideur semble être incorporé dans une structure de réseau. Chaque noeud du réseau représente une certaine connaissance (un fait sur le monde) et chaque noeud est lié avec d'autres noeuds par certaines relations. Pour la résolution de problème, trois types des relations semblent être plus particulièrement intéressants:

1. La relation ensemble-partie (en anglais souvent appelée "has" ou "part-of" relation) intègre les éléments d'un objet. Par exemple, "la Suisse a 25 cantons" ou "Genève fait partie de la Suisse".
2. La relation cause-effet concerne les causalités, par exemple "trop d'étrangers provoquent des sentiments anti-étrangers".
3. La relation d'abstraction (en anglais souvent appelée "is-a relation") intègre un objet dans une classe d'objets. Par exemple, "la démocratie directe est une forme de démocratie".

Pour chacune de ces relations, un certain nombre d'heuristiques doit exister pour exploiter l'information implicite dans ce type de structures de connaissances (cf. Dörner 83:399 ff). Nous allons discuter les plus importantes:

L'analyse de composantes permet de retrouver les parties d'un ensemble et l'existence de relations entre les parties. Pour un grand nombre de problèmes à résoudre, il faut savoir comment décomposer l'objet auquel on a affaire. Par exemple, une transaction immobilière est composée d'un immeuble (l'objet légal), d'un vendeur et d'un acheteur (les sujets légaux) et de certaines relations comme des contrats ou encore des transactions d'argent. En termes techniques, il s'agit d'effectuer des "recherches vers le

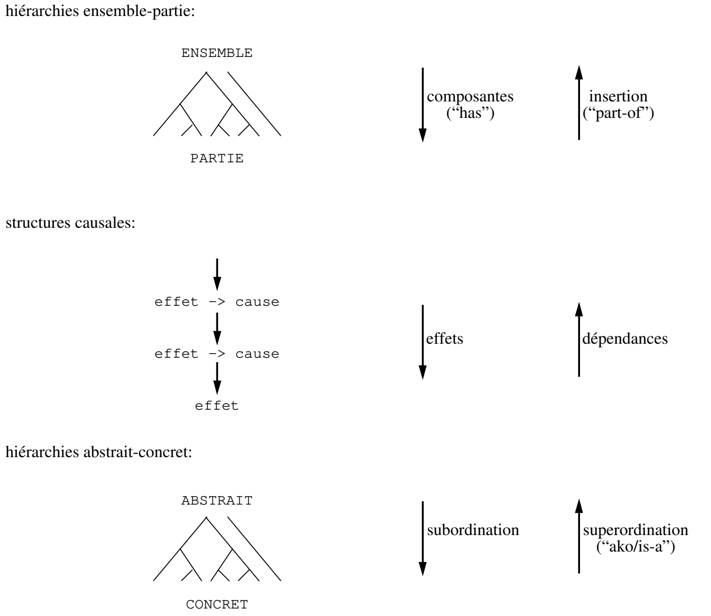


Figure 4-3: Les relations de base entre faits

bas" dans des hiérarchies ensemble-partie. Comme les objets d'une décision font également partie d'une structure plus élevée, on possède également **l'analyse d'insertion** qui permet de retrouver l'objet "supérieur" auquel l'objet présent appartient. Par exemple, une transaction immobilière peut faire partie d'une opération de "take-over" commercial.

L'analyse de dépendances nous suggère comment et dans quelle mesure un objet dépend d'un autre. En d'autres termes, ce type d'analyse cherche dans le réseau l'insertion d'un objet dans une structure causale. Plus techniquement, on parle de "recherche causale en arrière"; étant donné un fait (état d'un objet), on cherche sa ou ses causes et ainsi de suite jusqu'à ce que l'on décide de s'arrêter ou jusqu'à ce qu'il ne reste plus de causes. Ce type d'analyse est complété par **l'analyse des effets**, souvent utilisé pour évaluer les conséquences d'un plan d'action. Etant donné un fait (état d'un objet) on cherche "en avant" pour trouver ce qu'un changement de l'état pourrait provoquer ou a déjà provoqué. Ces deux types d'analyse sont très importants quand un décideur est confonté à un système dynamique comme le système politique national. Il devient aussi évident que ce genre de raisonnement respose sur un modèle que le décideur possède de son environnement. D'où l'importance cruciale de la mémoire avec ses connaissances préalables que nous n'arrêtons pas de souligner.

A part les hiérarchies ensemble-partie et les structures causales, nous utilisons des hiérarchies d'abstraction et les analyses de **subordination** et de **superordination** qui leur sont liées. Très souvent, il est impossible pour le décideur de connaître directement les propriétés d'un objet qu'il est censé manipuler cognitivement. Si l'objet mental est défini en termes trop généraux pour trouver une solution intéressante au problème, il faut chercher des objets de substitution que l'on sait mieux manipuler. Par exemple, si la notion de "transfert immobilier" est trop vague pour trouver un moyen de lutter contre le trop grand nombre d'acquisitions d'immeubles par des étrangers, il convient de trouver un objet plus concret et plus simple qui n'englobe peut-être pas l'ensemble du fait initial, mais qui permet de résoudre une grand partie du problème. Par exemple, dans le cas de ces acquisitions étrangères, on peut se limiter à résoudre le problème des résidences secondaires, s'il s'avère que ces dernières font le gros de ces transactions. Parfois, il existe un problème cognitif opposé. Par exemple, si beaucoup de journaux s'inquiètent du nombre élevé d'acquisitions d'immeubles par des étrangers, le décideur politique va s'inquiéter aussi, pas forcément parce qu'il s'inquiète de ces acquisitions mais parce qu'il voit qu'un problème est perçu dans la population et qu'il faut donc agir.

Ces hiérarchies d'abstraction peuvent servir à des raisonnements analogiques. Ainsi une éventuelle perception populaire qu'il y a trop d'acquisitions étrangères pourrait être traduite dans une catégorie de problèmes plus abstraits pour laquelle on connaît des solutions. Ainsi on pourrait décider que, lorsque les gens estiment que les prix trop élevés posent problème, c'est que la pression de la demande est trop forte. Dans ce cas, on peut d'abord prendre des mesures plus simples pour calmer le marché comme instaurer un long délai de revente pour freiner les spéculateurs. Si, par exemple, le décideur trouve que les acquisitions sont gênantes puisqu'elles engendrent de vilaines constructions dans de jolis sites de montagne, il peut penser à imposer à ces communes une réglementation plus sévère de la construction. Ces "transferts d'abstraction" permettent également d'éviter des décisions. On peut par exemple déclarer que ces acquisitions sont un résultat de notre liberté de marché (et une conséquence) et que toute réglementation est contraire à ce principe important de la liberté du commerce.

Après avoir défini ces quelques opérations cognitives de base, nous pouvons discuter plus en détail le comportement du décideur dans un environnement complexe dont on a présenté le modèle dans la section 4-1.3 "Le décideur dans un environnement complexe" [p. 118]. Rappelons que dans ce modèle de la décision complexe de Dörner (83:398), le décideur commence son activité en observant les variables "critiques". Chaque déviation l'incite à créer des intentions vers une action et ensuite d'agir réellement. Une fois réglés les problèmes importants, il se tourne vers la recherche de problèmes. Examinons les points les plus importants de ce modèle:

La planification de l'agenda

En règle générale, un décideur politique ne doit pas seulement tenter de résoudre un seul problème (y compris un ensemble de sous-problèmes interdépendants). Beaucoup de choses exigent son attention. Pour s'en sortir, il lui faut une sorte d'agenda qui règle les priorités. En simplifiant un peu le phénomène, Dörner postule l'existence d'une liste d'**intentions**. Ces intentions peuvent être engendrées par une analyse de buts ou directement par une pression venant de l'environnement (cf. Dörner 83:408ff.) Par rapport à ce modèle, une intention est la volonté de réduire la différence (partiellement ou totalement) entre l'état courrant d'un fait (variable dans l'environnement) et son état désiré. La question est de savoir combien de ressources allouer à chaque intention et dans quel ordre les traiter. Dans le cas idéal, le décideur cherche d'abord à trouver des dépendances parmi les intentions dans la liste. Si un problème à résoudre est engendré par un autre, il peut être éliminé de la liste des intentions. Ensuite, le décideur doit trouver une liste de priorités parmi les intentions restantes. Cette opération n'est pas simple. Dörner (83:408ff.) définit la formule suivante pour mesurer et opérationaliser **la pression de sélection p_i**:

$p_i = i_i (u_i + a_i) s_i$

i_i = **importance** de l'intention i
u_i = **urgence** actuelle
a_i = poids d'**actualité**
s_i = probabilité de **succès**

Nous n'allons pas montrer en détail comment opérationnaliser chaque argument de cette fonction. Sans exemple empirique, cela n'aurait pas de sens. Une intention dans ce modèle est définie en tant que variable critique qu'il s'agit de modifier. En conséquence, **l'importance** d'une intention est définie en fonction de *la manière* dont cette variable influence des buts universaux importants. **L'urgence** actuelle est fonction de *l'importance*, de *la vitesse* et de *l'accélération* avec lesquelles la variable s'écarte de son état désiré. En termes plus simples, on peut dire qu'un problème est urgent (a) s'il est mauvais ou (b) s'il se dégrade si rapidement que le coût d'interventions futures est estimé beaucoup trop cher, ou les deux (a+b). **L'urgence actuelle** de la formule tient compte en plus de la faisabilité. Souvent l'urgence actuelle d'un problème est cyclique. Par exemple, une décision collective peut être prise seulement lorsque les membres du corps de décision sont présents (ou qu'il existe une majorité qualitative). **Le poids d'actualité** mesure l'attention cognitive que la personne donne à une intention. Ce facteur cognitif est difficile à modéliser et il joue plutôt un rôle auxiliaire dans ce modèle. **La probabilité de succès** que Dörner appelle aussi compétence actuelle (Dörner 83:412ff.) est fonction de la compétence heuristique et épistémique du décideur et du temps disponible pour la tâche. Dans ce contexte, la compétence épistémique mesure ce que l'acteur sait (activement) déjà pour résoudre le problème, la compétence heuristique fait référence à ses connaissances (acquises) pour trouver une solution au problème. Si la solution est inconnue, le temps devient un facteur important. Les problèmes qui demandent trop de temps ne peuvent pas être résolus.

Les processus impliqués dans la planification de l'agenda forment une structure que Dörner (83:413) appelle **la mémoire d'intentions**. En fait, il postule que les intentions dans notre liste pointent sur des collections d'information sur l'importance, l'urgence, la probabilité de succès, le temps de résolution estimé, l'état courrant, l'état désiré, etc. Ces structures d'intention doivent "lutter" pour leur influence sur le système de pilotage central à l'aide de la pression de sélection dont on vient de donner une formule ci-dessus. Une autre fonction de ce processus de planification est d'éliminer les intentions qui ne méritent pas d'être traitées parce qu'elles ne sont pas assez importantes ou qu'elles sont intraitables. Etant donné qu'un calcul optimal des priorités de sélection est difficile, il faut, à notre avis, postuler une sorte de procédure de sélection quasi-rationnelle qui privilégie clairement les tâches les plus importantes et qui choisit les autres avec une sorte de raisonnement de "satisfycing".

Le traitement des intentions

Une fois que le décideur a décidé de traiter une intention de résolution de problème, il essaie, en règle générale, de comprendre la fonction de la variable critique dans le système. Il existe plusieurs activités cognitives impliquées dans cette tâche (cf. Dörner 83:419ff.). Le décideur peut tout d'abord effectuer une analyse de dépendances, c'est-à-dire évaluer quelles autres variables influencent la variable critique qui pose le problème et dans quelle mesure. Par exemple, pour savoir pourquoi beaucoup d'étrangers acquièrent des immeubles en Suisse, il faut analyser les motifs des demandeurs et il faut regarder l'offre. Les motifs d'un placement dans l'immobilier peuvent être des motifs de sécurité mais aussi représenter des aspects financiers comme l'aide au placement immobilier individuel. Une fois les variables (causes) trouvées comme dans cet exemple, on peut examiner s'il est possible d'intervenir dessus. Pour analyser les effets d'un problème (état d'une variable), la personne peut effectuer une analyse des effets. Il est intéressant de savoir si le problème est vraiment un problème et dans quelle mesure son amélioration ne risque pas de créer d'autres problèmes plus graves. Par exemple, limiter les acquisitions étrangères peut mettre en danger l'industrie du tourisme. Autre exemple, combattre le chômage par la création de postes de travail par l'Etat peut augmenter l'inflation. L'analyse des effets est également une étape importante pour évaluer une intervention éventuelle sur les variables qui causent le problème. Les exemples précédents montrent également qu'une analyse de dépendances peut servir à estimer si un problème est important ou non. Elle peut, par exemple, aider à démontrer que le problème soulevé par l'environnement est un faux problème car il ne cause pas d'effets négatifs importants dans le système.

Parfois une variable critique n'est pas suffisamment "empirique" ou précise pour l'analyse des dépendances et des effets. Dans ce cas, une analyse des composantes peut aider. Inversement, les variables affectées par un changement de la variable critique peuvent être insérées dans des structures globales plus importantes. Par exemple, il est important de savoir que l'industrie immobilière d'une région est un moteur important de conjoncture et que toute diminution d'activité peut avoir des conséquences sur le reste de l'économie.

L'analyse la plus importante à ce niveau général d'opération est naturellement l'analyse des dépendances. Il est aussi clair qu'un décideur la fait d'une façon très lacunaire et même déformée puisque son image de l'environnement peut être caractérisée de la même façon. Le décideur (en tout cas selon les observations cliniques de Dörner) arrête en règle générale cette analyse quand il pense qu'il a trouvé un bon moyen de manipuler une variable critique qui pose problème grâce à une autre. On privilègie donc les explications mono-causales. Ensuite, il effectue une rapide analyse de conséquences pour estimer s'il existe des effets indésirés pour une intervention avant de transformer son plan en action. Les solutions les plus mauvaises sont en règle générale déjà filtrées automatiquement par sa perception de ce qu'il est possible de faire. La constitution, la législation et le droit international font parfois barrière dans ce sens. Donc, malgré tout, le décideur est souvent assez limité quant au choix d'actions. Cette limitation est multiple et produit des contraintes d'action et des contraintes de ressources cognitives pour sa perception de l'environnement et du problème.

A la recherche d'un problème

Dans le modèle du décideur dans l'environnement complexe de Dörner, le décideur doit activement chercher un problème. Il procède par l'analyse d'un but général qui est attaché à son rôle de décideur. Un rôle de décideur définit implicitement un certain environnement de résolution de problème. Dans la ville de Lohhausen, le but était par exemple de satisfaire tous les habitants. Un tel but n'est pas opérationnel. Dans ce cas, il doit être abordé avec une analyse de composantes et de dépendances. Les sous-buts qui en résultent doivent être ordonnés dans une hiérarchie d'importance relative qui contient au moins les sous-buts qualifiés importants. Toutefois, cette structure de connaissance n'est pas trop détaillée car la capacité humaine à mémoriser ce type de connaissances est assez limitée. Dans les expériences de Lohhausen, ces sous-buts ont varié entre sujets en fonction de leur personnalité. La même chose est sans doute vraie pour les parlementaires, ministres et autres décideurs politiques importants. Enfin, dans les expériences de Dörner (83), les besoins de base des citoyens comme la nourriture, le logement, le travail, etc. semblent avoir eu la priorité. Si une telle analyse du but général (ou le rappel d'une telle analyse déjà effectuée) ne conduit à aucun "succès", le décideur peut également chercher un problème par d'autres voies. Il peut par exemple interroger son environnement ou d'autres décideurs. Dans les expériences de Lohhausen comme dans la réalité, des problèmes importants qui surgissent peuvent interrompre à tout moment l'activité normale. Dörner a utilisé le terme de **"matrice d'alarme"** pour ces variables qui se font "entendre" toutes seules.

Le modèle général de Dörner (83) interprète la décision comme un phénomène intégré. Il est clair que ce modèle est un idéal-type et qu'il est difficile de séparer et de cataloguer aussi bien les activités du décideur. Toutefois, il nous offre un cadre très intéressant pour toute modélisation du décideur qui tient compte de ses limites et de son environnement. La résolution de problèmes proprement dite n'est pas très poussée dans ces travaux puisqu'il s'agit d'étudier la *capacité* des sujets à comprendre et à gérer un environnement complexe. Ainsi, le sujet manipule les variables par des mesures assez simples, comme allouer/retirer de l'argent, rajouter/enlever des quantités, etc. Nous allons voir dans le prochain chapitre comment l'intelligence artificielle peut suggérer la modélisation de tâches plus complexes.

L'interaction entre buts

En ce qui concerne la modélisation de la perception et la gestion d'un environnement complexe, le modèle de Dörner (qu'on a succintement présenté) est à nos yeux assez complet. La critique majeure qu'on peut lui adresser est que l'importance des conflits et de la coordination des buts et des tâches a été quelque peu négligée. En outre, ce modèle ne s'intéresse pas suffisamment aux structures de connaissances impliquées dans la résolution de problèmes proprement dite. Les recherches de Wilensky (83) à Berkeley ont conduit à un modèle de planification dans des situations de vie quotidienne. Son modèle (comme d'habitude en intelligence artificielle) est limité à la modélisation de problèmes relativement simples. Il manque de largeur, mais il va en profondeur. La notion clef de la résolution de problèmes est celle de la planification des activités. C'est pour cela que le décideur de Wilensky est appelé "planificateur". Ici, nous allons juste examiner brièvement les spécifications générales du "planificateur" selon Wilensky (83: 19-20):

1. En mémoire, les plans sont associés avec les types de buts qu'ils peuvent résoudre.
2. Des plans associés à un but spécifique peuvent être retrouvés dans la mémoire simplement en spécifiant le but.
3. Le planificateur peut projeter des "futurs" plausibles et hypothétiques grâce à ses connaissances du monde et grâce à sa propre mémoire de plans.
4. Les buts du planificateur sont inférés à partir de la situation dans laquelle il se trouve.
5. Le planificateur est capable de détecter des interactions entre les buts.

6. Ces interactions doivent être prises en compte dans tout processus de planification.
7. Le planificateur peut générer et modifier des plans pour poursuivre des buts;
8. Il peut évaluer des scénarios alternatifs
9. et il peut abandonner des buts pour en sauvegarder d'autres.

Ces spécifications d'un planificateur "common sense" montrent l'importance du comportement téléologique coordonné pour la réussite de l'activité du décideur. Les buts sont des fractions de connaissances extrêmement efficaces pour organiser le comportement d'un décideur. Examinons la structure du processus de planification selon Wilensky (83:21): tout d'abord le planificateur se trouve dans une situation qui lui suggère d'évoquer un but. En règle générale (en tout cas pour les activités "de tous les jours" du domaine d'étude Wilensky), il existe au moins un plan pour chaque type de but et la personne n'aura pas de difficulté à le retrouver dans sa mémoire (points 1 et 2). Pour la plupart des buts quotidiens, il existe des plans simples et fiables. Autrement dit, la résolution du "problème quotidien" est simple en soi. Toutefois le plan ne peut pas être appliqué sans tenir compte d'effets secondaires possibles. Par exemple, lorsqu'on a faim, il suffit d'aller manger, mais aller manger peut rentrer en conflit avec un autre but, comme celui de rester présent sur son lieu de travail. Ce phénomène est également très présent en politique. Etant donné que le décideur est rarement obligé de connaître tous les détails d'un plan mis en action, il est relativement facile de choisir un plan, par contre il est difficile d'en estimer les effets. Toute action politique affecte un grand nombre de choses et des conflits entre des buts importants peuvent naître. Pour éviter ces conflits, le planificateur doit simuler partiellement les effets d'une éventuelle exécution de plan (points 3,4). Il s'agit d'un équivalent à l'analyse des effets de Dörner. Il doit détecter les interactions entre ses buts et en tenir compte (points 6,7) dans le processus de planification. Souvent un but poursuivi peut être affecté par d'autres plans que l'agent envisage de poursuivre. On peut faire une correspondance entre les buts du planificateur de Wilensky et l'état désiré de certaines variables de l'environnement de Dörner. Les buts actifs chez Dörner sont par exemple les "intentions", les variables critiques surveillées en permanence [7] et les variables trouvées dans des analyses d'effets. Le planificateur doit être prêt à abandonner un plan pour protéger certains buts.

Même pour des activités simples, il est fréquent qu'il ne suffise pas de construire un bon plan d'action, encore faut-il savoir le réviser durant son exécution (point 7). En politique, la problématique se pose de façon similaire. Les circonstances qui ont conduit à l'élaboration et à l'exécution d'un plan peuvent changer, à un moment donné, d'autres problèmes deviennent plus importants, une partie du plan (un sous-plan) peut rater son

---

[7] Cf. la section 3-5 "Le modèle "Lohhausen"" [p. 91].

objectif, etc. Evidemment, il existe de grandes différences entre les plans qui sont mis en exécution sur des longues durées (comme une politique fiscale par exemple) et des décisions portant sur un cas simple comme par exemple l'autorisation donnée par un fonctionnaire d'effectuer un certain transfert commercial. Cette instabilité inhérente à toute planification humaine a été contrôlée très rapidement dans l'évolution de nos sociétés. Par le biais du droit et de ses différents instruments et par la création d'institutions, l'Etat a su canaliser les choix d'actions possibles des acteurs et par là, diminuer les charges cognitives que l'acteur aurait dans un environnement complètement anarchique. Ce type de "programmation sociale" ne ramène pas seulement le coût moyen d'une décision à un niveau acceptable, mais elle permet d'éviter un grand nombre de conflits. Par exemple, la législation actuelle rend assez difficile la génération de décisions qui pourraient fondamentalement nuire à l'économie de marché.

Toutefois, l'existence de routines dans le politique et dans le quotidien n'empêche pas la nécessité de coordination. Wilensky (83:21), pour la planification des tâches quotidiennes va très loin:

> "after a period of plan proposing and editing, a *task network* of proposed actions results. This task network is a highly structured description of what the planner currently intends to do, containing intended actions, goals, and so on, along with numerous relations between these plan components."

Nous ne sommes pas très d'accord avec cette description vantant la place de la planification. Il est vrai qu'une certaine structure de planification doit exister mais elle n'est pas *hautement structurée* dans la plupart des cas. Il est vrai, qu'un déplacement en ville ayant pour but plusieurs activités se planifie et il doit s'intégrer dans la journée. Toutefois, il nous semble qu'assez rapidement, certains objets clés sont insérés dans un agenda organisé plus ou moins linéairement et le reste est organisé plus ou moins au hasard. C'est surtout la structure de *l'environnement* qui impose un ordre aux activités d'un acteur. Enfin, nous sommes d'accord avec Wilensky qui postule l'existence de "réseaux de tâches à faire". C'est une conséquence du fait que plusieurs intentions d'actions doivent être coordonnées car les problèmes sont interdépendants et les ressources humaines et institutionnelles sont partagées. Mais nous postulons, qu'en politique, les plans élaborés par un décideur sont souvent très vagues et qu'ils se précisent seulement en cours d'implantation. Un plan n'est donc, dans le cas extrême, rien d'autre qu'une intention de déclencher une action et elle déclenche juste un plan précis pour cette tâche plus simple. Ainsi, quand un parlementaire perçoit un problème, il lui suffit par exemple de rédiger un postulat pour mettre en route la "machinerie" politique.

Nous avons déjà mis en avant cette fermeture progressive de la décision à plusieurs occasions au début de ce chapitre et dans les chapitres précédents. Même Wilensky (83:22) admet que l'exécution d'un réseau de tâches exige une expansion, un remplissage de détails non considérés lors de l'élaboration des plans et de leur coordination. Notre critique est donc une critique de degré et non de principe. A notre avis, ces réseaux de tâches sont moins précis et le rôle structurant de la situation d'action est beaucoup plus important que celui suggéré par Wilensky.

4-3 Intelligence artificielle et résolution de problèmes

Après avoir discuté (1) la notion d'heuristique, (2) certaines opérations cognitives sur des réseaux cognitifs, et (3) l'insertion du décideur et de ses décisions dans l'environnement, il est temps de voir comment modéliser la résolution proprement dite de problèmes. Cette section donne une introduction conceptuelle aux techniques de base de l'intelligence artificielle (IA) concernant la résolution de problèmes.

Ce que nous présentons ici (notamment les systèmes de production) sont des techniques de base de l'intelligence artificielle. Elles sont attrayantes pour modéliser certains aspects du décideur.

Lorsqu'il s'agit de modéliser des situations de choix, nous pourrions nous appuyer sur les modèles de Saris et Gallhofer, mais pour d'autres types de modélisations (par exemple ceux qui concernent la perception d'un problème), pour le raisonnement analogique ou encore pour l'application de règles heuristiques de décision, nous allons avoir recours aux techniques de l'intelligence artificielle (IA). Cette section nous permettra d'introduire des notions importantes utilisées dans des systèmes (c'est-à-dire des programmes) IA. Nous allons nous intéresser plus particulièrement aux systèmes à bases de règles. Ils utilisent des techniques bien rodées, utilisables par des personnes ayant des connaissances modestes en informatique. Nous adoptons une perspective et un langage voisins de ceux de la psychologie du traitement de l'information et nous allons discuter en détail l'ancêtre des modèles de la résolution de problème, le fameux "General problem solver" de Newell et Simon. La présentation de GPS nous permettra d'introduire à la fois des notions techniques de base, mais également d'assurer l'ancrage psychologique de certains modèles IA. La critique épistémologique de ce type de modélisation symbolique sera faite dans la section 7-1 "Les bases épistémologiques de l'intelligence artificielle" [p. 287].

4-3.1 Le General Problem Solver

Le "General Problem Solver" (GPS) de Newell et Simon est le système de résolution de problème le plus important dans l'histoire de l'intelligence artificielle (IA). Grâce à son mécanisme central - l'analyse moyens-fins (angl. "means-ends analysis") - et grâce à son modèle de la mémoire centrale, le courant de recherche initié à la Carnegie-Mellon University a eu une grande influence sur l'évolution de l'IA et des sciences cognitives. Le "General Problem Solver" (GPS) a été le premier modèle complet du traitement humain de l'information. Quelque peu démodé aujourd'hui, il continue néanmoins à travers son successeur (le modèle SOAR) d'influencer d'une façon significative les modèles du traitement symbolique de l'information.

Le paradigme GPS

Le titre de l'ouvrage le plus complet sur GPS est "Human Problem Solving" (Newell 1972). Ce titre est significatif car il exprime à la fois l'ambition du projet et son ancrage dans la psychologie cognitive. Les auteurs ne se sont pas contentés de construire un modèle spéculatif sur ordinateur, mais ils ont eu l'ambition de créer un modèle général de la capacité humaine à résoudre des problèmes et d'ancrer ces recherches grâce à des études cliniques avec des sujets. L'optimisme initial des auteurs peut s'exprimer dans les cinq points suivants résumant l'essentiel de leur théorie sur le fonctionnement du "Problem Solver" humain et de sa modélisation. (Newell 72:788)

1. Lorsqu'un humain est engagé dans certaines tâches de résolution de problème, on peut le représenter comme un système de traitement de l'information.
2. Cette représentation peut être formalisée en détail. On peut simuler un processus de résolution de problème et un problème peut être décrit comme une structure de données manipulée par ce processus.
3. Formaliser signifie écrire un système qui implémente **l'ensemble** du système de traitement de l'information. Un système est une collection de programmes d'ordinateur. Ainsi une simulation peut être à la fois complexe et automatisée.
4. Il existe des différences substantielles entre ces programmes en ce qui concerne leur tâche et leur domaine d'application. Ceci est le résultat du fait que les gens s'attaquent aux problèmes de différentes façons et que les problèmes n'ont pas la même structure.
5. L'environnement de tâche (angl. "task environment") détermine largement le comportement du "problem solver". C'est avant tout l'environnement qui est complexe. Celui qui résout des problèmes humains doit réduire cette complexité pour être capable de trouver une solutionr.

Implicitement, derrière cette liste très hétéroclite, on retrouve une théorie cognitive que l'on a déjà rencontrée plusieurs fois sous différentes formes dans ce travail. Très proche de la psychologie cognitive classique par ses méthodes d'expérimentation et proche des modèles quasi-rationnels de l'action par sa volonté de formalisation, la théorie du "human problem solver" de Newell et Simon (72:789) repose sur quatre composantes essentielles: premièrement, ils postulent qu'une théorie du traitement humain de l'information doit tenir compte du fait que seulement quelques caractéristiques de base sont invariables par rapport aux tâches et aux individus. (Nous esquisserons ces éléments plus loin). Deuxièmement, une telle théorie représente une tâche à résoudre en tant qu'**espace de problème** délimité et le processus de résolution de problème a strictement lieu dans cet espace. Troisièmement, la structure de l'environnement de la tâche détermine la structure possible de l'espace de problème. Quatrièmement, cette structuration est une aide au processus de résolution de problème.

Un système de traitement de l'information à la Newell et Simon est un engin qui s'adapte à son environnement. En observant un tel engin, on ne peut percevoir que certaines de ses caractéristiques. Un "problem solver" dans cette école de pensée ressemble donc aux systèmes de décision de la théorie de système; à la différence près que les auteurs proposent un vrai langage pour modéliser symboliquement des tâches humaines de résolution de problème. A noter aussi le deuxième parallèle: Simon fait l'hypothèse de travail suivante:

> "A man, viewed as a behaving system is quite simple. The apparent complexity of its behavior over time is largely a reflection of the complexity of the environment in which he finds himself" (69/81:65).

Donc, la complexité réside dans l'environnement. Le décideur (suffisamment peu complexe pour être sujet à une modélisation détaillée) arrive à réduire cette entropie à des représentations somme toute assez simples. Cette affirmation est optimiste comme la recherche en IA depuis 1972 l'a amèrement démontré.

Un modèle pour l'architecture de l'esprit humain

Dans les années soixante, les modèles psychologiques du traitement de l'information en vogue semblent être inspirés par l'architecture de l'ordinateur (cf. par exemple Atkinson and Schiffrin), les années cinquante étant sous le règne de la théorie de l'information (Broadbent). Examinons les caractéristiques du système de traitement humain de l'information selon le livre "Human problem solving" (cf. Newell 72:808):

1. Le système de traitement humain de l'information destiné à résoudre des problèmes est composé d'un processeur actif, d'un système d' "input" (sensoriel) et d'un système d' "output" (fonctions motrices). Il contient aussi une mémoire à long terme (MLT), une mémoire à court terme (MCT), aussi appelé mémoire de travail, et une mémoire externe (ME). La MCT et la MLT sont homogènes dans le sens où elles utilisent les mêmes symboles et où toute information sensorielle est traduite en symboles pour leur usage interne.
2. La mémoire à long terme possède une capacité de stockage illimitée. Elle contient des symboles et des structures symboliques organisés associativement. Certains symboles représentent des blocs (angl. chunks) de configuration sensorielle reconnaissables par le processeur. Des études empiriques ont montré qu' "écrire" un symbole dans la mémoire prend autour de 10 secondes en moyenne, tandis que "lire" (retrouver) un symbole dans la mémoire prend quelques millisecondes.
3. La mémoire à court terme peut contenir 7 2 objets, mais seulement deux peuvent être retenus si une tâche n'ayant pas de rapport avec eux est exécutée. Les symboles de la mémoire à court terme sont écrits et accédés très rapidement.
4. La mémoire externe correspond essentiellement au champ visuel immédiat. Autrement dit, on peut écrire et lire. L'écriture "réelle" est plus rapide que la mémorisation ("écrire dans la mémoire"). C'est la raison pour laquelle les humains utilisent souvent un crayon et du papier pour résoudre un problème. Lire depuis un papier est à peu près aussi rapide que lire depuis la mémoire.
5. Les auteurs estiment que les opérations cognitives de base prennent environ cinquante millisecondes. Toutefois, le temps total pour le "calcul" d'une tâche est également contraint par les taux de lecture depuis la mémoire à long terme et depuis la mémoire externe.
6. L'activité de la résolution de problème est guidée par des structures de buts symboliques. Ce processus peut être formalisé par un programme. Pour simuler la théorie, les auteurs ont inventé un formalisme de programmation approprié, le système de production que nous discuterons plus loin.

Cette liste qui résume les caractéristiques essentielles du "human problem solver" parle d'elle-même. Elle résume l'attitude optimiste des années de jeunesse de la science cognitive qui visait à construire une théorie précise et parcimonieuse de l'esprit humain. Toutefois, étant donné le grand sérieux avec lequel ces affirmations ont été testées expérimentalement, elles ont toujours une certaine véracité. Seulement, il apparaît que leur portée est plus limitée. L'esprit humain peut effectivement être modélisé comme un processeur sériel ayant les caractéristiques énumérées ci-dessus, mais seulement quand il accomplit un certain genre de tâches. Aujourd'hui, ce modèle possède paradoxalement plutôt une valeur prédictive qu'une valeur homomorphique à la pensée humaine. Certaines sommités en IA comme Minsky (79 et 88) affirment qu'aucun traitement humain n'est effectué en sériel mais qu'il a cette apparence. Il existe des indications empiriques montrant que l'essentiel du raisonnement humain est effectué en parallèle, la reconnaissance de formes ne pouvant pas être faite autrement étant donnée l'immense quantité d'informations à gérer[8]. De la reconnaissance de formes, on peut passer au raisonnement analogique, aux associations en général et postuler que le sériel n'est qu'un épiphénomène. Ainsi les symboles de Newell et Simon n'auraient pas d'existence isolée mais ils seraient connectés à des réseaux sous-symboliques comple-

---

8. Voir surtout la littérature sur le connexionisme, par ex. Rumelhart 86 (première collection importante), Smolensky (88), Fodor 88 (critique), Bechtel 93 (derniers développements).

xes. Dès lors, la mémoire ne ressemble pas à un processeur sériel mais certains processus peuvent être décrits comme des flux sériels à un certain niveau d'abstraction.

Enfin, malgré les critiques que l'on peut adresser au modèle de Newell et Simon, cette tradition de recherche garde sa valeur dans les domaines de la résolution de problèmes et de la planification. Parmi toutes les activités cognitives, on peut observer une grande variation des caractéristiques des tâches, comme l'ampleur de l'information à traiter, le taux de transmission de l'information, le temps de réponse observé (et imposé par l'environnement) (cf. Reddy 88: 12). La classe des tâches qui traitent relativement peu d'informations et qui ne nécessitent pas de temps de réponse immédiat peut être modélisée avantageusement par un modèle sériel. Un exemple contraire (beaucoup d'informations et un temps de réponse immédiat) est la vision. Il est important de réaliser que tout algorithme que propose l'IA ou la psychologie comme modèle de résolution de problème est lié à un modèle de l'esprit humain. Pris hors contexte, ces modèles perdent leur statut théorique. Si une telle opération est faite, il faut reconceptualiser leur usage. Il est tout à fait légitime de postuler que l'activité du décideur est séquentielle, que sa capacité de mémoire de travail est limitée, qu'il a de la peine à mémoriser des symboles, etc. si l'on se situe à un niveau d'abstraction théorique plus élevé. Nous nous intéressons à la modélisation des prises de décisions et non pas aux processus actifs dans le cerveau. Newell, peut-être sous l'influence de la critique qui lui a été adressée, a eu très tôt cette même stratégie en déclarant que la priorité appartient à l'analyse de la cognition au "knowledge level". Le niveau du *contenu* des connaissances symboliques se prête en effet toujours bien à l'école de modélisation née du "human problem solver".

Le modèle GPS

Au début de la modélisation de la résolution de problème, on trouve l'approche "generate and test". "Générer et tester" signifie que le problème était défini en tant qu'ensemble de solutions possibles que l'on pouvait générer facilement. Le programme devait "simplement" choisir la meilleure réponse. La première contribution systématique de l'IA était de définir des méthodes de recherche s'appliquant à de larges espaces de solutions. On peut résoudre un problème de ce type en appliquant un algorithme qui génère la bonne solution, car elle existe même si elle est difficile à trouver. Toutefois, même pour certains problèmes simples, il existe une très grande quantité de solutions utiles, et le programme ne pourrait pas terminer sa recherche en temps utile. La résolution heuristique de problème consistait à trouver des algorithmes exécutables en temps utile mais ne garantissant pas la solution. Les heuristiques sont donc nées du besoin de réduire la complexité de l'environnement de problème.

Probablement, le premier programme écrit en IA était le "Logic Theorist" de Newell et Simon. Ce programme étát capable de prouver quelques théorèmes de la logique symbolique élémentaire. Cet programme n'était pas très impressionnant en ce qui concernait son "intelligence", mais il a permis la cristallisation des idées qui ont abouti à GPS (1957-1972). Ci-dessus, nous avons présenté une partie de son "infrastructure" théorique. En accord avec les principes généraux auxquels croyaient Newell et Simon, les recherches autour de GPS se sont concentrées sur l'étude des invariants de la capacité humaine de résolution de problème. Il a été montré par les auteurs qu'il existe très peu de connaissances générales de résolution de problème. La très grande majorité de ce type de connaissance est orientée autour des tâches. Ainsi, la puissance d'une "machine" humaine à résoudre un problème ne réside pas dans les mécanismes de raisonnement de base (le mécanisme d'inférence et les heuristiques très générales), mais dans leur façon de stocker et d'utiliser des connaissances. D'où le fameux slogan: "In the knowledge lies the power".

Examinons maintenant la "means-ends analysis" qui est au coeur de GPS. Un **problème** est la **différence** entre l'état courant A et l'état désiré B du monde. Le problème génère le **but** de réduire cette différence, c'est-à-dire de transformer A en B. Ensuite, il faut trouver les **moyens**. Un problème peut être décrit plus précisément avec des objets (choses à manipuler) et des opérateurs. Les **objets** sont décrits par leurs attributs et par les différences entre des paires d'objets. Ainsi un problème (une différence entre des attributs d'objets) peut être décomposé en sous-problèmes. Un **opérateur** est un objet qui peut être appliqué à une classe bien définie d'objets pour les transformer ou pour créer des nouveaux objets. Chaque "problem solver" possède des **tables de différence** qui indiquent quel opérateur appliquer pour réduire une différence spécifique. Ce type de connaissance dépend beaucoup du type de la tâche à résoudre. Il fait partie de l'**environnement de tâche** qui contient également la description du problème ainsi que le but. En somme, le formalisme qui se cache derrière l'application d'opérateurs pour réduire la différence ressemble beaucoup au modèle TOTE de Miller et al. déjà discuté dans le chapitre 2. L'idée de base est la même. Pour poursuivre un but, le "problem solver" doit décomposer un problème en sous-problèmes plus simples auxquels il peut appliquer des opérateurs connus. Ce mécanisme forme encore aujourd'hui le pilier des modèles les plus complexes de la planification.

GPS contient trois heuristiques principales de résolution de problème présentées ci-après. Chacune peut être appliquée récursivement, c'est-à-dire qu'elle peut se contenir elle-même comme partie lorsqu'elle est utilisée. Ou autrement dit, lorsqu'on utilise une méthode pour résoudre un problème, on trouve parfois des sous-problèmes auxquels on applique de nouveau la même méthode.

Lorsqu'on donne un problème (une différence) à GPS, le programme d'abord **crée le but** de transformer un objet A en un objet B. Le programme va s'arrêter s'il ne trouve pas de différence entre A et B. Sinon il va appliquer un **opérateur O** à l'objet A. Si cette procédure permet de créer un objet A’ qui a des attributs identiques à ceux de B, il s’arrête également avec un succès. Si cette simple méthode ne marche pas, ce qui est normalement le cas au début d’un processus de résolution de problème, GPS tente de **réduire la différence** entre A et B d’une façon graduelle. Autrement dit, le programme essaie de créer un objet A’ qui est plus près de B que A. Ensuite, il va tenter d’appliquer le même principe à A’ pour créer un objet A” qui est encore plus près de B et ainsi de suite. Cet algorithme possède donc trois types de stratégies opérationnelles: (1) transformer un objet (2) réduire la différence, (3) appliquer un opérateur.

1. La **méthode de transformation** compare un objet A avec un objet B et construit d’abord une liste L de différences qu’il faut réduire. Ensuite, elle fait appel à la méthode de réduction pour chaque différence dans la liste L, différence qui chaque fois peut être interprétée comme un **sous-but** à résoudre. La liste de différences se modifie au cours du processus. Des sous-buts seront ajoutés et supprimés. Si jamais il n’existe plus de différence entre A et B, le problème est résolu.
2. La **méthode de réduction** cherche un opérateur pour réduire la différence dans la liste L de l’objet A. Si un opérateur a été trouvé et appliqué avec succès, GPS a crée un objet A’ auquel on peut appliquer de nouveau la méthode de transformation. Si l’opérateur n’a pas donné de bon résultat, on en sélectionne un autre.
3. La **méthode d’application d’opérateurs** teste si l’opérateur donné par la méthode de réduction peut être appliqué. Suivant le résultat, elle peut appeler encore la méthode de réduction ou de transformation.

Un opérateur peut affecter quelques attributs de l’objet et laisser d’autres inchangé. Ainsi on peut décrire un opérateur par les changements qu’il peut produire. Un **opérateur** de GPS a trois composantes:

- Les préconditions (état nécessaire de l’objet-opérande)
- Une fonction de transformation
- Les différences réductibles (description du but)

La première composante indique si un opérateur est applicable. La fonction de transformation effectue la transformation de l’objet A en l’objet A’. La liste des différences réductibles est utilisée pour choisir le meilleur opérateur. La méthode de réduction cherche d’abord à réduire les différences les plus importantes et elle cherche l’opérateur le plus prometteur. Il peut arriver que la méthode de réduction trouve un opérateur pour les différences à réduire mais qu’il soit inapplicable, c’est-à-dire que ses préconditions ne correspondent pas à l’état (aux attributs) actuel de l’objet. Dans ce cas, GPS peut appliquer la méthode de transformation sur l’objet actuel A pour créer un objet A” qui permet d’appliquer le premier opérateur qui permet alors de produire A’. Il s’agit ici d’une sorte de raisonnement déductif. Finalement, GPS peut revenir en arrière sur ses décisions (angl. “backtracking”) s’il s’engage dans une voie sans issue. Etant donné qu’il produit toujours un nouvel objet à partir d’un objet à transformer, ceci ne pose pas de problème. On peut chercher un ancien objet dans la mémoire et essayer d’appliquer un autre opérateur que celui qui l’a mené vers une impasse.

Ce modèle d’application d’opérateurs pour modéliser le raisonnement analytique est encore très répandu. Des programmes de planification comme STRIPS et ses successeurs (Fikes et Nilsson 71) se fondent sur les mêmes principes. Un opérateur peut être appliqué sous certaines conditions, il peut faire certaines choses et produire une certaine classe de résultats. Ces opérateurs constituent les tâches primitives qu’un système peut effectuer. Ensuite, il existe des plans bien plus compliqués. Le planificateur moderne tente de réduire des tâches compliquées à des actions primaires et en règle générale de construire un réseau de tâches exécutables (qui peut être sujet à révision). Dans ce cas, on parle de planification dynamique car elle tient compte des changements de l’environnement. Nous n’allons pas aborder ce sujet en détail. Nous sommes d’avis qu’il faut d’abord tenter d’exploiter des techniques plus simples qui ne nécessitent pas les connaissances considérables qu’il faut pour construire un planificateur qui ne fonctionne que pour un domaine restraint. Nous allons maintenant introduire les systèmes de production qui permettent de programmer des systèmes comme GPS et qui sont à la base de la grande majorité des systèmes expert.

Les systèmes de production

Un système de production est un algorithme computationnel pour manipuler des structures symboliques. Au coeur d’un tel programme se trouvent des règles de réécriture. Ces règles sont également utilisées à d’autres fins, par exemple pour définir des grammaires en linguistique ou en informatique. Ainsi nous allons d’abord donner une définition générale des concepts de réécriture et de grammaire générative.

Une règle de réécriture élémentaire prend une chaîne de symboles pour la transformer en une autre chaîne de symboles. Par exemple la règle

```
(état A) -> (but B)
```

transforme la chaîne “(état A)” en “(but B)”. Une **grammaire générative** est une collection de règles de réécriture qui, par étapes successives, peut transformer une “entrée” en une “sortie”. Un bon exemple est donné par les analyseurs syntaxiques qui transforment une chaîne de symboles représentant une phrase en une chaîne axiomatique représentant la structure grammaticale d’une phrase. Il s’agit ici d’une analyse “bottom-up”, c’est-à-dire l’analyse va d’un objet non structuré (une chaîne de symboles représentant une phrase) vers l’objet structuré et grammatical. L’analyse peut être effectuée dans l’autre sens. A partir d’un axiome (une grammaire), on peut générer des phrases. Sous une forme modifiée (pour éviter l’explosion des possibilités), on peut effecteur une analyse “top-down”. On génère des phrases possibles jusqu’à ce que la phrase que l’on veut analyser corresponde. Les deux types de transformation “haut en bas” et “bas en haut” (ou “gauche à droite” et “droite à gauche” si l’on se réfère au sens de la flèche dans les règles) peuvent être combinés. C’est que fait GPS par exemple pour appliquer des opérateurs. La logique de GPS peut être comparée par quelques aspects à un analyseur syntaxique: il s’agit d’effectuer une transformation symbolique. En effet, une liste de différences à réduire a comme but (formel) de transformer une chaîne d’états d’attributs en une autre.

Les systèmes de production sont une généralisation des règles de réécriture. Les règles peuvent être plus complexes. Ensuite, il existe un mécanisme automatique qui utilise les règles, il s’agit du **moteur d’inférence** qui applique un jeu de règles aux faits (données) en mémoire. Voici donc les composantes essentielles d’un système de production:

1. Un jeu de règles de production
2. Une base de faits (données)
3. Un interprète (moteur) qui utilise (1) et (2) pour effectuer des computations.

Dans sa forme la plus simple, une règle de production possède la forme suivante:

si <SITUATION> alors <ACTION>

Dans le contexte d’un système de production simple à chaînage avant (notion expliquée ci-dessous), une telle règle est utilisée de la façon suivante: quand le moteur découvre une certaine situation (appelée aussi condition) dans la base de faits, la règle est “réveillée” et prête à être utilisée. Donc, la première fonction du moteur est **évaluative** ou **interprétative**. Il cherche dans la base de faits afin de trouver des règles qu’il peut appliquer. Dans un moteur élémentaire, si une règle correspond à une situation, elle est exécutée. En règle générale, la partie action de la règle est utilisée pour transformer la base de faits. Donc, au lieu d’utiliser les termes de “situation” et d’"action”, l’on peut également utiliser les termes de “si - alors” ou de “condition - conclusion”. Il s’agit d’une interprétation plus logique d’une règle de production qui privilègie la fonction du contenu des clauses et non pas la manière dont une règle est manipulée.

si <CONDITION> alors <CONCLUSION>

Examinons deux règles dans la Figure 4-4: “Exemple de règles” [p. 144] qui sont en anglais simplifié semblable à celui que l’on utilise dans certains systèmes de productions. L’exemple est inspiré d’une modélisation que nous allons discuter dans le chapitre 4. Pour le moment, il n’est pas nécessaire de comprendre les détails, mais juste de voir l’utilité générale d’une règle de production. Imaginez que l’on puisse décrire une situation de problème par un jeu de faits simples que l’on met dans une base de faits. On peut maintenant postuler l’existence d’un certain nombre de règles qui permettent de résoudre le problème, c’est-à-dire de prendre une

```
RULE 1 decision-yes
  IF    (person is submitted to authorization regime)
        (person gets an authorization)
  THEN  (conclusion "The acquisition will be authorized")
        (the system made a final legal conclusion)

RULE 2 authorization-regime-yes
  IF    (person acquired real estate)
        (person is foreign)
  THEN  (person is submitted to authorization regime)
```

Figure 4-4: Exemple de règles

décision légale à partir de ces faits. Chaque règle possède un nom, une partie “si” et une partie “alors”. La première règle qui a comme nom le symbole “decision-yes” possède deux conditions: (person is submitted to authorization regime) et (person gets an authorization). Si ces deux conditions sont remplies par l’existence de ces deux faits dans la base de faits, on peut déclencher la règle et écrire dans cette base les conclusions de la règle. En l’occurrence, on conclut par exemple que “(The acquisition will be authorized)”. La deuxième règle a son utilité par rapport à la première. Elle permet en effet de créer un fait (person is submitted to the authorization regime) qui sera utilisé comme condition par la première règle.

Dans un système de production plus sophistiqué, si le moteur trouve plusieurs règles applicables, il doit choisir la meilleure des règles. C’est sa **fonction de contrôle**. Souvent, il utilisera un autre jeu de règles pour le faire. Dans ce cas, on parlera de sélection heuristique de règles et ces règles de choix sont des méta-règles. Un moteur d’inférence travaille en cycles. Comme on l’a déjà dit, il scrute la base de faits et il essaye de trouver des règles dont les conditions correspondent à un ou plusieurs faits. Ensuite, il exécute la règle qui lui semble être la meilleure. En général, ceci a un effet sur la base de faits: la partie action d’une règle rajoute un fait à la base ou alors elle en enlève un. Par la suite, le moteur regarde de nouveau la base de faits pour y appliquer une règle. Un tel calcul ne peut évidemment pas durer éternellement. Ainsi, il existe toujours au moins une règle qui conclut qu’un problème a été résolu ou que le problème n’a pas de solution. Ces règles commandent au moteur d’arrêter le processus.

Essayons de voir la correspondance postulée entre ce mécanisme informatique et la théorie du processeur de traitement humain d’information. Les jeux de règles font partie de la mémoire à long terme. La base de faits que l’interpréteur utilise représente la mémoire à court terme et le moteur représente le processeur de résolution de problème. Cette architecture simple devient plus puissante si l’on permet au système de transformer les règles ou encore si on inclut un processus pour sélectionner les meilleures règles. Un système capable de varier l’ordre dans lequel il applique les règles peut modéliser un comportement adaptatif, c’est-à-dire que dans une même situation, on fera les choses différemment la prochaine fois. Un système qui peut réécrire ses propres règles (qui traite les règles comme des faits) peut modéliser l’apprentissage.

GPS était programmé avec des règles de production légèrement modifiées. Les opérateurs étaient les règles, seulement au lieu de posséder deux parties “si” et “alors”, elles en avait trois: “si”, “alors opération” et “alors résultat”. Le “alors résultat” servait à sélectionner la meilleure règle. Lors de l’introduction des règles de réécriture, nous avons mentionné qu’une règle peut être utilisée dans les deux sens. Beaucoup de systèmes de production le font. GPS par exemple avait un peu cette capacité et nous allons maintenant approfondir la technique et les conséquences conceptuelles de ces deux modes de chaînage de règles.

Chaînage avant, chaînage arrière et variables

Le chaînage avant et le chaînage arrière sont les deux méthodes élémentaires d’utilisation de règles. Dans la discussion précédente, nous n’avons pas explicitement montré pourquoi le moteur tente de les appliquer d’une certaine façon. Prenons les deux situations de base.

(A) Quand le moteur travaille d’une façon “téléologique”, il tente de “prouver” la partie “alors” d’une règle. Le “alors” est donc composé seulement d’un ou plusieurs faits. Il représente donc une sorte de but qui est résolu si la partie “si” de la règle est vérifiée. Le langage de programmation Prolog est construit autour de ce principe. Examinons de nouveau les règles rencontrées dans la Figure 4-4: “Exemple de règles” [p. 144].

```
RULE 1 decision-yes

IF          (person is submitted to authorization regime)
            (person gets an authorization)
THEN        (conclusion "The acquisition will be authorized")
            (the system made a final legal conclusion)
```

Dans la règle “decision-yes” ci-dessus, nous avons la clause de conclusion “(the system made a final legal conclusion)”. Conceptuellement, cette clause peut représenter un but de très haut niveau qui permet au système de déclencher le processus de résolution de problème et de faire tourner le moteur jusqu’à ce que ce but soit satisfait. Pour l’interpréteur, satisfaire ce but veut dire prouver que les faits dans la clause “si” sont aussi justes (“person is submitted to authorization regime” et “person gets an authorization”). Dans ce contexte, prouver signifie que les faits doivent exister dans la base de données. Implicitement, le moteur se crée donc deux sous-buts et il cherche deux règles qui peuvent créer et donc prouver ces deux faits. En traversant la base de règles, il va sans doute trouver la deuxième règle ci-dessous.

```
RULE 2 authorization-regime-yes

IF          (person acquired real estate) (person is foreign)
THEN        (person is submitted to authorization regime)
```

Il sait maintenant qu’il peut prouver un des sous-buts ci-dessus, mais à condition qu’il arrive à prouver les nouveaux sous-buts: (person acquired real estate) et (person is foreign). Ensuite, il doit continuer de la même façon jusqu’à ce qu’il rencontre les faits qui représentent le problème. Par exemple, on peut imaginer que (person acquired real estate) et (person is foreign) sont déjà dans la base de faits et qu’ils représentent partiellement la description d’une situation juridique à résoudre. Ce processus de recherche téléologique est appelé “chaînage arrière” car le mécanisme part d’un but général, le divise en sous-buts (ou sous-problèmes à résoudre) et ainsi de suite jusqu’à ce qu’il tombe sur des données (faits) qui “prouvent” un sous-but. Dans la plupart des systèmes, l’algorithme de chaînage arrière est plus compliqué, les faits et les règles peuvent contenir des variables et le moteur peut explorer plusieurs hypothèses et faire marche arrière. On peut aussi dire qu’un tel algorithme “descend” un arbre de décision, les noeuds à l’intérieur de l’arbre représentant des conclusions à prouver et les noeuds au bout de l’arbre les faits.

(B) Le chaînage avant fonctionne en sens inverse. Il est “poussé par les faits” (angl. “fact-driven”). Reprenons l’exemple de nos deux règles. Elles peuvent être utilisées pour un chaînage avant. Dans ce cas, le moteur du système est en attente. Si maintenant, on écrit les deux faits “(person is foreign)” et “(person acquired real estate)”, le moteur va immédiatement prendre ces deux assertions et les comparer aux conditions des règles. Il trouvera qu’elles correspondent à la partie “si” de la deuxième règle. Cette règle sera appliquée et le système concluera que “(person is submitted to authorization regime”). Imaginons maintenant une troisième règle:

```
RULE 3 authorization-yes

IF          (person is a company)
            (real estate is used as production site)
THEN        (person gets an authorization)
```

Si le moteur trouve également dans la base de faits l’assertion que “(person is a company)” et “(real estate is used as production site)”, il peut conclure que “(person gets an authorization)”. En combinant les deux conclusions intermédiaires gagnées par l’application de ces deux règles, il peut faire se déclencher la première règle et conclure que “(the system made a final legal conclusion)”.

Cette petite discussion devrait permettre de comprendre l’essentiel de ces deux mécanismes de base, ainsi que la fonction d’un moteur d’inférence très simple. En réalité, et comme on le verra plus tard, un système à base de règles utilisable pour la modélisation est plus complexe. Il utilise notamment des variables pour faire référence à un type de fait au lieu d’un fait très concret. Sinon, on ne pourrait jamais appliquer une base de règles à un ensemble varié de faits. Ainsi, on pourrait réécrire la règle 2 de la façon suivante:

```
RULE 2b authorization-regime-yes

IF          (?person acquired real estate)
            (?person is foreign)
THEN        (?person is submitted to authorization regime)
```

Le symbole ?person représente une variable. On peut la remplacer par n'importe quel autre symbole. Un fait dans la base de faits correspond maintenant à une clause d'une règle si une **correspondance structurelle** (ou "terme à terme", angl. "match") peut être établie. Ainsi on peut faire correspondre le fait "(Dupont is foreign)" à "(?person is foreign)". En chaînage avant, la règle va se déclencher si les deux clauses de la condition ont trouvé une correspondance *et* si les variables peuvent être **unifiées**. Ceci signifie que toutes les variables du même nom dans toutes les clauses doivent être **liées** au même symbole. Dans l'exemple, si "?person" est "Dupont" pour la première clause et ?person" est "Dunant" dans la deuxième, la règle ne va pas se déclencher puisqu'il ne s'agit pas de la même personne. Un raisonnement analogue s'applique au chaînage arrière.

SOAR

Dans le livre "Universal Subgoaling and Chunking" de Laird, Rosenbloom et Newell (1986), l'architecture Soar est introduite. Venant de la tradition de Carnegie-Mellon et donc de GPS, il s'agit de nouveau d'un système de résolution de problème universel centré sur la recherche heuristique des espaces de problèmes. (Laird et al. 86: 286). Partant d'un état initial, le système tente d'appliquer un certain nombre d'opérateurs pour arriver à l'état désiré. Lorsque le programme rencontre une difficulté, il crée un sous-but et le traite comme problème indépendant à résoudre. Il définit donc des hiérarchies de buts ayant des espaces de problèmes indépendents. Contrairement à GPS, le système choisit des méthodes de résolution différentes selon la nature du problème. Laird et al. proposent dix sept méthodes de recherches heuristiques parmi lesquelles figure GPS.

SOAR est bâti sur deux concepts importants: (1) **la méthode faible universelle** (angl. "universal weak method") qui intègre toutes les méthodes universelles connues et (2) **le "sub-goaling" universel** qui structure la résolution d'un problème difficile en tâches gérables. En plus, Soar possède une capacité d'apprentissage. Il peut se souvenir des séquences de résolution de problème ayant eu du succèrs et les réutiliser dans les nouvelles situations.

Sans entrer dans les détails de l'architecture Soar qui aujourd'hui a fait un grand nombre d'adeptes dans le monde, il est intéressant de noter que le principe de recherche heuristique, déjà rencontré dans GPS, semble toujours posséder sa valeur. La principale différence vient du constat qu'il existe un grand nombre de méthodes de résolution de problèmes qu'il faut savoir coordonner. Ce modèle intègre également l'apprentissage qui, par le biais du "chunking" extrait des connaissances abstraites à partir d'une expérience et les associe à des types de buts. Dans les cas où un "chunk" appris ne fonctionne pas, le système peut introduire des variantes dans la séquence de résolution de problème. Lorsqu'une variante "marche", l'ancienne séquence est adaptée et aura plus de chances d'être utile dans l'avenir.

Discussion

La brève présentation de GPS et de quelques principes des systèmes de production qui peuvent être utilisés pour programmer un tel système montre bien l'esprit et le problème des pionniers de l'intelligence artificielle. La discussion des principes de la "means-ends analysis" et l'introduction des concepts liés aux systèmes de production peuvent donner une idée de la manière dont fonctionne GPS. Cette architecture permet de résoudre quelques beaux problèmes, par exemple de la cryptarithmétique. Cette réussite les a conduits à affirmer que les quelques principes de raisonnement qui fonctionnaient dans ces modélisations étaient plus ou moins les mêmes pour toutes sortes de problème. Ils pensaient que toute la difficulté dans l'avenir allait résider essentiellement dans le contenu des règles qu'il fallait mettre dans GPS. Citons de nouveau le fameux "In the knowledge lies the power" de Newell. Aujourd'hui, on a besoin d'une grande variété de méthodes de représentation des connaissances épistémiques et heuristiques. Nous allons en présenter quelques unes dans la sous-section suivante. On sait aussi que la puissance du raisonnement humain ne réside pas seulement dans les contenus isolés des connaissances, mais également dans l'organisation associative de sa mémoire et dans sa capacité d'apprentissage très étonnante. Toutefois, beaucoup d'idées pour la première fois mises en oeuvre dans cette modélisation qu'était GPS, persistent et restent valables. Seulement, leur portée a diminué.

GPS était le précurseur direct ou indirect des systèmes de production qui sont utilisés pour faire des systèmes expert. Un ingénieur de connaissances (cognicien) s'intéresse au raisonnement humain seulement dans la mesure où il veut créer un programme qui exécute une tâche intelligente et, à la limite, dans la mesure où il désire comparer le savoir dans l'esprit humain et le savoir dans la machine. Un système expert possède donc une certaine affinité avec le raisonnement humain et il peut servir de modèle analytique pour modéliser un décideur.

Revenons maintenant sur les deux concepts de chaînage avant et arrière et résumons leur utilité pour la modélisation. Les deux méthodes de raisonnement correspondent plus ou moins à des aspects importants de l'activité de l'esprit humain. L'usage que l'on a fait des trois règles ci-dessus illustre le fait qu'une activité de résolution de problème est guidée à la fois par un raisonnement plus logique qui cherche à prouver une intention, une théorie, etc. et par un raisonnement plus immédiat qui propage ses conclusions à partir de faits vers l'avant.

Examinons les mécanismes de recherche arrière et en avant sous un angle un peu différent mais connexe: on pourrait modéliser un décideur par une simple base de faits (mémoire à court terme), des règles de production (mémoire à long terme) et un moteur d'inférence (processeur analytique). Pour simuler la perception d'un fait, on insère un fait dans la base de faits. Pour modéliser la réaction du décideur, on utilise un mécanisme de chaînage avant qui déclenche des règles. Ces règles aboutissent à des conclusions qui, à leur tour, déclencheront des règles, etc. Cette méthode correspond à la modélisation d'un type de raisonnement spontané, rapide ou routinier.

Le mécanisme du chaînage avant peut également être utilisé pour modéliser la création de buts, le partage d'un problème en sous-buts, ainsi que la poursuite simple de buts. C'est un peu le mécanisme de base de GPS. Etant donné un but compliqué, on peut faire appel à une règle qui nous dit comment substituer à ce but un ensemble de buts plus simples. Autrement dit, on écrit un certain nombre de faits qui représentent des buts dans la base de données. Maintenant, on peut utiliser des règles ayant pour condition une clause qui représente le but et d'autres règles qui représentent les faits nécessaires pour résoudre le but. Une fois que la règle est déclenchée et qu'elle a tiré des conclusions, elle se chargera d'ôter de la base de faits le but qui a permis de la déclencher. On utilise donc un mécanisme de chaînage avant pour simuler un chaînage arrière sur le plan conceptuel. Ceci dans le sens où le raisonnement part avec un but qu'il faut ensuite décortiquer en sous-buts pour arriver à des faits que l'on peut transformer peu à peu afin de les résoudre. On pourrait donc modéliser un raisonnement plus déductif du décideur avec cette stratégie des buts et des sous-buts. Toutefois, pour modéliser par exemple les situations où le décideur veut simplement savoir si une affirmation est juste, le chaînage arrière peut être plus élégant. Si le décideur veut savoir si une hypothèse est juste et s'il ne trouve pas le fait correspondant dans la mémoire, il essayera d'appliquer des règles jusqu'à ce qu'il puisse la prouver ou alors qu'il sache que c'est une tâche impossible.

Donc, de façon générale, on peut dire que l'on fait des **inférences en avant** lorsque l'on perçoit quelque chose (des faits sont insérés dans la base de faits) et on fait des **inférences en arrière** lorsque nous "cherchons" quelque chose. Ces processus peuvent être mélangés de plusieurs façons.

Nous avons déjà pu montrer l'usage multiple que l'on peut faire des règles. Malgré cette richesse que nous allons exploiter dans les chapitres suivants, il serait faux de réduire l'intelligence artificielle et la science cognitive computationnelle à des modèles utilisant des règles. Dans la sous-section suivante, nous allons survoler des mécanismes de représentation de connaissances alternatifs. Toutefois, l'essentiel de la partie pratique de ce travail est fondé sur l'usage de règles car cette technique, aujourd'hui, est totalement maîtrisée et bien disponible.

4-3.2 La représentation de connaissances intégrées

Dans la section 2-1 "Le paradigme émergent des sciences cognitives" [p. 17], nous avons déjà introduit la notion de structures complexes de connaissance. Nous avons fait la distinction entre plans, schèmes, "frames" et "scripts". Nous avons également déjà rencontré des réseaux sémantiques.

Nous allons élaborer quelque peu ces notions et montrer leur usage potentiel pour la modélisation des décideurs en science politique.

"Scripts" et "Frames": un modèle de la perception

Un grand nombre de chercheurs en psychologie et en intelligence artificielle postulent l'existence de structures cognitives complexes qui, par leur caractère de modèle, facilitent la perception et la réflexion. La mémoire humaine contient un nombre énorme d'informations et il est très coûteux de les associer à chaque fois que le besoin se manifeste. D'où la nécessité de regrouper certains éléments dans des structures comme les "scripts" et les "frames".

Les "scripts" (une invention du groupe d'intelligence artificielle de Yale) ont comme objet les connaissances spécialisées, par opposition aux connaissances de nature plus générale comme les heuristiques. Dans le modèle de Yale, les "scripts"servent à interpréter des événements fréquemment rencontrés et à y participer. Schank et Abelson (77) postulent qu'il existe des milliers de tels "scripts"dans la mémoire humaine. Ces scripts nous permettent de faire des économies de raisonnement et ils guident l'interprétation d'événements rencontrés dans des récits ou des activités courantes. Un "script" contient des mécanismes spéciaux pour gérer les connaissances stéréotypiques que l'on possède sur des institutions sociales et des conventions de comportement. Il crée des attentes sur les objets que l'on peut rencontrer dans une situation d'un certain type et il fait des prédictions sur la suite des événements qui peut arriver. Par ce fait, les décideurs peuvent agir sans grande charge cognitive dans ce type de situations. L'essentiel de l'activité humaine courante peut donc reposer sur des schémas d'interprétation et d'action qui garantissent la cohérence et "s'occupent" des détails. Les "scripts"ont une fonction similaire pour la génération de textes. Ils permettent de sauter tous les détails que le narrateur suppose automatiquement inférés par l'auditeur. Dans un contexte social, un "script" fait appel aux rôles. Ces rôles ne doivent pas toujours être remplis par des acteurs concrets, surtout s'il s'agit de rôles auxiliaires. Ainsi par exemple, on sait qu'un grand nombre de collaborateurs assistent à des visites d'Etat, toutefois, il n'est pas nécessaire de savoir qui accompagne un chef d'Etat pour comprendre la visite. En règle générale, un "script" est défini pour un certain point de vue. Par exemple, un "script" pour organiser une réception est différent de celui pour aller à une réception.

Il existe plusieurs types de script: le "script" le plus souvent modélisé dans des programmes de Yale est situationnel. L'exemple le plus connu est le "script" du "restaurant" qui a déjà inspiré Tolman (51). Voici une définition tirée de Schank et Abelson (77:41) qui montre bien la focalisation sur des chaînes d'événements ayant des éléments fixes et ritualisés:

> "A script is a structure that describes appropriate sequences of events in a particular context. A script is made up of slots and requirements about what can fill those slots. The structure is an interconnected whole, and what is in one slot affects what can be in an other. Scripts handle stylized everyday

> situations. They are not subject to much change, nor do they provide the apparatus for handling totally novel situations. Thus, a script is a predetermined, stereotyped sequence of actions that defines a well-known situation. Scripts allow for new references to objects within them just as if these objects had been previously mentionned; objects within a script may take "the" without explicit introduction because the script has already implicitly introduced them."

La théorie des “scripts” a été implantée pour la première fois dans le système SAM (“script” Applier mechanism). Un “script” dans SAM possède plusieurs niveaux de description. Le plus important est celui de la définition de la situation (aussi appelé “script” global) qui contient les connaissances qui différencient le “script” par rapport à une situation-type. Il existe une liste d’acteurs principaux, les scènes “obligatoires”, l’information sur les chemins possibles d’action, des conceptualisations majeures ainsi que de l’information qui permet l’activation du “script”. Ensuite, il existe un niveau pour la scène et un autre pour les épisodes qui indiquent à une personne comment il faut interpréter les parties spécifiques d’un espace d’événements ou comment il faut y agir. Il s’agit donc essentiellement de structures de connaissances qui définissent des événements et des actions nécessaires, auxiliaires et optionnelles qui font partie d’une situation stéréotypée.

Les “scripts” ne s’appliquent pas à la compréhension de toutes les actions, mais la science politique serait sans doute d’accord avec l’affirmation que le comportement et les connaissances stéréotypées sont un facteur important pour la compréhension et la décision politique. Un type différent des “scripts” situationnels sont les “scripts” personnels. Il s’orientent autour des rôles sociaux et décrivent du comportement de rôle stéréotypé, c’est-à-dire des attentes d’actions. Carbonell (81) a, sur la base de la notion de script, développé un modèle des traits de personnalité qui pourrait s’appliquer à la modélisation des tenants de rôles sociaux. Le troisième type, les “scripts” instrumentaux sont liés à la planification, et donc à la poursuite de buts ou de sous-buts instrumentaux. Un “script” de planification fait en règle générale partie d’un plan plus large dans la poursuite d’un but. Il s’agit donc de routines plus ou moins fixes pour exécuter des actions composées relativement fréquentes. Ils ne sont pas utilisés pour définir le contexte d’une situation de résolution de problème au sens large.

Les “scripts” que l’on pourrait aussi appeler “recettes” ont fait leur preuve en intelligence artificielle. Ils sont un modèle plausible qui explique comment les acteurs humains arrivent à s’orienter et à agir apparemment sans efforts cognitifs dans un grand nombre de situations. Les critiques qu’on peut leur adresser sont en partie les mêmes que celles adressées à toutes les constructions symboliques de l’IA. Il est en effet impossible de prouver l’existence réelle de telles structures dans le cerveau. Il ne peut s’agir que d’un épiphénomène. Ensuite, il est difficile de savoir comment ces “scripts” pourraient se créer et s’adapter, quel serait leur niveau de généralité, comment on les activerait et on les désactiverait, etc. La notion de

recette fixe est sans doute plausible sous une forme ou une autre. Par contre, étant donné que les humains ont une très bonne capacité pour le raisonnement analogique et étant donné que chaque situation de vie est unique, on ignore dans quelle mesure l’homme “rejoue” des scripts fixes ou les recrée en cours d’action.

Les **“frames”** sont une super-classe de “scripts”. Ils reposent sur le même genre d’observations que les “scripts”. Il existe un grand nombre d’expériences en psychologie cognitive suggérant que les gens utilisent des structures de connaissances larges constituées à partir d’expériences précédentes pour comprendre de nouvelles situations et pour agir. L’idée du “frame” qui s’apparente dans l’esprit aux scripts, est née au milieu des années soixante-dix. Les “frames” modélisent des unités de mémoire qui comprennent du savoir et du savoir-faire très complexe tandis que les “scripts” concernent plutôt des événements qui définissent des situations stéréotypées. Le concept du “frame” s’apparente davantage au concept de schéma utilisé en psychologie:

> “A frame is a data-structure for representing a stereotyped situation, like being in a certain kind of living room, or going to a child’s birthday party. Attached to each frame are several kinds of information. Some of this information is about how to use the frame. Some is about what one can expect to happen next. Some is about what to do if these expectations are not confirmed. We can think of a frame as a network of nodes and relations. The "top levels" of a frame are fixed, and represent things that are always true about the supposed situation. The lower levels have many terminals – "slots" that must be filled by specific instances or data. Each terminal can specify conditions its assignments must meet (assignments themselves are usually smaller "sub-frames"). Simple conditions are specified by markers that might require a terminal assignment to be a person, an object of sufficient value, or a pointer to a sub-frame of a certain type. More complex conditions can specify relations among the things to several terminals" (Minski 81:96).

En reliant des ensembles de “frames” on obtient des systèmes de “frames” qui à eux seuls assureraient une grande partie de l’activité intellectuelle humaine. L’essentiel de la théorie de Minsky dit que, quand une personne se trouve dans une nouvelle situation, elle doit sélectionner dans sa mémoire une structure de connaissances, un cadre référentiel. Pour s’adapter à un grand nombre de situations, un “frame” (cadre) est très dynamique. Il peut être adapté et transformé en fonction des détails. Le “frame” de l’intelligence artificielle ressemble dans sa structure et son fonctionnement un peu aux paradigmes de Kuhn (75). Son modèle de l’évolution scientifique repose sur la création et l’utilisation de schémas. Un paradigme contient des stratégies et des méthodes pour un certain nombre d’activités servant à poursuivre certains buts (scientifiques). Lors de sa naissance, un paradigme est constitué de buts, de stratégies, de méthodes et de techniques qui se stabiliseront au bout d’un certain temps. Ce mécanisme permet à une discipline d’évoluer efficacement pendant un certain temps mais un paradigme est suffisamment souple pour s’adapter à un certain nombre de situations nouvelles. Toutefois, lorsqu’un paradigme ne suffit plus, un nouveau se crée dans la communauté des chercheurs. Ce qui pour Kuhn fait fonctionner la “société” scientifique, constitue pour Minsky le microcosme de pensée de tous les jours. Les “frames”, comme les paradigmes sont des cadres souples, ils peuvent être transformés, mais ils peuvent également contenir de l’information par défaut qui remplit les “non-dits” d’une situation.

Selon Minsky, les “frames” sont mis à disposition par réseau de gestion de connaissances (angl. “information retrieval network”). Lorsqu’un “frame” n’arrive plus à “gérer” une situation, des “frames” de remplacement sont suggérés. Une fois qu’un “frame” a été choisi pour gérer une situation, un processus de mise en correspondance structurelle (angl. “matching process”) va assigner des valeurs aux “terminaux” d’un “frame”. L’approche dynamique de la pensée que l’on retrouve dans la théorie des “frames” peut être résumée de la façon suivante: un acte de pensée commence toujours par des images et des plans suggestifs, imparfaits qui sont peu à peu perfectionnés (voire même remplacés) dans le temps. On peut également définir un “frame” par les questions qu’il faut poser dans une certaine situation. Il s’agit du principe “point de vue” bien connu de l’épistémologie. La réalité, c’est la structure que l’on greffe, et les actions humaines sont déterminées largement par cette vue.

Comme les “frames” sont des structures dynamiques, on leur associe souvent les **démons**, des petites structures de connaissances qui s’activent sous certaines conditions afin de déterminer le contenu des fragments variables d’un frame. Selon cette définition, il est possible d’associer une règle de production à un frame, puisqu’elle s’active lorsqu’un certain type de fait est écrit dans une base de faits. Une classe importante de démons que l’on distingue dans la littérature sont les “if-added demons” qui s’apparentent aux règles de chaînage avant. Dans la pratique, ils s’activent lorsque quelque chose est écrit dans une mémoire, donc lorsqu’un décideur apprend quelque chose. Typiquement ces démons peuvent servir à lancer un “frame” ou un “script”. Les “if-needed demons” fonctionnent en sens inverse: si une structure de connaissance nécessite une information dans une base de données, par exemple un détail dans un “script”, il peut la générer. Les “if-removed demons”, finalement, s’activent lorsqu’une information est ôtée de la mémoire.

Les démons peuvent être attachés à toutes sortes de structures de connaissances. En règle générale, on modélise l’activation et l’instantiation de “scripts” et de “frames” à l’aide d’un ensemble de démons. Une fois qu’une telle structure est activée, des démons sont disponibles pour fournir de l’information supplémentaire si besoin est. Donc, encore une fois, un démon est une sorte de règle. Mais, à la différence d’une règle de production dans un système de production ordinaire, un démon est rattaché à un lieu ou à une fonction fixe dans une structure de connaissances fixe. Evidemment, on pourrait modéliser par exemple un “frame” déterminé par un système de production entier. Les règles en représenteraient l’aspect dyna-

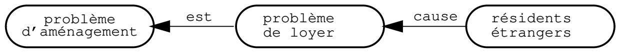


Figure 4-5: Exemple d’un petit réseau sémantique

mique et un certain nombre de faits les aspects plus statiques d’une telle structure complexe. Il est en tout cas important de réaliser que quelque part dans une modélisation de décideur, il faut savoir utiliser à la fois des structures statiques et dynamiques dans une logique intégrée.

Les réseaux de buts

Un grand nombre de connaissances peut être représenté par des structures composées comme les “frames” ou les “scripts”. Toutefois il nous faut des connectivités plus englobantes sous forme de réseaux. Lors de la discussion des travaux de Dörner, nous avions déjà rencontré des réseaux d’abstraction, des réseaux partie-ensemble et des réseaux de causalité. Pour brièvement rappeler l’intérêt de la notion de réseau pour la modélisation de la représentation du monde, nous examinerons un petit exemple. Chaque élément d’un réseau est un noeud relié à d’autres noeuds par un certain type de relations. Examinons le simple cas représenté dans la figure 4-5. Nous pouvons y lire que les résidents étrangers peuvent causer des problèmes de loyers et que les problèmes de loyers font partie des problèmes d’aménagement. Certains types de perception et de pensée politique se modélisent assez bien sous forme de réseaux. Les graphes cognitifs d’Axelrod (76) représentent une forme simple d’un réseau sémantique tandis que les croyances philosophiques de George (69) appartiennent plutôt à la catégorie des schémas, “scripts” ou “frames”.

Les buts représentent des connaissances importantes pour l’action humaine et politique. Reprenons la définition de Newell (81) pour qui un but est un ensemble de connaissances représentant un état de choses dans un environnement que le décideur doit tenter de réaliser. Cette définition dépend donc de la notion de l’espace de problème (angl. “problem state space”). Cet espace se définit par un ensemble de faits perçus et par un jeu d’opérateurs qui permettent (potentiellement) de transformer l’état de faits dans un autre. Schank et Abelson (77:11) en distinguent sept catégories dans leur théorie du “common sense understanding”.

1. Les **buts S de satisfaction** représentent des besoins. Ils seront inactifs pendant un certain temps après avoir été satisfaits. Il s’agit par exemple de besoins biologiques pour des personnes ou encore de besoins financiers pour des institutions.
2. Les **buts A d’accomplissement** visent comme leur nom l’indique l’accomplissement de quelque chose, par exemple d’un but idéologique

comme celui d' “une société plus juste”. Ce type de but est important dans la hiérarchie des buts du décideur politique.

3. Les **buts P de préservation** visent à la conservation de quelque chose. Un décideur, par exemple vise à maintenir sa position et son champ d'action. Ces buts s'éveillent quand un état courant est menacé.
4. Les **buts C de crise** sont une sous-classe des buts de préservation et servent à dévier des menaces contre des personnes ou des objets.
5. Les **but I instrumentaux** définissent des sous-buts pour la poursuite d'autres buts (y compris des sous-buts). Il s'agit là d'une catégorie de buts pour tout processus de résolution de problème.
6. Les **buts D delta** décrivent la transformation d'un état vers un autre. Ils sont directement attachés à des plans et servent à décrire ce qu'un plan peut faire. Il s'agit donc d'une sous-catégorie de buts instrumentaux.

Cette liste de buts est discutée et illustrée en détail dans le livre de Schank et Abelson (77) et nous y renvoyons le lecteur pour plus de détails. Ces auteurs ont également tenté de présenter une ontologie des relations entre ces classes de buts. Les relations les plus importantes à retenir sont les relations d'**importance relative** et les relations **super-sous-but**. Un certain nombre de ces buts sont attachés à la hiérarchie générale des buts d'un décideur, d'autres sont constitués temporairement, par exemple, dans un réseau de tâches. D'autres buts (instrumentaux et différentiels) feront directement partie d'un plan. Dans une modélisation, il faut donc faire la distinction entre deux classes de buts: (1) les buts généraux pilotent l'activité d'un système intelligent, ils sont essentiels pour le maintien et la définition de l'autonomie d'un système. Pour un certain nombre d'entre eux, le système peut choisir de les poursuivre ou non, pour d'autres la poursuite est impérative. (2) Les autres buts résultent de la poursuite d'une activité intelligente. Ils peuvent avoir une origine exogène ou endogène (cf. Covrigaru et Lindsay 91 pour plus de détails).

Les buts ne sont pas seulement liés entre eux, mais ils sont (comme nous l'avons déjà dit) connectés à d'autres structures de connaissances. Pour chaque type de but à poursuivre où à préserver, on peut activer une certaine quantité de savoir-faire. En raison de cette puissance cognitive rattachée aux buts, ces derniers jouent un rôle déterminant dans toute activité de résolution de problèmes complexes. Leur place prépondérante dans l'architecture de Soar discutée ci-dessus n'est pas un hasard. Le but en intelligence artificielle connaît une définition très large, il s'agit donc de résumés pertinents de certains aspects de l'environnement que l'on désire atteindre. Condensés par nature, ils sont une condition sine qua non de l'intelligence téléologique humaine. Quant à leur modélisation, le seul domaine bien exploré est celui des buts opératoires de la planification et de la résolution de problèmes. La poursuite de buts généraux, leur coordination et la gestion de conflits sont restés un terrain de recherche encore très ouvert en intelligence artificielle.

Le plan, entre “script” et création

Nous avons fait la distinction entre le comportement de routine permettant l'utilisation de “scripts” bien rodés et les situations qui nécessitent l'utilisation de savoir heuristique plus général. Les décisions de routine et les plans préfixés ont une place importante dans la prise de décision politique. Dans le cadre de quelques heuristiques générales de base, le décideur peut se fier à un certain nombre de plans fixes pour atteindre certains buts et sous-buts. Ces plans simples peuvent être modélisés par un simple “script” ou par quelques règles de production. Leur structure est assez intuitive et ne sera pas discutée ici. Par contre, la notion de plan (ou de plan complexe) mérite quelques lignes. La résolution de problèmes qui a comme but la transformation d'un état extérieur du décideur crée des plans. Selon Wilensky (89:9): “Problem-solving programs generally have as their goal the construction of a plan whose execution will bring about a desired state" et "While problem solving may involve complex plan construction over quite different domains, including some linguistic ones, the essential nature of the task is the same: given a goal, create a plan to satisfy it". Ces définitions de l'usage cognitif du plan impliquent clairement que le plan n'est pas forcément une simple “conserve” que l'on peut ouvrir en cas de besoin, mais qu'il doit être élaboré en cours de raisonnement. Selon Wilensky ou d'autres auteurs, il existe un certain nombre de plans globaux (angl. “master plans”) pour ce genre de tâches.

Examinons un exemple simple: un décideur apprend que la presse se plaint de spéculations foncières par des étrangers. Déclenché dans un but de préservation, ce fait est perçu comme un problème à résoudre. Il a désormais un nouveau but. On peut imaginer qu'il existe un plan abstrait pour gérer le genre de plaintes qui concernent le comportement de certains sujets. Le plan peut suggérer au décideur de faire un choix entre une solution “symbolique”, l'application d'un instrument juridico-politique ou encore la création d'un instrument juridique qui permettrait de réguler le comportement de ces sujets. Pour chacune de ces options, il faut chercher s'il existe des plans et évaluer leur utilisation potentielle et leur portée avant de continuer la décision. Si un plan disponible n'existe pas, il faut en construire un. Dans les deux cas, il faut tenter de simuler leur application. Planifier signifie donc aussi évaluer des plans potentiels et effectuer des choix. Ensuite, lorsqu'un plan a été choisi, il doit être peaufiné et mis en application.

Un tel processus peut durer des années et implique beaucoup de personnes. Au-delà du contenu proprement dit du problème, il faut gérer les intérêts de personnes et d'institutions. Le réseau de tâches à accomplir dans le plan doit tenir compte des conflits de buts et il doit être révisé fréquemment. On voit donc que ce processus sera très difficile à modéliser. En effet, au plan formel, le domaine de la planification en intelligence artificielle est assez difficile. Etant donné les ressources qu'il faudrait pour modéliser toute la complexité de la planification politique, nous n'entrerons pas dans les détails techniques. Il faudrait aussi décider à quel niveau de modélisation un politologue devrait descendre. Les détails peuvent noyer l'essentiel et un modèle doit toujours représenter du sens par rapport à la théorie politique. Nous reprendront cette discussion dans la conclusion de ce travail.

Un plan complexe ne se constitue pas à partir de rien. Les croyances instrumentales que George (69) a identifiées chez les décideurs politiques peuvent être bien intégrées dans une modélisation de la planification. Du point de vue de l'intelligence artificielle, il s'agit ici de maître-plans associés à certains domaines de problèmes. Nous avons déjà remarqué que la plupart des connaissances heuristiques sont, malgré leur généralité, liées à certains domaines d'action. La résolution de problème repose donc sur un savoir-faire spécifique qu'un décideur doit acquérir dans un processus d'apprentissage assez long. Souvent, il faut même recourir au raisonnement analogique, c'est-à-dire le décideur prend un cas du passé qui ressemble à son problème actuel et qui lui permet de s'y attaquer sans trop nager dans la complexité de la tâche.

4-3.3 Le raisonnement avec des cas

Le "case based reasoning" et son frère jumeau, le raisonnement analogique nous fournissent un autre ensemble de techniques importantes pour la modélisation du décideur. Il existe un grand nombre d'observations en psychologie cognitive qui montrent l'importance des expériences du passé pour résoudre un problème[9]. Dans certaines activités professionnelles comme celles de la résolution de cas juridiques, ce type de raisonnement est dominant à cause du rôle important de la jurisprudence. Beaucoup de disciplines utilisent la méthode des cas dans l'enseignement, comme par exemple les écoles de gestion. La modélisation du raisonnement à partir de précédents a fortement intéressé depuis un certain temps la science politique[10].

Le "case based reasoning" est une des méthodes de raisonnement analogique. Il signifie raisonner à partir de cas ou d'expériences anciennes pour résoudre un problème, critiquer des solutions, expliquer des situations anormales ou interpréter des situations. Selon les mots d'une des inventrices de ce type de modélisation, Janet Kolodner (91: 54): "Cased-based reasoning can mean adapting old solutions to meet new demands, using old cases to explain new situations, using old cases to critique new solutions, or reasoning from precedents to interpret a new situation (much like lawyers do) or create an equitable solution to a new problem (much like labor mediators do)". Comme toujours en intelligence artificielle, certaines structures et certains mécanismes de connaissances sont donc à la fois utilisés pour interpréter une situation et pour agir. Kolodner (91:55) distingue entre deux principaux styles de raisonnement à bases de cas: (1) dans le style "résolution de problèmes", on dérive des solutions vers des problèmes nouveaux en utilisant des solutions anciennes comme guide. D'anciennes solutions suggèrent comment générer une solution nouvelle et peuvent fournir des avertissements concernant les erreurs à éviter. Ce raisonnement est utile pour différents types d'activités de résolution de problème, comme la planification de tâches, le diagnostic et la création d'objets. (2) Le style interprétatif concerne l'interprétation d'une nouvelle situation dans le contexte d'une ancienne situation. Il permet donc la classification d'une situation. Il est souvent utilisé pour justifier un argument ou pour illustrer le pour et le contre d'une solution, donc pour évaluer, justifier et argumenter un plan. Un tel type de raisonnement est très intéressant lorsqu'il n'existe pas de méthode "de calcul" pour sérieusement gérer tous les impondérables et les inconnues d'une action complexe.

Les deux types de raisonnement peuvent se compléter dans un processus de résolution de problème. Les deux dépendent fortement de la capacité humaine à retrouver des cas appropriés dans la mémoire. Inversement, il est crucial de bien "indexer" le vécu pour pouvoir le retrouver plus tard quand le besoin se manifeste. Curieusement, et contrairement aux attentes que l'on pourrait avoir, les personnes ne sont pas très habiles dans ce travail de gestion. (cf. Read and Cesa 90 cité par Kolodner 91). Une fois qu'on a retrouvé un cas similaire dans la mémoire, il faut opérer un certain nombre de raisonnements. Dans le cas de la résolution de problèmes proprement dite, il s'agit d'**adapter** une ancienne solution à la nouvelle et de **critiquer** la nouvelle solution avant de l'utiliser. Dans le cas de l'utilisation interprétative d'un précédent, il s'agit essentiellement de **justifier** une solution en montrant que la comparaison entre l'ancien et le nouveau est bonne. Evidemment, l'argument lui-même est ensuite sujet à critiques. Ces processus peuvent être imbriqués et doivent être répétés jusqu'à satisfaction. Pour ce type de raisonnement analogique, les humains et notamment ceux ayant une certaine expérience dans un domaine concerné sont très forts (en tout cas comparés à un ordinateur). Le raisonnement à bases de cas est toujours très performant par rapport à des méthodes plus analytiques quand un décideur connaît bien le domaine et quand la situation ne permet pas une analyse détaillée de sa "logique" de déroulement. Autrement, quand il manque de l'information mais quand il y a de l'expérience, on raisonne avec des cas. La cohérence implicite d'un cas réel du passé transmet sa logique (si tout va bien) sur la nouvelle situation. Même le novice peut utiliser avec profit des cas. Il peut reprendre les expériences dont il a connaissance indirectement, il doit simplement faire un travail d'adaptation ou de justification plus difficile.

En intelligence artificielle, il existe autant de façons de représenter un cas que d'équipes de recherche. Au plan technique, on peut par exemple faire usage de structures de "frames" ou encore d'une combinaison de faits et de règles. En ce qui concerne le contenu, Kolodner (91:60) distingue trois éléments essentiels: (1) **la description de la situation de problème**

---

9. Cf. par exemple Klein et Calderwood (88), Read et Cesa (90) ou Ross (89).
10. Cf. par exemple Alker (80) et les sections 3-4 "La modélisation des expériences du décideur" [p. 89] et 6-4 "La mémoire du décideur et l'apprentissage" [p. 271] pour plus de détails.

décrit l'état de l'environnement de résolution de problème et le problème qu'il fallait résoudre. (2) **la solution** représente la solution trouvée par rapport au problème ci-dessus. Il s'agit par exemple d'un plan d'action Dans certains cas, on y inclut aussi les méthodes employées dans le temps. (3) Finalement, il faut garder une trace du **résultat** qui permet d'évaluer l'utilité de reprendre la solution trouvée dans le passé. Le cas chez Kolodner est donc déjà mémorisé en vue d'un usage ultérieur. En réalité, il nous semble que la mémoire retient souvent les cas d'une façon moins structurée et qu'il faut d'abord reconstruire cette information avant de pouvoir raisonner sur un cas ancien. La frontière entre les "récits" qui mémorisent un processus de résolution de problème et les scripts, plans et autres constructions symboliques qui transforment les expériences en connaissance plus immédiate est floue et variable et un grand nombre de solutions intermédiaires doivent exister. Toutefois, pour tout ce qui dépasse le simple récit, il faut retenir le problème de l'indexation, la mémorisation de descripteurs qui permettent d'activer une connaissance au moment voulu. Au plan de la modélisation par ordinateur, il s'agit ici d'un problème difficile mais gérable. La modélisation du raisonnement analogique utilisé pour extraire des nouvelles solutions, prédictions ou justifications est plus difficile. L'énorme capacité humaine pour le raisonnement associatif et analogique est plus que difficile à modéliser et nous reviendrons sur cette problématique dans un chapitre ultérieur.

4-4 Un modèle d' “information” du décideur

Le modèle général du décideur que nous allons présenter est inspiré à la fois par le modèle “Lohhausen” de Dörner sur la décision dans l'environnement complexe et par les travaux de l'intelligence artificielle dans le domaine de la planification.

L'idée-force de ce modèle a déjà été bien souvent exposée dans ces pages: le décideur est une machine de traitement de l'information qui interagit avec un environnement actif. On postule en plus que le décideur peut être modélisé avantageusement comme processeur symbolique.

L'IA nous fournit un grand nombre de modélisations de la planification dans des situations de la vie ordinaire (par exemple Wilensky 83) et de la résolution de problèmes délimités mais difficiles (cf. Charniak 85, 255-318 and 485-553). L'IA nous fournit également les outils conceptuels et techniques pour construire des modélisations, tandis que les travaux de Dörner nous permettent de conceptualiser l'insertion d' “une machine à résoudre des problèmes” (c'est-à-dire le décideur) dans un monde social et politique.

Le cycle de décision de ce modèle est le suivant: un événement externe déclenche un but du décideur. A un moment donné, il s'occupe de ce but, l'évalue et il cherche une source de connaissance heuristique pour le traiter. Un but est une structure de connaissances sur l'état d'une partie de l'environnement, associé à la volonté de réaliser cet état. Traiter un but peut signifier des activités variées: par exemple, le décideur peut décomposer un but en une liste explicite de sous-buts et exécuter des plans déjà tout prêts pour les atteindre. Il peut aussi décider que la poursuite de ce but n'en vaut pas la peine, ou encore qu'il vaut mieux poursuivre un autre but pour le résoudre. La stratégie de résolution de problème la plus fréquente est de faire appel à un plan général approprié au type du problème. En gros, un tel plan est une structure heuristique avec les trois composantes suivantes: (1) un déclencheur qui décrit les états que le plan permet d'atteindre, (2) un opérateur, c'est-à-dire un ensemble d'actions que le plan exécutera, et (3) un certain nombre de préconditions qui doivent être remplies avant de pouvoir déclencher les actions. Sous cette forme simple, un tel plan peut être modélisé avec des règles de production en chaînage avant.

Bien planifier ne veut pas simplement dire trouver un plan et l'exé-

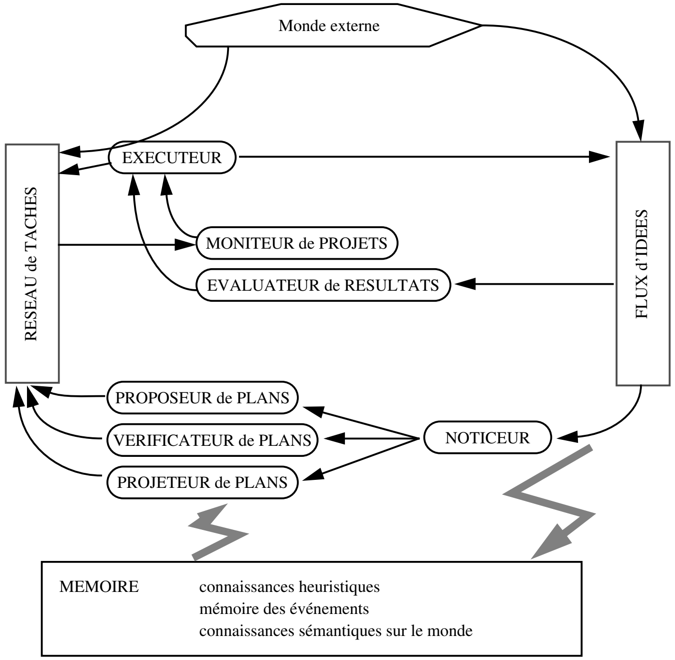


Figure 4-6: Un modèle général du décideur

cuter. Les effets de l'exécution du plan sur le monde (l'environnement) et ses propres buts doivent aussi être modélisés. Ensuite, un plan doit être coordonné avec d'autres activités. Une fois un plan adopté, il faut ajouter son contenu à un réseau de tâches qui contient tout ce que le décideur doit exécuter et coordonner. Ensuite, le réseau de tâches est exécuté étape par étape. A chaque fois qu'une action est exécutée, ses conséquences perceptibles sont calculées par des règles appropriées qui simulent l'environnement. Donc un modèle de planificateur contient aussi un modèle de l'environnement, c'est-à-dire les parties du monde qui réagissent aux actes du décideur et qui influencent sa perception. Ce mécanisme nous fournit un modèle à rétroaction (angl. “feedback”) parce qu'une action de l'acteur influence l'état de l'environnement dont la variation déclenche alors des buts chez l'acteur et l'amène à corriger ses décisions, etc. Le décideur possède donc le potentiel d'analyser le succès de son activité dans le temps. Idéalement, un modèle devrait donc également apprendre dans les différents sens de ce terme: se souvenir de ce qu'il a fait dans le passé, adapter des plans et finalement réviser et créer de nouvelles structures heuristiques.

Un tel modèle est difficile à implémenter et l'état actuel des connaissances en IA ne permet pas la modélisation détaillée d'un décideur opérant dans un environnement de problème riche. La pensée humaine est tellement complexe et tellement peu transparente que l'on ne peut pas en faire des modèles complets. Il faut soit travailler sur des sujets isolés et en profondeur, soit modéliser les processus de traitement d'information à un niveau d'abstraction plus élevé en utilisant un modèle plus idéalisé. Il faut donc simplifier en résumant et en postulant de l'ordre là où il n'y en a pas. Nous présentons dans la Figure 4-6: "Un modèle général du décideur" [p. 162] un tel modèle idéalisé qui correspond au cycle de décision typique que nous venons de décrire ci-dessus. Ce type d'architecture est déjà assez difficile à implémenter, mais avec suffisamment de ressources (dix à vingt années/homme) on produira à notre avis des résultats intéressants. Ce modèle nous servira de référence par rapport à nos propres expériences dont on parlera dans les chapitres suivants. Il existe malheureusement toujours une lacune consternante en sciences humaines entre *toute* théorie générale non réductionniste sérieuse et les modèles ayant une utilité directe pour la recherche empirique. Un tel modèle intermédiaire ne permet pas encore de rapprocher ces deux extrêmes, mais à mieux en établir les liens. Il reflète à la fois une théorie psychologique et sociale sur la nature du décideur et également sur ce que la recherche empirique pourrait produire aujourd'hui avec les moyens appropriés. Le modèle JESSE (cf. la section 4-5.3 "Un modèle de planification: JESSE" [p. 170]) est un exemple de ce qui est faisable aujourd'hui.

Il convient encore d'ajouter quelques remarques préliminaires sur le statut épistémologique d'un tel cadre emprunté à la psychologie de l'information[11]. Il apparaît de plus en plus que ces modèles symboliques du fonctionnement cognitif ont leurs limites. De nombreuses recherches en psychobiologie montrent en effet que de telles structures de représentations n'existent pas sous cette forme dans les cerveaux humains. Par contre, toute la littérature montre également qu'elles peuvent décrire utilement à un autre niveau d'abstraction les phénomènes auxquels nous nous intéressons.

---

[11] Pour une discussion plus approfondie, voir la section 7-1 "Les bases épistémologiques de l'intelligence artificielle" [p. 287].

4-5 La modélisation IA de la décision en science politique

Nous passons en revue dans cette section quelques modélisations utilisées dans la recherche en science politique qui elles aussi tentent de modéliser certains types de décision.

La complexité de la notion de la décision se reflète dans la variété des types de modélisation.

En science politique, il existe un certain nombre de recherches ayant utilisé des méthodes IA pour modéliser des décideurs politiques. Certains systèmes comme "Uncle Sam" (Job 91), un modèle de la politique extérieure des Etats-Unis, utilisent des techniques à base de règles. Uncle Sam est capable d'interpréter une certaine classe d'événements codés en fonction de règles qui encodent l'attitude du gouvernement façe à certains Etats dans certaines situations. Après soumission d'un événement, le système effectue un certain nombre d'inférences internes pour produire un rapport qui évalue l'événement et qui suggère une action politique.

D'autres systèmes utilisent des techniques de "case-based reasoning" ou encore de "frame-based reasoning". Nous n'effectuerons pas ici un survol complet de la littérature, mais nous renvoyons aux collections de Hudson (91) et de Sylvan et Chan (84) qui réunissent pratiquement tous les projets de recherche connus. Dans cette section, nous allons d'abord discuter les résultats d'une recherche clinique (section 4-5.1, p. 165) qui montre l'importance du raisonnement à bases de règles ("explanation-based reasoning" selon les auteurs) par rapport à deux autres types de raisonnement. Ensuite, nous discuterons des tentatives pour modéliser l'interprétation d'événements politiques en fonction des croyances (section 4-5.2, p. 167). "JESSE" est, à notre avis, la modélisation la plus sophistiquée d'un décideur collectif (section 4-5.3, p. 170). Avant de conclure nous allons discuter brièvement une approche originale de David Sylvan et Majeski (section 4-5.4, p. 172).

4-5.1 "Case-based, explanation et model-based reasoning"

Le "case based reasoning" (cf. Aamodt 94, Kolodner 92 et 93) est une technique de modélisation jugée séduisante en IA/relations internationales (Sylvan, Ostrom et Gannon 94:65). Il s'agit d'une conséquence du simple constat que les décideurs font souvent eux-même référence à des cas de façon négative ("éviter un nouveau Munich ou Vietnam") ou positive ("la dernière fois, ça a bien marché). Ce type de raisonnement est aussi populaire dans des domaines avoisinants comme le Droit (pour construire plus facilement des chaînes d'argumentation juridique ou pour respecter la jurisprudence), les sciences militaires, la politique financière, etc.. Le précédent sert donc à la fois de cadre de réflexion ou de recette à suivre ou à éviter.

En politique, le raisonnement fondé sur des cas est sans doute limité (cf. Schrodt 91:20). En effet, le système politique et les problèmes qu'il doit résoudre ne se ressemblent pas toujours énormément. Ainsi Donald Sylvan, Ostrom et Gannon (94) ont effectué des expériences en laboratoire qui montrent la prédominace d'un "explanation-based reasoning" (cf. DeJong 86 , Ram 90, et Leddo &Abelson 86) dans le domaine de la politique internationale par rapport au "cased-based" ou "model-based reasoning". David Sylvan et Majeski (93) arrivent à des conclusion similaires. Dans leurs recherches sur la constitution des politiques de sécurité des Etats-Unis, ils montrent que les décideurs font souvent référence à des cas. Par contre, le contenu d'un même cas cité varie beaucoup lors de chaque évocation. La description du cas est souvent triviale et ne peut pas servir à une activité de résolution de problème. Les caractéristiques utilisées sont celles qui servent à une certain argumentation. On peut donc formuler l'hypothèse que le cas est avant tout un outil rhétorique en politique.

A notre avis, le "explanation-based reasoning" peut être combiné au "case-based reasoning". Son principe est le suivant: au cours de leur expérience, les sujets engendrent des connaissances à partir des cas rencontrés sous forme de principes plus généraux. Autrement dit, au lieu de "préserver" les cas, on explique le cas, on généralise le "pourquoi" et on se souvient des règles déduites. Toutefois, il nous semble que des liens avec des cas exemplaires ou prototypiques sont souvent gardés et peuvent être réinvoqués, même si cette étude ne le fait pas apparaître. La leçon à tirer de l'article mentionné est que la modélisation du décideur avec des systèmes de règles possède un bel avenir. Plus de 50% des sujets utilisent en effet des principes généraux (des quasi-règles) pour procéder à une décision.[12] Evidemment, la question, comment modéliser l'acquisition de ces connaissances (le "explanation-based learning"), reste ouverte en science politique. Le point à retenir est l'absence en règle générale dans la littérature en science politique d'apprentissages de type "similarity-based learning", où l'apprentissage se fait à travers de multiples exemples. En effet, ce type d'apprentissage semble être plutôt réservé aux enfants. Les auteurs paraissent suggérer que les décideurs semblent capables d'une généralisation très rapide. Il ne faudrait pas pour autant boublier le fait que

---

[12] Notons toutefois qu'il existe le danger des "rationalisations post-hoc" lorsqu'on interroge des sujets et lorsqu'on les fait parler à haute voix (Nisbett et Wilson 79).

de nombreuses règles peuvent être enseignées et transmises directement dans le processus de socialisation politique et professionnelle.

Le “model-based reasoning” fait référence ici aux structures agrégées de type “frame” ou “script” qui associent un concept par exemple “pragmatique” à tout un ensemble de principes qui sont invoqués. Utilisé à peu près avec la même fréquence que le “case-based reasoning” (25%), cette catégorie fait référence implicitement au problème de la compilation des procédures de raisonnement: il suffit que décideur invoque un concept ou une procédure sans passer par une explication ou une analogie. Ce type de raisonnement peut être modélisé avec des règles, mais ces règles ne sont pas aussi facilement observables (dans un discours par exemple).

4-5.2 L’interprétation d’événements politiques

La modélisation de l’interprétation d’événements politiques est fortement ancrée dans le courant de recherche “natural language understanding” et des travaux effectués à Yale. La question centrale de nombreuses recherches effectués à Yale est: “Quelles structures de connaissances sont nécessaires pour comprendre une énonciation ou un texte?”. Typiquement, un programme “Yale” est capable de digérer un certain nombre de petits textes en langage naturel en montrant sa capacité de compréhension par le fait qu’il peut répondre à des questions concernant ce texte. Nous n’allons pas discuter ici les problèmes épistémologiques de cette approche qui se sont accumulés, mais seulement signaler que les langages de représentation développés à Yale se prêtent assez bien à la modélisation politique[13].

POLITICS

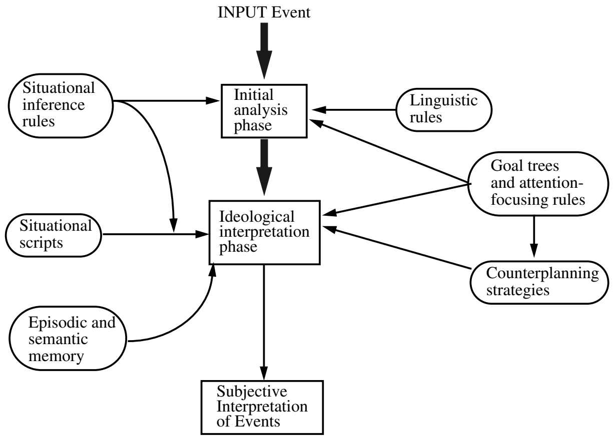
Le précurseur le plus important [14] pour la modélisation de l’interprétation subjective d’événements politiques est sans doute le système POLITICS de Carbonell (71, 81, 81a, 81b). Examinons une trace qui montre une session d’interaction avec ce système “questions/réponses” tiré de Carbonell (81:30):

```
(INTERPRET U.S.-CONSERVATIVE)
INPUT TEXT: Russia massed troops on the Czech border.
```

---

[13] Ces modélisations ont souvent les prétentions de l’IA dure, c’est-à-dire qu’elles entendent modéliser exactement les processus psychologiques qui ont lieu dans le cervau. Ils s’exposent ainsi à toute la critique contre l’IA symbolique et son “encodisme” (cf. la section 7-1.2 “Problèmes de l’IA symbolique” [p. 293]). En outre, on leur reproche d’omettre des tests psychologiques expérimentaux corrobérant certaines hypothèses comme l’existence de “primitifs de pensée” (les dépendances conceptuelles, Rieger 75 ou Riesbeck 75) ou encore la nature de structures de connaissances composites commes les scripts (Schank et Abelson 77) et les MOPs et TOPs (par ex. Schank 82, Schank, Lebowitz et Birnbaum 80).

[14] Il convient de mentionner également la “Goldwater machine” de Abelson (73). Beaucoup moins sophistiquée sur le plan technique, elle a eu une certaine influence en science politique car elle adressait pour la première fois en IA la modélisation des “systèmes de croyance” en utilisant un exemple politique.

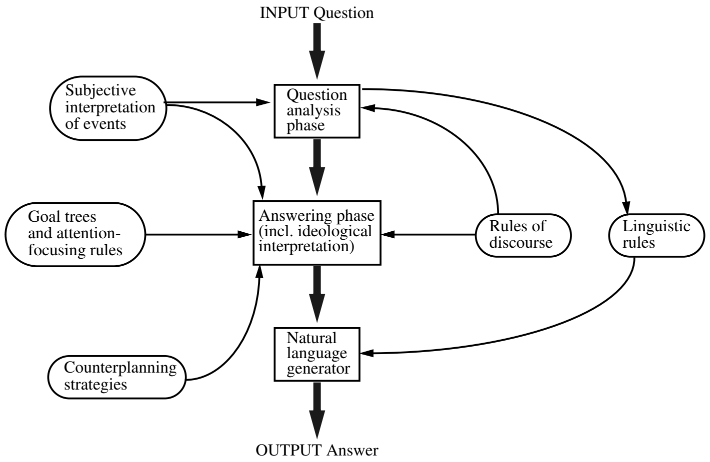


(Carbonell 81b:271)

Figure 4-7: Le Système “POLITICS”: la phase initiale

```
 INTERPRETATION COMPLETED, READY TO ACCEPT QUESTIONS.

Q1: Why did Russia do this?

A1: BECAUSE RUSSIA THOUGHT THAT IT COULD TAKE POLITICAL
    CONTROL OF CZECHOSLOVAKIA BY SENDING TROOPS.

Q2: What will Russia do next?
A2: RUSSIA MAY TELL ITS TROOPS TO START THE INVASION

Q3: What else can Russia do?
A3: RUSSIA MAY WAIT FOR CZECHOSLOVAKIA TO GIVE IN TO RUS-
    SIAN DEMANDS.

Q4: What happens if Czechoslovakia does not give in?
A4: RUSSIA MAY DECIDE TO START THE INVASION.

Q5: What should the United States do?
A5: THE UNITED STATES SHOULD INTERVENE MILITARILY.

Q6: What else can the United States do?
A6: THE UNITED STATES CAN DO NOTHING, OR IT CAN INTERVENE
    DIPLOMATICALLY BY CONFERRING WITH RUSSIA ABOUT CZECHO-
    SLOVAKIA. THESE ALTERNATIVES ARE BAD FOR THE UNITED
    STATES.
```

Carbonell appelle ce modèle un “integrated understander”. Dans une première phase, le système tente d’analyser la structure superficielle de l’entrée (“Russia massed troops on the Czech border”). Ensuite, le système tente une interprétation idéologique et politique de cet événement. Cf. l’illustration dans la figure 4-7. Cette modélisation s’appuie sur des connaissances idéologiques générales et sur des connaissances conjoncturelles qui sont modélisées respectivement par des arbres de buts et des “scripts”. Un “script” est une structure de connaissances canonisée représentant de façon prototypique l’enchaînement d’événements dans des situations-type. Une



(Carbonell 81b:272)

Figure 4-8: Le Système “POLITICS”: la phase de questions/réponses

fois qu’une situation est “interprétée” en l’intégrant dans un script, d’autres processus de raisonnement peuvent se déclencher comme des règles de contre-planification. Par exemple, si on dit au système que la Russie construit un nouveau sous-marin, le système infère d’abord qu’elle essaye de renforcer sa puissance militaire, mais également que cela entre en conflit avec le but américain de maintenir sa supériorité militaire. Finalement ce constat doit amener à des recommandations sur ce qu’il faut faire, en termes de Carbonell: comment contre-planifier.

Dans une deuxième phase, le système met à disposition une sorte de “Turing Test” pour permettre la validation de ses inférences. Le mécanisme. est illustré dans la figure 4-7. Le fonctionnement du système de Carbonell est assez compliqué à comprendre. Il n’était pas destiné au modéliseur en science politique, mais à ceux qui explorent les mécanismes de la compréhension du langage naturel. Toutefois, ce système a fortement inspiré un certain nombre de modélisation en sciences politiques, dont PIE que nous allons brièvement présenter ci-dessous.

PIE

PIE (Thorson: 82,84) modélise les inférences intentionnelles en relations internationales. Ce système tente de modéliser l’interprétation d’événements politiques par un acteur individuel ou collectif. Fréquemment, un décideur politique attribue des intentions à une entité comme un Etat. Voici la définition de l’intentionnalité par Thorson (82:280): “[...] a system can be considered intentional if that system’s behavior can frequently be understood by predicating a collection of beliefs, desires, hopes, goals, policies, and so on to that system”. PIE effectue des inférences intentionnelles en utilisant ses connaissances politiques pour inférer des connaissances sur les intentions d’un système. Comme les connaissances politiques prennent souvent la forme de croyances et comme elles sont très contextualisées les auteurs de PIE partent de l’idée que l’inférence politique est très différente de celle utilisée en logique. Elle dépend beaucoup plus des connaissances (associations) que d’un raisonnement de déduction logique.

Pour représenter les connaissances politiques, les auteurs utilisent une grammaire de cas de type “conceptual dependency” (cf. Schank 75) utilisée aussi dans le système POLITICS et dans un modèle antérieur nommé “JFK/CBA” (cf. Thorson et Sylvan 82). Les expressions élémentaires sont appelées “knowledge kernels” (Thorson 82: 288-292). Ces “noyaux” sont ensuite interprétés par un moteur d’inférence spécialisé en fonction d’un certain contexte. Plus précisément, PIE prend comme entrée une affirmation (un “kernel”), demande à l’utilisateur un contexte d’interprétation, cherche une règle d’inférence et essaye de l’appliquer au “kernel” pour en déduire un nouveau “kernel”. Il fonctionne donc comme un système expert à chaînage avant. Il existe toutefois certaines différences, comme la contextualisation des règles et une certaine souplesse en ce qui concerne les variables non-instantiées dans le “kernel” qui doit correspondre au côté gauche de la règle.

PIE a été utilisé pour modéliser la crise des missiles cubaines. Grâce au mécanisme de contexte, il permet de modéliser les différentes perceptions des acteurs impliqués dans cette crise. Chaque acteur (le président, l’analyste d’un service secret, etc.) travaille dans un contexte qui lui est propre. PIE est donc un outil qui montre comment s’attaquer aux problèmes de différences de perception qui peut exister au sein d’une organisation. En réutilisant les “kernel” produits par un “context” dans un autre, on peut modéliser d’une certaine façon des chaînes d’interprétation dans l’organisation.

4-5.3 Un modèle de planification: JESSE

JESSE, le “Japanese Energy Supply Security Expert” (Sylvan, Goel et Chandrasekaran 89) est un produit de collaboration entre politologues (Donald Sylvan) et chercheurs en IA (Chandrasekaran). Il s’agit probablement de la modélisation du décideur politique la plus complexe effectuée jusqu’à présent. JESSE met en oeuvre la théorie des tâches génériques (angl.: “generic tasks”) de Chandrasekaran (87) qui tente la modélisation des tâches de résolution de problèmes par des acteurs à rationalité limitée (“bounded”) opérant dans un contexte d’informations et de ressources limitées (cf. Simon 69,85). JESSE s’insère donc dans la tradition de la psychologie du traitement de l’information. Le système repose à la fois sur un formalisme (ou langage) applicable à d’autres domaines et sur l’encodage du contenu spécifique à une situation de décision. Nous n’allons pas discuter ici le modèle des politiques japonaises liées à l’énergie, mais simplement donner un aperçu de l'architecture du système.

La théorie des tâches génériques (Chandrasekaran 87) énonce que la stratégie la plus efficace pour résoudre des problèmes dans un contexte d'informations et de ressources limitées consiste à factoriser la tâche en un ensemble de tâches génériques plus simples. Une tâche générique correspond à un savoir-faire élémentaire (angl.: "building block") intelligent comme la classification ou la sélection de plans. Elle peut être spécifiée par l'information d'entrée qu'elle "accepte" et le type de sortie qu'elle produit. Son contenu se définit par les types de connaissances, d'inférence et de contrôle dont elle a besoin pour effectuer efficacement le calcul entrée -> sortie. JESSE met surtout en oeuvre ce que les auteurs appellent le "situation-reactive routine planning" (Sylvan, Goel et Chandrasekaran 89:15). Les acteurs modélisés ont à leur disposition un ensemble de plans partiels indexés par rapport à des situations spécifiques de l'environnement. Dans cette modélisation, les buts de l'acteur jouent un moindre rôle, ils sont implicitement présents dans la façon de récupérer ces plans dans la mémoire.

Le système dans une première étape classifie l'état de l'environnement selon deux axes: la description de la situation d'offre énergétique au Japon et la description de la situation des relations externes. Les concepts construits durant cette phase initiale d'analyse sont par la suite combinés dans un index permettant de choisir un plan optimal pour réagir à la situation.

Les modules de classification représentent une collection d'hypothèses attachées à des "frames" qui permettent de calculer une valeur de probabilité pour chaque hypothèse (ou concept). Un "frame" contient des règles d'inférence, des listes de sous-hypothèses nécessaires (à choix) et des actions à effectuer. Les hypothèses sont donc arrangées sous la forme d'un arbre hiérarchique. Les hypothèses principales dépendent d'autres, et sont calculées selon une méthode de "establish-refine". Des informations incomplètes produisent des valeurs de probabilités plus basses. Chaque concept du système est potentiellement accessible par tous les "frames" dans tous les modules. Au départ du processus de raisonnement, la plausibilité, pour chaque concept est très basse et pourra augmenter tout au long du traitement.

Le choix des plans appropriés se fait selon une méthode "instantiate-expand" (Sylvan, Goel et Chandrasekaran 89:23). Le système possède un seul plan principal "anticipatory policy" qui peut s'instantier en plusieurs plans d'action regroupés dans les trois ensembles de politiques "ajustement unilatéral", "relations bilatérales" et "management multilatéral". Un plan s'instancie quand il est sponsorisé par des concepts dans l'index mentionné ci-dessus. Chaque plan sponsorisé et supérieur dans la hiérachie est développé (angl.: "expanded") en instantiant des plans inférieurs. Chaque sponsor est une sorte de schéma qui permet de calculer en fonction des concepts connus (et de leur plausibilité) s'il est approprié à une certaine situation. Le résultat final de cette chaîne de raisonnement est une série de recommendations d'actions.

4-5.4 La modélisation de relations constitutives en politique

David Sylvan et Stephen Majeski (Sylvan et Majeski 94, Majesky et Sylvan 93) modélisent la constitution de décisions par un groupe de décideurs partageant une certain "culture" de décision commune. Ils postulent que la politique de sécurité des Etats-Unis est, depuis la deuxième guerre mondiale, le fruit du travail d'un petit groupe de décideurs relativement autonome et largement cohésif. Ils ont en commun une culture sur la diplomatie et la guerre qui est caractérisée par une philosophie de "problem solving", d'argumentation et de "gestion d'empire" (cf. Majeski et Sylvan 93: 3). Cette "culture de résolution de problèmes" se caractérise par trois aspects: la construction de recommendations (pour une politique), le choix entre recommendations (pour une politique) et la réouverture d'un débat (en faveur d'une autre politique).

Les auteurs accordent une grande importance aux relations constitutives, c'est-à-dire "how phenomena are put together so as to comprise other phenomena" (Majeski et Sylvan 93: 0). Leur objet d'analyse n'est pas le processus cognitif, mais les "théories sur le monde" exprimées verbalement par les décideurs. La catégorie analytique centrale est la "recommendation" qui possède la forme d'une énumération de problèmes de décision et de possibles solutions. Certaines recommendations concernent la politique courante, d'autres font référence à d'autres recommendations (c'est-à-dire l'adoption potentielle d'autres politiques). Les recommendations font partie d'une ligne de politique (angl. "policy line"). Ces lignes sont constituées ou abandonnées pendant des phases de décision (angl. "policy making phases") qui peuvent durer entre quelques heures et plusieurs mois. Souvent, des lignes de politiques alternatives peuvent subsister, il s'agit d'évocations parmi les alternatives virtuelles de l'espace de politiques (angl. "policy space"). Elles sont accompagnées de recommendations qui militent pour l'abandon de la politique couramment adoptée.

La technique de modélisation utilisée s'inspire d'une "herméneutique" de production de texte par transformation de texte. Autrement dit, la logique de modélisation est la suivante: on essaie de reconstruire les grammaires avec lesquelles les décideurs construisent le monde, c'est-à-dire comment ils définissent des phénomènes à l'aide d'objets et de relations, comment ils les traitent en y associant d'autres constructions symboliques et en en construisant de nouvelles.

Les opérations de prise de décision sont des opérations sur des textes (tels que enlèvements, copies, insertions, combinaisons). Une première volée de simulations prend comme input des descriptions de situations empiriques pour en créer des recommendations de politiques. La qualité de simulation est très bonne: Dans 81 cas sur 86 modélisés les recommendations produites par le système correspondent aux recommendations empiriques. Une deuxième volée très récente travaille avec des situations contre-factuelles et donnera sans doute des bons résultats prédictifs. Ce type de modélisation a permis aux auteurs de formuler une théorie pertinente sur la nature de la prise de décision dans le milieu des décideurs de la politique de sécurité et de formuler avec précision une étude de la politique des Etats-Unis au Vietnam. Cette étude est intéressante sur le plan méthodologique pour deux raisons: Le modèle possède une très bonne fiabilité avec les données empiriques et il ne possède aucune prétention sur les processus cognitifs de décision, tout en sauvegardant la dimension de *contenus* interprétés, produits et communiqués par des agents humains.

4-5.5 La modélisation du décideur individuel et collectif

Notre modélisation de l'application d'une loi par une instance de décision administrative (chapitre 5 "La modélisation d'une décision administrative par le génie cognitif" [p. 175]), ainsi que d'autres modélisations comme PIE ou JESSE, montrent qu'il est possible et utile d'avoir recours aux techniques IA pour construire des modèles du décideur politique. Toutes ces modélisations montrent qu'il faut choisir le bon niveau d'abstraction (la profondeur et la "granularité" de modélisation) et qu'il convient d'utiliser des techniques IA adaptées à chaque type de décision, quitte à utiliser des techniques hybrides.

La modélisation des décisions qui font référence à des règles (dans le monde réel) comme la mise en oeuvre d'une loi est certainement plus simple que la modélisation de la "grande politique". Cette dernière ne suit pas forcément des règles précises et ce qui est paradoxalement plus difficile: elle fait référence à la "pensée commune". Toute modélisation (IA ou non) est beaucoup plus simple lorsqu'il s'agit d'un domaine structuré où "interprétation", "croyances", "bon sens" etc. jouent un rôle moins important. De plus, la "grande politique" se caractérise aussi par sa fonction intégratrice des sous-systèmes politiques et sociaux avec leurs "langages" très spécialisés. Un gouvernement par exemple doit raisonner à l'intérieur (et sous contrainte) de l'économie, du droit, de l'idéologie et d'une logique de rapports de forces politiques (parlement, groupes de pression, électorat) etc. Comme le montre le modèle JESSE, il est possible de modéliser la politique d'un gouvernement à un certain niveau d'abstraction, mais il sera sans doute impossible de faire des modèles globaux au niveau de l'analyse de la psychologie de l'information.

La valeur prédictive de la plupart des modèles est assez faible sur une période plus longue. Cela ne tient, à notre avis, pas seulement au niveau actuel des techniques de modélisation. Ce reproche peut être adressé à l'ensemble des sciences sociales. Peu de changements politiques, économiques ou sociaux majeurs ont été prédits par des théories jusqu'à présent. Il y a tout simplement trop de variables à gérer et on ne sait pas bien comment elles sont connectées lorsque le système étudié est sous pression[15] ou

lorsqu'il change d'état. En termes systémiques, il est possible de décrire un système en équilibre relatif, mais impossible de dire ce qui se passe après un déséquilibre car le système se réorganise et ceci selon des principes incontrôlables.

Un premier pas pour améliorer la qualité prédictive des modèles du décideur est d'y inclure son environnement de décision. En jouant sur les paramètres de l'environnement et en l'insérant dans un modèle de système d'acteurs, on peut tester un modèle de façon plus systématique. En même temps, le modéliseur doit expliciter ses a-priori en ce qui concerne la nature de l' "input" que le modèle est capable de digérer. Cela sera le sujet du chapitre chapitre 6 "Le décideur, son organisation et son environnement" [p. 237].

---

[15] A titre d'exemple, nous pouvons citer le débat sur le gouvernement suisse, que certains considèrent être très faible. On lui reproche souvent de n'être qu'une sorte de médiateur entre groupes de pression. Toutefois, il faut aussi constater que ce même gouvernement s'est montré très ferme (en faisant créer des arrêtés d'urgence dérogeant à la constitution) lors de la crise monétaires en 1973 ou encore pour forcer le système (surtout les cantons) à adopter une politique d'aménagement du territoire.

chapitre 5

La modélisation d'une décision administrative par le génie cognitif

Dans ce chapitre, nous allons explorer la façon dont on peut modéliser une pratique juridico-politique d'une administration sous l'influence d'une politique cantonale. Par la suite, nous montrons l'utilité d'une modélisation des décideurs à l'aide d'un système expert.

Dans un premier temps, il apparaît que la construction d'un système IA force le chercheur à être systématique et complet. Dans un deuxième temps, un tel programme permet de mieux faire apparaître les aspects "intéressants" de la décision.

5-1 Les systèmes expert et un problème de modélisation

Avant de tenter la modélisation d'un fonctionnaire qui doit appliquer une loi à des cas sous certaines contraintes économiques et politiques, nous allons brièvement présenter la notion de "système expert", la loi en question, ainsi que la modélisation du raisonnement juridique à l'aide de règles.

5-1.1 La modélisation par un "système expert"

La modélisation de la connaissance exige une méthodologie qui va au-delà d'une simple utilisation d'une technologie. En intelligence artificielle (IA), il existe trois tendances principales de recherche: (1) l'IA appliquée cherche à construire des systèmes aptes à résoudre une certaine tâche. Le système expert fait partie de cette catégorie. Son succès est mesuré par des critères "superficiels": un système est bon, s'il peut résoudre efficacement un certain nombre de tâches. A cela, on rajoute des critères de transparence et d'élégance pour la structure du système. On désire voir "pourquoi" et "comment". (2) L'IA "pure" tente de modélisation l'intelligence. Le critère de succès est de savoir si le programme (sa structure et son fonctionnement) est un bon *modèle* pour un certain aspect d'intelligence (par exemple l'apprentissage). (3) L'IA orientée sciences cognitives tente de modéliser certains aspects observables du comportement humain. Le critère de succès est à la fois mimétique (simulation du comportement en question) et structurel (est-ce que le système fonctionne comme l'humain?). Souvent, ces trois tendances ont en commun la volonté de construire des systèmes composés d'éléments qui ont du sens (angl.: meaning), c'est-à-dire des représentations que l'on peut manipuler avec des mécanismes d'inférence. D'une façon plus générale, on peut dire qu'il s'agit de systèmes informatiques qui modélisent quelque chose d'observé ou de postulé dans un système intelligent. Autrement dit, on y représente soit des connaissances soit des mécanismes dont la connaissance peut émerger ou une combinaison des deux. La différence entre IA appliquée et IA non-appliquée n'est pas toujours fondamentale. L'IA appliquée ne cherche pas à être fidèle à des connaissances de la psychologie et elle ne cherche pas forcément à être intelligente. Comme on l'a dit, son critère principal est celui de la performance.

La modélisation IA dans les sciences sociales se situe quelque part entre ces trois tendances de recherche. Un système intéressant pour la science politique doit modéliser une classe de phénomènes plus large qu'en sciences cognitives. On ne demande pas nécessairement si un tel système modélise avec fidélité tous les processus cognitifs impliqués dans une tâche. On se "contente" d'un système qui reproduit des actions internes et externes à un certain niveau d'abstraction. Avec les modèles IA en sciences cognitives, on a en commun la recherche d'une certaine homomorphie structurelle et fonctionnelle, mais qui n'a pas un niveau de description très élevé. Avec les systèmes expert (l'IA appliquée dominante), on a en commun la volonté de construire des systèmes complets par rapport à un domaine de tâches. On exige aussi qu'ils soient maniables et transparents. Cela implique aussi que l'on préfère utiliser des techniques modulaires et simples comme celles utilisées pour les systèmes expert.

Notre penchant pour la technologie des systèmes expert n'est pas uniquement le résultat de sa facilité relative d'emploi. Outre un grand nombre de logiciels disponibles sur le marché commercial et académique, il existe aujourd'hui un savoir-faire bien documenté sur le génie cognitif, appelé aussi "ingénierie de la connaissance" (angl. "knowledge engineering")[1]. La philosophie de la séparation des connaissances du moteur d'inférence est utile pour le modéliseur en sciences politiques. Elle permet de bien identifier la couche du modèle qui possède un intérêt théorique: les formalismes utilisés pour représenter des connaissances sont relativement relativement "abordables" pour un non-informaticien. Ainsi, le contenu d'un modèle peut être examiné au-delà d'un cercle restraint de chercheurs en IA.

5-1.2 L'acquisition d'immeubles par des étrangers

La législation sur l'acquisition d'immeubles par des étrangers (LAIE) a été créée le 23 Mars 1961 sous forme d'arrêté fédéral. Plus connue sous les noms de Lex Von Moos, Lex Furgler ou Lex Friederich, elle a subi des révisions fréquentes et substantielles à plusieurs occasions. Le 16 décembre 1984, la LAIE été transformée en loi permanente. Nous avons choisi la LAIE comme "matériel de modélisation" pour plusieurs raisons: l'auteur a participé à une recherche sur la mise en oeuvre de la LAIE dans 3 cantons (cf. Delley, Derivaz, Mader, Morand, Schneider 82 et 84). Nous possédions un bon matériel source sous forme de décisions et d'entretiens en profondeur. La LAIE est une loi intéressante à la fois à cause de sa complexité, sa façon de combiner plusieurs dispositifs juridiques et son caractère ouvert. La LAIE peut être comprise comme un ensemble de règles légales. Elle fait se greffer une procédure administrative sur des contrats de droit privé. Elle prescrit un certain comportement pour certains acteurs économiques sous la menace de sanctions. Toute personne ayant un domicile à l'étranger désirant acquérir un immeuble en Suisse est tenu de demander l'autorisation à une instance cantonale. Dans l'ensemble, la LAIE combine des éléments d'intervention de droit administratif, civil et pénal.

---

[1] Pour une discussion plus détaillée du génie cognitif (des concepts comme "knowledge engineering" et "knowledge engineer", etc.), c.f. la section 7-2 "La modélisation IA et le génie cognitif" [p. 303].

Le décideur administratif et le gouvernement local qui cautionnent une certaine interprétation de la loi doivent tenir compte de critères politiques et économiques locaux. Ainsi la loi devient cadre ou contrainte de décision interagissant avec d'autres contraintes qui seront intéressantes à modéliser. La LAIE elle-même est un objet très important dans la politique suisse. Depuis sa genèse, elle est source de beaucoup de conflits. Le créateur de cette loi (le parlement fédéral) n'a jamais été en mesure de définir exactement la nature du problème et ce que la LAIE aurait à résoudre. En conséquence, le but de la LAIE a été largement déterminé par les "utilisateurs" locaux. Des contraintes économiques et politiques très différentes dans les divers cantons ont conduit à des interprétations variées et conflictuelles que l'administration cantonale n'a jamais réussi à harmoniser comme elle le souhaitait.

Dans ce chapitre (cf. la section 5-4 "La dimension politique dans l'application d'une loi" [p. 207]), nous allons modéliser l'application de la Lex Furgler sous cet angle économico-politique. Nous allons tenter la modélisation d'un fonctionnaire qui doit appliquer cette loi à des cas sous certaines contraintes économiques et politiques. Toutefois, il convient de rappeler que le but de notre travail est méthodologique et que toute modélisation dans ce cadre n'est qu'une étude de faisabilité et une exploration méthodologique.

5-1.3 Règles et raisonnement juridique

Le droit est un médium important du pilotage politique. Le fonctionnaire qui doit appliquer une "politique" fait constamment référence à des lois et autres dispositions juridiques. Dans le cadre d'une modélisation d'un décideur-fonctionnaire, il est important de pouvoir "capturer" la partie substantielle de ce cadre légal. On peut relativement facilement traduire une législation (loi et arrêtés d'exécution) en forme de règles. Ces règles, interprétées par un "moteur" informatique peuvent être appliquées à des faits résumant un cas de décision. Ce type de simulation ne prétend pas modéliser la façon dont un décideur raisonne. Il s'agit d'un modèle analytique ayant une valeur intersubjective: c'est-à-dire qu'il nous permet de simuler une décision et de donner des raisons de décision que le décideur lui-même jugerait acceptables.

Un décideur administratif ne consulte pas les règles juridiques chaque fois qu'il doit traiter un cas. Souvent il utilise des recettes "compilées" qui ne nécessitent pas de travail déductif. Parfois, il fonde son raisonnement sur d'autres cas qui serviront de prototypes. Ces cas sont tirés de sa propre "jurisprudence", ou ce sont des cas exemplaires (par exemples les cas jugés par des instance supérieures et les tribunaux) ou encore il s'agit de cas exemples préparés par d'autres acteurs. Même si le décideur utilise des règles pour son raisonnement, il le fera d'une façon plus efficace et directe que nous allons le faire dans notre modèle. Dans tout raisonnement humain, il y a également une partie de raisonnement analogique, voire carrément associatif. La modélisation du raisonnement par analogie et par association est un domaine de recherche intéressant, mais sa modélisation s'avère très difficile, étant donné qu'il n'est pas facile de dire ce qui constitue une bonne analogie ou une bonne association.

```
prémisse majeure: SI    <fait juridique1>, <fait juridique2>, ....
                  ALORS <conclusion juridique>
prémisse mineure: SI    <fait concret1>  ALORS  <fait juridique1>
                  SI    <fait concret2>  ALORS  <fait juridique2>
                           .......
  conclusion:        SI <faits concrets> ALORS <conclusion juridique>
```

Figure 5-1: Le syllogisme de base

L'utilisation de règles n'empêche pas la modélisation de tenir compte de la jurisprudence. Le modéliseur doit "simplement" extraire des régularités dans ces décisions et il doit les traduire en forme de règles. En somme, notre modélisation se veut "analytique-cognitiviste". Un décideur doit pouvoir se reconnaître dans un ensemble de règles. Autrement dit, il devrait être en mesure de reconnaître sa décision par l'application des règles que nous utilisons dans le modèle. En d'autres termes, les règles d'un modèle constituent donc une sorte d'interface entre les données que possède le chercheur et les structures cognitives du décideur. On peut donc le valider intersubjectivement.

5-1.4 La traduction d'une loi en forme de règles

Une règle juridique contient deux parties logiques: (1) la condition (ou proposition conditionnelle) teste l'existence d'un ou plusieurs faits juridiques. Elle indique si la règle peut être appliquée. (2) La conséquence (dispositif) contient les conséquences juridiques qui vont de pair avec un fait juridique.

Règle:

SI <faits juridiques> ALORS <conséquence juridique>

Ce principe est très simple. Toutefois, les notions de "fait juridique" ou de "conséquence juridique" ont une signification très large. Par exemple, un fait juridique peut concerner d'autres règles, des décisions d'institutions, des faits au sens propre du terme, etc. Une conséquence juridique peut avoir des effets sur d'autre règles, sur le comportement de personnes, etc. Dans le cadre d'un raisonnement juridique, appliquer une règle juridique signifie la transposition d'une décision en quelque sorte inhérente vers un cas concret. Le processus de déduction va donc de l'abstrait vers le concret et du général vers le particulier.

L'essentiel de ce raisonnement déductif peut être exprimé avec un syllogisme simple comme dans la figure 5-1: il contient 2 prémisses et une conclusion. La première clause est appelée "prémisse majeure". Elle contient la règle juridique, c'est-à-dire un ensemble de faits juridiques et un ensemble de conclusions (dispositif juridique). La seconde clause sert à mettre en correspondance des faits concrets et des faits juridiques. Dans le cas de ce syllogisme simple, on peut dire que le raisonnement juridique consiste à trouver une règle qui peut être appliquée à des faits.

En réalité, le raisonnement juridique est beaucoup plus complexe. Il nécessite l’enchaînement de syllogismes juridiques. Les conditions de la plupart des règles exigent explicitement ou implicitement l’application d’autres règles. Donc, outre le problème de la mise en correspondance de faits juridiques et de faits réels, il faut trouver une chaîne de raisonnement juridique. Il existe plusieurs méthodes pour enchaîner l’application de règles juridiques: les deux les plus fréquantes correspondent aux chaînages avant et arrières déjà discutés dans chapitre 4 “La modélisation des processus cognitifs”.

La première méthode (le chaînage avant) consiste à identifier les faits juridiques élémentaires qui découlent directement de la description d’un cas et ensuite de voir ce qu’ils impliquent. On part de la description des cas pour aboutir à une “qualification” juridique de ces faits empiriques. Cette procédure est efficace si l’on soupçonne déjà le type de solution et si l’on possède une description complète du cas qui permet de déduire tous les faits juridiques élémentaires nécessaires à l’aboutissement du raisonnement. Le danger de cette méthode réside à faire un grand nombre de conclusions inutiles avant d’arriver à la conclusion finale qu’il nous faut.

La deuxième méthode consiste à utiliser une procédure de chaînage arrière. On tente d’abord d’identifier la ou les règles les plus générales dans le code juridique. Ensuite, on cherche d’autres règles qui permettent de prouver les conditions de ces règles. On continue récursivement ce processus jusqu’à ce qu’on aboutisse aux faits empiriques. Cette méthode est efficace si le nombre de solutions (conclusions juridiques) n’est pas trop élevé et/ou si les règles possèdent une organisation hiérarchique comme c’est fréquemment le cas en droit.[2]

Il va de soi que l’on peut combiner ces deux méthodes. Dans les modèles Lex discutés dans ce chapitre, nous utiliserons essentiellement une forme statique de chaînage arrière avec quelques éléments de chaînage avant pour diriger la recherche.

---

[2] Voir par exemple la modélisation du “British Nationality Act” par l’équipe de Kowalski (Sergot et al. 1996) comme “programme logique” à l’aide du langage Prolog.

5-2 Les architectures “Mycin”

La méthode “Mycin” a fait ses preuves dans de nombreux domaines d’application qui nécessitent un raisonnement de type diagnostic ou classification. Nous allons discuter cette méthode avec quelque détail afin de donner aux personnes non-familières avec l’IA une idée complète de ce qu’est un système expert sur le plan technique.

“Mycin” est aujourd’hui un vieux langage, mais il n’a pas perdu son utilité. Mycin est une méthode de spécification d’un arbre de classification. Classifier, c’est-à-dire identifier un cas en fonction de certaines règles restera toujours une activité de décision très importante.

Le projet Mycin a débuté en 1972 et 25 années de travail ont été investies dans ce projet qui a duré plus d’une décennie. (cf. Buchanan 84:XI-XIX). Mycin, un système de diagnostic, était un des premiers systèmes expert. Son formalisme a été abstrait du domaine médical, et une coquille (angl. shell, ou générateur) de système expert a été vendue sous le nom de E-Mycin à partir de 1981. Par la suite, la méthode Mycin a fait ses preuves dans de nombreux domaines d’application qui nécessitent un raisonnement de type diagnostic ou classification. A l’heure actuelle, il existe plusieurs coquilles commerciales avec une interface facile sur micro-ordinateurs. Pour nos modélisations, nous avons travaillé avec un programme initialement conçu pour l’éducation et nous l’avons substantiellement transformé et amélioré pour nos besoins[3]. Notre logiciel porte le nom de SMYC. Un “dialogue” qui montre le fonctionnement de ce moteur d’inférence se trouve dans la Figure 5-2: “Une séance annotée avec M-Lex” [p. 184]. Avant de présenter les caractéristiques les plus importantes du langage Mycin, nous conseillons de lire cet exemple annoté. Le système pose ses questions avec des phrases pré-enregistrées et il suggère un certain nombre de réponses parmi lesquelles l’utilisateur doit choisir. Le texte entre parenthèses en français représente une série de commentaires que nous avions insérés ici pour expliquer le déroulement de la séance. Une session avec un modèle du type Mycin se déroule donc sous une forme de dialogue (ou d’interrogation) simple. Le contenu du modèle est représenté par des règles et le dialogue permet au chercheur de tester la validité du modèle. Dans notre système SMYC, il existe également la possibilité de soumettre au système des lots de cas pré-enregistrés afin de tester le modèle plus rapidement.

```
--> Was the buyer an indidividual or an artificial person, or an
    international organization/foreign state ?
    (Ceci est la première question posée par le système. Il veut savoir qui
a fait l’acquisition.)
--> Value should be any one of (ind art os) [ or nil if unknown ]
    (L’utilisateur peut entrer une des trois réponses possibles)
user ---> : IND

--> Enter a value for his name  (now it wants to know a name)
--> Value should be any atom or list of atoms. [ or nil if unknown ]
user ---> : A

--> Is there a acquisition for a ? (y or n)  yes or no?
    (Le système teste s’il existe une acquisition, pour activer d’autres
questions pour le contexte de l’acquisition)
user ---> : YES

--> Do you think that your acquisition might fall the under exception regime ?
    (Cette question permettra au système de couper court à une longue
     interrogation si il répond par oui. En effet, la plupart des
     autorisations tombent sous ce régime)
--> Value should be any one of (yes no) [ or nil if unknown ]
user ---> : YES

--> Did you exchange parts of ownership of the same building
    (Pour tester une possible exception au régime de l’autorisation)
--> Value should be any one of (yes no) [ or nil if unknown ]
user ---> : NO

--> Acquisition of a real-estate as replacement for an expropriation,etc. ?
--> Value should be any one of (yes no) [ or nil if unknown ]
user ---> : NO

--> Does the acquired real-estate replace one sold to a public institution ?
    (Une autre possibilité pour "échapper" au régime de l’autorisation)
--> Value should be any one of (yes no) [ or nil if unknown ]
user ---> : YES

CONCLUSIONS:
The acquisition is not subjected to the authorization system
Legal bases of the decision :   art7-f
```

Figure 5-2: Une séance annotée avec M-Lex

5-2.1 Le langage Mycin

Il existe plusieurs variantes du langage Mycin. On constate notamment de grandes différences en ce qui concerne les interfaces du développeur et de l’utilisateur. Notre logiciel SMYC (“Simulation-Mycin”) a été développé à partir de Mini-Mycin qui a été utilisé comme outil d’enseignement pour un cours d’intelligence artificielle au M.I.T. au début des années 80. Il s’agit ici d’un logiciel assez rudimentaire par rapport aux implantations commerciales courantes, toutefois grâce à la disponibilité du code source, on peut facilement l’adapter à des besoins spécifiques. Ainsi nous avons, par exemple, rajouté une forme de chaînage avant utile pour la modélisation de décisions juridiques ainsi que des outils pour analyser un modèle. En tout, nous avons à peu près doublé le code originalement reçu.

Le langage “Mycin” est assez facile à apprendre au plan de la syntaxe. Ceci est encore plus vrai en ce qui concerne les système commerciaux de la der-

---

[3] Ces modélisations ont été effectuées quand des versions commerciales du langage Mycin n’étaient pas encore disponibles à part E-Mycin qui se vendait très cher.

nière génération; la logique reste la même, mais l’interface et le langage de codage utilisé simplifient beaucoup de choses. Toutefois, il faut passer à travers une phase d’apprentissage et le premier système n’est pas facile à coder. La difficulté réside dans la sémantique d’une base de règles. Mais une fois cette étape franchie, les systèmes suivants seront construits avec beaucoup plus de facilité.

Un système de type Mycin vise à produire un diagnostic au sens large du terme. Diagnostiquer signifie essentiellement classer. Décider, dans le contexte d’un tel système, signifie donc analyser les attributs d’un cas, et ensuite le décrire avec un vocabulaire précis à la suite d’un processus de collection de données et de raisonnement. Un “cas” est décrit (et donc classé) par un nombre variable d’attributs, appelés **paramètres** dans Mycin. Chaque attribut peut avoir une ou plusieurs valeurs. Ces valeurs seront déterminées à l’aide de règles probabilistes. Les valeurs sont regroupées dans des **contextes**. Chaque cas est donc décrit par un certains nombre d’attributs qui peuvent être regroupés en plusieurs contextes. Les contextes servent à regrouper des paramètres selon certains critères logiques. Les paramètres et les contextes dans un modèle sont définis comme types abstraits. Ainsi, il est possible d’utiliser plusieurs instances d’un contexte pour décrire un cas. Pour chaque contexte, on définit un ensemble de paramètres et un paquet de règles qui permettent de déterminer les valeurs d’un certain nombre de paramètres représentant une solution.

Les contextes

Un système est composé de contextes organisés dans une structure arborescente. Au niveau le plus élevé dans cette hiérarchie, on peut faire figurer toutes les connaissances générales qui dépendent de celles des contextes inférieurs. Les connaissances comprennent des paramètres à déterminer pendant le processus d’inférence, ainsi que les règles nécessaires. Les connaissances spécifiques à un certain contexte seront donc insérées plus bas dans l’arbre, c’est-à-dire au niveau du contexte en question. Les contextes ont une fonction structurante dans plusieurs sens:

1. en organisant les données d’un cas, les contextes permettent de structurer un problème. Dans certains systèmes, ils représentent les parties physiques d’un objet, dans d’autres il s’agit d’éléments logiques.
2. d’une façon plus restrictive, on peut utiliser des contextes pour structurer les composantes d’un cas.
3. les contextes permettent de réduire et de diriger la recherche d’une solution. Les règles d’inférence ne recherchent de l’information que dans leur propre contexte ou dans des contextes inférieurs.

On voit une partie de la définition d’un arbre de contexte du système M-LEX dans la Figure 5-3: “Définition d’un arbre de contexte” [p. 186]. On voit implicitement que le contexte “top” possède trois contextes inférieurs: “acquisition”, “person” et “motive”. Dans la base de données des contextes, on entre de l’information pour chaque contexte. Avec des expressions

```
(belongs-to acquisition  top)           ; the sub-context acquisition is a
  (type       acquisition  single)        ; child of top and it is single
     (belongs-to exception     acquisition) ; exception is a child of
     (type       exception     single)      ; acquisition, it is single
     (type       exception     inferred)    ; and inferred
  (belongs-to person  top)
  (type       person  single)
  (belongs-to  motive top)
  (type        motive single)
     (belongs-to m-personal motive)
     (type       m-personal single)
     (type       m-personal inferred)
```

Figure 5-3: Définition d’un arbre de contexte

du type

`(belongs-to <contexte fille> <contexte parent>),`

on définit les relations de hiérarchie entre les contextes. Dans SMYC, nous utilisons deux autres attributs pour caractériser les contextes. Pour empêcher que le système tente d’instancier les contextes en plusieurs exemplaires, on peut le définir comme “single”, et pour empêcher que le système ne demande s’il faut instancier un contexte, on peut le déclarer “inferred”. Normalement, le système Mycin était conçu pour demander à l’utilisateur s’il voulait créer un contexte lorsqu’il rencontrait le premier paramètre dont il fallait déterminer une valeur. Ceci n’a de sens que s’il peut exister plusieurs instanciations d’un même contexte, nécessaire dans le système original de Mycin, mais pas toujours utile dans notre travail.

Les paramètres

Les attributs qui permettent la description d’un cas sont appelés **paramètres**. Les paramètres forment le squelette à partir duquel on définit un cas dans un espace de solutions. Cet espace est défini et limité par l’ensemble des valeurs que peuvent prendre ces paramètres. Ainsi dans Mycin, il faut distinguer entre la définition d’un paramètre et un attribut spécifique (un paramètre instancié). Le modéliseur doit indiquer pour chaque paramètre quel type d’information il représente, et quelle est son utilisation durant une “consultation” du système. Voici le type d’information qu’il faut fournir:

1. <u>le type d’information</u>: “oui/non”, valeur unique, ou valeurs multiples. Un paramètre “oui/non” (YesNo dans Mycin) définit un prédicat binaire qui peut être juste ou faux. Par exemple, une personne est “étrangère” ou “non étrangère”. Un paramètre à valeur unique (Single en Mycin) peut prendre une valeur parmi une liste de valeurs mutuellement exclusives. Toutefois, pendant le processus d’analyse, le système peut attribuer des probabilités à plusieurs valeurs simultanément et choisir la plus probable (une fois l’évaluation d’un paramètre terminée). Il existe aussi des paramètres à valeurs multiples. Dans ce cas le système tient compte de toutes les valeurs dépassant un certain seuil de probabilité
2. <u>les valeurs possibles:</u> la réponse que peut fournir l’utilisateur d’un système expert.

```
(defparm   <name> <type> <value-type> <context>
           { <inference-type> } { <print-string>}

   <name>          =       literal
   <type>          =       YESNO   SINGLE   MULTI
   <value-type     =       (list of values) | ANY        for SINGLE/MULTI
                   =       (YES NO)                      for YESNO
   <context>       =       literal
   <inference-type> =      MAINPROP   INFERRED   LABTYPE NORMAL
   <print-string> =        “string”

Exemples:

  (defparm *t-aut-reg yesno (yes no) top inferred)

  (defparm *r-ty single (house land appartment factory) top
           labtype "Of what kind is the acquired real estate ? ")
```

Figure 5-4: La définition d’un paramètre dans SMYC

Il existe quatre possibilités: (1) un nombre, (2) une liste de valeurs possibles, (3) une réponse “libre”, et (4) “oui” ou “non” pour les paramètres YesNo. Les réponses libres sont peu utilisées, car difficiles à traiter dans la logique de Mycin.

3. l’utilisation pendant le processus d’inférence: est-ce que les valeurs sont demandées à l’utilisateur ou inférées par le moteur d’inférence? (1) Les “LabType” sont fournis par l’utilisateur. (2) Les paramètres “Inferred” et “normal” sont d’abord “à la charge” du moteur. S’il n’arrive pas à trouver une réponse, elle sera demandée à l’utilisateur. (3) La dernière catégorie que nous allons mentionner ici sont les “Mainprops”, les paramètres principaux qui caractérisent un contexte et dont les valeurs sont demandées automatiquement à l’utilisateur lors de la première création d’un contexte.
4. un “prompt” pour l’utilisateur qui sera affiché lorsque le système demande à l’utilisateur de rentrer une valeur.
5. finalement chaque paramètre doit avoir un nom unique et il doit être attaché à un contexte spécifique.

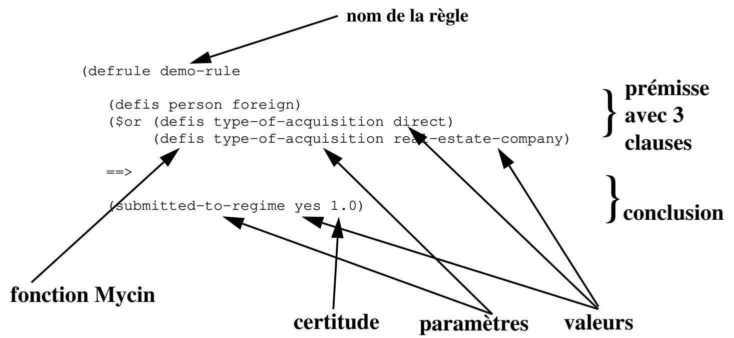
Dans notre système SMYC, nous utilisons une syntaxe simple en forme de liste pour définir un paramètre. On donne une définition plus formelle de cette syntaxe[4] dans la figure 5-4.

Les règles, un premier aperçu

Une règle Mycin comprend normalement une prémisse contenant un ensemble de clauses et une conclusion simple. Ces clauses sont des conjonctions, elles doivent être toutes “vraies” afin de “prouver” la conclusion. Une clause contient soit des “fonctions Mycin” soit des disjonctions de clauses (une chaîne de clauses dont une doit être vraie). Examinons un exemple en langage “naturel”:

---

[4] Cette syntaxe peut être considérée comme désuète aujourd’hui. Les interfaces modernes permettraient de rentrer facilement des expressions plus près du langage naturel. Toutefois, pour ne pas devoir reprendre tous nos modèles, nous avons gardé la syntaxe initialement conçue pour SMYC.



```
(defrule demo-rule

   (defis person foreign)
   ($or (defis type-of-acquisition direct)
        (defis type-of-acquisition real-estate-company)

   ==>

   (submitted-to-regime yes 1.0)
```

Figure 5-5: Un exemple d’une règle SMYC

IF a person is foreign
and if a person acquires real-estate
or a company dealing with real-estate

THEN the person is subject to the authorization regime

Ce type de règle est encodé de façon très différente dans les différentes coquilles Mycin. Certaines offrent un langage de description très proche de l’anglais. SMYC est moins élaboré, il faut traduire cette règle dans une syntaxe plus formelle que nous allons introduire à l’aide de l’exemple montré dans la figure 5-5. Les clauses de la prémisse se trouve avant la flèche “==>” et la conclusion se trouve après. Chaque clause de prémisse simple est une liste de trois objets: Le premier élément est une **fonction** Mycin qui définit la relation entre le paramètre (2ème élément) et la valeur (3ème élément). Par exemple, “`(defis person foreign)`” veut dire qu’il faut avoir une certitude complète (la fonction “`defis`”) que le paramètre “person” possède la valeur “foreign”. Nous allons donner des détails dans les pages suivantes. Finalement, les paramètres doivent appartenir à un même contexte ou alors à des “parents” ou des “enfants” d’un contexte.

Le raisonnement probabiliste

Le mécanisme d’inférence de Mycin utilise un raisonnement probabiliste. Le modéliseur peut attacher un facteur de certitude à une conclusion (et par conséquent à une règle). Examinons la conclusion de la règle dans la figure 5-5. La clause “`submitted-to-regime yes 1.0)`” signifie que le paramètre “`submitted-to-regime`” obtient la valeur “`yes`” avec une certitude absolue “`1.0`” lorsque la prémisse est vraie avec une certitude absolue. “`1.0`” est donc le facteur de certitude de la règle.

La force de la conclusion dépend en outre de la certitude attribuée aux clauses de la prémisse. Lorsque le moteur d’inférence interroge un utilisateur (par le biais des paramètres du type “lab”), ce dernier peut assigner des probabilités à ses réponses en donnant des **facteurs de certitude** à une valeur. Notez les fonctions Mycin “`same`” dans la figure 5-6. Il s’agit d’une fonction qui retourne des valeurs probabilistes associées aux paramètres, probabilités qui seront utilisées pour calculer la force de la conclusion. Ainsi dans cet exemple, si l’utilisateur répond comme dans l’exemple suivant

```
> Please enter residence/nationality:
    (foreign 0.5)
```

cela veut dire qu’il attache une probabilité (facteur de certitute) de 50% à sa réponse. En conséquence, la conclusion ne dépassera pas en tout cas ce seuil. Les facteurs de certitude varient entre -1 et +1 couvrant toute la gamme entre la certitude absolue négative (-1), l’incertitude totale (0) et la certitude absolue (1).

Pour l’utilisateur d’un système écrit avec Mycin, il est également possible de rentrer deux valeurs alternatives ayant des probabilités correspondant à leur plausibilité. Dans le système M-Lex, nous n’utilisons pas de facteur de certitude dans les conclusions étant donné que les règles juridiques sont censées êtres claires. Par contre, en ce qui concerne la qualification de faits (réels) en termes juridiques, l’utilisation de probabilités est plus logique.

Les “fonctions Mycin”

Nous avons déjà rencontré les fonctions “same” et “defis”. Le principe d’une fonction Mycin est en gros le suivant: elle indique avec quelle certitude un paramètre possède une (ou plusieurs) valeur(s).

Les fonctions dites “Mycin func1” testent le degré de connaissance d’un paramètre. Elles sont utiles pour diriger le processus d’inférence dans une direction ou pour réévaluer un paramètre. Supposons qu’un paramètre “`nationality`” soit connu avec un facteur de certitude CF=1. La fonction “(`known nationality`”) retournera `1.0`, la fonction “(`definite nationality`)” retournera “`T`” (signifiant vrai), les deux autres fonctions “`notknown`” et “`notdefinite`” retourneront NIL (signifiant faux). Dans Mycin, les seuils de certitude de 0.2 et de 0.8 sont considérés comme importants. Tout facteur de certitude (CF) au-dessus de 0.2 signifie “connu d’une certaine façon” et tout CF au-dessus de 0.8 signifie “bien connu” (angl. “strongly suggestive”). Les paramètres “Yes/No” sont traités un peu différemment, car leur CF peut varier entre -1 et +1. “`(yes -0.2)`” signifie “`(no 0.2)`, etc.

Figure 5-6: Une règle SMYC ayant des clauses probabilistes

```
(defparm person single (foreign Swiss foreign-swiss) demo-context labtype
         “Please enter residence/nationality”)

(defrule demo-rule2
   (same person foreign)
   ($or    (same type-of-acquisition direct)
           (same type-of-acquisition real-estate-company))
   ==>
   (submitted-to-regime yes 1.0)
```

Fonction	Si...	retourne	sinon
Mycin “func1” fonctions:			
(KNOWN <parameter>)	CF > .2	CF	NIL
(NOTKNOWN ...)	CF <= .2	CF	NIL
(DEFINITE ...)	CF = 1	T	NIL
(NOTDEFINITE ...)	CF = -1	T	NIL
Mycin “func2” functions:			
(SAME <parameter> <value >)	CF > .2	CF	NIL
(THOUGHTNOT ...	CF < -.2	CF	NIL
(NOTSAME ...)	CF <= .2	T	NIL
(MIGHTBE ...)	CF >= -.2	T	NIL
(VNOTKNOWN ...)	|CF| <= .2	T	NIL
(DEFIS ...)	CF = 1	T	NIL
(DEFNOT ...)	CF = -1	T	NIL
(NOTDEFIS ...)	.2 < CF < 1	T	NIL
(NOTDEFNOT ...)	-1 <CF< -.2	T	NIL
Mycin numercial functions:			
(GREATER ...)	T	T	NIL
(LESS...)	T	T	NIL

Figure 5-7: Les fonctions “Mycin” pour les paramètres autres que “Yes/no”

Les fonctions “func2” testent si un paramètre possède une ou plusieurs valeur(s) avec un certain seuil de certitude. On retrouve les fonctions les plus souvent utilisées dans la figure 5-7. “`Same`” nous donne le CF pour une valeur donnée à condition qu’il dépasse le seuil critique de 0.2. L’emploi de “`defis`” se justifie surtout dans les situations où une conclusion doit être juste ou fausse, à utiliser par exemple dans des chaînes de raisonnement juridique bien codifiées par la loi. Nous utilisons encore assez souvent la fonction “notsame” qui teste pour l’absence d’une valeur.

Dans SMYC, nous disposons finalement des fonctions “func3” utiles pour manipuler des nombres (et non pas des CF). Nous reviendrons plus tard sur leur usage.

Fonctionnement et syntaxe d’une règle “SMYC”

Retournons à la règle “demo-2” dans la Figure 5-6: “Une règle SMYC ayant des clauses probabilistes” [p. 189]. Elle possède deux clauses formant une conjonction logique:

```
(same person foreign)
($or    (same type-of-acquisition direct)
        (same type-of-acquisition real-estate-company))
```

Si la première clause et au moins une des deux disjonctions de la clause ($or ...) possèdent un CF > 0.2, la règle “marche”. Supposons que “(same person foreign)” retourne un CF de 1, “(type-of-acquisition direct)” un CF de 0.8 et “(type-of-acquisition real-estate-company)” un CF de 0. Dans ce

```
<rule>            ::=    (DEFRULE [<premisse>] ==> [<conclusion>]

<premisse>        ::=    [ <=> <assertion> * ]
                         [ ==> <condition> * ]

<condition> |     ::=    ( <func1> <parameter> ) |
<assertion>              ( <func2> <parameter> <value> ) |
                         ($OR <condition> <condition> )

<conclusion>      ::=    ( <parameter> <values> <cf-value> ) *

(assertions have the same definition as a condition)
```

Figure 5-8: La syntaxe des règles SMYC

cas la conclusion

```
(submitted-to-regime yes 1.0)
```

est valable, mais uniquement avec un CF de 0.8. Le CF de la conclusion est toujours calculé en prenant le CF le plus faible dans la prémisse (0.8 dans notre cas) et en le multipliant avec le CF de la conclusion donnée d’avance (1.0 dans ce cas). Notons encore - ce qui est évident - que l’on prend toujours la clause la plus “forte” dans une disjonction.

Nous présentons la définition formelle d’une règle dans la figure 5-8. Elle montre que le nombre de clauses dans une prémisse est illimité, mais qu’il n’est pas possible d’avoir des conjonctions “et” à l’intérieur d’un “ou”. Il suffit d’écrire deux ou plusieurs règles pour contourner cette dernière limitation. Les conclusions doivent contenir au moins une clause, à savoir celle qui déclenche les règles. D’autres clauses peuvent être rajoutées notamment pour “écrire” des effets secondaires dans la base de données. Notons également qu’il est possible d’avoir des règles sans prémisses (des conclusions toujours vraies) ou des règles sans conclusion. Nous allons discuter ces extensions au fur et à mesure de nos besoins.

Par rapport à un moteur Mycin standard, nous avons rajouté une extension importante: les assertions. Une assertion est une clause qui déclenchera l’évaluation d’une règle dès que le fait en question existera dans la base de données.

Le “moteur” Mycin et l’architecture de SMYC

Sans entrer dans les détails nous présentons brièvement le fonctionnement du moteur d’inférence de Mycin. Au coeur du système se trouvent deux procédures bien décrites dans la littérature (cf. Shortcliffe 76 ou Buchanan 84): MONITOR et FINDOUT.

La procédure “Monitor” est chargée de l’évaluation d’une règle. Elle évalue pas à pas les clauses de la prémisse d’une règle afin de déterminer les clauses de la conclusion. Lorsque les valeurs d’un paramètre dans une condition sont inconnues, elle fait appel à la procédure “Findout” qui a la charge de “tracer” les paramètres. La procédure “Monitor” s’arrête lorsqu’une clause de la prémisse est fausse. Après cette évaluation séquentielle des clauses et à condition que toutes les clauses retournent “vrai” ou encore un

MONITOR applied to a rule:

```
1. For all <clauses> of the <premisse>
   a. For all unknown <parameters> FINDOUT the <value(s)>
   b. EVALUATE the <clause>, IF it is false THEN EXIT
2. EVALUATE the <conclusion> and assert the concluded
   <value(s)> in the data base.
```

FINDOUT applied to a parameter:

```
IF <parameter> is of labtype THEN ask the user
ELSE 1.    for all rules which can potentially deduce <parameter>
           apply MONITOR
           If a <value> is definite, then EXIT
     2.    IF <parameter> is still unknown and not of inferred type
           THEN ask the user
```

Figure 5-9: Les algorithmes Monitor et Findout

CF, elle écrit les faits qui correspondent aux clauses de la conclusion dans la base de données. Finalement “Monitor” calcule le CF de chacune des ces nouvelles assertions en multipliant le CF de chaque conclusion avec le CF le plus bas de la prémisse.

La procédure “Findout” évalue la valeur d’un paramètre. Si le paramètre est du type “LabType”, elle demande à l’utilisateur une valeur. Sinon, elle procède à une sorte de chaînage arrière. Elle prend toutes les règles qui peuvent potentiellement déterminer la valeur de ce paramètre, c’est-à-dire les règles où ce paramètre apparaît dans la conclusion. Ensuite la procédure “Monitor” est appliquée à chacune de ces règles. Une fois que toutes les règles ont été consultées, Mycin examine les valeurs retrouvées pour le paramètre en question; (il faut se souvenir que Mycin autorise l’existence de valeurs alternatives qui sont “en concurrence”). Si la somme de tous les CF excède 1, les CF pour chaque valeur seront normalisés: on les diminue pour que la somme des CF soit égale à 1. Mentionnons deux autres variantes de cette procédure. Dans SMYC, “Findout” abandonne sa recherche lorsqu’elle trouve une valeur sûre (CF = 1). En outre, lorsque “Findout” ne peut pas déterminer les valeurs d’un paramètre, la procédure demande à l’utilisateur d’indiquer une valeur. Ce type de chaînage arrière est très différent de celui de Prolog: la procédure “Findout” n’essaie pas seulement de déterminer si tel paramètre possède telle valeur, mais elle applique toutes les règles dans lesquelles le paramètre (indépendamment de la valeur) se trouve dans une conclusion. En outre, rappelons que l’évidence pour une valeur ne constitue pas une contre-évidence pour d’autres valeurs. Cette ambiguïté est un des atouts de ce type de moteur. Il est possible d’instruire le système pour demander une vérification de la valeur d’un paramètre dont le CF < 1. Les deux algorithmes sont schématisés dans la figure 5-9.

Une note sur SMYC

L’acronyme “SMYC” fait allusion à plusieurs choses: “Simulation Mycin”, “Small Mycin”, “Schneider’s Mycin” et fait allusion au minimum qu’il faut avoir (le salaire minimal “Smic” en France). Nous avons apporté quelques modifications importantes à la coquille originale “Mini-Mycin”. SMYC inclut notamment:

- une interface utilisateur améliorée (prompts);
- un module de chaînage avant simple (assertions);
- un langage de commande pour lancer et interroger le système, un système rudimentaire d’aide et un éditeur de règles analysant la syntaxe et la sémantique des règles;
- un module qui permet de lancer “SMYC” en mode “batch” pour effectuer des simulations, des tests de sensibilité, etc.;
- un module “statistique” qui fournit un certain nombre de résultats concernant la base de règles.

Ce système a été crée en 1984. Depuis il existe certains systèmes commerciaux dont l’utilisation est plus facile. Toutefois, l’avantage de SMYC est son ouverture, il assez facile de rajouter certaines fonctionnalités et une interface graphique puissante pourrait être rajoutée en quelques mois de travail. Malgré les développements de la technologie des systèmes experts cette dernière décennie, la logique Mycin reste toujours valable: elle marie une simplicité de représentation avec une logique d’inférence facile à comprendre. Un politologue sachant utiliser des logiciels comme “Excel” ou SPSS” est en mesure d’apprendre un logiciel de la famille “Mycin”. Ce type de coquille expert reste toujours un très bon outil pour modéliser des situations de diagnostic où l’on peut confronter un “cas” à un système de décision/classification en forme de règles comme nous allons le voir dans les sections suivantes.

5-3 L'encodage d'un texte de loi - M-Lex

Une grande partie des décisions politiques sont fondées sur un texte codifié comme une loi, un règlement, etc. Pour le politologue, il peut s'avérer intéressant de pouvoir modéliser cet "arrière-plan" juridique couvrant une partie d'un "espace de décision".

On peut traduire un tel code en un système informatique.

Nous suggérons que l'approche "Mycin" correspond assez bien au raisonnement juridique analytique, tel qu'on le retrouve dans des décisions écrites motivées par un texte légal:

- on peut découper un domaine de problème en contextes (des objets analytiques) que l'on décrit à l'aide d'attributs ayant certaines valeurs.
- ces attributs correspondent soit à des faits empiriques (les paramètres "LabType" et "MainProp", soit à des faits légaux (les "LabType" ou "Inferred"), soit à des constructions analytiques ("Inferred"). Certains de ces attributs ne sont utilisés que durant le processus de décision, d'autres seront utilisés pour décrire et pour motiver la décision.
- les règles juridiques peuvent, dans l'ensemble, être traduites par des règles "Si - alors".

Le but de cette section est double: nous voulons montrer qu'il est possible de modéliser un dispositif juridique avec un système expert et nous donnons une petite introduction pratique au savoir-faire du génie cognitif.

5-3.1 La Lex Friederich

Depuis sa création en 1961, la législation sur l'acquisition d'immeubles par des étrangers a subi plusieurs modifications comme le montre le résumé dans la section 5-4.1 "La LAIE - histoire, structure et dynamique" [p. 207]. Toutefois, le principe de base a survécu aux modifications: le but est de limiter le nombre des acquisitions et ceux qui veulent en faire une doivent demander une autorisation à une autorité cantonale de première instance. Nous allons esquisser ici , le mécanisme de base de la Lex Friederich (à partir de 1983).

Le décideur doit d'abord évaluer si une acquisition tombe sous le régime du système d'autorisation. Pour cela, il doit qualifier la personne qui effectue l'achat et déterminer le type d'acquisition (la nature du bien immobilier et la nature de la transaction). Dans la plupart des cas, il est assez facile de déterminer si une personne naturelle possède un domicile à l'étranger ou si une personne morale a son siège à l'étranger. Toutefois, il existe de nombreux cas qui rendent la décision difficile, notamment à cause des clauses d'exceptions ou des règlements d'application qui apportent une définition particulière de la notion de "résidence en Suisse" pour les étrangers. Quant à la notion d'acquisition, elle est plus difficile à saisir, car elle n'inclut pas seulement les droits de propriété, d'usufruit, de construction, etc. mais elle couvre également tout contrôle financier ou autre que peut exercer une personne étrangère sur une personne domiciliée en Suisse. Ceci pour freiner le contournement de la loi par des hommes ou des sociétés de paille. Une fois qu'une personne tombe sous le régime d'autorisation, il lui faut présenter un motif valable pour autoriser une transaction immobilière. Des motifs explicites qui donnent droit à une autorisation ou qui préconisent un refus ont existé dans toutes les versions de la LAIE.

Nous avons tenté de modéliser le processus de décision de la première instance qui est fondé sur ces éléments clé, à savoir "la personne", "l'acquisition" et le "motif". Nous n'allons pas discuter ici le modèle en entier, mais nous nous focaliserons sur le problème de la "traduction" de la loi en système informatique et sur les résultats de cette démarche. Nous avons pris les premiers trois chapitres de la loi (la définition du système d'autorisation) et nous couvrons de façon sommaire presque tous les cas de décision que l'on peut rencontrer. La modélisation est appelée superficielle, parce que la détermination des faits juridiques de base n'est pas modélisée; c'est à l'utilisateur de la fournir.

5-3.2 L'acquisition et la formalisation des connaissances

Dans la littérature sur les systèmes experts, le but d'un système est avant tout de nature pratique. Il s'agit en fait d'assister un décideur en mettant à sa disposition les connaissances dont il a besoin pour résoudre certains cas difficiles. Un modéliseur s'intéresse aussi à ce genre de performance, mais pour lui un système doit d'abord systématiser un ensemble de connaissances, voire même représenter une théorie. La construction d'un système doit tenir compte de buts scientifiques qui vont au-delà de la performance. Donc, avant de construire un système, il faut savoir à quoi il servira.

En ce qui concerne la LAIE, il faut se demander, par exemple, si le but est la simulation d'un décideur particulier, s'il faut modéliser une politique générale d'application d'une loi ou encore une combinaison des deux comme nous le faisons dans le système P-Lex décrit dans la section 5-4 "La dimension politique dans l'application d'une loi" [p. 207]. En ce qui concerne le système M-Lex, notre but est assez simple: nous postulons qu'il est possible de modéliser un "décideur-type" qui adopte l'interprétation standard (préconisée par le gouvernement central) de la législation.

Nous ne prétendons pas non plus modéliser la façon dont les décideurs raisonnent normalement. Il est probable que le mécanisme le plus fréquemment utilisé dans ce genre de décision juridique est le raisonnement par cas (anglais: “case based reasoning”). Les décideurs utilisent des prototypes pour résoudre des cas simples comme l’acquisition d’un appartement de vacances. Pour des cas plus difficiles, ils consultent des cas similaires dans la jurisprudence et les adaptent au cas particulier. Leurs conclusions sont normalement vérifiées en consultant les textes de la loi. Toutefois, sur demande, ces décideurs seraient capables de fournir un raisonnement juridique. Il se trouve par ailleurs partiellement dans le texte justifiant la décision. *M-Lex ne modélise donc pas un processus cognitif, mais des décisions que le décideur peut justifier “post hoc” en utilisant un raisonnement plus analytique, voisin de celui employé par le système.*

Pour construire M-Lex, nous avons tenté de traduire un texte juridique en un système de type “Mycin”. La Lex Friederich est écrite dans un style moderne utilisant un langage relativement clair et simple. Toutefois, la traduction ne fut pas aussi simple que nous nous l’étions imaginée. La structure du texte n’inclut pas son mode d’emploi. Celui-ci réside à la fois dans le savoir-faire des juristes et dans la sémantique du langage juridique. Il faut par exemple encoder un certain nombre de paramètres qui structurent le processus d’inférence. Citons un exemple: dans cette loi, il y a des exceptions à certains articles, mais nulle part il n’est dit explicitement qu’il faut vérifier (pour chaque paragraphe) qu’il n’existe pas d’exceptions. En généralisant, on peut constater que les lois ne sont pas rédigées avec l’idée d’un arbre de décision dans la tête et c’est au modéliseur de le fournir. Il va de soi qu’on peut construire des arbres très différents pour un même texte et qui aboutissent malgré tout au même résultat. On peut faire la distinction entre les *connaissances statiques* (la législation, la jurisprudence, les commentaires dans les revues spécialisées, les conseils donnés par des spécialistes, etc) et les *connaissances dynamiques* qui permettent d’exploiter les connaissances statiques pour résoudre des cas. Ces dernières doivent être reconstituées par le modéliseur.

Il existe des questions d’efficacité et de facilité d’usage. L’efficacité aujourd’hui pour ce genre de système ne pose plus un problème important, mais c’était le cas quand nous avons construit M-Lex. Toutefois, comme principe général , nous avons toujours préféré la clarté à l’efficacité, car le modèle en soi est un document scientifique. On doit pouvoir lire les paramètres et les règles du système en cas de nécessité. Quant à l’efficacité du cheminement du raisonnement qui est perçu par l’utilisateur, on touche à une problématique plus délicate. Faut-il, par exemple, identifier dès le départ d’une séance la grande masse des cas standard avec quelques questions bien ciblées et ainsi arriver rapidement aux conclusions? Ou faut-il faire subir à l’utilisateur toutes les questions “suggérées” par une approche analytique et “top-down” de la lecture de la loi? Tout dépend de nouveau du but du système.

La source principale de connaissance utilisée pour la modélisation de M-Lex était la loi et sa perception dans Delley et al. (82). Une autre aide importante pour la modélisation étaient les décisions (écrites) par les instances de décision. Pour déterminer des arbres de raisonnement, nous avons tenté de procéder à des expériences “think aloud” avec des collègues juristes qui résolvent un cas à haute voix. Leur utilité était limitée, car ils avaient beaucoup de difficulté à expliciter à haute voix les étapes d’un raisonnement qu’ils ne considèrent pas comme important ou qu’ils ne font pas de façon très consciente. Toutefois, il était intéressant de constater qu’il existait de grandes différences en fonction de leur connaissance de la loi. On a aussi pu constater que des stratégies très différentes étaient utilisées dans des sections différentes de la loi. Face à ces variations, nous avons finalement décidé de faire ce travail d’encodage du savoir-faire sur une base ad-hoc. Voici un résumé de la procédure que nous avons employée:

1. La Lex Friederich est une loi assez complexe, mais le texte de la loi possède une structure hiérarchique assez claire. Donc, la première chose à faire était d’identifier les sous-tâches principales à effectuer durant la “procédure de recherche” associée à la résolution d’un cas. Il fallait donc trouver les relations logiques entres les articles et “nommer” les étapes les plus importantes du raisonnement. Nous avons d’abord commencé à dessiner des réseaux précis de décision. Cela s’est avéré compliqué et inutile. Finalement la solution intermédiaire consistait à prendre une grande feuille de papier et à dessiner les relations “et” et “ou” entres les articles principaux. Comme nous l’avons déjà mentionné, les articles d’exception posaient quelques problèmes. Ils ne se trouvent pas au même endroit dans le texte, mais lors d’un raisonnement dynamique, il faut en tenir compte simultanément. Dans M-Lex, nous déclenchons ces tests lors de l’évaluation des faits juridiques concernés. Par exemple, l’exception à la règle d’autorisation est testée lorsqu’il y a détermination de la nature de la personne ou du type d’acquisition.

2. Une fois les connections logiques les plus importantes déterminées, nous avons créé un système représentant uniquement le niveau “supérieur” de décision, capable de prendre une décision en fonction des paramètres très “élevés” de “personne”, “acquisition” et “motif”. Mycin se prête très bien à cette méthode du “stepwise refinement”, car ces paramètres du type “Inferred” sont demandés à l’utilisateur, s’il n’arrive pas à les déduire lui-même. Une fois que cet embryon a fonctionné, nous avons écrit la définition de tous les paramètres dont le système complet allait avoir besoin. C’était un exercice complètement inutile, car il fallait les transformer et les restructurer trop souvent par la suite.

3. Avec cette structure “top-level” en place, nous nous sommes attaqués aux modules “acquisition”, “définition de la personne” et “motif”. Nous avons rapidement traduit tous les articles qui semblaient être simples à coder. Le résultat immédiat fut un système qui ne fonctionnait pas du tout. Toutefois ce “scale-up” nous a permis de voir les possibilités et les

limites de la coquille “mini-mycin”. L'étape suivante consistait à reprogrammer ou à rajouter certaines facilités au programme. *Ce qui nous avait le plus frappé par contre était le constat qu'un texte légal qui a l'air clair et précis est en fait très ambigu en termes computationnels.* Il existe un très grand nombre de conditions implicites, de disjonctions exclusives, etc. qui sont évidentes pour l'interpréte humain, mais qu'il faut rendre explicites dans un système informatique. Voici un exemple simple: une personne morale ne peut pas être héritier légal, mais ce n'est écrit nulle part dans ce texte. Un autre problème qui s'est posé est le fait que certains paragraphes ne concernent qu'un nombre très limité de types de personnes ou d'acquisitions. Un système qui ne filtre pas ces contraintes pose trop de questions à l'utilisateur et l'irrite, car elles sont inutiles dans ce contexte précis.

4. Finalement, il a fallu procéder à une réorganisation du système pour mieux diriger le processus d'inférence (avec pour but de rendre le système plus agréable en évitant les questions inutiles). Il existe deux méthodes de base pour piloter et limiter la recherche: dans chaque règle, on peut inclure des paramètres/valeurs qui doivent êtres vrais (ou faux) avant de s'attaquer aux paramètres qui suivent dans une prémisse. L'autre méthode consiste à créer des contextes Mycin spécialisés dans lesquels on canalise certains cas spécifiques. Cette deuxième stratégie est plus efficace et parfois plus élégante, par contre il faut plus de règles et on rencontre des problèmes du passage des valeurs de paramètres d'un contexte vers un autre.

Finalement, le système a fonctionné à notre satisfaction par rapport aux buts que nous nous sommes fixés. Toutefois, la traduction du langage juridique en langage “Mycin” n'a pas toujours été simple et parfois l'esthétique en a souffert. Voilà quelques remarques et quelques modifications que nous avons apportées à la coquille d'origine pour l'adapter aux spécificités du raisonnement juridique:

1. Dans le système Mycin d'origine, les contextes étaient utilisés pour représenter un bloc cohérent d'informations sur un patient. Dans M-Lex, nous utilisons les contextes plutôt comme “bloc de tâche” (Angl. “task blocks”), pour structurer un processus de déduction. Dans un système Mycin typique, un patient peut avoir plusieurs instances d'un même contexte (par exemple la liste de toutes les opérations). Ainsi, le système demande toujours s'il faut créer un contexte avant de procéder à la détermination des paramètres. Pour contourner ce mécanisme pas toujours utile, nous avons modifié le système pour avoir des contextes “inferred” qui se créent automatiquement et des contextes “single” pour éviter les duplications.
2. Nous avons déjà mentionné le problème de l'élimination des recherches inutiles. Les coquilles Mycin standard tracent toujours toutes les règles pour déterminer un paramètre. Cela n'est pas utile en droit, aussi coupons-nous la recherche d'un paramètre lorsqu'une valeur trouvée possède un CF de 1. Sinon, il nous en fallu rédiger des règles qui contiennent implicitement de l'information heuristique de recherche. Nous avons déjà parlé de la notion de filtre, une prémisse qui doit être vraie avant que les autres clauses puissent être tracées. Il est parfois utile de demander son avis à l'utilisateur en ce qui concerne la direction de “recherche” à entreprendre. On peut également hiérarchiser les règles juridiques en découpant un paramètre juridique en deux ou plusieurs paramètres Mycin et en rajoutant un paramètre qui fait la différentiation. Une dernière stratégie mentionnée consiste à créer des contextes pour y diriger des recherches.

```
If premisse-param = x     <---- premisse
then search-param = y1    <---- goal which triggers the rule
                                and parameter used for further deduction
     legal-param = y2     <---- legal conclusion that is kept
```

Figure 5-10: Paramètres de recherche et de rédaction

3. En réorganisant la structure d'une loi, on arrive à créer un système qui tourne. Toutefois, il serait intéressant de pouvoir préserver le plus possible la structure d'un texte, ceci pour des raisons scientifiques (le code comme modèle que l'on peut lire) ou pour des raisons pratiques (les modifications et vérifications analytiques). A notre avis il faut veiller à ce que les paramètres importants du système correspondent à des paramètres que l'on peut identifier dans un texte juridique. Lorsqu'il fallait opérer avec une autre organisation pour les besoins d'inférence, nous avons trouvé la solution suivante pour ne pas rester trop “éloigné”: si un paramètre (fait) légal ne pouvait pas être utilisé pour organiser et pour piloter la recherche, nous l'avons remplacé par des paramètres heuristiques représentant un sous-ensemble des valeurs possibles du paramètre légal. Mais lorsque nous déterminons la valeur d'un tel paramètre, nous insérons dans la base de données également une paire paramètre-valeur représentant directement l'article de la loi en question. Les règles concernées possèdent donc au moins deux clauses dans la conclusion comme dans la figure 5-10. Une qui sert au processus d'inférence (“search”) et l'autre qui fait référence directe à la loi et sert à imprimer le résultat d'une consultation. En séparant l'analyse et la présentation du résultat, on ne s'éloigne peut-être même pas beaucoup de la réalité. Un juriste peut en effet automatiquement faire ces découpages heuristiques et il note également les résultats de son raisonnement sous forme présentable.

Il existe d'autres difficultés que nous pourrions mentionner et certaines apparaîtront sans doute dans le contexte d'autres modélisations. Toutefois, nous pensons avoir mis en évidence les plus importantes.

5-3.3 Aperçu du système M-Lex

M-Lex est décrit avec plus de détails dans notre monographie Schneider (90). La structure générale de M-Lex reflète la structure de la loi: L'article

Schéma:

```
top --+---- acquisition --+---- a-exception
      |                   +---- a-direct
      |                   +---- a-participation
      |                   +---- a-transfer
      |
      +---- person
      |
      +---- motive -------+---- m-personal
                          +---- m-business
                          +---- m-special
```

Code:

```
(gobble context-world
 ;; contexts for the acquisition
 (belongs-to acquisition top)
 (type acquisition single)
   (belongs-to a-exception acquisition)
   (type a-exception single)
   (type a-exception inferred)
   (belongs-to a-direct acquisition)
   (type a-direct single)
   (type a-direct inferred)
   (belongs-to a-participation acquisition)
   (type a-participation single)
   (type a-participation inferred)
   (belongs-to a-transfer acquisition)
   (type a-transfer single)
   (type a-transfer inferred)
 ;; the context for the person
 (belongs-to person top)
 (type person single)
 ;; the contexts for the legal authorization grounds
 (belongs-to motive top)
 (type motive single)
   (belongs-to m-personal motive)
   (type m-personal single)
   (type m-personal inferred)
   (belongs-to m-business motive)
   (type m-business single)
   (type m-business inferred)
   (belongs-to m-special motive)
   (type m-special single)
   (type m-special inferred)
```

Figure 5-11: L’arbre des contextes dans M-Lex

2 reflète la logique générale sous le titre §“Régime de l’autorisation”: “L’acquisition d’immeubles par des personnes à l’étranger est subordonnée à une autorisation de l’autorité cantonale compétente”. L’Art.3-1 complète: “l’autorisation n’est accordée que pour les motifs prévus dans la présente loi”. On retrouve dans la figure 5-11 les contextes principaux de M-Lex: “acquisition”, “personne” et “motif”, sur lesquels est fondée la décision: non-assujettissement et assujettissement accouplé à une autorisation ou à un refus.

Un ancien débat en informatique concerne les noms qu’il faut donner à des symboles dans un programme informatique. On peut se poser la même question au sujet des noms des règles et des paramètres. Lors de la création de M-Lex, nous nous sommes fondés sur les considérations suivantes:

- un symbole doit avoir un sens direct, il doit afficher clairement sa fonction.

- les noms de règles doivent être clairement distincts des noms de paramètres (pour augmenter la lisibilité des “traces”).
- les noms devraient donner une indication du contexte auquel ils appartiennent.
- ils ne devraient pas être trop longs, car il faut les taper et il faut éviter que les “traces” soient trop grandes.

En adaptant ces contraintes[5], nous avions adopté les conventions suivantes:

- les noms de règles commencent par “$” et les noms de paramètres par “*”.
- la lettre suivante indique le contexte, par exemple $-t-.... et *-t.... appartiennent au contexte “top”.
- les règles qui évaluent un même paramètre devraient avoir un nom similaire, et inclure le nom du paramètre et de la valeur en question. Par exemple, la règle “$t-aut-reg-yes” décide si le paramètre “*t-aut-reg” est “yes”.

Voici un long extrait du système M-Lex qui montre la ”hiérarchie au sommet” du système. Les lignes précédées par “;” sont des commentaires:

Les paramètres principaux guidant la décision:

```
;;; The top-parameter represents the four possible solutions of a case:
;;; authorization, refusal, non-subjection, non-solution
(defparm *t-conc single (aut refus notsub imposs) top)

;;; The authorization regime: subjection or not
(defparm *t-aut-reg yesno (yes no) top inferred)

;;; The acquisition: took place or not
(defparm *t-ac yesno (yes no) top inferred)

;;; The person is foreign, or not, or something special
(defparm *t-for-per single (yes no special) top inferred)

;;; the authorization grounds do exist or not
(defparm *t-aut-mot yesno (yes no) top inferred)
```

Les règles guidant la décision:

```
;;; The dummy rule to start the back-chaining
;;; In order to start-up the system we tell him to find a value for
;;; the top parameter *t-conc, i.e. we simply trigger a premisse.

(setq goal-rule
 (defrule $goal-rule
 (known *t-conc nil)))

;; First we decide whether somebody is subject to the authorization
;; system. If so, we check whether he will receive an
;; authorization.

(defrule $t-decision-yes
 ;; the person is submitted to the authorization regime
 (defis *t-aut-reg yes)
```

---

[5] Ces trois dernières contraintes ne sont plus aussi importantes dans le contexte des interfaces graphiques qui permettent de gérer plus facilement l’information. Toutefois, étant donné qu’un système expert représente pour nous un modèle scientifique, nous pensons qu’il est important de tenir compte des contraintes d’une “version papier” du modèle.

```
 ;; and he gets an authorization
 (defis *t-aut-mot yes)
 ==>
 (advice-to |The acquisition will be authorized| 1.0)
 (*t-conc aut 1.0)
)

;; Same logic as before, but we check for refusal.
;; We will use eventually the conclusions triggered by $t-decision-yes.

(defrule $t-decision-no
 ;; the person is submitted to the authorization regime
 (defis *t-aut-reg yes)
 ;; and doesn’t get an authorization
 (notsame *t-aut-mot yes)
 ==>
 (advice-to |The acquisition will be refused| 1.0)
 (*t-conc refus 1.0)
)

;; Checks whether a person is submitted to the regime of authorization
;; cf. art 2 LFAIE
;; If the person did an acquisition (according to Art.4 and Art.7 LAIE),
;; it is checked whether if is “foreign”.

(defrule $t-aut-reg-yes
 ;; the person acquired real estate
 (defis *t-ac yes)
 ;; and it is foreign
 (defis *t-for-per yes)
 ==>
 (*t-aut-reg yes 1.0)
 (advice-to |The acquisition is subject to an authorization| 1.0)
)

;; If the person didn’t acquire some real-estate,
;; we can immedialy make the general conclusion of
;; non-subjection.

(defrule $t-aut-reg-no1
 ;; the persone did not acquire a real estate
 (notsame *t-ac yes)
 ==>
 (*t-aut-reg yes -1.0)
 (advice-to |The acquisition is not subject to an authorization| 1.0)
 (*t-conc notsub 1.0)
)

(defrule $t-aut-reg-no2
 ;; the person acquired some real estate
 (defis *t-ac yes)
 ;; his status is known
 (known *t-for-per) ; simplify ?
 ;; but it is not foreign (or under foreign control)
 (notsame *t-for-per yes)
 ==>
 (*t-aut-reg yes -1.0)
 (advice-to |The acquisition is not subject to an authorization| 1.0)
 (*t-conc notsub 1.0)
)

;;; The next two rules are pessimistic about reality and our capacity

(defrule $t-no-conc1
 ;; It cannot be determined whether an acquisition was subject to an auth.
 (notknown *t-aut-reg)
 ==>
 (*t-conc imposs 1.0)
 (advice-to |No conclusion could be reached about the authorization regime
| 1.0)
)

(defrule $t-no-conc2
 ;; A person is submitted to the authorization regime
 (defis *t-aut-reg yes)
 ;; ... but no motive can be found
 (notknown *t-aut-mot)
 ==>
 (*t-conc imposs 1.0)
 (advice-to |No conclusion could be reached, No authorization-motive| 1.0)
)
```

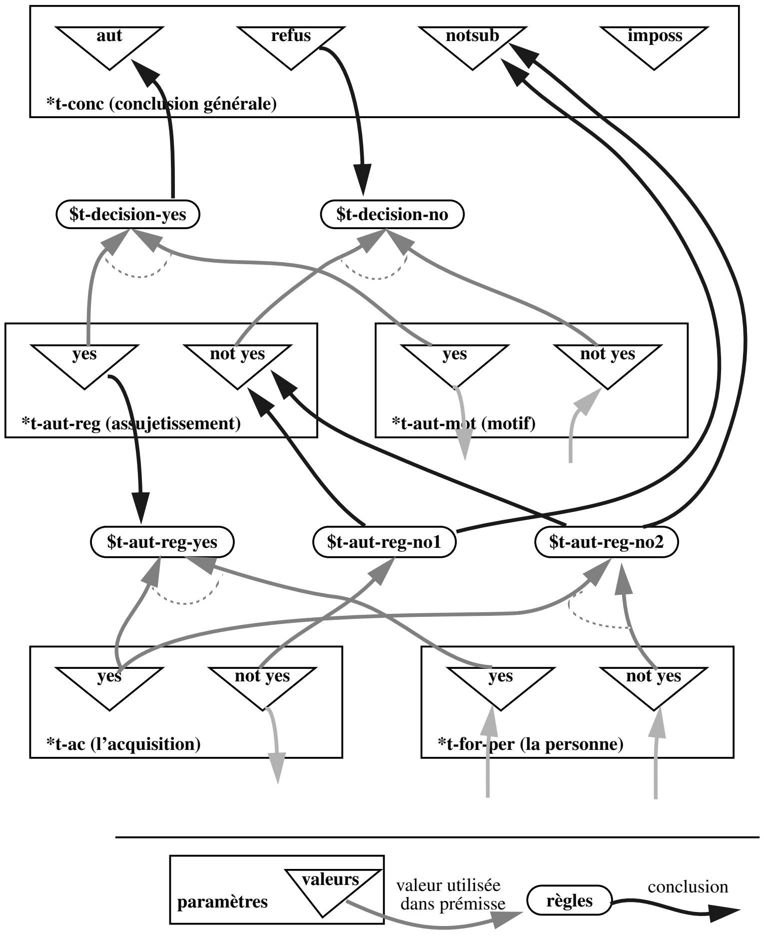


Figure 5-12: Diagramme de la structure “top” de M-Lex

On peut représenter ces paramètres et ces règles dans un arbre graphique de décision qui met en valeur la complexité relative que possède déjà ce petit bout de M-Lex. Grâce aux extraits du système et à l’arbre dans la Figure 5-12: “Diagramme de la structure “top” de M-Lex” [p. 204], on peut voir comment fonctionne un système expert. Son exécution est étroitement liée à l’état de sa base de données. Le système démarre en tentant de déterminer la valeur du paramètre `*t-conc`, pour cela, il commence par exécuter la première règle dans la liste, soit “`$t-decision-yes`”. Il tente de trouver d’abord une valeur pour le paramètre `*t-aut-reg`, à savoir s’il y a assujettissement au régime de l'autorisation. S'il trouve une valeur, le prochain paramètre ("`*t-aut-mot*`") est tracé. Si ces deux valeurs ne sont pas "`yes`" avec un CF de 1, le système essayera d'autres règles comme "`$t-decision-no`". Dans ce cas, il ne faut pas retracer les paramètres de cette règle car cela a déjà été fait. Le cheminement vers la décision se constitue donc d'une façon assez dynamique en fonction des besoins et des points connus.

5-3.4 Evaluation

L'"expérience" M-Lex a montré qu'il est possible de modéliser l'application d'un dispositif légal[6]. Ce système ouvre également la voie à des modélisations plus politiques que l'on retrouve dans le système P-Lex discuté dans la section suivante. Il est très utile de savoir que l'on peut modéliser le raisonnement juridique, raisonnement qui constitue à la fois un cadre et une contrainte au plan du raisonnement politique, notamment dans les pays comme la Suisse. En ce qui concerne la modélisation de l'application d'une loi, M-Lex ne cache pas ses limites. Les décideurs chargés de l'application ont en principe deux grandes libertés qui ne sont pas modélisées: l'interprétation des faits (réels) en termes juridiques et le contrôle de la validité des faits réels. Qu'est-ce qui constitue par exemple une "relation commerciale étroite" et comment peut-on savoir si une personne est contrôlée par une personne étrangère? En pratique, cette liberté du décideur est plus limitée, il doit tenir compte de règles informelles et/ou politiques. Ces règles peuvent également être modélisées, mais avec moins de certitude.

---

[6] Dans la section suivante (cf. par exemple 5-4.3 "Etudes de cas" [p. 224]) nous donnons plus de détails sur une modélisation. Elle illustre mieux cette affirmation que les pages précédantes.

5-4 La dimension politique dans l'application d'une loi

A l'aide de l'exemple de la législation suisse sur l'acquisition d'immeubles par les étrangers (LAIE), nous allons arriver au coeur du débat de ce chapitre: la modélisation du facteur politique et économique dans la décision d'un fonctionnaire intégré à une administration cantonale.

Le modèle P-Lex représente quelques "snapshots" intéressants de la mise en oeuvre d'une loi. La modélisation d'une décision comprend d'abord la modélisation des règles juridiques, la jurisprudence infra-légale est modélisée comme fonction de l'environnement économique et politique.

5-4.1 La LAIE - histoire, structure et dynamique

La législation sur l'acquisition d'immeubles par les étrangers (LAIE) a été créée en 1961 sous la pression de la rue. Nous allons donner un aperçu des trois étapes les plus importantes de cette législation changeante, ainsi que la manière dont elle a été appliquée dans les trois Cantons de Genève, du Valais et de Lucerne. Ces étapes ont été étudiées par Delley et al. En Suisse, l'exécution d'une loi est toujours laissée à la responsabilité des Cantons. La confédération peut prendre un certain nombre de mesures dont on parlera pour assurer une certaine homogénéité de la mise en oeuvre. En outre, en ce qui concerne certains aspects, une législation peut octroyer aux Cantons la liberté de définir leur propre politique. Etant donné que des parties substantielles de l'application d'une loi sont toujours négociées par les acteurs de la mise en oeuvre., le facteur politique reste donc très important pour plusieurs raisons, même dans la phase de mise en oeuvre.

Historique

Durant la période de la "Lex von Moos" (1961-71), les Cantons possédaient une autonomie assez large. Le texte de l'arrêté était très ouvert, peu précis et aucune possibilité n'était donnée au gouvernement fédéral pour intervenir dans les décisions des instances d'autorisation cantonales. Le seul moyen de pression qu'avait le gouvernement était une instance fédérale d'appel pouvant annuler les décisions des instances de recours cantonales. En conséquence, cette législation était, dans la main d'un Canton actif, un instrument d'action assez flexible pour poursuivre une politique

ouverte ou fermée face à l'acquisition d'immeubles par des étrangers.

Les intentions du législateur ont pris une autre direction avec la Lex Furgler (1974-83). La nouvelle loi était beaucoup plus détaillée et elle était accompagnée d'arrêtés d'exécution plus précis au plan de 'interprétation et l'application de la loi. L'acquisition d'immeubles par des étrangers était seulement possible pour une certain nombre de motifs, tels qu'habitation personnelle et permanente de l'acquéreur, exploitation d'une industrie ou d'un commerce, etc. Chaque décision cantonale devait être transmise à l'office fédéral de la justice qui avait la possibilité de faire appel aux autorités cantonales d'appel ou par la suite, au tribunal fédéral. Grâce à cette fonction de "chien de garde", cet office a produit un certain nombre de textes informels (des circulaires, des tournées d'information, etc.) qui ont été bien suivis par la majorité des Cantons. Toutefois, il existait des domaines où les Cantons ont pu conserver des possibilités d'interprétation plus larges. Il s'agissait des acquisitions liées au tourisme, aux activités commerciales et industrielles, aux relations étroites. L'obligation de contrôler des participations financières dominantes d'une acquisition par un résident (non assujettis) était interprétée très différemment.

A la suite de fortes pressions venant de la majorité des Cantons touristiques, le gouvernement fédéral a publié un arrêté d'exécution très favorable à l'acquisition d'immeubles dans ces Cantons. Dans la loi, dès que le pourcentage de possessions étrangères dépassait un certain seuil, de nouvelles acquisitions pour raisons touristiques étaient interdites. Par contre, cette ordonnance permettait la vente d'un certain pourcentage d'un immeuble à des étrangers. Sans cette clause, l'activité immobilière dans ces régions aurait été freinée considérablement. Toutefois, si une commune le désirait, elle pouvait ne pas utiliser ces clauses d'exception une fois une certaine proportion d'immeubles étrangers atteinte. Etant donné que cet arrêté a ouvert les vannes permettant l'acquisition d'immeubles de vacances, un nouvel arrêté gouvernemental a simplement fixé des quotas pour les Cantons sur la base de la consommation dans le passé. Ces quotas ne pouvaient pas être dépassés. Ainsi les Cantons sont devenus distributeurs de ressources parmi les communes touristiques qui désiraient participer à ce "gâteau".

La Lex Friederich (1983-) est une tentative de synthèse entre les différents régimes du passé. Il s'agit d'une loi encore plus précise que la Lex Furgler. Par contre, elle laisse explicitement ouverte au Canton la possibilité de légiférer sur certains aspects. La loi, comme la Lex Furgler, prévoit des raisons d'autorisation supplémentaire dont peuvent faire usage les Cantons (le tourisme ou la construction d'immeubles HLM par exemple). Elle fixait aussi des raisons impératives de refus, et des raisons de refus qui pouvaient être spécifiées par les Cantons. L'acquisition des immeubles de vacances qui a toujours été au centre de la préoccupation est devenue largement une affaire Cantonale à l'intérieur de certaines bornes fixées par Berne. Ainsi, certains Cantons comme Lucerne appliquaeient une politique restrictive, suivant en cela la Lex Von Moos , alors que d'autres Cantons, comme le Valais, appliquaient une politique plus large suivant la Lex Furgler. Toutefois, il faut dire,que, grâce à la réforme de la politique fiscale en Allemagne (qui permettait aux gens de déduire toute acquisition d'immeubles de leurs impôts), grâce à des raisons géopolitiques et de conjoncture, l'intérêt pour les acquisitions d'immeubles avait déjà fortement baissé au début des années 80. Au début, et surtout dans les années "Furgler", les acquisitions étaient fonction de l'offre, maintenant c'est l'inverse.

Acteurs et procédures

Les Cantons qui sont les acteurs principaux de la mise en oeuvre doivent définir les autorités prévues par la loi. Comme c'est généralement le cas en Suisse, on utilise des structures administratives déjà existantes. L'autorité de la première instance est nécessairement la plus sollicitée. Elle décide si une autorisation est assujettie au régime d'autorisation et elle accorde ou refuse une autorisation de l'acquisition. Sous le régime de la Lex Furgler (que nous modélisons), les parties (l'acheteur et le vendeur) ainsi qu'une autorité cantonale peuvent faire appel de la décision de la première instance à une instance cantonale d'appel. Si l'autorité cantonale ne saisit pas cette possibilité, l'Office fédéral de justice peut alors faire appel. Par la suite, le cas peut être porté devant le tribunal fédéral. Dans le cadre de la Lex Von Moos, cette possibilité d'intervenir n'existait pas pour l'office fédéral de la justice. Il n'existait qu'une autorité fédérale d'appel disparue depuis. Le rôle de la Confédération était donc très passif.

En analysant le système d'acteurs et leurs moyens d'intervention sous le régime de la Lex Furgler, on s'aperçoit qu'il propose une variété de styles d'opération. En effet, l'analyse empirique de Delley et al. a confirmé que l'on peut observer une variété locale et temporelle considérable dans l'application de cette législation. Les raisons pour ces différences de la mise en oeuvre sont politiques et économiques (la perception locale de ce qu'était la loi), personnelles (la personnalité des individus remplissant les diverses fonctions de décideur) et institutionnelles (l'intégration des institutions de décision dans l'organigramme cantonal). Nous allons l'illustrer en donnant une petite description de la situation dans les trois Cantons: Genève, Lucerne et Valais.

(1) A cause de sa situation, Genève a toujours été au centre d'intérêts étrangers. Etant donné l'étroitesse du territoire, les acquisitions étrangères ne passaient pas inaperçues et il existait une certaine opposition. Toutefois, avant le milieu des années 80, le gouvernement local n'a jamais fait preuve d'enthousiasme à l'égard de la LAIE. En 1961, lors de la création de la loi, Genève s'y est opposé totalement. Plus tard, ce Canton a accepté le principe d'une régulation, toutefois sans entamer sa souveraineté cantonale. Genève a toujours défendu avec verve ses intérêts. En conséquence raison de cette attitude, la première instance a été attribuée au Département du Commerce, de l'Industrie et du Travail. Durant la Lex Von Moos, le gouvernement lui-même s'attribuait simultanément l'autorité habilitée à faire appel et l'autorité de deuxième instance à laquelle on fait appel. Autrement dit, le contrôle de l'appel restait sous contrôle du gouvernement puisque l'application de la LAIE était perçue comme un problème économico-politique. Dans cette constellation, le centre n'avait aucune possibilité d'intervention pour faire respecter l'esprit de la loi. Ainsi, contre la volonté de Berne, Genève délivrait des autorisations pour financer la construction d'HLM. Certaines de ces décisions cantonales étaient à la limite de la légalité. Lors de la révision de 1973 (Lex Furgler), Genève s'est dotée d'une autorité habilitée à recourir, attribuée au département de Justice et Police. Toutefois, cette autorité ne s'est jamais montrée très active. Il n'existait aucune raison pour que le ministre de la Justice interfère avec son collègue de l'Economie Publique, surtout quand l'autorité de deuxième instance est le gouvernement collectif lui-même.

Sous la Lex Furgler, la mise en application de la LAIE était essentiellement la responsabilité d'un juriste du Département d'Economie Publique. Les décisions difficiles étaient discutées avec le chef du Département (le Ministre de l'Economie Publique) qui consultait occasionnellement les autres membres du gouvernement. Les relations avec les "clients" potentiels (avocats et promoteurs) étaient codifiées de manière informelle. Ainsi les représentants d'acquéreurs potentiels ont souvent consulté de manière informelle la première instance pour obtenir un avis informel concernant l'aboutissement éventuel d'une demande. Ainsi des refus formels d'autorisation ont pratiquement pu être évités. Il existait peu d'appels, la plupart venant de l'Office fédéral de Justice. Ces appels venant de Berne étaient, en règle générale, refusés par le gouvernement de Genève (instance d'appel). Berne n'a pas fait appel auprès du tribunal fédéral ne voulant pas risquer une jurisprudence concernant des "besoins publics" de Genève, clause de la loi qui faisait conflit.

En règle générale, l'opinion des acteurs genevois sur l'application de la LAIE était assez homogène. Ils étaient d'accord pour pousser l'interprétation de la loi et des arrêtés d'exécution jusqu'aux limites de l'admissible pour implanter une politique libérale d'acquisitions dans ce Canton. Après le départ du juriste très compétent qui a créé les bases juridiques de la LAIE, ses deux successeurs n'ont pas été d'accord avec les directives "libérales" de leur chef. Un des deux a été poussé à partir et l'autre a été muté dans une autre section. Il s'agit là d'un indice qui renforce notre opinion à savoir que toute la problématique des acquisitions était perçue avant tout comme un problème économique et politique qui concernait le développement de Genève et beaucoup moins l'esprit d'une loi. Lors de l'introduction de la Lex Friederich seulement, un débat parlementaire a eu lieu, et pour la première fois, une opposition forte à la politique libérale a pu s'exprimer. Finalement, en 1985, le chef du département a été évincé lors d'une élection populair, notamment à cause de sa politique de développement économique forcée s'appuyant entre autre sur la présence d'étrangers. En même temps, la situation immobilière était devenue tellement tendue à

Genève que même la droite ne pouvait plus imposer son ancienne politique. En 1986, le nouveau gouvernement et le ministre démocrate-chrétien d'Economie Publique ont décidé d'appliquer une politique stricte.

(2) Le Valais est un des grands cantons touristiques. Il a en commun avec Genève son opposition à la LAIE. Le Canton et la majorité de sa population, dépendant fortement du tourisme, sont contre toute restriction à l'acquisition d'immeubles de vacances par les étrangers. Le Valais était le mouton noir pour l'opinion populaire suisse. Presque un tiers de toutes les autorisations en Suisse entre 1961 et 1975 a été donné dans ce Canton à population relativement faible. Le développement de son industrie de sports d'hiver assez récente dépendait fortement de la vente d'appartements et de chalets aux étrangers. La para-hôtellerie nécessaire à l'industrialisation de la montagne était devenue un problème d'environnement pour les autres Suisses.

Le chef du service juridique du registre foncier a été désigné comme autorité de première instance. Le registre foncier lui-même dépend du département des Finances. Cette solution a été retenue à cause de l'expérience de cet office avec les problèmes d'occupation du sol. L'autorité habilitée à recourir était le service légal du département des affaires intérieures. Comme pour Genève, l'instance d'appel était le gouvernement lui-même. Durant la période de la Lex Von Moos, un grand nombre d'autorisations pour raisons touristiques a été donné sur la base d'une clause d'intérêts légitimes. Pour éviter toute jurisprudence de l'instance fédéral ed'appel aucun cas n'a été transmis à la deuxième instance d'appel. Toutefois, en 1963, lorsque la jurisprudence fédérale a clairement montré qu'elle n'approuvait pas les autorisations sur la base du tourisme, le gouvernement a décidé de ne plus octroyer d'autorisations dans les stations importantes.Toutefois, en pratique, les décisions n'ont pas été modifiées mais elles ont simplement été accompagnées de charges pour prévenir la spéculation. Jusqu'à 1972, la politique valaisanne a été déterminée conjointement par la première instance, le chef du département des Finances, ainsi que le gouvernement.

Sous le régime de la Lex Furgler (74-83), la structure s'est compliquée légèrement. Sous la pression des Cantons touristiques, la loi prévoyait la possibilité d'acquisitions pour des raisons touristiques, et ceci dans les régions touristiques. Toutefois, il existait aussi une clause qui bloquait toute acquisition dans les lieux où un certain nombre de propriétés étrangères existait déjà. En pratique toutes les stations étaient bloquées. Toutefois et curieusement, un arrêté d'exécution prévoyait que l'on pouvait vendre une partie d'un ensemble immobilier à des étrangers dans ces stations bloquées. Le délégué cantonal pour les questions économiques (une agence de coordination entre les acteurs économiques) avait mandat pour décider des dispenses spéciales pour les stations touristiques bloquées par Berne. Surtout lorsqu'un système de quotas a été introduit par Berne, ces décisions sont donc devenues entièrement politiques; il s'agissait de formuler une politique de distribution de ressources. Le Valais connaissait peu d'autres types d'acquisitions à part les immeubles nécessaires au fonctionnement d'entreprises en mains étrangères. Tous ces autres cas correspondaient bien, à notre avis, à l'esprit des lois successifs de la LAIE. Cela a été rendu possible par le fait que la première instance était un personnage très légaliste qui gardait le contact avec l'office fédéral en ce qui concernait les cas limites difficiles. Le Valais était un mouton noir, non parce qu'il interprétait la loi en dehors des limites (comme Genève), mais parce qu'il exploitait de façon déterminée les possibilités prévues dans la loi favorisant le développement du tourisme dans une région économiquement faible.

(3) Lucerne, dans sa relation avec la LAIE était différente des autres sous plusieurs aspects. Tout d'abord, ses représentants au parlement suisse ont contribué largement à la genèse de cette législation et aux modifications successives en 1973 et en 1983. Cela concorde avec la perception hostile qu'avait la population locale de la vente d'immeubles aux étrangers. En 1959, le plan pour quelques résidences de vacances près d'un site historique avait déjà provoqué une opposition locale (et par la suite nationale) très remarquée. Lucerne est un Canton sans beaucoup d'industrie (à par une zone importante au nord de la ville de Lucerne). Son économie dépend substantiellement du tourisme. Toutefois, contrairement au Valais, son tourisme est traditionnel et il s'oriente autour de l'hôtellerie. En plus il est surtout fondé sur la beauté de la Suisse centrale, et beaucoup moins sur l'industrie du ski. Ainsi la pression économique pour vendre des chalets et des appartements aux étrangers n'était pas très forte. Les deux exceptions notables favorisant une politique libérale étaient Rigi-Kaltbad (un site de grande renommée en été) et Fluehli (une vallée perdue au sud-ouest). Notons ici encore que Zermatt, la seule station traditionnelle du Valais s'était opposée aux ventes, par crainte pour son hôtellerie.

En 1961, comme c'était le cas à Genève et en Valais, on a pu observer un réel consensus parmi les acteurs cantonaux. Bien sûr, le consensus allait dans un autre sens. L'aliénation d'immeubles et surtout du sol à des étrangers devait être évitée. La structure locale de mise en application de la loi était très différente de celle des deux autres Cantons. Les préfets des cinq districts administratifs sont devenus les premières instances d'autorisation. Ces autorités sont élues selon des critères politiques et elles possèdent une certaine indépendance du gouvernement "tous partis" typique en Suisse. Ces instances ont été créées avec le raisonnement suivant: la procédure d'appel aurait été sans valeur juridique si la première instance avait fait partie d'un département du gouvernement. Le cas de Genève montre en effet que les chefs d'un gouvernement collectif ne cherchent pas à entrer en conflit. Il a été aussi envisagé d'accorder la première instance aux communes, toutefois par crainte de partialité, ceci n'a pas été fait. Toutefois, les préfets connaissent bien les situations locales étant donné qu'ils exercent la fonction de supervision des communes.

Examinons comment une autorité indépendante et "distribuée" fonctionnait dans un Canton pro-LAIE. Au début, presque toutes les décisions étaient prises dans le district de Lucerne. Son préfet est donc devenu naturellement le consultant informel de tous ses collègues. Le département de la Justice était désigné comme autorité habilitée à recourir et il était actif dans sa fonction de supervision. Ces deux circonstances assuraient une bonne harmonie d'application dans ce Canton. Un trait particulier du système lucernois était l'obligation de consulter les Communes et de leur communiquer les décisions. Leur avis n'était pas décisif, toutefois il a dû influencer certaines décisions un peu critiques. Les relations avec l'office fédéral de justice étaient différentes de celles qu'avait surtout Genève, très conflictuelles. A la différence du Valais, la coopération s'exerçait sur toute la ligne. La première instance a fréquemment consulté l'office fédéral de Justice. Durant la période de la Lex Furgler, ce mécanisme a empêché des appels de la part de l'office fédéral. Il s'agit donc d'une sorte de coopération "anticipatoire", d'ailleurs très fréquente (mais pas obligatoire) avec d'autres cantons pro-LAIE.

Surtout durant la période de la Lex Von Moos, la LAIE était perçue comme un instrument pour limiter les acquisitions étrangères. Le préfet de Lucerne était un inconditionel de la ligne dure. Certaines de ses décisions sur l'assujettissement ont du être annulées pour des raisons juridiques. Mais d'une façon générale, première et deuxième instance se sont mises d'accord sur le fait que les raisons d'investissement de capital ou de vacances ne donnaient pas droit à une autorisation. Toutefois, plus tard, sous la pression des communes, quelques autorisations ont été données pour des raisons de vacances. Parfois, la première et la deuxième instance étaient en désaccord en ce qui concernait le motif de l'intention de vivre en Suisse. Mais il s'agissait de différences de degré et non pas de principe. Le principe était le refus, et l'exception était l'autorisation.

Malgré leur accord avec l'instrument "Lex Von Moos", le gouvernement cantonal a activement encouragé la révision conduisant à la Lex Furgler. Leur motif était le désaccord avec la politique "faible" menée par d'autres Cantons. Toutefois, contrairement aux attentes, la nouvelle loi a eu un effet indésirable. Les communes touristiques étaient dorénavant autorisées à vendre des immeubles à des étrangers, à condition que la part des possessions étrangères reste sous un certain niveau. Mais rappelons que les communes pouvaient vite être bloquées si les quotas étaient dépassés ou si les communes le désiraient elles-mêmes. Au début, certaines communes (leurs promoteurs) ont profité de cette possibilité, même si elles ne l'ont pas fait savoir à voix haute. Toutefois, quand les ventes sont devenus trop importantes à leurs yeux, ces communes ont demandé à être bloquées. Mais que faisait Lucerne avec les dispenses généreuses prévues par l'arrêté fédéral d'exécution. Les communes demandaient en règle générale un seuil plus bas que les 65% d'appartements dans des ensembles nouvellement construits. Dans ces cas, le préfet a gardé une attitude passive et il a laissé la liberté aux communes de définir leur politique. En outre, comme il n'existait pas d'industrie de vacances fondée sur la construction et comme peu de communes se prêtaient à cet exercice, le phénomène n'a pas soulevé trop de problèmes.

En ce qui concerne les décisions moins fréquentes, il existait plus de conflits entre les acteurs du Canton. Lorsque des raisons économiques importantes étaient en jeu, les autorités communales faisaient pression pour obtenir une autorisation. En Suisse, en règle générale, les communes perçoivent une partie substantielle des impôts directs (presque 50%). Il s'agit essentiellement d'étrangers riches (apport d'impôts considérables) qui font de l'acquisition d'une villa avec une certaine superficie la condition pour l'élection de leur domicile. La première instance a, en règle générale, donné une décision négative si les critères locaux (et fédéraux) d'application de la loi l'exigeaient. Toutefois, dans certains cas et sous l'influence d'autorités impliquées dans la promotion économique, certaines décisions très libérales ont été prises. Dans ce sens, Lucerne montre dans certains cas isolés les mêmes symptômes que Genève, c'est-à-dire les nécessités économiques primant l'esprit d'une loi. Après le départ du chef du Département de la Justice très pro-LAIE,cette tendance s'est renforcée. Toutefois, ces décisions étaient prises plutôt exceptionnellement. Lucerne a toujours cherché à appliquer correctement la loi. Par exemple, le canton a très bien vérifié le contrôle indirect de capital suisse par les étrangers. Le préfet a toujours obtenu toutes les informations nécessaires des autres autorités comme le service des impôts. Ce n'était pas le cas à Genève, où pratiquement aucune collaboration n'existe entre offices. Beaucoup de décisions de la première instance ont été prises simplement sur la base de déclarations notariaes.

En résumé, Lucerne a tenté de mettre en application une politique de mise en oeuvre stricte et sérieuse. Un coopération entre tous les agents directement ou indirectement impliqués avec la LAIE a existé. Dans les cas où des intérêts économiques importants étaient en jeu et où il existait un support d'au moins une partie du gouvernement, on a pu observer des décisions libérales. Le seul paradoxe nous semble être la politique très libérale dans le domaine des appartements de vacances, où l'on a laissé toute l'initiative aux communes. Les acteurs interrogés dans l'étude de Delley et al. ne sont pas arrivés à expliquer ce fait. Ceci nous permet de faire une parenthèse méthodologique: très souvent, il est difficile, voire impossible de trouver les causes d'une décision. Certains cours d'action importants se développent sans aucune prise de décision explicite et consciente.

En conclusion de cette discussion, nous pouvons faire l'hypothèse que la politique cantonale (attitudes et structures de la mise en oeuvre) de l'application d'une loi est avant tout produite par les besoins économiques du Canton, tels qu'ils sont perçus et définis par l'élite politique locale, à condition qu'elle soit plus ou moins unie sur ce point. L'attitude générale face à la LAIE et certains particularités du système de mise en oeuvre influencent également la politique d'application.

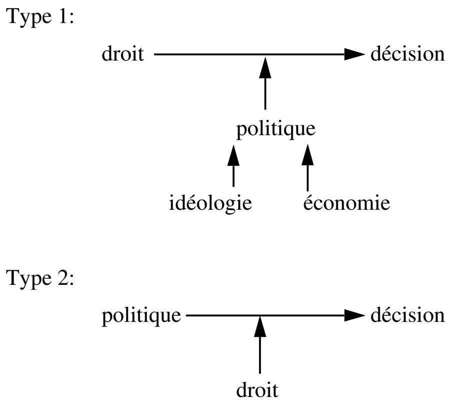


Figure 5-13: L'interaction entre le droit et le politique

5-4.2 La modélisation d'un système de mise en oeuvre

L'interaction du droit et de la politique

Le bref historique sur la mise en oeuvre de la LAIE dans trois Cantons montre la grande influence de la politique, même lorsqu'il s'agit d'une loi relativement bien codifiée. Par "politique", nous entendons une large variété de facteurs idéologiques, économiques, politico-administratifs, etc. qui peuvent interagir avec une loi. Dans ce sens, la loi ne constitue qu'un élément dans un processus permanent de décision. Elle est l'instrument principal du décideur, mais c'est un instrument qui tombe sous la contrainte d'un environnement (type 1). Il est également possible d'examiner cette situation sous un angle différent. Pour certains décideurs politiques, tout cas d'acquisition d'immeubles est avant tout un problème politique. Un tel décideur perçoit un tel problème comme quelque chose qu'il faut résoudre sous la contrainte de la loi, mais également sous d'autres contraintes. L'importance de la loi est donc relativisée dans ce cas et on essaie d'adapter la loi le plus possible aux nécessités politiques (type 2). Ces deux situations sont reproduites dans la figure 5-13.

Parmi ces deux types idéaux, nous pensons que le premier est plus important dans la mise en oeuvre de la Lex Furgler. Les décideurs qui constituent la première instance de décision sont, en règle générale, des juristes qui perçoivent leurs cas avant tout comme des problèmes juridiques. Ils perçoivent bien les dimensions économiques et politiques mais ce sont des contraintes et non pas des recettes de décision. En d'autres termes, la plupart des éléments (sous-problèmes) d'un cas sont des problèmes légaux et seulement certaines questions d'appréciation sont traitées selon des critères politiques. Ceci n'est pas surprenant, car ces questions coïncident avec les clauses qui ont été volontairement ou involontairement laissées ouvertes par le législateur. Pour modéliser une décision, on peut donc d'abord simuler l'application de toutes les clauses d'une loi dominées par un raisonnement juridique pur. Ensuite, il faudra identifier les clauses ouvertes influencées par des paramètres politiques et tenter de trouver une logique générale capable de simuler une variété locale de la mise en oeuvre.

Dans ce type de modélisation, nous arrivons aussi à intégrer le politicien pour qui le droit n'est qu'une contrainte, parfois même ennuyeuse. Il est malgré tout tenu d'opérer par rapport à un cadre légal, même s'il donne l'ordre à ses fonctionnaires de le déformer selon les besoins. En règle générale, on peut dire que la loi est respectée, mais pas forcément dans l'esprit de la majorité des législateurs ou de celui de l'office fédéral de justice. Certaines clauses de la loi sont interprétées de façon particulière, mais l'ignorance pure et dure était plutôt rare.

La modélisation de la mise en oeuvre dans les cantons

Il existait plusieurs clauses "délicates" dans la Lex Furgler. L'une d'entre elles était la superficie que l'on pouvait acquérir pour la résidence principale de l'acquéreur. Une autre concernait les autorisations pour le motif de "relations étroites, dignes d'être protégées" avec le lieu. Nous allons tenter de modéliser la pratique de l'interprétation de ces deux clauses. Par contre, nous en laisserons d'autres de côté, telle que la domination financière étrangère (dans sa forme extrême, les achats par hommes de paille). Il s'agit ici d'une problématique complexe, notamment lorsque les acquéreurs sont des entreprises anonymes qui montrent une activité commerciale ou industrielle effective.

Les fonctionnaires de la première instance ont diverses perceptions du rôle de la politique dans leurs décisions. La plupart ont une idée très technique de leur travail. Il ne perçoivent pas leur fonction comme un travail de décideur politique. Toutefois, même dans ce cadre orienté autour de la loi, les intérêts de l'environnement politique doivent être considérés puisque le travail d'appréciation de certains paramètres de décision l'exige. Surtout dans la LAIE, certains conflits qui existaient pour le législateur et pour la population ont été traduits dans la loi elle-même. Il s'agissait surtout de ne pas trop brusquer certaines minorités qui avaient des intérêts très différents. Ensuite, le législateur n'a jamais trouvé un consensus très clair sur le point suivant: Est-ce que les ventes aux étrangers étaient un vrai problème, était-il "culturel" ou économique? S'agissait-t-il d'un problème de spéculation, de rareté du sol, de l'aliénation du patrimoine ou de tout cela en même temps? Cette confusion rend la loi adaptable aux conditions locales. Mais comme des différences de perception existaient également au niveau local et certainement entre l'office fédéral de Justice et les cantons libéraux en la matière, la première instance avait pou tâche de les résoudre. Elle a donc une fonction active pour la définition de la mise en oeuvre de la loi.

Dans le cas le plus simple, le juriste responsable de la première instance a tenté de suivre le consensus local si la loi le permettait d'une manière ou d'une autre. Cette stratégie pouvait causer des problèmes, car elle pouvait provoquer une intervention de l'office fédéral de justice. Parfois, dans des cantons stricts, il existait un conflit entre les responsables de l'économie publique et d'autres éléments du gouvernement au sujet d'une acquisition d'une grande superficie pour le domicile d'un riche étranger. Des cas importants ont été décidés par consensus après négociations entre première instance, instance habilitée à recourir (ou leur chefs respectifs dans le gouvernement) et le gouvernement dans l'ensemble. Certaines situations dans les cantons étaient plus difficiles. Il existe des cas de dissonance où un juriste "légaliste" s'est opposé aux voeux d'un supérieur politique peu respectueux de certaines clauses de la loi ou surtout des arrêtés d'exécution. Parfois des compromis ont été trouvés, parfois cela a conduit à des appels ou encore à des mutations administratives.

Lorsqu'un demandeur soumet un cas pour une éventuelle autorisation, il est confronté à un systèmes d'acteurs. Les acteurs les plus importants sont la première instance, l'instance habilitée à recourir, la deuxième instance (et le gouvernement si les deux ne sont pas identiques) et l'office fédéral de justice. D'un point de vue formel, il s'agit d'instances séparées, mais souvent il existe (à l'exception du tribunal fédéral) un bon réseau de communication informel impliquant les autres acteurs dans les décisions de la première instance. La première instance, a assez vite délimité son espace de liberté pour éviter des recours. En plus, comme tout acteur social, la première instance doit anticiper la réaction des autres instances. Il existe donc un système d'harmonisation par anticipation et par négociation. Le réseau de communication et les mécanismes d'anticipation ont comme résultat de réduire le nombre de conflits ouverts et formels pour l'application de la LAIE. Ainsi on peut, dans une modélisation, traiter le système de décision comme une sorte d'acteur unifié dans la plupart des cas.

Nous pouvons même aller plus loin. La première instance agit comme agent coordinateur qui n'intègre pas seulement les opinions des autres acteurs du système mais également celles d'acteurs extérieurs, par exemple des groupes qui font pression sur la décision. La décision est à la fois le produit de contraintes externes et de paramètres du système. Une fois que l'on connaît le contexte politique et économique local, le contexte idéologique local face à la loi, la structure des institutions, ainsi que la politique de l'Office fédéralede justice on peut approximativement déterminer la politique de décision locale. Pour obtenir un modèle de la configuration locale, il faut encore tenir compte de la personnalité de la personne responsable de la première instance, et surtout de son attitude personnelle face à la LAIE dans le cas où elle diffèrerait de celle de son ministre.

Dans le schéma dans la Figure 5-14: "La boîte de décision locale" [p. 218], nous montrons les trois principaux facteurs explicatifs de la décision: (1) le cas, (2) le support (pressions économiques et politiques) et (3) le système local du système de la décision. Nous discutons en premier lieu la modélisation de ce dernier. Le système local de décision est un produit de plusieurs facteurs que l'on vient d'introduire:

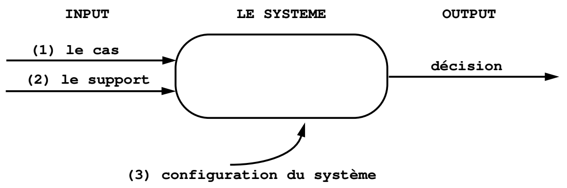


Figure 5-14: La boîte de décision locale

1. **la perception locale de la loi**: ce facteur résume comment le gouvernement local perçoit la LAIE et comment il veut l'utiliser pour réguler les acquisitions étrangères. Nous pouvons distinguer trois attitudes de base: (a) plus stricte que Berne, (b) en accord avec Berne et (c) moins stricte que Berne. A l'exception de la Lex Von Moos, le cas (a) n'est pas très probable, puisqu'un canton n'aurait pas pu se défendre contre un acquéreur déterminé.
2. le **légalisme**: on essaie de savoir si la première instance est déterminée (de façon générale) à appliquer une loi selon l'esprit de la loi en tenant compte des textes légaux et de la jurisprudence, ou si elle est d'accord pour se plier aux voeux de son chef de département. Ici, nous distinguons deux attitudes de base: (a) interprétation correcte de la loi, (b) d'accord pour interpréter très largement certaines clauses.
3. la **dépendance de la première instance du gouvernement local**, c'est-à-dire son insertion directe dans l'organisation d'un ministère cantonal ou pas. Nous distinguons deux situations: (a) dépendance et (b) indépendance.
4. la **collaboration** avec Berne est un facteur qui dépend fortement des autres. Essentiellement, on retrouve des situations de (a) collaboration et de (b) non-collaboration. Collaboration signifie qu'il y a échange d'information entre Berne et la première instance. L'office fédéral de justice peut approuver ou désapprouver de façon informelle une décision, donner des conseils, etc.
5. la **perception personnelle de l'utilité de la loi** peut influencer la décision dans certains cas. Nous distinguons entre les attitudes (a) d'accord et de (b) désaccord.

Cette grille est assez rudimentaire, mais même pour ce petit nombre de facteurs simples, il est assez difficile de modéliser la manière dont ils interagissent et la manière dont ils influencent une décision de la première instance. Car, outre la complexité de toutes les possibilités d'interaction à maîtriser, il est extrêmement difficile de procéder à des généralisations.

Nous possédons peu d'observations (trois cantons). En règle générale, un système local a tendance à être assez stable, mais parfois sous la pression, il change de logique. Etant donné que ces cas sont rares, il est difficile de faire des hypothèses sur l'élasticité[7] d'un système. Par exemple, peut-on faire l'hypothèse que les décisions libérales de Lucerne, lorsque des intérêts économiques importants étaient en jeu, traduisent une logique générale de toute application d'une loi? Ou est-ce un hasard?

Voici un résumé de notre grille, avec les valeurs les plus probables que l'on peut observer à long terme:

paramètre:	valeurs:
1.perception locale de la LAIE	accord / désaccord
2.légalisme	oui / non
3.dependance de la 1ère inst.	oui / non
4.collaboration avec Berne	oui /non
5.perception personnelle	accord / désaccord

En combinant ces 5 facteurs binaires, nous obtenons 32 configurations possibles du système local. Toutefois, certaines combinaisons peuvent être exclues pour des raisons logiques et empiriques. Avant tout, il existe une certaine hiérarchie entre ces facteurs. Par exemple, un juriste en désaccord avec la LAIE et qui en plus montre une attitude peu légale ne garderait pas longtemps sa fonction dans un contexte où la LAIE est bien acceptée. Nous allons tenter de construire un arbre de décision qui tiendra compte de ce genre de raisonnement.

Afin de bien séparer le langage naturel des formes manipulées dans les modèles, nous utilisons des mots anglais dans le modèle, ainsi que dans la Figure 5-15: "Une typologie des systèmes locaux" [p. 220]. La perception locale est le facteur le plus important dans notre arbre. En termes traditionnels, il explique l'essentiel de la variance que l'on peut observer. Nous imaginons difficilement toute application "faible" de la LAIE dans un canton "fort", puisque la deuxième instance ne va pas prendre de décisions qui vont à l'encontre de la loi telle qu'elle est interprétée par Berne. Pour des raisons de jurisprudence, une application trop restrictive de la loi serait également exclue. Les promoteurs s'adresseraient vite au tribunal fédéral pour défendre leur libertés. Ainsi nous pouvons définir un premier type de système local "étroit" (narrow). Ce cas correspond plus ou moins à celui de Lucerne.

Examinons l'ensemble des systèmes opposés à la LAIE. Dans un cas simple, on retrouve une première instance qui n'est pas légaliste. Ceci devrait conduire à une application très large de la loi et à notre deuxième type: "wide-1". Si la première instance est un juriste déterminé à faire respecter l'esprit de la loi (défini par la majorité du parlement et les autorités fédérales), différentes situations peuvent se produire. Si la personne en question est aussi en désaccord personnel avec la LAIE, elle va certainement produire des décisions qui seront sans doute solides d'un point de vue juridique, mais pas forcément en accord avec l'esprit de la loi. Ce cas de "medium-1" que l'on aurait aussi pu appeler "wide-3" correspond à la mise en application genevoise de loi jusqu'en 1980. Un juriste très compétent en accord avec son chef de département a su créer les bases juridiques solides pour une politique genevoise déviante.

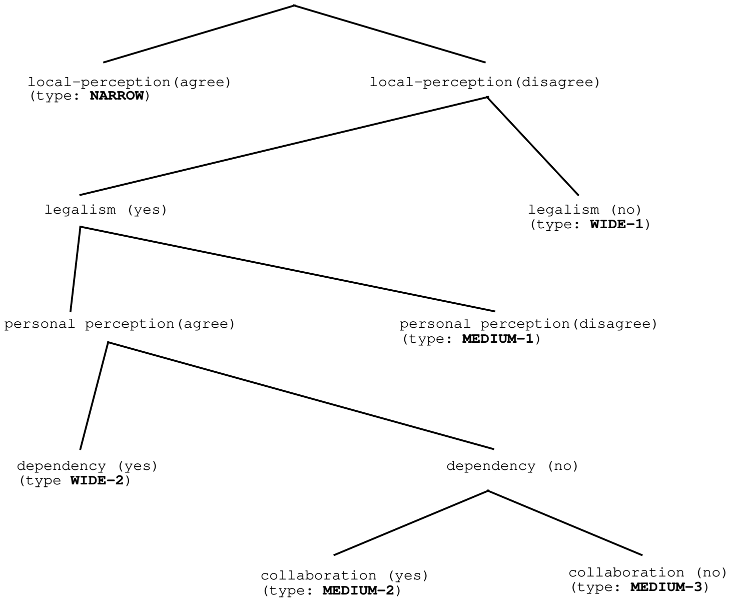


Figure 5-15: Une typologie des systèmes locaux

Dans un canton hostile à la loi, lorsque la première instance est un supporteur de la LAIE et qu'elle dépend fortement d'un ministre, une situation délicate peut se produire. Le juriste en question peut être soumis à de fortes pressions par la hiérarchie. En cas de refus, la personne sera mutée. Ce cas "wide-2" a existé (pendant un certain temps) à Genève.

Finalement, dans un canton hostile, où la première instance est relativement indépendante au plan administratif, un compromis peut être trouvé qui sera plus strict que le cas "medium-1". Une bonne collaboration avec Berne renforcera sa position, il s'agit du cas "medium-2". Si le gouvernement ou une autre instance d'appel annule une de ses décisions, l'office fédéral de justice peut faire appel au tribunal fédéral. Ce dernier sou-

---

[7] Par élasticité nous entendons la variation de la politique d'application de la loi en fonction des paramètres externes au système de décision (variation de la situation économique, pressions économiques, variation d'opinions politiques, etc.).

tient, en règle générale, l’opinion de Berne. Ce cas a existé en quelque sorte dans le Valais sous la Lex Furgler. Nous n’avons pas connaissance d’un cas medium-3 (un juriste “légaliste”, d’accord avec la LAIE et indépendant mais sans collaboration avec Berne). Toutefois, ce cas reste possible. Il s’agirait d’une instance qui garderait son indépendance de tous les côtés.

Après cette discussion, il faudrait quand même bien noter que cette typologie mesure des degrés de l’application et non pas des mondes complètement à part. La précision relative de la loi, les moyens juridiques de Berne ainsi que le tribunal fédéral garantissent quand même une certaine homogénéité et les acquisitions des étrangers à des fins spéculatives ont sans doute été massivement freinées. Ce sont surtout des questions de superficie occupée par des villas, ou encore l’appréciation de certains motifs d’autorisation comme les relations dignes d’êtres protégées ou encore le séjour personnel qui ont posé problème.

Les règles suivantes tirées du modèle P-Lex définissent formellement cette taxinomie enregistrée dans le paramètre "*local-system". Nous capturons la même information dans une échelle ordinale avec le paramètre "*local-sys". Nous donnons un résumé de la façon dont on définit les six paramètres caractérisant les systèmes locaux de mise en oeuvre dans la figure 5-16.

```
;; Each canton can apply the law within certain limits.
;; With the aid of the following parameters we define a local system:
;; *pl-local-perception       the local perception of the LAIE
;; *pl-legalism               a psy variable for the first instance
;; *pl-perception          the perception of the LAIE by the first instance
;; *pl-dependency          the administrative dependency of the first inst.
;;                            of its minister
;; *pl-collaboration        the degree of informal collaboration with Bern
;; Alternatively for the "long-term-residence" cases we directely define
;; the local system by asking the canton.
;; In our system we shall both use nominal values for the local system
;; (*local-system) and an ordinal scale (*local-sys)
;---------------------- parameters ----------------------------------
;; the "local-system" parameter
(defparm *local-system single (narrow medium-1 medium-2 medium-3 wide-1
         wide-2) pol inferred)
;; the "local-system" parameter as an ordinal scale
(defparm *local-sys single (1 2 3 4 5 6) pol inferred)
```

Figure 5-16: Paramètres définissant un système local

*local-system	*pl-local-perc	*pl-perception	*pl-legalism	*pl-dependency	*pl-collaboration
narrow	agree				
medium-1	disagree	disagree	yes		
medium-2	disagree	agree	yes	yes	yes
medium-3	disagree	agree	yes	yes	no
wide-1	disagree		no		
wide-2	disagree	agree	yes	yes	

```
(defparm *pl-loc-perc single (agree disagree stricter) pol ;mainprop
 "Does the local government agree with the general policy lines of the LAIE
? ")

(defparm *pl-perception single (agree disagree stricter) pol ;mainprop
 "Does the first instance agree with the general policy lines of the LAIE
? ")

(defparm *pl-legalism yesno (yes no) pol ;mainprop
  "Is the first instance legalist ? ")

(defparm *pl-dependency yesno (yes no) pol; mainprop
  "Does the first instance strongly depend from the government ?")

(defparm *pl-collaboration yesno (yes no) pol ;mainprop
  "Does the first instance informally collaborate with the OFJ ?")

;------------------- rules ---------------------------
(defrule $pl-1
  <=>
  (same *pl-loc-perc disagree)
  (notsame *pl-legalism yes)
  ==>
  (*local-system wide-1 0.8)
  (*local-sys 6 0.7)
)
(defrule $pl-2
  <=>
  (same *pl-loc-perc disagree)
  (same *pl-legalism yes)
  (same *pl-perception disagree)
  ==>
  (*local-system medium-1 0.8)
  (*local-sys 4 0.7)
)
(defrule $pl-3
  <=>
  (same *pl-loc-perc disagree)
  (same *pl-legalism yes)
  (same *pl-perception agree)
  (same *pl-dependency yes)
  (same *pl-collaboration yes)
  ==>
  (*local-system medium-2 0.8)
  (*local-sys 2 0.7)
)
(defrule $pl-4
  <=>
  (same *pl-loc-perc disagree)
  (same *pl-legalism yes)
  (same *pl-perception agree)
  (same *pl-dependency yes)
  (notsame *pl-collaboration yes)
  ==>
  (*local-system medium-3 0.8)
  (*local-sys 3 0.7)
)
(defrule $pl-5
  <=>
  (same *pl-loc-perc disagree)
  (same *pl-legalism yes)
   (same *pl-perception agree)
  (notsame *pl-dependency yes)
  ==>
  (*local-system wide-2 0.8)
  (*local-sys 5 0.7)
)

(defrule $pl-6
  <=>
  (same *pl-loc-perc agree)
  ==>
  (*local-system narrow 0.8)
```

```
  (*local-sys 1 0.7)
)
```

Ces paramètres donnent une classification assez rigide, mais par rapport à notre ambition de tester une méthodologie, elle sera suffisamment fine. Le fait que de telles règles figent en quelque sorte le décideur par rapport à un type fixe est plus préoccupant. Il est très difficile de savoir dans quelle mesure un système local reste stable. Autrement dit, il est à craindre que n'importe quel système local puisse changer suite à certains changements ou certaines pressions politiques et économiques. Les résultats empiriques ont déjà montré que la loi était toujours interprétée assez largement même dans les cantons stricts, lorsque des intérêts économiques importants étaient en jeu. En effet, le texte citant "liens économiques (ou autres) extraordinaires", "sans que l'intérêt public s'y oppose" incite lui-même à cette très large interprétation. Cette interprétation pour ces cas spéciaux peut être modélisée. Par contre, il sera assez difficile de modéliser un revirement complet d'un système local sans faire un modèle politique et économique du canton.

L'intérêt public et le soutien de milieux "intéressés"

Outre la nature du système local de mise en oeuvre, une dimension importante dans la modélisation de la décision est représentée par les pressions externes et son alter ego, l'intérêt public. Rappelons qu'un cas soumis au décideur se définit en termes juridiques par (1) la nature de l'acquisition, (2) la nature de l'acquéreur, et (3) les motifs d'autorisation suggérés. Certains cas incluent de l'information sur la valeur d'une acquisition pour le canton, la commune ou la nation. Ensuite, certains cas jouissent d'un soutien politique et économique important. Souvent les deux vont de pair. L'interaction de ces 3 aspects (la définition juridique du cas, la valeur économique et politique de l'acquisition ou de la personne, le soutien externe) peut se révéler assez difficile à tracer avec précision. Mais essayons pour le moment de distinguer simplement les cas selon un axe "soutien et intérêt public". On peut en effet penser que le poids du soutien croit avec l'intérêt public, puisque le soutien le plus important ne peut venir que d'agents politiques et surtout du gouvernement.

La souplesse de chaque système local de mise en application est large si on tient compte de circonstances exceptionnelles. Toutefois l'étendue des écarts par rapport à la normale varie selon le type de mise en application locale. Mentionnons tout d'abord que la loi ne peut pas être appliquée de façon beaucoup plus restrictive que l'esprit de la loi ne le suggère, car les demandeurs feraient appel et ils gagneraient. L'étude de Delley et al (82). a par contre montré clairement que les premières instances ont accepté des interprétations très larges de la loi, une fois soumises à des pressions. Il s'agit le plus souvent de pressions politiques ou économiques mettant en jeu l'intérêt de la nation ou du canton. La loi prévoit ces cas. Il pouvait s'agir par exemple d'un potentat étranger venant d'un pays économiquement important pour la Suisse ou d'un étranger désirant acquérir une résidence principale et qui payera donc beaucoup d'impôts. Dans les deux cas, ces demandeurs avaient le soutien d'instances politiques suisses, cantonales ou communales importantes.

Maintenant, nous pouvons formuler une théorie concernant l'interaction entre la nature de la mise en application locale et le facteur "soutien". Le résumé de nos hypothèses se trouve dans la figure 5-17. Chaque système possède une certaine élasticité. Lorsqu'une demande n'est pas accompagnée de soutien particulier, le décideur de première instance réagit selon les paramètres habituels. Ensuite, il existe une limite "supérieure". Celle-ci est difficile à déterminer et elle semble être large pour toutes les variantes cantonales. Il existe peu de cas empiriques, mais il est en effet difficile de croire que n'importe quel système peut résister à des pressions politiques et économique fortes. On a également pu constater quelques décisions que l'on peut qualifier d'extrêmes et qui violent clairement l'esprit de la loi. Ce type est intervenu dans les cantons opposés à la LAIE et qui avaient une première instance de type "non-légaliste". Le cas "medium-3" (Genève en fait partie) est plus difficile à caractériser, car il était difficile d'obtenir des informations. A Genève, l'accès à ces dossiers était bloqué par exemple.

5-4.3 Etudes de cas

Dans notre modèle nous nous sommes particulièrement intéressés aux acquisitions d'un immeuble à titre personnel. Le motif des "relations dignes d'être protégées" avec le lieu d'acquisition est intéressant et nous allons le discuter ici en quelque détail. L'article 6-2a-1 définit comme intérêt légitime l'existence, entre l'acquéreur et le lieu de situation de l'immeuble, de *rapports d'affaires* ou *d'autres relations dignes d'être protégées* extrêmement étroits (cf. Delley et al. 82:221): Cette clause dans la loi est précisée par l'art.10-1 "Relations de l'acquéreur dignes d'être protégées" d'une ordonnance fédérale d'exécution. 5 types de relations sont énumérés:

Figure 5-17: L'interaction entre système local et soutien externe

public interest & support:	none	normal	high	very high
narrow		narrow	medium	wide
medium-1		medium-wide	wide	wide
medium-2		medium	wide	wide
medium-3		medium	wide	extreme
wide-1		wide	extreme	extreme
wide-2	medium	wide	wide	wide

```
Exemple d'une règle P-Lex associée au calcul:
(defrule $cl-ec-4
 (greater *cl-ec-number-stayed 5)
 (less *cl-ec-number-stayed 11)
 (greater *cl-ec-days-stayed 14)
 ==>
 (*cl-ec-frequent-stays 3 0.8)

          number of days         number of stays        scale
          stayed                 in one year

          > 60                   > 10                   5
          > 30                   > 10                   4
   IF     > 14                   > 5             THEN   3
          < 14                   < 6                    2
          < 14                   < 3                    1
```

Figure 5-18: Le "calcul" de l'importance du séjour

> (a) lien de parenté avec des personnes établies;
> (b) fréquentation d'écoles ou exercice d'une profession dans le passé;
> (c) services culturels ou scientifiques;
> (d) activités présentant un intérêt d'économie publique;
> (e) d'autres circonstances justifiées par un intérêt publique.

Le chiffre 2 de cet article précise exige que ces relations soient extrêmement importantes.

Malgré cette énumération détaillée qui a tenté de cerner la notion de relations dignes d'être protégées, il était impossible de garantir une interprétation homogène en Suisse. Citons un exemple très "séduisant" qui vient (encore) de Genève. Genève prétendait que l'art. 6-2a1 faisait une discrimination claire entre relations d'affaires et autres relations et que l'article 10 de l'ordonnance ne faisait que spécifier ces "autres relations". Et ceci malgré le fait que les relations d'affaires sont explicitement mentionnées dans l'art. 10-1d de l'ordonnance.

La grande question était de savoir comment mesurer la force d'une relation. Dans l'article 10-1d nous retrouvons deux raisons d'autorisation qui doivent être évaluées en fonction des "données":

- (1) les relations d'affaires d'un intérêt public
- (2) les visites d'affaires quasi-permanentes

Pour juger de la nature et de la portée exacte de ces faits juridiques, la première instance doit procéder un peu comme un chercheur: elle doit opérationnaliser des concepts et tenter de les mesurer en termes de données. Elle peut se contenter d'accepter des déclarations notariales ou elle peut essayer de chercher des faits réels. La deuxième raison (visites d'affaires) peut être mesurée en termes de nombre de journées et de séjours par année passés dans le lieu. On peut créer une sorte de taxinomie, établissant par ordre d'importance les fréquences de séjour. Dans P-Lex, nous utilisons une échelle allant de 1 à 5 (insignifiant à quasi-permanent) comme le montre le schéma Figure 5-18: "Le "calcul" de l'importance du séjour". Cette échelle "*pl-frequent-stays*" est par la suite utilisée par P-Lex pour déterminer le reste.

Ensuite, nous devons mesurer en termes opérationnels ce que signifie "relations d'affaires d'un intérêt public" (première raison). La plupart des cas concernaient deux types de situations:

- (a) des personnes ayant des relations d'affaires avec une entreprise locale;
- (b) des personnes qui travaillent pour une entreprise locale (sans avoir un séjour permanent).

Examinons d'abord les relations d'affaires au sens propre (a). En pratique, il existe deux mesures fréquemment utilisées pour mesurer leur importance:

- l'accès aux marchés étrangers (grâce à la personne demandeuse)
- l'importance des transactions avec l'entreprise locale

Nous utilisons une échelle similaire pour mesurer l'importance d'une relation d'affaires. Mais les deux variables sont extrêmement difficiles à mesurer. Les transactions peuvent être quantifiées en termes de Mio Sfr. par année. Par contre, l'importance de l'accès aux marchés étrangers est souvent assez vague du style "grâce aux contacts avec X, on a pu éviter des licenciements". Notre formalisation en souffre et nous demandons à l'utilisateur de fournir une appréciation. Voici un bref extrait du code montrant deux règles (parmi d'autres) qui mesurent l'importance des relations d'affaires. Ces deux règles testent une importance élevée de relations d'affaires:

```
(defparm *cl-ec-economic-importance single (1 2 3 4 5) close-relations)
(defparm *cl-ec-foreign-markets single (1 2 3 4 5) close-relations
 "Does the acquirer provide access to foreign markets ? (1=no, 5=high)")
(defparm *cl-ec-money-involved single numb close-relations
 "Money involved in annual business transactions with local firms (MIO SFR)
?")

(defrule $cl-ec-10
 (greater *cl-ec-foreign-markets 5)
 (greater *cl-ec-money-involved 1)
 ==>
 (*cl-ec-economic-importance 5 0.9)
)
(defrule $cl-ec-11
 (greater *cl-ec-foreign-markets 10)
 ==>
 (*cl-ec-economic-importance 5 0.9)
)
```

Cet exemple montre bien où résident les difficultés de ce type de modélisation. Dès que l'on s'attaque à des problèmes flous, on peut constater une explosion de critères et de paramètres: on ignore comment se passent les choses sur le terrain et on penche parfois vers l'hypothèse que les décideurs utilisent seulement des intentions vagues qui sont très difficiles, voire impossibles à modéliser. Construire un vrai système d'expert est une tâche longue et itérative et peut prendre des années de travail. Toutefois, dans notre cas, pour des raisons d'économie de recherche, on peut toujours arrêter de modéliser les détails à un moment donné.

L’importance économique peut également être mesurée en termes de relations de travail avec une entreprise. Un cas fréquent concerne les multinationales. Certains dirigeants ont en effet des contacts fréquents avec une branche locale. Voici une règle qui répercute l’importance d’un dirigeant:

```
(defparm *cl-ec-foreign-boss single (director less no) close-relations
 “Director or specialist of a foreign firm that has a local branch ?”)

(defrule $cl-ec-14
 (same *cl-ec-foreign-boss director)
 ==>
 (*cl-ec-economic-importance 5 0.8)
```

Il existe encore une autre mesure d’importance économique que l’on a déjà mentionnée. Il s’agit du soutien par des acteurs économiques et politiques:

```
(defparm *cl-ec-economic-support single (1 2 3 4 5) close-relations)
(defparm *cl-ec-private-rec single (1 2 3 4 5) close-relations
 “Importance of private recommandations from banks or firms ?”)
(defparm *cl-ec-federal-rec yesno (yes no) close-relations
 “Recommandations from federal offices of trade or economy ?”)
(defparm *cl-ec-local-rec yesno (yes no) close-relations
 “Recommandations from local offices of public economy ?”)

(defrule $cl-ec-30
 (same *cl-ec-federal-rec yes)
 (same *cl-ec-local-rec yes)
 (greater *cl-ec-private-rec 3)
 ==>
 (*cl-ec-economic-support 4 0.9)
)
(defrule $cl-ec-31
 ($or (same *cl-ec-federal-rec yes)
 (same *cl-ec-local-rec yes))
 (greater *cl-ec-private-rec 2)
 ==>
 (*cl-ec-economic-support 3 0.9)
)
```

Ces informations sont utilisées par la première instance pour trancher. Dans l’ordre inverse de la discussion, c’était: le support économique, l’importance économique, la fréquence du séjour. Avant de faire le point sur l’intégration de ces facteurs dans une décision, il faut encore discuter une 4ème dimension critique à évaluer: la nature du bien immobilier que la personne désire acquérir. L’article 12a1 spécifie clairement que a nature et sa taille devraient être en proportion avec la nature du séjour. Il spécifie également qu’un éventuel terrain ne devrait pas dépasser 1000m2, sauf si l’acquéreur peut démontrer des raisons impératives et si l’intérêt publique ne s’y oppose pas. Ces clauses sont à nouveau très vagues et ouvertes à toutes les interprétations. Toutefois, on a pu observer quelques règles informelles qui dans l’ensemble étaient assez bien suivies dans tous les cantons. Pour des relations d’affaires, les autorisations étaient limitées en règle générale à des appartements de taille modeste. Maintenant, nous avons tous les critères qui permettent une décision lorsqu’on utilise le motif des relations d’affaires. On connaît:

- la nature du système local de mise en application
- la nature du soutien économique et politique
- la fréquence du séjour
- la force des relations d’affaires
- la nature du bien immobilier que la personne désire acquérir

La complexité relative de ces considérations et le fait que beaucoup soient connecté entre eux nous a amené à écrire des règles plus larges que dans M-Lex. En ce qui concerne les relations d’affaires, nous avons deux jeux de règles importants. Les premières décident si on peut prendre une décision en utilisant ce motif et les autres combinent toutes les dimensions discutées ci-dessus. Voici le code qui dirige la “recherche” vers les relations d’affaires dignes d’être protégées:

```
(defparm conclusion single (residence-based close-relations none) pol
inferred)
;; the heuristic search parameter that tells the top whether a solution
;; was found for the close-residence claim
;;
(defparm *conclusion-closerel multi (family school merits business other)
 pol inferred “search parameter for close relations”)
;; this is a general condition to be fulfilled for our two types
;; of authorization
(defparm *personal-use single (yes no) pol mainprop
 “Is the acquisition for personal use ?”)
;; This is a parameter used to filter the cases which we cant solve
;;
(defparm *evoked-motive single (residence close-relations others) pol
mainprop
 “Which is the evoked motive ?”)

;; --------- parameters describing the object used in the whole system
(defparm *surface-area single numb top)
(defparm *number-rooms single numb top)
(defparm *real-estate-type single (appartment lot villa) top labtype
 “Is the real-estate an appartment, a lot, or a villa ? “)

;; --------- the top-rules that concern close relations

;; The dummy rule to start the back-chaining
;;
(setq *goal-rule* (defrule $goal-rule
    (known conclusion nil)
    )
 )

;; This rule checks whether we can give an authorization for close-relation
;; grounds. A person must use the real-estate for his own purposes.
;; He must know in advance the motive. We trigger the deduction process
;; to determine the local system. Finally we check for the close-relation
;; grounds.
;;
(defrule $pol-2
 (defis *personal-use yes)
 (defis *evoked-motive close-relations)
 (known *local-system)
 (known *conclusion-closerel)
 ==>
 (conclusion residence-based 1.0)
 (advice-to |The system reached a conclusion based on close relations| 1.0)
)


;; This rule evaluates to true if the real-estate is not for personal
;; use, or if we couldn’t make a conclusion.
(defrule $pol-3
 ($or (notsame *personal-use yes)
 (same *evoked-motive others))
 ==>
 (conclusion incompetent 1.0)
 (advice-to |This system can’t solve that case| 0.9)
)
```

Ici nous montrons à titre d’exemple quelques règles qui concernent les relations économiques étroites. D’une manière générale, un bien immobilier qui est destiné à héberger occasionnellement une personne devrait avoir une taille relativement modeste. Il s'agit donc d'un studio ou d'un petit appartement pour la plupart des personnes. La superficie pour des villas ou des terrains à construire ne devait jamais dépasser 1000m2, sauf s'il s'agissait d'un VIP. Les pratiques en ce qui concerne les personnes "importantes" varient en fonction des cantons. Ci-dessus, on peut voir la différence entre systèmes locaux de types "narrow" et non "narrow":

```
;; Some persons won't get an authorization in any system ....
;; the ones who really want too much
;;
(defrule $cl-ec-dec-1
 (greater *surface-area 1000)
 (less *cl-ec-frequent-stays 2)
 (less *cl-ec-economic-support 2)
 ==>
 (*cl-ec-decision yes -0.8)
 (advice-to |An authorization can not be delivered| 0.8)
 (**-art 6-2a1 -0.8)
 (**-o |art.10-1d (business relations) -0.8)
)

;; the ones we don't know
(defrule $cl-ec-dec-2
 (notknown *cl-ec-decision)
 ==>
 (*cl-ec-decision yes -0.5)
 (advice-to |An authorization can not be delivered| 0.5)
 (**-art 6-2a1 -0.5)
 (**-o |art.10-1d (business relations) | -0.5)
)

;; --------------- not narrow systems
;; We distinguished roughly among narrow and not narrow system.
;; In this case, most not narrow system should behave the same.

;; ordinary business relations allow for a small appartment (studio)
;;
(defrule $cl-ec-dec-9
 (same *real-estate-type appartment)
 (less *number-rooms 2)
 (greater *cl-ec-frequent-stays 2)
 (greater *cl-ec-economic-importance 2)
 (notsame *local-system narrow)
 ==>
 (*cl-ec-decision yes 0.9)
 (advice-to |An authorization can be delivered for economic ties| 0.9)
 (**-art |art.6-2a1 (business relations)| 1)
)

;; important people can get an appartment of medium size
;;
(defrule $cl-ec-dec-10
 (same *real-estate-type appartment)
 (less *number-rooms 5)
 (greater *cl-ec-frequent-stays 3)
 (greater *cl-ec-economic-importance 3)
 (notsame *local-system narrow)
 ==>
 (*cl-ec-decision yes 0.9)
 (advice-to |An authorization can be delivered| 0.9)
 (**-art 6-2a1 1)
)

;; Important person could buy a villa.
;; weak hypothesis (VIPS come in reality in conjunction with 10e OCF)
;;
(defrule $cl-ec-dec-11
 ($or (less *surface-area 1000)
 (less *number-rooms 10))
 (greater *cl-ec-frequent-stays 2)
 (greater *cl-ec-economic-importance 3)
```

```
 (greater *cl-ec-economic-support 3)
 (notsame *local-system narrow)
 ==>
 (*cl-ec-decision yes 0.8)
 (advice-to |An authorization can be delivered| 0.8)
 (**-art 6-2a1 1)
)

;; hard to verify, this person practically lives at the place,
;; has very close ties, big support, etc.
(defrule $cl-ec-dec-12
 (less *surface-area 5000)
 (greater *surface-area 1000)
 (greater *cl-ec-frequent-stays 4)
 (greater *cl-ec-economic-importance 4)
 (greater *cl-ec-economic-support 4)
 (greater *local-sys 5)
 ==>
 (*cl-ec-decision yes 0.6)
 (advice-to |An authorization can be delivered| 0.6)
 (**-art 6-2a1 1)
)

;;------------- narrow systems

;; good business relations allow for a small appartment (studio)
;;
(defrule $cl-ec-dec-20
 (same *local-system narrow)
 (same *real-estate-type appartment)
 (less *number-rooms 2)
 (greater *cl-ec-frequent-stays 3)
 (greater *cl-ec-economic-importance 2)
 ==>
 (*cl-ec-decision yes 0.9)
 (advice-to |An authorization can be delivered for economic ties| 0.9)
 (**-art 6-2a1 1)
 (**-o |art.10-1d (business relations)| 1)
)

;; important people can get an appartment of medium size
;;
(defrule $cl-ec-dec-21
 (same *local-system narrow)
 (same *real-estate-type appartment)
 (less *number-rooms 5)
 (greater *cl-ec-frequent-stays 3)
 (greater *cl-ec-economic-importance 4)
 ==>
 (*cl-ec-decision yes 0.9)
 (advice-to |An authorization can be delivered| 0.9)
 (**-art 6-2a1 0.9)
 (**-o |art.10-1d (business relations)| 0.9)
)

;; VIPS can buy a small villa
;; weak hypothesis (VIPS come in reality inconjunction with 10e OCF)
;;
(defrule $cl-ec-dec-22
 (same *local-system narrow)
 ($or (less *surface-area 1000)
 (less *number-rooms 10))
 (greater *cl-ec-frequent-stays 3)
 (greater *cl-ec-economic-importance 4)
 (greater *cl-ec-economic-support 4)
 ==>
 (*cl-ec-decision yes 0.8)
 (advice-to |An authorization can be delivered| 0.8)
 (**-art 6-2a1 0.8)
 (**-o |art.10-1d (business relations)| 0.8)
)
```

Pour des raisons de place, nous n'allons pas discuter la modélisation d’autres motifs que celui des relations d’affaires de l’article 6-2 a1. Il s’agit des “autres relations dignes d’être protégées” spécifiées dans l’article 10 de l’ordonnance et elles sont moins fréquentes. On les modélise en utilisant la même approche. Les autres motifs de l’article 6-2 comme “La résidence personnelle et permanente” posent moins de problèmes pour le décideur et le modéliseur, à part le problème de la superficie d’un immeuble jugée adéquate pour ce type d’acquisition.

5-4.4 L’analyse structurelle de P-Lex

Les systèmes M-Lex et P-Lex peuvent être qualifiés d’études de faisabilité. Ils sont suffisamment complexes pour montrer l’intérêt de ce type de modélisation et pour donner une idée du travail à fournir pour obtenir des systèmes complets et totalement opérationnels. Ils reconstituent cependant des aspects importants: M-Lex modélise le “haut” de la structure globale d’une loi et P-Lex quelques types intéressants de décision.

Analyses structurelles et études de sensibilité

Rappelons de nouveau que le but d’une modélisation n’est pas seulement de fournir un modèle. Ce premier pas est déjà valable en soi, puisqu’il force le chercheur à pousser sa recherche empirique et à rendre explicite beaucoup de choses qui seraient oubliées, négligées parce que trop compliquées ou trop difficiles à faire. Dans un système expert, on peut voir très clairement les lacunes d’une investigation. En outre, un système expert est un langage de description qui apporte une qualité systémique et dynamique que l’on ne retrouve pas dans un texte de monographie.

Une fois le modèle testé, on peut passer à un niveau supérieur de l’analyse et’étudier sa structure et ses propriétés. Dans ce but, nous avons rajouté quelques outils à SMYC. Tout d’abord, il est utile d’afficher quelques statistiques aidant à mieux cerner le système et de comparer par exemple la logique formelle de la législation à celle du système. Dans un deuxième temps, il est intéressant d’identifier les noeuds de décision dans un système qui ont un intérêt théorique ou pratique. Dans un troisième temps, on peut “jouer” avec le système en modifiant des paramètres, des valeurs ou des règles pour modéliser un environnement qui change, des modifications de la loi et leur impact, etc. Discutons quelques analyses possibles:

En comparant le nombre des règles nécessaires pour formaliser un article de loi avec la complexité de l’article, on peut obtenir un indice d’importance des décisions infra-légales. Pour modéliser grossièrement le motif de la résidence permanente dans le canton de Genève, il nous a fallu plus de 20 paramètres et plus de 20 règles. Dans la législation, il n’existe que 4 clauses dans l’art. 7 de l’ordonnance d’application, plus une clause sur la superficie dans un autre article. S’il fallait modéliser ce problème au moyen d’un vrai système expert, il nous aurait fallu utiliser plus de 100 règles. Il existe donc une grande différence entre le nombre de règles et le texte. Cela signifie que le décideur possède un plus grand “degré de liberté” et/ou qu’il existe des règles informelles non-codifiées qu’il faut tenter de cerner pour obtenir un modèle correct.

```
RULE STATISTICS:

Total number of rules                    90
Total number of premises                 230     255.55 %
Total number of assertions               22      24.44 %
Total number of conclusions              170     188.88 %
Total number of clauses                  400     444.44 %

PARAMETER STATISTICS

Total number of parameters               64
Total number of inferred parameters      8       12.5 %
Total number of labtype parameters       11      17.18 %
Total number of verified parameters      0       0.0 %
Total number of normal parameters        45      70.31 %
Total number of mainprop parameters      0       0.0 %
```

Figure 5-19: Statistique des règles et des paramètres dans P-Lex

Examinons les statistiques générales engendrées pour P-Lex qui sont affichées dans la figure 5-19 et voyons la proportion des paramètres “normal”, “inferred” et “labtype”[8]. Le fait que P-Lex possède relativement peu de paramètres “labtype” montre que le décideur a besoin de relativement peu de données pour les 2 motifs modélisés. Les paramètres “normaux” sont ceux que le système essaie d’inférer lui-même avant de demander une valeur à l’utilisateur. Un système bien fini devrait demander peu de valeurs. Cela montre en fait que le système n’est pas en mesure d’inférer toujours toutes les valeurs dont il a besoin (il les demandera à l’utilisateur). Le fait qu’il n’existe pas de paramètres “mainprop” montre que l’on ne demande pas systématiquement les mêmes questions lorsque l’utilisateur rentre dans le système. Dans l’ensemble, il ressort aussi qu’il existe un très grand nombre de cas possibles à résoudre, une complexité bien connue de la Lex Furgler.

La liste dans la Figure 5-20: “Analyse des paramètres de P-Lex” [p. 233] nous montre comment sont utilisés les paramètres du système. Lorsqu’un paramètre apparaît seulement dans des conclusions, cela signifie qu’il sert seulement à stocker de l’information et qu’il ne participe pas aux processus d’inférence. Les paramètres qui apparaissent seulement dans les prémisses sont soit des “labtype” (ce qui est normal), soit des “normal”. Dans le dernier cas, cela implique que le modèle doit être complété en fournissant les règles qui permettent de déduire une valeur pour ces paramètres. Les paramètres qui “apparaissent” fréquemment sont soit critiques pour le déroulement de l’inférence (paramètres de pilotage) soit importants pour les prises de décision comme par exemple le “*local system*. Il existe

---

[8] Cf. “Les paramètres” [p. 186] pour une définition des types de paramètres dans Mycin

```
Parameter name            premises       assertions  conclusions total
                                (%)         (% prem)     (%)
**-art                    0     (0.0)    0  (0.0)    5  (100.0)  5
**-o                      0     (0.0)    0  (0.0)    16 (100.0)  16
advice-to                 0     (0.0)    0  (0.0)    15 (100.0)  15
conclusion                1     (33.33)  0  (0.0)    2  (66.66)  3
*conclusion-residence     2     (50.0)   0  (0.0)    2  (50.0)   4
*conclusion-closerel      1     (11.11)  0  (0.0)    8  (88.88)  9
*personal-use             3     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    3
*evoked-motive            3     (100.0)  2  (66.66)  0  (0.0)    3
*canton                   2     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    2
*local-system             11    (57.89)  0  (0.0)    8  (42.1)   19
*local-sys                1     (14.28)  0  (0.0)    6  (85.71)  7
*surface-area             19    (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    19
*number-rooms             6     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    6
*real-estate-type         15    (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    15
*pl-political-support     0     (0)      0  (100)    0  (0)      0
*pl-loc-perc              0     (0)      6  (100)    0  (0)      0
*pl-perception            0     (0)      4  (100)    0  (0)      0
*pl-legalism              0     (0)      5  (100)    0  (0)      0
*pl-dependency            0     (0)      3  (100)    0  (0)      0
*pl-collaboration         0     (0)      2  (100)    0  (0)      0
*lr-surface-check-type    0     (0)      0  (100)    0  (0)      0
*lr-dip-type              4     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    4
*lr-intorg-type           5     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    5
*lr-res-permit-type       3     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    3
*lr-diplomat-permit       1     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    1
*lr-intorg-permit         1     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    1
*lr-permit-since          1     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    1
*lr-evidence              1     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    1
*lr-long-term-evidence    1     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    1
*lr-surface-check         1     (50.0)   0  (0.0)    1  (50.0)   2
*lr-dip-surface-check     2     (28.57)  0  (0.0)    5  (71.42)  7
*lr-intorg-surface-check  2     (40.0)   0  (0.0)    3  (60.0)   5
*lr-appartment            0     (0)      0  (0)      0  (0)      0
*lr-surface               16    (72.72)  0  (0.0)    6  (27.27)  22
*lr-construction-density  2     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    2
*lr-residence-area        17    (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    17
*lr-ec-importance         10    (76.92)  0  (0.0)    3  (23.07)  13
*lr-taxes                 3     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    3
*lr-business              1     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    1
*lr4-surface-check        2     (25.0)   0  (0.0)    6  (75.0)   8
*lr1-surface-check        0     (0)      0  (0)      0  (0)      0
*lr1-surface-lot-check    2     (40.0)   0  (0.0)    3  (60.0)   5
*lr1-surface-villa-check  2     (40.0)   0  (0.0)    3  (60.0)   5
*lr-comm-advice           4     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    4
*cl-fa-testatary-heir     1     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    1
*cl-fa-family-links       1     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    1
*cl-sc-school             1     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    1
*cl-sc-job                1     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    1
*cl-me-scientific         1     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    1
*cl-me-cultural           1     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    1
*cl-ec-decision           3     (42.85)  0  (0.0)    4  (57.14)  7
*cl-ec-economic-support   4     (44.44)  0  (0.0)    5  (55.55)  9
*cl-ec-private-rec        5     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    5
*cl-ec-federal-rec        4     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    4
*cl-ec-local-rec          4     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    4
*cl-ec-frequent-stays     8     (61.53)  0  (0.0)    5  (38.46)  13
*cl-ec-number-stayed      4     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    4
*cl-ec-days-stayed        4     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    4
*cl-ec-economic-importance10    (71.42)  0  (0.0)    4  (28.57)  14
*cl-ec-foreign-markets    4     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    4
*cl-ec-money-involved     4     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    4
*cl-ec-foreign-boss       2     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    2
*cl-ot-vip                1     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    1
*cl-ot-ip                 1     (100.0)  0  (0.0)    0  (0.0)    1

Assertions are also counted as premises
```

Figure 5-20: Analyse des paramètres de P-Lex

quand même une exception à cette heuristique. Dans P-Lex, il y a des paramètres auxiliaires fréquents qui n'ont pas beaucoup d'importance, comme par exemple ceux qui ont trait au calcul de la superficie. Les paramètres qui apparaissent à la fois dans les prémisses et les conclusions sont importants pour les chaînes de raisonnement.

Ces statistiques fournissent une aide à l'analyse du système, mais elles contiennent peu d'information en elles-mêmes. Elles pointent vers là où il faut chercher. Le graphique dans la Figure 5-12: "Diagramme de la structure "top" de M-Lex" [p. 204] montre de façon détaillée une partie de l'arbre de décision de M-Lex. Dessiner de tels graphiques avec les données fournies par le module d'analyse de SMYC permet également de mieux connaître son système. Le graphe le plus simple contient les liens entre paramètres et règles, et il met en évidence quelles règles déterminent quels paramètres et quels paramètres se trouvent dans quelles prémisses de règles. En regardant ce graphique, on peut apercevoir les noeuds importants par où doit passer toute décision. On peut identifier par exemple les paramètres sans lesquels aucune décision n'a lieu. S'il s'agit d'un paramètre qui ne correspond pas à un paramètre légal, le politologue aura raison de le regarder de plus près. Ce type d'outil peut s'avérer intéressant et il permet de voir la forêt dans l'ensemble des arbres. Il peut aider à regarder le travail effectué d'un oeil différent. L'exemple cité du calcul de la superficie est un de ces cas. Nous avons jugé ce travail inintéressant, mais en voyant après coup son importance au niveau du nombre de paramètres utilisés, il fallait bien se rappeler que la trivialité "superficie de terrain" était en fait un des points les plus brulants de cette législation. En effet, beaucoup de citoyens suisses étaient surtout dérangés par le fait que certains étrangers pouvaient acheter de grandes villas avec beaucoup de terrain. Le fait que la loi ne soit guère opérationnelle en ce qui concerne ce point n'a pas évacué ce problème. Les décideurs sur le terrain ont dû se créer des modèles de décision.

Dans le monde de la simulation numérique, les analyses de sensibilité jouent un rôle important. Dans un système expert comme P-Lex on peut essentiellement jouer sur les prémisses des règles. Mais pour cela, il faut des questions précises concernant la modification de règles de décision observées sur le terrain. La comparaison des décisions de Lucerne avec celles de Genève a montré que le résultat d'un certain type de décisions peut être radicalement modifié en changeant quelques clauses dans quelques règles représentant des règles de décision infra-légales. Cette observation concorde avec les résultats dans les études "d'implementation research" en Europe et aux Etats-Unis. Le droit public se constitue en partie substantielle lors de sa mise en oeuvre, souvent en collaboration avec ceux à qui il s'adresse. Dans le système P-Lex, beaucoup de ces paramètres intéressants touchaient à une notion d'"importance": l'importance du demandeur, l'importance de la superficie, l'importance des relations dignes d'être protégées, etc. Il était en effet impressionnant de voir le nombre de règles qu'il fallait écrire pour modéliser des problèmes apparemment simples. Ces paramètres on déjà été mis en évidence par l'étude de Delley, toutefois notre modélisation a permis de fournir un modèle plus précis et plus opérationnel de ce phénomène.

Un système expert est normalement utilisé en mode "dialogue". On rentre un cas en répondant à des questions. Nous avons rajouté à SMYC un mode "batch" qui permet de simuler un grand nombre de cas à condition d'avoir rentré tous les paramètres nécessaires à une décision.

5-4.5 Conclusion - où sont les limites?

Cette modélisation présente plusieurs limites (au-delà de son caractère "test"). La plupart de ces limites sont bien connues dans la littérature sur les systèmes expert, comme le manque de robustesse et de souplesse (par rapport à ce qui n'a pas été codé à l'avance) et une absence totale de capacité d'apprentissage. Il s'agit ici plutôt d'un "snapshot" de cadre légal. A l'intérieur de ce cadre, le modèle préserve une certaine souplesse étant donné que l'exécution d'une décision dépend de facteurs variables comme l'environnement économique et politique. Techniquement, il serait possible de construire des modèles qui modélisent des modifications législatives. Toutefois, ce genre de recherche présente un défi autrement plus difficile et le rendement entre investissement et résultat devient très mauvais.

Une autre critique concerne la validité psychologique de ces modèles. En effet, il est clair qu'un décideur ne raisonne pas avec ce type de règles[9].Toute décision de routine, par exemple, suit un raisonnement de cas ou de prototype. Toutefois, nous pensons que ce type de modélisation dépasse le cadre limité d'une modélisation purement analytique que nous avons critiqué dans la section 3-2 "Les modèles rationnels de décision". Avec un peu d'indulgence, on peut argumenter que les décideurs pourront se retrouver dans une chaîne de raisonnement de type S-Lex ou M-Lex et qu'ils pourront dire si telle ou telle conclusion est juste ou fausse. A ce titre, il faut également noter que les juristes ont l'habitude de ce genre d'exercice puisque dans leur décision écrite, ils doivent motiver leur décision (en montrant le cheminement et les règles de décision).

La validation d'un tel modèle s'avère assez difficile. Pour la théorie politique, les cas de décision intéressants sont les cas "extrêmes". Seulement grâce à eux, peut-on estimer l'élasticité totale d'un système. Comme il existe très peu de cas, les règles qui modélisent cet aspect sont en fait des hypothèses non testées. En ce qui concerne les décisions de routine, on peut valider un système en lui soumettant un très grand nombre de cas variés. Il s'agit d'un travail considérable, mais faisable. Le problème de savoir si le modèle est juste au-delà des performances est plus difficile. Il est tout-à-fait concevable de construire un système qui décide juste sur le plan juridique. Mais rien ne dit que les prémisses comme par exemple l'importance des facteurs économiques soient justes. A ce niveau, il faudrait faire intervenir les décideurs eux-mêmes (ou un échantillon important) , ce qui pose un problème de disponibilité et de sensibilité. Même si un décideur donne son accord (ou obtient l'autorisation) pour participer au travail de génie cognitif, il n'est pas forcément d'accord pour expliciter ou justifier certaines règles infra-légales. S'il est d'accord, il ne peut pas forcément articuler les raisons de certains choix de décision.

Une autre critique que l'on peut adresser à ce type de système est sa focalisation sur des règles de décision. Même l'exécution de politiques publiques invoque parfois des processus politiques proprement dits où la négociation entre acteurs joue un rôle important. Dans ces cas, ce n'est pas seulement la situation "objective" qui prédit un "output", mais également la capacité des acteurs à utiliser les instruments politiques.

Malgré ces limites, nous pensons que ce type de modèle peut être très utile:

1. tout d'abord, il met toutes les personnes intéressées devant un artefact qui décrit avec une assez grande précision une situation. Si le système produit des erreurs, on peut le corriger jusqu'à ce que tout le monde soit obligé de reconnaître sa validité d'ensemble.
2. le chercheur ne peut pas facilement éviter les questions. Il doit explicitement dire ce qu'il ne peut pas modéliser et on s'en appreçoit en inspectant le modèle ou en le faisant tourner.
3. ce type de modèle vise un "juste milieu" entre ce qui est faisable en relativement peu de temps et entre ce qui serait une modélisation cognitiviste et politique plus riche et plus correcte.
4. au-delà des buts de recherche, ce type de système expert peut avoir une utilité pratique. S'il est suffisamment bien validé et complété, il peut servir de guide aux destinataires d'une politique publique et de miroir aux décideurs politiques qui décident ou mettent en oeuvre une politique. Un système qui *fait* montre mieux qu'un livre ce que les gens *font*.

---

[9] En outre, s'il utilise vraiment des règles il peut s'agir de"rationalisations post-hoc" (Nisbett et Wilson 79).

chapitre 6

Le décideur, son organisation et son environnement

Ce chapitre présente un projet: la modélisation du décideur et de son environnement (y compris les systèmes d'acteurs). En même temps, il milite pour un renouvellement de la modélisation des systèmes en sciences politiques. Il existe aujourd'hui un certain nombre de techniques de simulation multi-modales qui permettent la simulation de systèmes complexes à des degrés très variés d'abstraction et de détail .

La simulation de l'avenir sera "multi-modale" ou "multi-facettes". Elle permettra de modéliser le décideur dans son ensemble avec son environnement et les contraintes (connaissances, ressources) auxquelles il doit faire face.

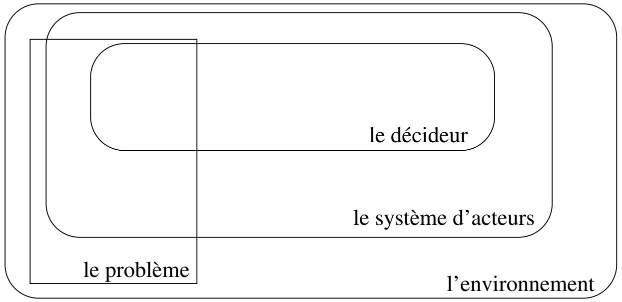
6-1 Introduction

Le décideur politique individuel fait partie d'un environnement que l'on peut différencier selon une perspective "système d'acteurs" et règles sociales, politiques, économiques, etc.

Le décideur politique moderne opère dans un environnement complexe. Une multitude de facteurs détermine son comportement. Dans nos modélisations du décideur dans le chapitre 5 "La modélisation d'une décision administrative par le génie cognitif" [p. 175], l'environnement était modélisé implicitement dans la notion d' "environnement de résolution de problème". Cette option est valable dans le cadre d'une modélisation d'un décideur individuel ou collectif dans un environnement stable et accessible où règnent des règles et des principes de décisions relativement bien définis. On peut modéliser l'intervention de changements dans l'environnement par le biais de paramètres (comme on l'a fait dans le système P-Lex dans la section 5-4 "La dimension politique dans l'application d'une loi" [p. 207]). Par contre, il ne s'agit pas d'une modélisation d'un système de décision et encore moins d'un modèle général sur l'acquisition d'immeubles par des étrangers. Une telle simulation devrait incorporer une modélisation de l'offre et de la demande, en simulant par exemple la génération et le traitement de tous les dossiers d'acquisition d'immeubles par des étrangers.

La tâche devient plus difficile lorsqu'il s'agit de modéliser des systèmes d'acteurs où il y a négociation (par exemple) ou lorsqu'il s'agit de modéliser des systèmes entiers ayant des composantes de décision. Faute de ressources[1], nous pouvons, dans ce chapitre, uniquement montrer quelques "voies" à suivre et donner des "proof of concept" de quelques méthodologies et outils de modélisation.

Figure 6-1: Le décideur politique moderne: contraintes et environnement



Suite à la discussion dans les chapitres précédents, nous pouvons rappeler d'abord les éléments les plus importants qui déterminent les actions du décideur:

le décideur est un "animal qui utilise des symboles" et qui possède une rationalité volontariste mais limitée. Son action est déterminée d'une part par ses capacités plutôt internes de traitement d'information, d'autre part par ses croyances et connaissances. On peut identifier les "variables" suivantes:

1. la capacité (limitée) de résolution de problème y compris les capacités:
    - de perception de problèmes,
    - de formation de buts,
    - d'analyse du problème, de planification dynamique, de choix,
    - de mise en oeuvre des décisions;
2. les valeurs idéologiques et politiques;
3. les connaissances du domaine.

A ces facteurs plutôt internes qui ne peuvent être séparés qu'au plan analytique, il faut rajouter toute une liste de facteurs plutôt externes qui influencent le décideur comme:

1. la nature de l'environnement et du problème;
2. les demandes de l'environnement (externes ou internes du système dont fait partie le décideur) qui sont liées à son évolution;
3. les règles politiques et autres
4. l'organisation du(des) système(s) d'acteurs et des processus de décision.

Dans ce chapitre, nous allons voir comment (1) modéliser certains aspects de l'environnement et des systèmes d'acteurs.

La modélisation de systèmes sociaux ne peut être tentée que par une méthodologie de modélisation "multi-facettes" (Zeigler: 90) ou "multimodale" (Lee, Norris et Fishwick: 93) qui permet de combiner plusieurs stratégies de modélisation dans un cadre qui permet d'intégrer les modules de types différents. Cela tient à deux raisons: certaines approches se prêtent beaucoup mieux à la modélisation de certains problèmes. Ensuite, il est utile de pouvoir modéliser certains aspects d'un phénomène à des niveaux

---

[1] Il s'agirait ici d'un travail qui devrait être effectué par une équipe pluridisciplinaire de chercheurs qualifiés.

d’abstraction nécessaires et suffisants par rapport aux buts de la recherche. Les techniques de modélisation numériques par exemple exigent relativement peu de ressources humaines et sont suffisantes pour modéliser les aspects dynamiques et continus de l’environnement d’un décideur.

6-2 La modélisation de l’environnement

L’action d’un décideur prend place dans un environnement complexe (cf. notre discussion dans la section 3-5 “Le modèle “Lohhausen”” [p. 91]). Un environnement dynamique “inanimé” peut être décrit par des langages de simulation numérique. Toutes ces techniques de simulation sont bien adaptées pour des problèmes qui peuvent être modélisés analytiquement et numériquement.

Les techniques basées sur la modélisation des connaissances sont en revanche adapteés pour les domaines où le raisonnement heuristique et analogique est prédominant. Nous suggérons ici comment intégrer ces deux type de techniques.

6-2.1 La simulation numérique discrète

La simulation traditionnelle la plus fréquente en sciences sociales est la modélisation de systèmes dynamiques fondée sur le calcul d’équations différentielles. Il existe aujourd’hui des méthodes très sophistiquées pour la création de modèles continus et notamment pour l’estimation des paramètres des équations. Nous ne voulons pas rentrer dans une discussion exhaustive de ces modèles de simulation dynamique[2]. En ce qui concerne la plupart des applications politiques, on peut utiliser une technique très simple qui a été développée à l’origine par Forrester et qui calcule l’avancement de la simulation dans le temps par des pas discrets. Il est bien connu que ce calcul possède ses désavantages au plan mathématique et méthodologique. Par exemple, un tel système réagit plus nerveusement et il existe certains dangers comme les oscillations perpétuelles. Toutefois, pour beaucoup d’applications, la différence entre un calcul discret et continu n’est pas très importante. Par contre, le calcul numérique discret possède des avantages pour la construction de modèles hybrides qui incluent des simulations orientées objets et des moteurs d’inférence basés sur des règles, car il est très facile de changer les équations en cours de route ou encore d’intervenir dans les paramètres et autres valeurs à la fin d’un cycle.

---

[2] En sciences politiques, cf. par exemple les modélisations globales de Bremer (87) et de Allan et Luterbacher (92).

6-2.2 Un langage de simulation pour la simulation discrète des systèmes dynamiques

Etant donné que nous désirons intégrer les modèles de simulation mathématique à des modèles de simulation orientée objets et à des techniques de modélisation d’intelligence artificielle, nous avons opté pour le modèle initial de Forrester (73) qui possède une grande souplesse et qui est très facile à implémenter. Le cadre théorique développé dans “Industrial Dynamics” possède encore aujourd’hui un attrait conceptuel auprès de beaucoup d’analystes de système qui font des recherches appliquées[3]. En effet, ses notions de niveau et de flux sont assimilables très rapidement et l’on voit plus facilement le rapport entre un modèle de simulation et l’objet modélisé qu’avec d’autres techniques. Pour nos propres besoins, nous avons écrit un interpréteur en Scheme qui permet d’exécuter un modèle de simulation (ayant les équations déjà résolues). Il possède une grande souplesse. L’interaction avec d’autres programmes et la modification du modèle (même totale) en cours de route ne pose pas de grands problèmes. Examinons les objets que l’on utilise et qui ressemblent à peu près à ceux que l’on retrouve dans un modèle “dynamo”:

- *Niveaux* (levels): il nous faut tout d’abord des objets pour représenter des *états*. Ils décrivent (numériquement) l’état d’un système. Ce sont des objets qui se calculent par intégration (ou accumulation) de flux.
- *Flux* (flows): ce sont ou bien des quantités physiques ou symboliques qui vont d’un niveau vers un autre ou bien des quantités apparaissant ou disparaissant que l’on rajoute ou ôte à un niveau.
- *Observations*: ces variables représentent des objets conceptuels, c’est-à-dire de l’information que l’on peut obtenir en combinant de l’information provenant de plusieurs objets. On les utilise surtout pour afficher de l’information sur le système.
- *Auxiliaires*: ces variables sont semblables aux observations, sauf qu’elles sont calculées au début d’un cycle de simulation. Elles représentent donc de l’information combinée sur le dernier état du système et sont surtout utiles pour organiser le calcul correct des équations.
- *Paramètres*: servent à définir des taux de flux, ou encore des niveaux.

Ces éléments ont plus une signification conceptuelle qu’une signification technique. Sur ce dernier plan, seul l’ordre dans lequel on calcule leur valeur varie. Nous avons également copié la stratégie du premier interpréteur dynamo. On calcule dans l’ordre: (1) les variables auxiliaires, (2) les flux, (3) les niveaux (4) les observations. Voici la syntaxe pour définir un objet de simulation[4]:

---

[3] Cette méthodologie est également très populaire pour les applications didactiques (modélisations en sciences et sciences humaines). Le progiciel le plus populaire utilisé en éducation s’appelle Stella. Il est disponible sur MacIntosh.

```
Syntaxe:   (def-<type> ?<nom>
                   sbs ( <base de simulation> ... )
                   ini ( <initialisation-val> ... )
                   eq <équation>

Exemple:   (def-flow ?guerilla
                   sbs (afgh-model)
                   ini (155000)
                   eq  (+ ?guerilla ?guerilla-gains ?guerilla-losses))
```

Il faut donc donner un nom à chaque objet. Ce symbole doit être précédé par un “?” (ex: ?guerilla). Ensuite chaque objet doit faire partie d’au moins une base de simulation (ex: afgh-model). Une valeur d’initialisation est nécessaire si on utilise cette variable pour en calculer d’autres (ex: 155000). Si l’on a besoin d’entrer une série de nombres, c’est également possible. L’équation, précédée par le mot clé “eq” est une simple expression “Scheme”[5] qui doit nécessairement retourner une valeur numérique lorsqu’elle est exécutée. Dans le cas le plus simple, il s’agit d’une expression mathématique qui fait référence à d’autres objets de simulation. Toutefois, il est possible de faire n’importe quoi avant de retourner une valeur, comme d’appeler par exemple un système de simulation orientée objets. Voici un exemple d’une équation un peu plus sophistiquée:

```
;; create a temporary variable guerilla-count
(let ((guerilla-count (+ ?guerilla ?guerilla-gains ?guerilla-losses))
  (if ;; if the guerilla count is very low
      (< guerilla-count 100)
      ;; then print a message and return zero
      (begin
         (writeln "?Guerilla too low, set to 0!!)
         0)
      ;; else return this value (which will be set to ?guerilla)
      guerilla-count)
```

Dans cette expression, on fait un petit calcul intermédiaire pour voir si un niveau tombe au-delà d’une limite. Si c’est le cas, on imprime un message et on met ce niveau à zéro. Au lieu de simplement jouer sur des valeurs numériques, on peut très bien utiliser ces expressions pour changer le comportement du modèle, par exemple modifier le paramètre qui règle le flux de “?guerilla-gains”, l’augmentation des effectifs de la guérilla.

Cet petit exemple met en évidence la puissance conceptuelle d’une simulation discrète. Il devient très facile de changer le comportement du modèle en cours de route sans le recompiler. A noter également que tout changement de paramètres a un effet clair et immédiat sur le système dans le cycle suivant. Dans des modèles continus, les effets de lissage rendent très difficile ce genre d’opération. Afin de montrer qu’on ne perd pas énormément de précision avec un modèle discret par rapport à un modèle continu simple, le lecteur peut consulter la section A-1 “Test du langage de simulation” [p. 376] dans l’appendice. On peut formuler l’hypothèse que notre *système calcule avec suffisamment de précision les résultats que l’on pourrait obtenir avec un langage de simulation utilisant des méthodes de calcul plus sophistiqués.* Ces langages de simulation offre plusieurs avantages par rapport au notre, notamment la possibilité d’estimation de paramètres ce qui est crucial en simulation numérique de systèmes dynamiques. Cependant, une fois qu’un tel modèle a été créé, on peut le transporter sans grand danger dans notre système qui possède une flexibilité de modélisation très intéressante par rapport aux modèles mathématiques fermés. L’élément “discret” (c’est à dire les décisions) est primordial dans tout système social et une simulation mathématique ne peut pas le modéliser de la même façon[6].

---

[4] Il s’agit ici de la définition minimale. La version de ce programme que nous avons développé en LISP pour la modélisation dans le cadre de l’environnement d’apprentissage PEPS permet la définition d’objets plus complexes.

[5] Les équations sont écrites en “polonais inversé”, c’est-à-dire comme des expressions Scheme tout à fait ordinaires. D’ailleurs, cette notation est facile à comprendre une fois que l’on connaît le principe. Comme toute autre expression fonctionnelle, une expression arithmétique est toujours une liste. Le premier élément dans une telle liste est donc un opérateur arithmétique qui sera appliqué aux éléments suivants de la liste. S’il tombe sur une sous-liste, il faut d’abord chercher à évaluer le résultat de cette sous-liste, etc. Notons en passant qu’il existe plusieurs façons d’écrire la même équation, par exemple (+ a b (- c)) est égal à (+ a (- b c)). Notons également que les éléments d’une expression arithmétique ne doivent pas nécessairement être des variables, nombres ou autres expressions arithmétiques. L’expression (+ a (rends-moi-un-nombre-en-fonction-de a)) est aussi légale à condition que cette fonction “rends-moi...” rende une valeur numérique. En d’autre termes, notre logiciel n’est rien d’autre qu’une extension d’un langage de programmation interactif, ce qui rend très simple le proto-typage pour tester des concept, ce qui est le cas ici.

6-2.3 Simulation numérique et règles d’inférence

Les systèmes à bases de règles peuvent avoir plusieurs fonctions en rapport avec la simulation numérique. Nous nous intéressons ici plus particulièrement à la modélisation des décideurs qui interviendront au plan technique surtout pour modifier des flux ou des paramètres. Une autre fonction qu’on ne discutera pas ici serait par exemple l’assistance à la modélisation (utilisation du logiciel, interprétation des résultats etc). Au plan technique, nous nous intéressons ici à l’emploi de règles dans un modèle et à leur interaction avec les valeurs ou les équations de la simulation. Avant de montrer et de discuter un tel mécanisme, nous allons brièvement décrire un moteur d’inférence que nous avions réalisé dans le cadre d’un projet que nous avons appelé AIPSS[7].

L’inférence par un moteur de chaînage avant

Nous avons écrit une interface entre un moteur de chaînage avant et ce langage de simulation discrète. Le principe d’un tel langage repose sur les “production systems”. Rappelons qu’un “système de production” contient les éléments suivants[8]:

---

[6] Certains langages permettent l’utilisation de “switches” qui ne sont pas très intéressants pour modéliser des décisions.

[7] “AIPSS” veut dire “AI Package for the Social Sciences”. Nous avons abandonné ce projet lancé il y a quelques années. Toutefois, certaines composantes (comme le moteur de chaînage avant et l’engin de simulation) sont toujours disponibles.

```
(p <rule-name>
   ibs     (<inference-base> <inference-base> ......)
   lhs     <lhs-clause> <lhs-clause> .....
   test    <test-clause> <test-clause> .....
   rhs     <function> <function> ......
           )

(p check-food-reserves
   ibs     (afgh)
   lhs     (food-reserves -rations-de-nourriture-hebdomadaires)
           (population -number-of-people)
   test    (< rations-de-nourriture-hebdomadaires -number-of-people)
   rhs     (add-fact (goal find-food) afgh)
   )
```

Figure 6-2: La syntaxe d’une règle de production avec un exemple

1. Un jeu de règles (de production)
2. Une base de données avec des faits
3. Un interpréteur qui utilise (1) et (2) afin de “calculer”.

Dans un système de production à chaînage avant simple, une règle possède la forme suivante:

```
Si <SITUATION> alors <ACTION>
```

Ceci signifie que si l’interpréteur trouve dans la base de données un fait (aussi appelé situation ou condition) qui correspond à la “situation” (aussi appelée “côté gauche” ou conditionnel de la règle), la règle est activée et son action (aussi appelée côté droit) est exécutée à un moment donné. Ainsi la fonction la plus importante de cet interpréteur (ou moteur d’inférence) est évaluative. Il travaille (un peu comme une montre de simulation) en cycles et regarde quelles règles il peut utiliser par rapport aux données qui se trouvent dans la base de données. Ensuite, sa deuxième fonction est éventuellement de choisir entre ces règles et de les exécuter. Dans le cas le plus “classique”, l’exécution d’une action signifie l’écriture d’un autre fait dans la base de données. au plan logique, cette utilisation des règles peut être décrite avec les termes de “si-alors” ou de “condition-action”. Toutefois, dans notre système, nous autorisons tout type d’action avec les règles (et même sur les règles), comme par exemple celle de manipuler des équations dans un modèle de simulation. La syntaxe d’une règle dans notre système est définie dans la figure 6-2.

Chaque règle doit posséder un nom et faire partie d’un système de règles. Ensuite, il est possible d’avoir plusieurs clauses “situation”. Ces clauses “si” sont des chablons (angl. “patterns”) qui doivent tous correspondre (“match”) à un fait dans la base de données. Les variables doivent être unifiées, cela veut dire que les variables du même nom dans les différentes clauses de la situation doivent correspondre à des expressions dans les faits de la base de données. Tous les symboles précédés par un “-” sont des variables (comme les “?” dans le système de simulation discrète et les “!” dans Ross). Examinons l’exemple de la règle qui se trouve dans la même figure. Le côté “situation” possède deux clauses conditionnelles. Elles suivent le mot clé “lhs” (qui signifie “left hand side”). Cette règle est donc activée par exemple lorsque la base de données contient les faits:

```
(food-reserves 100000)
(population 5000)
```

Une règle n’est pas nécessairement exécutée dans tous les cas de correspondance (angl. “matching”) réussie. Il existe en effet une *clause “test”*. Cette clause doit être une expression “Scheme”[9] ordinaire et doit être vraie, (c’est-à-dire retourner la valeur de “vrai”) pour que le côté droit - ce qui suit le mot clé “rhs” (right hand side) - soit exécutable. Dans le cas de nos deux faits ci-dessus, le test va échouer car il n’y pas moins de rations hebdomadaires de nourriture que de population (10000 est plus grand que 5000). Dans le cas contraire, la règle aurait pu être exécutée (à moins qu’un mécanisme de contrôle ne s’y soit opposé) et elle aurait écrit le fait “(goal find-food)” dans la base de données. Ce fait nouveau à son tour aurait déclenché d’autres règles. En ce qui concerne le côté droit de la règle (c’est-à-dire l’action), il s’agit d’une procédure “Scheme”. Elle peut accéder à toutes les variables du côté gauche, ainsi qu’à des variables qui contiennent les faits liés dans la base de données. La variable =f1 correspond au fait “lié” à la première clause “si”, =f2 au fait lié à la deuxième, etc. Ce mécanisme nous donne de nouveau une très grande flexibilité. On peut imaginer par exemple une clause:

```
(add-fact* `(goal find-food
             ,(- -number-of-people rations-de-nourriture-hebdomadaires))
    afgh)
```

qui insérera dans la base de données le fait “

```
(goal find-food <ce qui manque>)
```

Notons ici que la procédure “add-fact” n’évalue pas son argument (les symboles sont rentrés “tel quels” dans la base de faits) tandis que “add-fact*” fait une telle évaluation. “Add-fact*” n’écrit donc pas simplement une expression dans une base de données, mais le résultat d’un calcul arbitraire. En conséquence il faut utiliser les conventions Scheme pour “quoter” (prendre les symboles “tel quel”) la liste et “déquoter” (rendre “évaluable”) l’expression arithmétique à évaluer. Nous n’allons pas discuter la puissance de ce mécanisme de computation, mais il convient de mentionner qu’il s’agit ici d’un mécanisme universel qui est plus particulièrement adapté à la formalisation d’un certain type de pensée quasi-rationnelle. Le principe est très simple, par contre son utilisation demande une certaine expérience en “knowledge engineering”.

Simulation discrète et inférence

Comme le montre l’exemple décrit dans l’appendice A-2 “L’exemple «Demopolis»” [p. 379], il est faisable et intéressant de combiner les

---

8. Cf. la section “Les systèmes de production” [p. 142] pour plus de détails.

9. Cf. la note 5. (p. 245)

techniques de la simulation discrète et des systèmes d'inférence. On peut représenter des décideurs comme systèmes à base de règles (voir ci-dessus "L'inférence par un moteur de chaînage avant" [p. 246]).

Dans le petit langage que nous avons développé, on définit d'abord le système global (capable à la fois de simulation numérique et d'inférences).

```
(def-sib demopolis)
```

Voici les quelques règles du système de simulation numérique qui modélisent l'évolution de la démographie d'un pays.

```
  (def-level ?pop sbs (demopolis)
              ini (20000)
              eq (+ ?pop ?Birth (- ?Death)))
  (def-flow ?Birth sbs (demopolis)
             ini (0)
             eq (* ?Birthrate ?pop))
  (def-flow ?Death sbs (demopolis)
             ini (0)
             eq (* ?Deathrate ?pop))
  (def-parm ?Birthrate sbs (demopolis) ini (0.051))
  (def-parm ?Deathrate sbs (demopolis) ini (0.039))
  (def-obs ?occupation sbs (demopolis)
            ini (0)
            eq (/ ?pop 20000))
```

Ensuite on peut rajouter des systèmes d'inférence avec l' expression (def-ib....) et les définir comme des sous-systèmes du système global avec l'expression (sub-sys ...)..

```
;; The system which models the "people"
(def-ib people)
;; The system which models the "government"
(def-ib government)

(sub-sys demopolis demopolis)
(sub-sys demopolis government)
(sub-sys demopolis people)
```

Pendant l'exécution du modèle, on insère les valeurs appropriées de la simulation après chaque cycle de simulation dans les bases de faits des "décideurs". On insère ces valeurs avec la syntaxe suivante:

```
   (sys-var <?name> <simulation-object>)
```

Ces chablons seront dans la suite utilisés dans les conditionels des règles. La variable "?name" pointera sur l'objet de simulation (voir section 6-2.1 "La simulation numérique discrète" [p. 243]) et la règle peut y accéder et y effectuer des modifications comme c'est décrit plus bas. Les règles déclenchées ne peuvent donc pas seulement déclencher d'autres règles mais également modifier l'état de certaines variables de simulation, voire même les équations. La Figure 6-3: "L'architecture d'un système de simulation et d'inférence" [p. 250] donne un résumé des différentes interactions entre les composantes d'un tel système.

Ci-dessous on discutera une seule règle du petit système de démonstration (voir page 379). Cette règle (attribuée au "gouvernement") déclenche la mise en oeuvre d'allocations familiales lorsque l'occupation du territoire est trop basse.

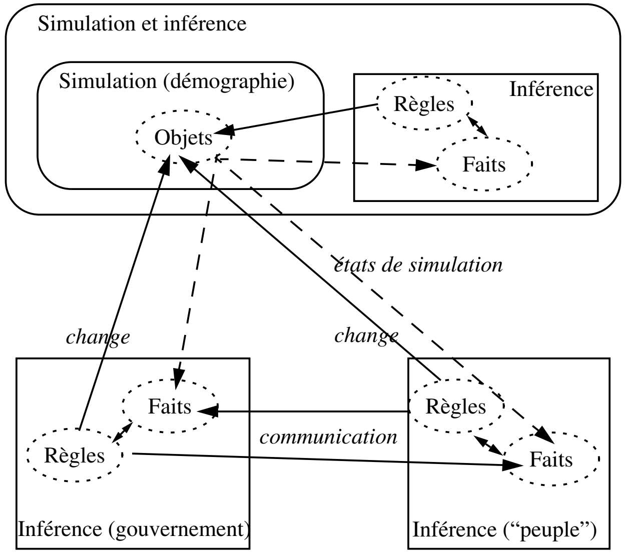


Figure 6-3: L'architecture d'un système de simulation et d'inférence

```
p augment-births
     ibs (government)
     lhs (sim-cycle -t)
         (family-allocation -x)
         (sys-var ?occupation -occobj)
     test (< (so-val -occobj) 0.945)
          (not-fact (program birth-stimulation -n) government)
     rhs (add-f* `(family allocation ,(+ -x 300) (time ,-t)))
         (add-fact* `(family-allocation ,(+ -x 300) (time ,-t)) people)
         (add-f* `(program birth-simulation ,(+ -t 12)))
         (rm =f2)
     )
```

Cette règle s'active avec les "patterns" suivants:

```
   lhs     (sim-cycle -t)
           (family-allocation -x)
           (sys-var ?occupation -occobj)
```

mais elle s'exécute uniquement lorsque le taux d'occupation du territoire est sous un certain seuil et si aucun programme de stimulation de naissances n'est déjà opérationnel:

```
   test    (< (so-val -occobj) 0.945)
           (not-fact (program birth-stimulation -n) government)
```

La fonction "(so-val <simulation-object>)" retourne l'état d'un objet de simulation et la fonction "(so-def <simulation-object> <val>)" change l'état d'un objet. A noter aussi la différence entre les fonctions "add-f" et "add-fact". La première rajoute un fait à la propre base de données tandis que la deuxième sera utilisée pour rajouter un fait dans celle d'un autre "décideur".

```
rhs     (add-f* `(family allocation ,(+ -x 300) (time ,-t)))
        (add-fact* `(family-allocation ,(+ -x 300) (time ,-t)) people)
        (add-f* `(program birth-simulation ,(+ -t 12)))
```

Dans la trace d'exécution du modèle (voir A-2 "L'exemple «Demopolis»" [p. 379]) on peut voir l'effet de telles règles sur l'évolution d'un système dynamique. Il est clair que le modèle "demopolis" ne représente qu'un "proof of concept" technique[10], mais il montre le potentiel de cette combinaison de deux techniques.

La simulation numérique ordinaire fonctionne avec un principe de "ceteris paribus" qui ne tient pas compte des ajustements discrets par les systèmes de décisions qui peuvent intervenir dans le processus. On peut effectivement argumenter que la politique publique n'existe pas dans beaucoup de domaines (comme le système écologique mondial). Mais l'Histoire a bien montré qu'en cas de crise perçue, le système politique intervient. Donc, une simulation numérique ordinaire ne peut que modéliser ce qui va se passer sans intervention. Avec un tel système, on peut modéliser ce qui va se passer après des interventions. Cette étude conceptuelle a montré qu'il est très facile[11] d'interfacer un modèle de décision à un modèle d'environnement. La difficulté réside évidemment dans toute modélisation des décideurs.

La simulation numérique se prête bien à la modélisation d'un environnement quantifiable. Pour modéliser un système d'interactions entre objets qui ne peut pas être exprimé en termes de covariance, il faut utiliser une autre méthodologie: la simulation orientée objet que nous allons discuter dans la section suivante.

---

[10] Le contenu de ce modèle n'a aucun sens si ce n'est pour tester une méthode de modélisation.

[11] La seule difficulté serait d'écrire un logiciel facile à utiliser pour une personne peu familiarisée avec l'informatique. Nous avons fourni aucun effort qui va dans ce sens, car écrire une bonne interface prend autant ou plus de temps que d'écrire un langage de modélisation. Autrement dit, au stade du prototypage un tel inversissement ne vaut donc pas la peine.

6-3 La modélisation d'objets et d'acteurs

Dans cette section, nous allons nous poser la question de savoir comment modéliser les objets et les acteurs actifs dans un système. Nous passerons en revue deux approches, celle de la simulation orientée objets et celle de la modélisation d'acteurs en intelligence artificielle.

La simulation orientée objets est adaptée à la modélisation des systèmes d'acteurs (comme des organisations) à condition de pouvoir interfacer ses objets avec un système à bases de connaissances.

6-3.1 La simulation orientée objets

La simulation objets s'inspire très directement des premiers "paradigmes" de la programmation objets. L'ancêtre des langages orienté objets, SIMULA était d'ailleurs un langage de simulation. Un langage objets plus moderne comme Smalltalk encourage un type de programmation qu'on a appellé "message passing", le transfert de messages[12]. Un tel programme est constitué par un ensemble d'objets (parfois appelés *acteurs*) qui interagissent entre eux par le biais de la transmission de messages (cf. Klahr 1982:1ff). Cette architecture peut être implémentée de façon variée. Dans le langage Ross (McArthur, Klahr et Narain 85) par exemple, chaque acteur possède un jeu d'*attributs* et un jeu de *chablons* (ou masques, angl.: "templates"). Les attributs caractérisent son état interne. Ce sont des variables qui peuvent être modifiées lorsque la simulation tourne. Chaque "template" possède un comportement associé qui sera activé lorsque l'acteur reçoit un message qui correspond ("match") à ce "template". Un *comportement* est un jeu de messages adressé aux acteurs ou à soi-même. Un processus computationnel est donc la résultante d'un certain comportement de ces acteurs que l'on lance avec des messages sélectifs.

Ce style de programmation se prête très naturellement à la simulation d'un système que l'on peut décrire par le comportement interagissant d'acteurs autonomes. Un langage objets permet de modéliser en tout cas les objets physiques d'une façon très naturelle. Un langage de *simulation* objets n'est rien d'autre qu'un langage objets possédant en plus (a) quelques objets spécialisés en simulation (comme une "montre"), (b) des comportements spécialisés (comme un "tick" qui fait avancer la montre ou un gestionnaire de "queues") et (c) des outils (ou comportements) qui aident le modéliseur et l'utilisateur à gérer le modèle. Ainsi, on peut considérer la simulation orientée objets comme un super-ensemble de la simulation d'événements discrets (cf. Zeigler: 91). Cette dernière est à son tour un super-ensemble de la simulation discrète des systèmes dynamiques (discutée dans la section précédente)

La simulation objets est utilisée profitablement si les conditions suivantes sont réunies:

- on désire analyser un système qui peut être décomposé en un certain nombre d'objets;
- ces objets ont des attributs connus et ils réagissent d'une façon caractéristique à des stimuli physiques et aux informations;
- on s'intéresse avant tout au comportement du système en fonction du comportement de ces unités moléculaires;
- on désire décrire les objets du monde à simuler d'une façon relativement naturelle, c'est-à-dire on respecte les objets, leurs attributs et l'interaction entre eux.

En outre, la simulation objets est également très intéressante lorsqu'on peut classer les objets à modéliser dans des arbres de classification. Par le biais d'un mécanisme d'héritage, on peut composer des objets inférieurs dans la hiérarchie en les déclarant "enfant" d'un ou plusieurs autres objets. Par ce mécanisme, ils "héritent" des attributs (et valeurs par défaut) et des comportements des objets parents. Ainsi, on obtient un très bon outil pour décrire chaque type de comportement par rapport à une classe-type appropriée d'objets de simulation. Ainsi, on peut par exemple définir un objet "objet-déplaçant" au départ et le donner comme parent à tous les objets qui savent se déplacer. Ces objets (par ex. un camion) héritent de tous les comportements de cet objet parent (à moins que l'on décide de leur donner des comportements très spécifiques). Le travail de développement et de maintenance d'un tel système est donc grandement simplifié. La simulation objets connaît certes aussi ses inconvénients. On peut distinguer entre des maladies de jeunesse de ces langages[13] et des problèmes plus conceptuels. Les maladies de jeunesse sont toutes en rapport avec le problème suivant, à savoir que le modéliseur doit trop souvent s'occuper des tâches qui sont inintéressantes au plan conceptuel et que le système devrait

---

[12] Dans les langages les plus récents de ce type comme la nouvelle extension de CommonLisp appelée CLOS ou encore dans le C++, on utilise plutôt le concept de fonction générique que celui de transfert de messages. Par contre, dans les langages acteurs souvent déclarés être proches de la simulation objets, ce concept de "message passing" est toujours central.

[13] Toutefois, il existe aujourd'hui au moins une dizaine de langages de simulation objets généralistes ou spécialisées. Elles sont très souvent construites "sur" des langages orientés objets comme C++ (OOSim, SES/Workbench), Scoops/Scheme (Ross et DEVS), CLOS/Lisp (Ross et Simkit), Smalltalk (OSU-CIM, Laval et Smartsim), Objective C (BLOCS/M), Modula II (Modsim II), Cayene (Simyon).

déjà fournir en partie. Il s'agit notamment de la gestion de variables "autonomes" qui évoluent en fonction du temps et/ou de l'évolution d'autres variables de l'objet. Le comportement de ces attributs doit à présent être défini par le modéliseur sans compter sur le soutien de bons outils.

Mentionnons trois des critiques ou problèmes plus fondamentaux: (1) La simulation objets est très intensive en connaissances et elle demande un temps considérable de développement. Elle n'est appropriée que lorsqu'il est nécessaire de modéliser le comportement des objets dans un système et qu'il est important d'avoir une vue "naturelle" du système. Pour des questions de simple prévision, il est souvent beaucoup plus simple d'utiliser une technique mathématique traditionnelle. (2) Pour le moment, ce type de simulation repose sur un paradigme de traitement d'information. Il est donc seulement utile d'utiliser ce type de modèle si l'on pense pouvoir définir le comportement des objets en termes de messages à traiter et à envoyer, et le comportement du système en fonction de l'interaction de tels objets. (3) La modélisation des processus de réflexion dans un objet ne peut pas être très sophistiquée dans la plupart des langages de simulations. Toutefois, il est possible en principe de coupler des systèmes expert avec chaque objet et de parvenir à des mécanismes plus puissants de traitement d'information. Mais de façon générale, on peut dire que ces langages ne permettent encore au fond qu'une modélisation très sommaire des processus de traitement d'information qui ont par exemple lieu dans des objets décideurs (acteurs humains ou organisations).

La simulation orientée objet est populaire dans relativement peu de domaines. En premier lieu, il faut citer le domaine des processus d'entreprise et surtout de la production (angl.: "manufacturing") où cette méthodologie a fait ses preuves[14]. Un autre domaine important est celui des simulations militaires (par ex. des "battle-fields", dont on discute un exemple dans la section suivante). Finalement, il faut encore mentionner le domaine des réseaux informatiques et des systèmes d'information. Toutefois, dans ce dernier domaine dominent les approches "bases de données" (cf. Dampney 92) ou quantitatives.

6-3.2 Etudes de cas: Le langage "Ross" de Rand

Depuis le début des années quatre-vingt, un groupe de recherche de la Rand Corporation dirigé par Phil Klar a cherché à appliquer à la simulation les techniques de l'intelligence artificielle et surtout celles des systèmes expert. Leurs travaux sur la "simulation à bases de connaissances" (angl.: knowledge-based simulation) a donné comme premier produit Ross: le "Rand object oriented simulation language" (cf. MacArthur 1986). Ross est un langage de simulation "objets" plus particuilièrement destiné à la simulation des interactions dans un système d'acteurs. Faire un modèle Ross consiste essentiellement à définir des objets du domaine à modéliser, leurs attributs et leurs règles de comportement. La syntaxe de Ross ressemble un peu près à un anglais très simple et elle peut donc être comprise par quelqu'un qui ne possède pas de connaissances en informatique ou en intelligence artificielle. Cette volonté de rester près du langage de l'utilisateur et des experts humains reflète une philosophie de la Rand (cf. Klahr (1986b). Une première version de ce langage existait déjà en 1982.

Ross a surtout été utilisé dans le domaine militaire comme pour le système SWIRL (Simulating War in the Ross Language). Il s'agissait là de la simulation stratégique d'une bataille aérienne[15]. Plus tard, grâce au système TWIRL (Tactical Warfare in the Ross Language, cf. Klahr 1986) Ross a été complété et stabilisé en quelque sorte (cf. MacArthur 1986). Le but de TWIRL était de simuler un engagement entre deux forces et de permettre le développement et la critique de tactiques militaires. Plus précisément, il s'agit de travailler avec le scénario d'une division rouge qui veut traverser une rivière défendue par une division bleue, et de l'utiliser comme cas test pour explorer des questions de commandement, de contrôle, de contre-mesures de communication, ainsi que de guerre et de combat électronique. Le type de scénario modélisé possède des propriétés structurelles similaires à celles des échanges dans une organisation. En effet, dans les deux cas, il s'agit d'un système d'acteurs qui échangent des messages. Ces messages seront traités par chaque acteur selon une "méthode" appropriée et peuvent produire d'autres messages. Le tout se déroule dans une perspective chronologique et causale.

Ross était le premier produit du projet KBSim ("Knowledge-Based Simulation"). KBSim possède maintenant une vocation plus large. Il s'agit en fait de réaliser la synergie entre les langages de simulation orientés objets, les coquilles à base de règles, la programmation logique, les inférences automatiques et les graphiques interactifs pour créer un nouveau type d'environnement de simulation (cf. Rothenberg 89:v). Un environnement plus large de simulation à bases de connaissances ("knowledge based simulation") comprendra également un moteur d'inférence ainsi qu'une base de données intelligente comme c'est le cas de Simkit[16] .

Ross est aujourd'hui un langage assez stabilisé dont il existe plusieurs variantes. Nous avons d'abord testé un prototype de Ross qui tourne sous TI-PC Scheme avec un PC Compatible. Il s'agit d'une version assez réduite que nous avons élargie et améliorée un peu. Toutefois, au plan con-

---

[14] Narayanan (94b) donne un excellent survol du domaine et discute les travaux des équipes de recherche les plus importantes. Narayanan (94a) et Bodner (94) donnent un aperçu du système OOSim du "Georgia Tech".

[15] Voici, un exemple simple du type d'interaction entre objets que l'on peut modéliser: Deux objets pilotables à distance (RPV, Remotely Piloted Vehicles) traversent un territoire ennemi qui contient deux radars. Ces rpv traversent l'espace aérien sur une trajectoire fixée à l'avance. Lorsqu'il aperçoit un radar ennemi, un rpv envoie un message d'alerte à son partenaire pour qu'il augmente sa vitesse. Chaque rpv consomme du fuel lorsqu'il vole et il tombe lorsqu'il leur en manque au milieu du vol. Etc.

[16] Cf. la prochaine section (6-3.3 "Etude de cas: Le langage "SimKit"" [p. 262])

ceptuel de la modélisation il possède plus ou moins les mêmes fonctionnalités que les grandes versions mais il ne dispose pas d’interface graphique, ni d’outils pour le “knowledge engineering” ou l’inspection du système. Plus récemment une version similaire appelée “Gnu-Ross” à été mise à disposition de la communauté. Elle tourne sous toutes les implémentations de Common-Lisp.

Objets, messages et comportements dans Ross

La structure d’un modèle de simulation objets se définit avec des *objets*, des *messages entre objets* et des *comportements* (cf. McArthur 1986: 74ff). La programmation d’un tel modèle se rapproche de près de la façon dont on décrit intuitivement les objets et les processus d’un système dynamique tel que l’on peut l’observer. En effet, beaucoup de systèmes sont d’abord décrits en termes de leur composantes séparées. Une composante d’un système peut en effet se définir par ses *attributs* et ses *comportements* possibles. Nous donnerons ici une introduction sommaire à Gnu-Ross (une version “domaine publique”).

Le comportement du système peut se définir comme l’échange d’informations entre les objets. Les interactions entres objets ROSS se font grâce à une technique appelée “message passing” en informatique. La syntaxe pour passer un message à un objet est la suivante[17]:

```
                       (ask <objet> <message>)
ou le synonyme:        (tell <objet> <message>)
```

Un objet Ross peut représenter un acteur (humain ou collectif) ou n’importe quel autre type d’objet. Un message représente n’importe quelle liste de mots que l’objet est capable de comprendre, par exemple:

```
(tell FirstInstance make decision
      with case acquisition-1 by demander Muller)
```

Notez que l’on peut très bien utiliser n’importe quel mot français à condition que l’objet receveur puisse les comprendre. Lorsqu’un objet reçoit un message, il doit être capable de le comprendre. Le modéliseur doit donc spécifier un *comportement-type* dont la *structure d’activation*, c’est-à-dire le chablon correspond (angl.:match) au message, et dont les *actions* représentent une réponse adéquate. La syntaxe pour définir le comportement d’objet est la suivante:

```
(ask <objet> when receiving <structure d'activation> <actions>)
```

On demande donc à un acteur de “se” définir un comportement en lui envoyant un message “when receiving .... “. Cet exemple illustre bien l’usage très général du “message passing” au delà de la simulation propre-

---

[17] Nous utilisons les conventions habituelles pour définir la syntaxe. Des mots en *italiques* sont des mots utilisés par Ross, des mots entre “<..> sont des variables qui doivent être remplacées par un symbole “concret”, et les mots “normaux” sont des symboles utilisés par la modélisation (ou également des mots du langage de simulation s’il n’existe pas d’ambiguïté).

ment dite. La structure d’activation est une liste de symboles qui peut contenir des variables, comme par exemple:

```
(make decision with case > acquisition by demander > demander)
```

Les symboles précédés par “>” sont des variables. Un message comme “make decision with ....” correspond à cette structure et peut donc activer un comportement. La notion de *variable* dans une structure d’activation est très importante. En effet, c’est grâce à ce mécanisme que le système peut opérer avec une certaine flexibilité. Ces variables peuvent ensuite être utilisées dans le code du comportement. (c’est-à-dire elles seront remplacées par les *valeurs* dans le message). Dans notre exemple, “acquisition-1” est la valeur de “acquisition” et “Muller” est la valeur de “demander”. La variable *myself* possède un statut spécial. Il s’agit ici d’une autoréférence à l’objet. On l’utilise par exemple pour envoyer un message à soi-même ou pour envoyer l’identité de l’objet à un autre objet. Les actions du comportement sont déjà plus difficiles à formuler. Dans un cas simple, un corps d’action simple consiste simplement en une suite de messages que l’on envoie à d’autres objets. Voici un exemple simple qui définit un comportement appelé “commander”. Lorsqu’il reçoit le message d’envoyer un objet à un endroit, il envoie à cet objet le message d’y aller.

```
(ask commander when receiving
   (send > moving-object to > place)
   (ask ! myself
         tell ! moving-object go to > place)
```

Examinons un exemple plus difficile: dans ces messages (et en règle générale dans leur corps d’actions), on distingue entre expressions *non-évaluées* et *évaluées*. Une expression est en règle générale un simple symbole ou une liste représentant un message dont on veut utiliser la “réponse”. Une expression non-évaluée doit être interprétée *textuellement*, tandis qu’une expression évaluée *retourne une valeur* utilisée par la suite. Dans Ross, toute expression précédée par un “!” doit être évaluée (de la même façon qu’une valeur remplace le nom d’une variable). Les autres sont interprétées textuellement. On emploie le “!” surtout pour pouvoir utiliser la valeur des variables correspondantes (angl.: “match”) à la structure d’activation et pour utiliser le résultat de l’envoi d’un message. Pour pouvoir envoyer un message à l’objet lui-même il faut utiliser la variable “! myself”. Voici un exemple tiré de McArthur (86:75):

```
(send > moving-object object guided by > guider to > whom)
... et un comportement qui lui correspond:
(ask fighter-base when receiving
          (send > fighter guided by > gci to > penetrator)
    (ask ! myself
          schedule after
          ! ( ask myself recall your scramble-delay) seconds
          tell ! fighter chase ! penetrator guided by ! gci)
    (ask ! myself add ! fighter to your list of fighters-scrambled)
    (ask ! myself remove ! fighter from your list of fighters-available))
```

Ce comportement s’active donc grâce à un message du type “(send > fighter guided by > gci to > penetrator)” et a pour résultat 3 comportements internes (les 3 “ask ! myself”). Le premier comportement contient deux autres, dont un comportement externe qui lance au bout de quelques secondes un "tell ! fighter chase ! penetrator guided by ! gci" pour instruire un avion chasseur. Ainsi, un comportement modélise donc les façons dont un objet peut répondre à des "inputs" (perceptions, informations, forces) dans le "monde" à modéliser. Ces comportements sont en règle générale spécifiés par rapport à un certain type d'objets. Il n'est donc pas nécessaire de faire ce travail pour chaque objet individuel dont on dispose. Dans un "corps" de comportement, une commande Ross commence par un "ask ...." ou par un "tell..." qui est un synonyme.

Ross possède en outre une série d'expressions spéciales entourées de parenthèses comme "(your ....)". Elles ont deux fonctions: (1) certaines rendent la lecture du code plus simple, il s'agit donc d'abréviations. Par exemple (your status) se traduit par (ask myself recall your status). Ce sont en quelque sorte des pronoms conceptuels. Dans Ross, l'utilisateur peut en définir lui-même, dans Gnu-Ross, il faut posséder quelques connaissances en programmation pour le faire. (2) Les autres abréviations sont des constructions de contrôle. Il s'agit là essentiellement de la création de variables temporaires, de conditionnels et de boucles. A la place de ces constructions fournies par Ross, il est bien sûr possible d'utiliser directement des constructions Lisp. Mais ces dernières sont moins claires pour un utilisateur qui ne sait pas programmer.

La hiérarchie des objets

Les objets dans Ross sont définis par rapport à une hiérarchie d'objets et ils sont créés à l'aide d'un mécanisme d'héritage. L'objet de base à partir duquel on crée tous les autres s'appelle (ici) "ross". Les autres versions de Ross suivent de près les conventions de création d'objets que l'on retrouve dans les langages orientés objet. C'est-à-dire, on fait la distinction entre objets *génériques* et *instances*. Dans PC et-GnuRoss, cette distinction n'existe pas pour des raisons de ressources, mais elle devrait être faite au plan conceptuel. On utilisera la convention suivant laquelle tous les objets individuels (les instances) sont définis ou bien par des noms propres ou bien en rajoutant un nombre au nom comme dans "demander-1". Chaque objet créé par un autre objet *hérite* des attributs et des comportements de l'objet qui le crée. Autrement dit, si l'objet "ross" (qui est l'objet-parent de tout le monde) connaît un comportement (comme "create ..."), tous les autres vont également posséder ce comportement. Ce mécanisme d'héritage est un des très grands avantages de la programmation objet. Il permet de définir chaque comportement et chaque attribut à un niveau conceptuel approprié tout en laissant la possibilité de définir des comportements spécialisés pour chaque objet si on le désire. Un *attribut* est une variable qui contient de l'information sur l'état interne d'un objet. Il s'agit en règle générale de caractéristiques symboliques ou numériques qui décrivent l'objet; par exemple des mémoires que l'on utilise pour stocker de l'information, ainsi que des "queues" que l'on utilise pour y mettre les choses à faire. La hiérarchie des classes d'objets devrait refléter les dépendances conceptuelles du type "super-concept/sous-concept" (angl.: "isa" hierarchies) entre les objets dans le monde observé. La hiérarchie des objets dans Ross n'est pas nécessairement celle d'un arbre. L'héritage multiple est permis.

1. La création d'acteurs
Create a new instance >objet
Create a new instance >objet with >specs
Create an instance >objet
Create an instance >objet with >specs
Duplicate yourself as >objet nouveau
Kill yourself

2. Définition et manipulations de comportements
When receiving >(chablon de message) >comportements

3. Manipulations d'attributs
Set your >attribut to >valeur
Recall your >attribut
Forget your >attribut
Increment your >attribut by >n
Increment your >attribut by >n
Add >valeur to your list of >attribut
Remove >valeur to your list of >attribut
Remove the next item from your queue of > attribute
Examine the next item from your queue of > attribute)

4. Manipulations de la mémoire des acteurs
Remember >fact
Collect items matching >chablon
Recall if any items match >chablon
Forget item matching >chablon

5. Manipulation de plans
Plan at >n seconds + >commande
Plan after >n seconds + >commande
Unplan >commande
Unplan all >commande

6. Faire faire les autres
Ask each of your >attribute to >commande
Ask your >attribute to >commande
Ask >objet to >commande

8. La montre de simulation
Ask clock tick
Ask clock tick >n times

Figure 6-4: Les comportements les plus importants de Gnu-Ross

Suivant la version de Ross que l'on utilise, il existe un ou plusieurs acteurs prédéfinis qui possèdent les comportements de base dont on a besoin pour une simulation. Souvenons-nous que chaque comportement qui est demandé à un acteur par le biais de "ask" (ou de "tell" qui est un synonyme) doit être défini soit par le programme Ross soit par le modéliseur. Gnu-Ross fournit trois acteurs de base à partir desquels on définit les acteurs du modèle: il s’agit de “ross”, “clock” et “rng”. “Clock” est la montre de simulation et “rng” est un simulateur de nombres aléatoires. L’objet “ross” est l’objet source qui possède une quarantaine de comportements de base, dont nous montrons les plus importants dans la figure 6-4. Il est tout à fait possible de rajouter des comportements pour l’objet “ross”. Etant donné que le comportement “when receiving ...” lui appartient, il n’y pas de problèmes. Voici l’utilité de quelques comportements prédéfinis:

- Les commandes “create...” permettent de créer un nouvel objet. On peut associer des attributs (“slots”) à chaque objet et manipuler leurs valeurs avec les commandes de manipulation d’attributs. On peut par exemple traiter un attribut comme une queue, y rajouter des éléments à la fin et enlever le premier.
- Chaque objet peut également contenir des “faits”. Il s’agit d’une liste d’items (des listes d’une profondeur arbitraire) dans laquelle on peut rajouter, enlever, collectionner et rechercher par les commandes de manipulation de la mémoire. Cette “mémoire” est un attribut spécial qui sert à implémenter quelques fonctionalités que l’on retrouve dans les systèmes à bases de règles, comme le “pattern-matching”.
- La “mémoire des plans” permet d’enregistrer des commandes (comportements) qui doivent être exécutées à un certain moment.
- Il existe quelques commandes pour faire exécuter un comportement par un autre objet ou encore les attributs d’un autre objet.

Toutes ces commandes permettent de gérer les flux de communication et d’action dans un système d’acteurs. Voici quelques lignes de code montrant comment ammorcer la modélisation d’un tel système:

```
;; Creation d'un acteur générique

(ask ross create an instance actor)

;; Creation d'une "Administration"

(ask actor create an instance Administration)

;; Creation d'une "base de données" de cas acceptables

(tell Administration remember (
                   ((Working Permit C) (RealEstateType appartment))
                   ((Working Permit B) (RealEstateType appartment))
                   ))

;; Procédure de décision
;; Lorsqu'un cas se trouve dans la base de données, l'autorisation est
;; accordée, sinon elle est refusée.

(ask Administration when receiving
     (make decision with case > case by demander > demander)
     (if (ask !myself recall if any items match !case)
 (tell !demander remember (Authorization granted))
       (tell !demander remember (Authorization refused))
       ))


;; Simulation d'un "cas"

(ask actor create an instance Muller)
```

```
(tell Administration make decision
      with case ((Working Permit C) (RealEstateType appartment))
      by demander Muller)
```

Critique et discussion

La critique principale que l’on peut adresser à des langages de type Ross, c’est que le modéliseur doit prévoir et programmer un certain nombre d’actions qui sont inintéressantes au plan conceptuel. Il s’agit d’un problème découlant du phénomène appelé le “frame problem” ou plus largement des “data consistency issues” en intelligence artificielle. Beaucoup d’objets possèdent un certain nombre d’attributs qui dépendent de l’évolution du temps. Cammarata (86:5) et al. leur donnent le nom d’attributs *autonomes*. En effet, dans nos essais avec ce langage, pour maîtriser ce phénomène, nous avons dû écrire plusieurs comportements Ross pour les objets en question qui leur sont envoyés régulièrement par la montre de simulation. Une autre solution aurait consisté à recalculer ces valeurs au moment où on veut les utiliser. Dans ce cas, tous les comportements ayant besoin d’une valeur auraient dû provoquer ce calcul. Un bon langage de simulation devrait permettre au modéliseur de déclarer des méthodes qui calculent un attribut au moment où quelqu’un a besoin de leur valeur. On parle dans ce cas d’un “if-needed demon”. Un autre problème consiste en ce que Cammarata (86: 7) appelle les événements non-intentionnels (ou effets secondaires). Ces événements, comme par exemple le calcul de la distance entre deux objets par un de ces objets ne correspond pas à une action intentionnelle dans beaucoup de cas, mais on en a besoin pour déterminer par exemple si un rpv entre dans la zone active d’un radar. En principe, dans une simulation, on devrait seulement prévoir les activités que l’objet accomplit réellement. Ces calculs devraient être faits d’une façon asynchrone en fonction de l’évolution de certains attributs autonomes. Il est assez difficile de savoir comment interfacer un tel monde de simulation avec une interface graphique. Lorsque l’on possède beaucoup d’objets, il devient impossible d’afficher la position (ou d’autres informations) de chaque objet à chaque pas de simulation. Il faut chercher des méthodes moins gourmandes. Ces trois problèmes ont été résolus en partie dans des extensions du langage Ross utilisées chez Rand. Ross reste assez bien ancré dans la tradition de la simulation des événements discrets.

6-3.3 Etude de cas: Le langage “SimKit”

SimKit est un langage commercial développé par Intellicorp qui se rajoute à la coquille système expert “KEE”. Nous le présentons brièvement afin de dégager les éléments importants d’un environnement de modélisation d’événements orienté objet qui intègre la technologie des systèmes expert. Un tel outil est plus adapté que Ross pour simuler pas seulement les interactions entre acteurs, mais également des processus complexes de traitement d’information. Un tel langage est idéal pour implémenter le genre de modèle que nous esquissons dans la section 6-3.5 “La modélisation IA de systèmes d’acteurs” [p. 265].

Simkit permet de créer facilement des classes d'objets, des relations entre objets, etc. avec un outil graphique. C'est un langage qui permet la simulation d'événements discrets de façon très souple (cf. SimKit 1-1 ff.). Il existe une montre qui représente le temps, un calendrier qui représente les événements futurs et un simulateur qui exécute les événements en fonction du calendrier. Comme dans Ross, un modèle de simulation repose sur un ensemble d'objets possédant un nombre arbitraire d'attributs (contenant des valeurs, propriétés, autres objets, etc). Par contre, la nature des relations entre objets et attributs est plus sophistiquée. On peut définir des interactions "automatiques", par exemple calculer ce qui se modifie ailleurs si on change la valeur d'un attribut. SimKit possède un outillage de collection de données très sophistiqué qui permet de monitorer et d'analyser le comportement de chaque objet dans le temps selon les besoins.

SimKit fournit un certain nombre de classes et de relations dans des librairies qui sont utiles pour la modélisation d'usines ou d'organisations[18]. La libraire QLIB (cf. SimKit QLIB, 2-1ff.) permet la simulation des "queues" d'événements, un concept central pour la modélisation de flux de communication à l'intérieur d'une organisation. Avec les éléments de la QLIB (montrés dans la figure 6-5) on peut implémenter plusieurs type d'événements comme:

- la génération d'un item,
- l'arrivée d'un item vers une composante,
- le départ d'une activité dans une composante,
- la terminaison d'une activité ("Task")
- et le départ d'un item.

Le déroulement de ces événements est défini par des sortes de règles qui ont la structure suivante:

- "unconditional": cette partie est exécutée dans tous les cas lors de l'événement,
- "condition": un prédicat qui est évalué si l'action suivante peut avoir lieu
- "alors" (angl.:"then"): l'événement proprement dit, par exemple la transformation d'un item,
- "ou alors" (angl.: "else"): l'alternative exécutée si la condition est fausse.

Le contenu de ces descriptions d'événements varie beaucoup parmi les différents types d'événements. Avec cet outillage, on peut modéliser des questions de type "what if" très précises et ciblées car on peut modifier facilement les comportements spécifiques des objets individuels du système.

SimKit se caractérise par une bonne intégration dans une coquille d'intelligence artificielle et c'est pour cela qu'il a été présenté ici. Il s'agit d'un langage très élégant, mais implémenté dans un environnement commercial assez "lourd" (KEE). C'est probablement la raison pour laquelle les communautés les plus actives dans le domaine ont toutes développé leur propre langage de simulation[19]. Comme Ross, elles ont en règle générale moins de fonctionalités mais sont suffisants pour des besoins très précis de modélisation.

Figure 6-5: Eléments de la librairie QLIB de SimKit

Une queue possède trois classes d'objets de base:

1. Les "composantes" (angl.: "Components") représentent les objets permanents du système modélisé (par exemple: des personnes, des machines, des lignes de communication, etc.). Parmi les "composantes", on distingue en plus:
   - les "éviers" (angl.: "sinks") qui détruisent un item (ou conceptuellement parlé transmettent un item à l'extérieur du système)
   - les "sources" qui peuvent créer des "items"
   - les "queues" qui sont des réservoirs qui accumulent des items à traiter
2. les "serveurs" qui peuvent effectuer des manipulations sur des objets.
3. Les items" représentent des objets qui transitent par le système et qui nécessitent des services par des "composantes serveurs". Il s'agit par exemple de messages ou d'éléments de fabrication.
4. Les "tâches" représentent des requêtes pour des services ou encore des opérations à effectuer sur des attributs d'un objet.

QLIB fournit pssède deux types de relations entre objets:

1. Les relations "Downstream" et "Upstream" identifient les objets qui se trouvent "après" ou "avant" dans une chaîne de traitement.
2. Les relations "Contents" indiquent qu'un item se trouve couramment auprès d'un objet.

6-3.4 L'avenir de la simulation orientée objet

A notre avis, les langages de simulation orientée objets ne rencontrent pas assez d'intérêt dans la recherche et il serait temps que plus d'efforts soient consacrés à leur développement, notamment en vue du très grand potentiel que possède la simulation dans l'enseignement et la formation professionnelle. Une fois trouvé une (ou plusieures) norme(s) de simulation orientée objet, il serait également très profitable de distribuer des bibliothèques d'objets[20]. Ceci pourrait faciliter énormément le travail de développe-

---

[18] cf. par exemple le modèle MOMo de Sigried Unseld (88) pour sa thèse: "Wissensbasierte Simulation einer Organisation".

[19] Voir les notes en bas de page 13. (p. 254) et 14. (p. 255)

[20] A titre d'exemple, nous citons le "mathématicien" et le "physicien" utilisés dans les simulations militaires de Ross ou encore les objets-type utilisés dans la simulation des processus de fabrication (unités physiques comme "usine" ou "centre d'assemblage", unités d'information comme "ordre d'un client" ou "opération à effectuer", etc.). Voir par exemple la proposition de Zeigler, Vahie et Young(94) qui va dans le même sens.

ment. Par définition, un objet et les "méthodes" associées sont réutilisables, combinables et spécialisables dans un langage de programmation objets.

La raison pour laquelle la simulation orientée objet d'agents et d'événements discrets ne rencontre pas énormément d'intérêt en sciences humaines tient surtout aux raisons suivantes: d'abord il s'agit d'une technologie relativement nouvelle. Les disciplines comme la science politique mettent en règle générale une vingtaine d'années ou plus pour adopter une nouvelle technologie. Aujourd'hui la pression d'être "à la page" a sans doute augmenté. Toutefois, il manque au politologue moyen une formation suffisamment bonne en informatique pour travailler avec des langages plutôt proto-typiques. Finalement, toute modélisation orientée objet nécessite un certain investissement en ressources humaines dont on dispose que rarement dans notre discipline[21]. Ce problème est aggravé par le fait qu'il existe peu d'efforts de recherche à long terme sur un même sujet, cadre où la modélisation objets est particulièrement payante. Toutefois, dans le cadre d'un travail coopératif en partageant des bibliothèques d'objets, ce type de simulation est tout à fait envisageable au plan des ressources.

La discipline de l'informatique proprement dite ne s'intéresse guère à la simulation à moins que ce ne soit des problèmes très difficiles et pointus. La simulation numérique ou orientée objets est essentiellement un domaine d'application et non de recherche en informatique. Elle est donc "laissée" aux autres disciplines. La modélisation de l'interaction d'agents intelligents se fait surtout dans le cadre du domaine IA du "planning" sous les labels de "cooperative planning", "collaborative interagent planning", etc. Nous y reviendrons brièvement dans la section suivante.

6-3.5 La modélisation IA de systèmes d'acteurs

Notre thème principal est la modélisation du décideur individuel. Le modèle P-Lex est un exemple. Certaines instances de décision (comme un gouvernement ou même une nation) sont souvent modélisées comme des entités de décisions individuelles. A un certain niveau d'abstraction, cette démarche attribuant une rationalité quasi-humaine à un ensemble de décideurs est sans doute justifiée. Par contre, la modélisation devient purement analytique à ce niveau car elle ne correspond pas à une réalité observable.

Des systèmes d'acteurs peuvent être modélisés avec les mêmes tech-

---

[21] On peut très rapidement construire une simulation numérique qui "tourne". Par contre, il faut plus de temps pour construire une simulation objets, car il faut modéliser les attributs et actions des objets d'une façon qui permet à l'ensemble de tourner. Une action "non-comprise" par un objet peut déranger le système entier, tandis qu'une opération mathématique (la seule opération effectuée sur les "objets" des simulations numériques) marche toujours dans le sens où le modèle ne s'arrête pas.

niques (systèmes expert, simulation orientée objet, etc) discutées auparavant en y rajoutant des éléments de communication (y compris de coopération, de coordination, de négociation, etc.). Toutefois, la tâche devient nettement plus difficile et dépasse les moyens alloués à ce travail. En conséquence, nous allons juste montrer l'architecture générale d'un tel système à l'aide de l'exemple sur la législation de l'acquisition des immeubles par des étrangers.

Nous avons déjà présenté la structure du système de décision de la Lex Furgler dans la section 5-4.1 "La LAIE - histoire, structure et dynamique" [p. 207]. Chacune des instances dans le dispositif légal, ainsi que les acteurs externes (vendeurs, acquéreurs, etc.) peuvent être modélisés comme des acteurs (quasi) rationnels qui peuvent raisonner et communiquer. Chaque acteur dans un tel système d'acteurs peut être représenté par un objet[22]. Pour ce type de modélisation, la notion d' "acte de communication" est centrale. Inspiré de la théorie des actes de paroles (Searle:69), l'acte de communication implique un émetteur ayant une intention, un message, un receveur, et une "invitation à réagir". L'acte de parole de Searle implique toujours deux acteurs (A et B). Lorsque A produit un acte de parole, cela implique une demande à B à laquelle B devrait répondre par une action mentale, linguistique ou physique. En bref, A s'attend à un effet direct (illocutoire) de son acte. Chaque acte peut avoir des effets indirects (perlocutoires), B peut avoir d'autres réactions que celles qui ont été explicitement prévues par A (et les conventions sociales).

Ce que nous appelons "acte de communication" suit le même principe, il s'agit d'un "bloc atomique" de la communication et de la collaboration sociale. Toutefois, nous ne nous limitons pas à une communication "face à face" et l'énoncé d'un émetteur peut être d'une taille arbitraire (par exemple la transmission d'un dossier). La plupart des actes de communication entraînent au moins un autre acte de communication. Dans le domaine de la LAIE, nous pouvons distinguer par exemple les actes de communication suivants:

1. Une demande de décision légale: l'émetteur le plus typique sera l'acquéreur d'un immeuble (ou son représentant) qui s'adresse à une première instance. L'effet direct d'un telle demande est un examen du dossier par la première instance.
2. Une décision légale: normalement, il s'agit d'une conséquence d'une demande de décision. A son tour, elle peut ou elle ne peut pas provoquer d'autres actes.
3. Une "communication" de décision légale: il s'agit du fait de communi-

---

[22] Un "objet" au sens de la programmation orientée objet. Il existe plusieurs tentatives pour modéliser une organisation à l'aide de la méthodologie "objets". Cf. par exemple Smith (91) ou Finegan (92). Voir aussi les nombreux travaux de groupe de Hewiit au MIT, par exemple Aga (86) qui portent sur des "langages acteurs".

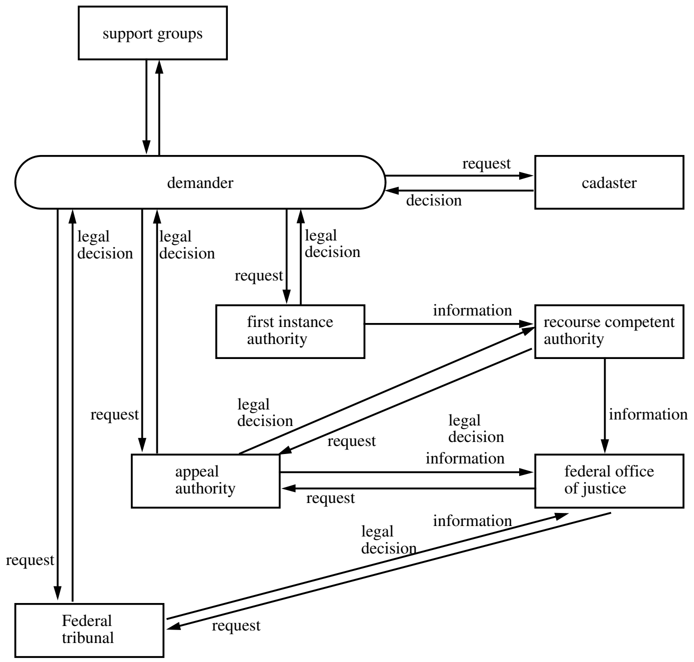


Figure 6-6: **Les canaux et flux de communication dans la LAIE**

quer une décision à d'autres acteurs intéressés (dans la LAIE, la première instance doit la communiquer à la deuxième)

4. Une requête d'information: par exemple, une agence qui demande un complément d'information pour un dossier.
5. La réponse à une demande d'information.

L'ensemble des actes de communications possible dans un système d'acteur définit un système de communication ayant certains canaux et flux de communication. Les flux de communication sont déterminés par les canaux (émetteurs et récepteurs), les actes de communication possibles, et les contenus des actes de communication possibles. Une partie de ce système de communication est explicitement définie par un dispositif légal, une autre se compose au fur et à mesure lors de sa mise en oeuvre. Nous montrons une esquisse des canaux de communication et des actes de communication qui peuvent y avoir lieu dans la figure 6-6.

Chaque type d'acte de communication nécessite certaines structures

---

Acteur A (émetteur)

1. créer le but de recevoir une réponse
2. créer le but d'avoir du succès
3. créer un message
4. envoyer un message
5. vérifier (après un certain temps) s'il y a eu réponse
6. vérifier s'il y a eu succès

Acteur B (receveur):

1. créer le but de réagir
2. créer une réponse (après un certain temps)
3. renvoyer le message
4. vérifier si le but de réagir a été satisfait (après un certain temps)

Figure 6-7: **L'anatomie d'une demande et d'une réponse**

de connaissances assez générales et chaque contenu d'un acte est engendré et traité par des connaissances plus spécifiques du type que nous avons modélisés dans la section 5-3 "L'encodage d'un texte de loi - M-Lex" [p. 195]. La modélisation de la génération et du traitement des actes de communication est en principe assez simple, mais devient assez compliquée en pratique puisque ça implique la modélisation de plusieurs activités cognitives. Examinons un cas de figure très simple illustré dans la figure 6-7: l'acteur A doit d'abord avoir un but (et décider de le poursuivre). Ensuite, il doit produire un message et le transmettre à un décideur B. Celui-ci doit produire une réponse et la renvoyer. Chacun de ces acteurs doit surveiller à la fois le progrès de son propre travail et du travail des autres. Notamment A doit faire tout pour obtenir une réponse, et éventuellement créer d'autres actes de communication pour satisfaire ses buts. En plus, le terme "création de message" peut cacher une myriade d'autres actes de communications auxiliaires. Au plan informatique, il existe plusieurs stratégies que l'on peut suivre: la plus simple consiste à implémenter les acteurs comme objets avec un langage orienté objet. A chaque objet, on associe une base d'inférence et on implémente les actes de communication par l'envoi de faits d'une base d'inférence vers une autre.

Ce type de modélisation (accouplement de plusieurs systèmes expert) est facile à mettre en oeuvre, mais possède un certain nombre d'inconvénients. L'ensemble est notamment très fragile car une modélisation dépend du fait que chaque système expert renvoie toujours une réponse bien structurée qui satisfait aux règles du système qui a envoyé la requête. L'élément "temps" et indépendance relative des acteurs manque complètement. Ainsi, il serait déjà plus intéressant d'implémenter le tout avec un langage de type "SIMKIT" qui est spécialement conçu pour organiser des flux de communication dans un système d'acteurs. Ayant à disposition une montre de simulation, il serait également plus facile de modéliser l'environnement du système d'action, par exemple des changements politiques ou économiques entraînant une modification du comportement des décideurs modélisés par une base de règles.

La littérature sur la planification en IA contient un grand nombre de références utiles pour la modélisation de la communication, de la coopération et de la planification inter-agents et nous renvoyons à toute cette littérature pour plus de détails[23]. Les travaux dans ce domaine sont très intéressants, toutefois il faut les adapter pour pouvoir modéliser un domaine plus large que c'est habituellement le cas en IA. Ces travaux mettent en évidence la nécessité de développer des modèles très poussés sur la perception que possède un acteur d'un autre et de ses actions. Il est très intéressant de constater que l'on retrouve des références dans la littérature des relations internationales qui suggèrent la nécessité et l'utilité de ce type de modélisation. Dans Alker, Bennett et Mefford (80), un article sur les dilemmes d'insécurité collective, on trouve par exemple le terme de "reflective logics" qui fait référence au raisonnement sur les croyances et les intentions des autres acteurs pour pouvoir mettre en évidence, négocier et atteindre des buts à long terme malgré les obstacles des buts à court terme.

---

[23] Voir par exemple les contributions pour le AAAI Workshop on Planning for Inter-Agent Communication (94, disponibles via WWW http://pogo.isp.pitt.edu/discourse/pic.html), Cohen (79) ou encore la collection éditée par Cohen, Morgan et Pollack (90). Pour un survol du "planning" en général voir McDermott(92).

6-4 La mémoire du décideur et l'apprentissage

Les expériences du passé ont une influence importante sur le décideur. Tout modèle statique diminue sa portée. Ainsi, il faut tenter de modéliser les phénomènes de raisonnement avec le passé, d'adaptation et d'apprentissage. Il s'agit ici d'un problème de recherche difficile, mais nécessaire à moyen terme.

Nous suggérons d'utiliser les méthodes développées dans le cadre des recherches sur l'analyse des événements historiques en relations internationales.

La mémoire du décideur et surtout la mémoire politique collective d'une institution ont une part importante dans la décision. Nous avons déjà mentionné à plusieurs reprises le raisonnement fondé sur les cas[24]. Ce type de raisonnement compare une situation actuelle avec une situation du passé et adapte la solution du passé au problème actuel. On peut argumenter que la plupart des situations (y compris les décisions) du passé ont été intégrées dans des connaissances plus synthétiques et plus abstraites. Il s'agit ici de quelques formes d'apprentissage. L'IA offre plusieurs modèles d'apprentissage symboliques et connexionistes [25] qui ont chacun leurs avantages et désavantages. Une discussion de ces approches dépasserait largement le cadre de ce texte. Nous mentionnons juste quelques principes et problèmes majeurs dans la modélisation de l'apprentissage en IA, avant de discuter quelques travaux en science politique.

Le "explanation based learning" (EBL) (De Jong 86) et ses variantes fonctionne selon le principe que les propriétés d'une situation d'action observée sont analysées et ensuite généralisées dans de nouveaux concepts. Dans certains systèmes (par ex. Farag 89), ces nouveaux concepts peuvent par la suite être raffinés et adaptés en fonction d'autres observations. D'autres approches sont plus quantitatives et tentent "simplement" de réduire l'entropie dans un grand jeu de données. On peut citer l'algorithme ID3 (Quinlan 83) par exemple.

En gros, dans un système IA traditionnel (c'est-à-dire fermé) un problème et sa solution sont exprimés selon la logique du "planning" en forme de pré-conditions, post-conditions, opérateurs d'action, etc.. La notion d'apprentissage est à la fois quantitative et qualitative. Au niveau du "knowledge level", on peut dire qu'il y a eu apprentissage quand le système possède plus de connaissances à un moment T2 au'à un moment T1 et que le système sait faire quelque chose à T2 qu'il n'aurait pas su faire en T1. Il est mieux adapté à son environnement grâce à ses capacités d'acquisition de connaissances et ses capacités à réutiliser ces acquisitions. Tout le débat en IA tourne autour de ces concepts d' "acquisition" (stockage et transformation) et d' "utilisation de connaissances". Certaines approches comme le "concept learning" à la "EBL" ou les méthodes "empiriques" du ID3 privilégient l'élément "acquisition", tandis que les approches comme le "Case-Based Reasoning/Learning" privilègent le côté "réutilisation". Pour le moment, le degré de créativité de ces algorithmes d'apprentissage, de réutilisation et d'adaptation n'est pas clair. Le problème principal de l'IA symbolique est son incapacité à modéliser les apprentissages et innovations spectaculaires dont sont capables les acteurs humains. Ces modèles fonctionnent assez bien pour "compiler" ou réutiliser ce que l'acteur a déjà fait et ce qu'il a pu observer[26]. Les modèles connexionistes montrent plus de souplesse à apprendre des structures et à les réutiliser de façon souple. Mais le problème reste le même: un manque de créativité; ses algorithmes sont fondamentalement limités par le jeu d'exemples d'apprentissage ainsi que par leur manque de capacité d'abstraction et de restructuration, thèmes fondamentaux dans la psychologie d'apprentissage. Toutefois, malgré ces limitations, la modélisation de l'apprentissage et même de type très "faible" comme le raisonnement analogique sur les cas du passé peuvent apporter quelque chose à la modélisation du décideur politique. Après tout, le problème de la genèse de nouvelles structures est général en sciences politiques et toutes les approches dans ces domaines souffrent de leur incapacité de prédire quelque choses en dehors de conditions ceteris paribus très fortes.

En science politique, les algorithmes d'apprentissage ont été surtout utilisés comme méthodes d'analyses de données qualitatives (événements politiques) dans le domaine des relations internationales. Plusieurs chercheurs ont, vers la fin des années soixante, insisté sur l'importance des événements du passé [27] et c'est Alker (Alker et Christensen 72) qui a rendu populaire le terme de "precedent logics" en relations internationales. La logique des précédents intègre plusieurs facteurs interconnectés pour expliquer les décisions (cf. Mallery 88:38-39):

- l'histoire (les événements du passé et leur réutilisation dans le présent)

---

[24] Voir par exemple la section 4-3.3 "Le raisonnement avec des cas" [p. 157],

[25] Voir par exemples les collections sur le "machine learning" symbolique éditées par Michalsky, Carbonell et Mitchell (83 et 86) et les collections classiques pour le connexionisme comme Hinton (89), Rumelhart (86).

[26] Voir aussi la petite présentation de "SOAR" [p. 147] pour une autre variante de ce type d'apprentissage.

[27] Cf. l'excellent résumé de "Precedent Logics for Decision-Making" dans Mallery (88). Nous l'utilisons comme source principale pour la discussion suivante. Ce texte (malheureusement quelque peu ancien) reste par ailleurs la meilleure introduction sur l'utilisation du paradigme IA en sciences politiques.

- l'apprentissage (l'intégration des leçons du passé dans des structures de connaissances)
- la préstructuration des décisions (influence sur la perception en fonction de ce que l'on sait déjà)
- la réduction de l'information (diminution de la charge cognitive pour le décideur qui grâce à un "modèle" du passé peut se concentrer sur l'essentiel)

Il est clair que modéliser des décisions n'est pas tout à fait équivalent à modéliser des décideurs. Toutefois, au plan technique, ces méthodes d'analyse de données historiques utilisées pour prédire l'action de gouvernements et d'institutions en relations internationales sont tout à fait intéressantes pour construire des modèles du décideur et de son environnement. L'encodage des données suit essentiellement deux stratégies: (1) les "vecteurs de caractéristiques" (angl.: "feature vectors") et équivalents mathématiques et (2) les arbres de décision.

Etant donné que les conduites des Etats est la variable dépendante principale des recherches en relations internationales (RI), l'encodage des événements a toujours été une question importante dans cette discipline[28]. En règle générale, une base de données d'événements en RI est composée de cas encodés sous forme de listes d'événements. Chaque événement est une liste d'attributs et de valeurs ou en d'autres termes un vecteur de caractéristiques (angl. "feature vector"). Ces listes d'événements peuvent être utilisées par des techniques d'apprentissage par ordinateur pour en abstraire de nouvelles connaissances. Une simulation de l'environnement d'un décideur ou celle d'un système d'acteurs peut produire également ce type de liste d'événements et on peut donc utiliser ces techniques dans le cadre d'une modélisation d'un acteur. Nous allons discuter ici les travaux de Mallery et collègues [29] pour illustrer cette démarche.

Mallery (94) a développé un système avec une interface graphique conviviale, le "Feature Vector Editor" pour encoder et analyser des données d'événements. Il l'a notamment utilisé avec la base de données sur les conflits internationaux et domestiques SHERFACTS (Mallery et Sherman 93). Elle contient environ 700 conflits internationaux et 1000 conflits nationax. Les événements sont encodés dans un modèle hiérarchique, inspiré

---

[28] Voir Gerner, Schrodt, Francisco et Weddle (94) ou encore Mallery (88) pour des survols de la matière. Il existe une multitude de bases de données comme COPDAB, WEIS, CREON, BCOW, KEDS ou SHERFACS.Toutes se prêtent à un certain nombre d'analyses par machine. Les encodages des événements varient fortement d'une base à l'autre, mais en règle générale, on encode l'acteur (la source), l'adressé (la cible), l'action (l'activité), le temps/date, et parfois le sujet. L'encodage de l'action pose le plus de problèmes. Faut-il l'encoder à l'état brut (par ex. "on a eu une discussion franche") ou selon l'intention/effet perçu par l'observateur (par ex. "la proposition a été rejetée").

[29] Voir Mallery et Sherman (93), Mallery (94) Mallery et Hurwitz (87) et Mallery (88)

plus ou moins par la structure de récit [30] d'un conflit: ainsi, on peut distinguer par exemple les phases du conflit (angl. "dispute"), de la "crise", des "hostilités" et de la "résolution" dans un conflit. Ce type de codage groupant les événements peut être utilisé pour faire des prédictions en ce qui concerne par exemple un conflit actuel qui démarre en montrant des caractéristiques similaires. Unseld et Mallery (91) ont implémenté un détecteur inductif d'interactions (angl.: "Induction Interaction Detector" ou "I2D") adapté aux types de données "SHERFACS". Ce programme apprend des arbres de décision en fonction d'une variable dépendante (par exemple "implication d'une superpuissance dans un conflit régional"). Ces arbres peuvent être décortiqués en règles[31]. Ces règles feront partie d'une théorie inductive sur un domaine ou encore d'un jeu de résumés de pratiques utilisés pour valider une théorie politique. Le système maintient pour chaque règle des pointeurs aux cas qui ont permis son induction afin de procéder à des analyses plus fines (du type CBR par exemple). Les règles possèdent également un indicateur de "portée" lui donnant indirectement une valeur de probabilité au niveau "local" (cas et extraits de cas utilisés pour la prédiction) et "global" (tous les cas considérés). Une règle décrit une cause possible, c'est-à-dire une "logique d'action" pour expliquer un événement (ou une suite d'événements) par la présence d'autres événements (ou suites d'événements).

Le côté "si" d'une règle peut être interprété comme une structure de précédence précompilée (angl. "precompiled precedent cluster") qui en principe pourrait être utilisé dans une modélisation d'un décideur qui agit en fonction des expériences du passé. Il s'agirait d'une sorte de "model-based reasoning" utilisant des règles abstraites, mais qui sont liées à des cas concrets que l'on pourrait utiliser en cas de nécessité. Il est clair que ce type de modélisation est avant tout descriptif, l'algorithme I2D agrège des descriptions d'événements sous forme de règles <situations> alors <situation>. Les causes d'une action d'un décideur (collectif dans ce cas) ne s'expliquent pas forcement par la pure présence d'un type de situation. Les régularités observées signifient simplement que certains acteurs agissent selon certains critères observables, mais n'expliquent pas pourquoi. Ainsi la validité de ce type d'induction est prédictive, mais pas explicative, et elle s'exerce sur une période de temps (et de logique d'interaction) déterminée.

Toutefois, ce type de recherches est unique. Il est nécessaire pour établir un premier pont entre la science politique quantitative (généralisante, ayant un certain pouvoir de prédiction, mais de pouvoir d'explication faible) et la discipline de l'histoire (faible en capacité de généralisation, mais forte en capacité d'interprétation et d' "explication"). Dans le cadre de la modélisation du décideur et de son environnement, il n'est peut-être

---

[30] Voir par exemple Schneider (83) pour une discussion détaillée de la notion de "structure de récit".

[31] Voir Mallery et Sherman (93), pages 2-18 pour plus de détails techniques en ce qui concerne ce paragraphe.

pas sûr qu’il faudrait utiliser le même type d’encodage d’événements ni le même algorithme inductif. Après tout, dans une modélisation du décideur on possède également des “données” sur ses activités cognitives internes. Mais le principe est là: il faudrait dans l’avenir modéliser l’expérience de l’acteur, son utilisation et sa capacité d’apprentissage dans un environnement donné. La forme et les techniques de modélisation restent à déterminer.

6-5 Vers un paradigme multi-modal de simulation et de modélisation

La simulation au sens large veut utiliser un objet “artificiel” à la place d’un autre en vue d’un gain de connaissances. La notion de simulation implique une certaine analogie du comportement du modélisé avec le modèle. Pour nous, il s’agit notamment de modéliser un comportement dans le temps avec certaines conditions de départ.

Nous argumentons ici que le choix d’une méthode de simulation doit se faire en fonction de l’objet de recherche et non pas en fonction des outils que l’on maîtrise. L’avenir appartient sans doute aux simulations multi-modales qui permettent de choisir les techniques appropriées pour chaque type de composante d’un système.

Le choix d’un type de modèles de simulation devrait dépendre du type de connaissances qu’on veut acquérir. Traditionnellement on utilise la simulation pour répondre à des questions du type “What if ... ?” (Que ....si ?). Rothenberg (89:2) utilise la notion de “toy duck view of simulation”[32] pour caractériser cette approche. En effet, le but de la simulation est de voir où est amené un système étant donné certaines conditions initiales. La structure du système n’a de l’importance que dans la mesure où elle permet de calculer avec une certaine précision certaines variables qui permettent de décrire le système. La simulation de ce type est donc un modèle très minimaliste. Elle a son utilité mais possède ses limites, par exemple elle ne peut pas fournir une explication des résultats en termes de la “mécanique” des objets et des interactions qui constituent le système. On pourrait presque faire l’analogie entre une vision du monde “Durkheimienne” (règles au niveau du système) et “Weberienne” (règles interprétables par les acteurs).

Contrairement à cette approche traditionnelle (que l’on retrouve surtout dans les modèles mathématiques continus), la simulation à bases de *connaissances* cherche à augmenter à la fois la *compréhension* et la *puissance analytique* des modèles en modélisant plus en profondeur les connaissances que l’on possède sur le monde à simuler. Il s’agit donc de modéliser les objets de simulation d’une façon qui est relativement proche des objets, relations et interactions du monde simulé. La simulation à bases de connaissances affirme donc également qu’il faut utiliser un maximum d’informations que l’on possède sur l’objet. En conséquence, la modélisation devient un processus très intensif d’analyse, de structuration et de formalisation de connaissances. Dans un tel modèle, il s’agit aussi de donner à l’utilisateur plus de possibilités d’interaction avec le système. Comme l’indique Rothenberg (89:4):

> “One of the central tenets of knowledge-based simulation is that the knowledge required in building a simulation should be represented explicitly when possible, in such a way that the resulting model will be amendable to automated inferencing and querying by the user, in addition to simulation *per se*".

Au plan très pratique, voici une liste de type de questions (cf. Rothenberg 89:31-32) avec exemples que les utilisateurs et modéliseurs aimeraient poser à leurs modèles:

- “Why” questions: Why did an event X happen?
- "Why not questions": Why didn’t X not occur?
- "When questions": Under what conditions will event X happen?
- "How questions": How can result R be achieved?
- "Ever/Never questions": Can X ever loose Y?
- "Optimization or goal directed questions": What conditions will produce the highest value of Z?"
- "Simulation state questions": At what point in time did condition X hold?
- "Simulation objects questions": What is this thing X likes most?
- "Simulation history questions:" How many times has X happened?
- "Explicit causality questions": What events could cause event X ? What events are caused by event Y ?
- "Questions about the model": Under what constraints can plan X fail to achieve its purpose?

Cette liste de questions qui n’est ni exhaustive ni systématique montre bien les progrès à faire. Avec l’avènement des modèles orientés objets et certains travaux dans le domaine de la planification en intelligence artificielle, on a déjà fait certains progrès au niveau de la méthodologie de simulation. Toutefois, il reste beaucoup à faire, notamment à développer des outils qui permettent de maîtriser la complexité croissante de ces modèles. Il faudra également porter une attention au développement de normes de modélisation et d’échange.

Pour leur projet KBSim, Rothenberg et al. (1989) définissent 4 buts de recherche qu’ils désirent poursuivre dans les années à venir. Naturellement d’autres devraient également s’y intéresser de très près:

- Amélioration de la compréhension et la confiance à apporter au modèle. Il s’agit donc de rendre les modèles plus réalistes, à ne pas confondre avec les notions de validité et de fiabilité qui sont importantes pour tout type de recherche scientifique.

---

[32] On agit comme avec un canard mécanique que l’on remonte et qu’on laisse courir pour observer vers où il va se promener...

- Extension de la puissance de modélisation. Il s’agit ici de faire des modèles avec lesquels on peut répondre aux types de questions citées ci-dessus.
- Amélioration de l’"exploration intelligente” et des capacités d’explication du modèle. Un modèle de simulation à bases de connaissances est très complexe. Il devient donc impératif de donner des outils très puissants qui permettent son observation et des manipulations à tous les niveaux.
- Amélioration des outils de développement et des langages de simulation qui permettront d’automatiser (et de cacher) les opérations qui ne sont pas intéressantes au plan conceptuel.

Etant donné que ces postulats sont de nature assez générale, il faut se demander comment les rendre opérationnels à l’aide de buts plus techniques. Rothenberg (89:30) définit six tâches de recherche qui contribuent chacune à certains de ces postulats:

- Le raisonnement dans la simulation
- Les relations multiples entre objets
- Les interfaces hautement interactives
- L’analyse de sensitivité
- La variation des niveaux d’agrégation du modèle
- La modélisation de concepts flous (“soft”)

Ces six tâches sont déjà assez ambitieuses, toutefois avec les moyens que l’on a à disposition, on peut déjà en réaliser une partie. Actuellement, il existe un certain nombre de techniques déjà disponibles:

- Il est relativement facile de coupler une simulation numérique avec des programmes de type “systèmes expert”. Ceci permet la modélisation de décideurs, par exemple, si on arrive à “capturer” leur raisonnement en forme de règles.
- On dispose également de très bons outils d’interface sur certaines stations de travail, y compris des systèmes d’assistance pour la simulation numérique.
- Les systèmes de simulation objets permettent une modélisation très souple des attributs (variables) d’objets dans un monde à modéliser, ainsi que l’interaction entre objets.

6-5.1 L’interaction entre différents types de modélisation

D’un point de vue technique, il n’est pas très difficile d’interfacer différents types de modélisations discrètes, notamment si tous ces logiciels sont écrits dans un même langage comme Lisp. Les problèmes sont plutôt d’ordre conceptuel, à savoir à quel moment faut il combiner deux ou trois approches au lieu d’utiliser au maximum la capacité d’une seule. Nous avons

déjà discuté l’intégration de la simulation numérique avec les règles d’inférence dans la section 6-2.3 “Simulation numérique et règles d’inférence” [p. 246]. Esquissons brièvement les deux autres alternatives:

Simulation numérique et simulation objets

Ce type d’intégration ne pose pas beaucoup de problèmes au plan informatique si la simulation est calculée par des pas discrets. Il faut modifier légèrement la montre de simulation de façon à ce qu’elle fasse tourner également la montre de simulation d’un système orienté objet.

Prenons l’exemple de notre moteur de simulation discrète et l’exemple de Ross: il est par exemple possible d’interroger un objet Ross dans une équation:

```
(def-flow ?guer-losses sbs (*gen*) ini (0) eq (ask guerilla your losses))
```

Dans l’autre sens, on peut accéder à un objet de simulation numérique depuis un comportement Ross par exemple. Pour modifier la valeur d’une “équation” appelée “?ussr-losses” qui fait partie d’un système appelé “afghanistan”, on dira dans notre système:

```
(sb-def ?ussr-losses 3333 afghanistan)
```

Le seul problème qui reste à déterminer est la question de savoir à quel niveau il faut modéliser et ce qu’il faut modéliser (simulation mathématique relativement “éloignée” ou simulation orientée objets relativement “fine”) en tenant compte des paramètres de recherche comme le coût, la transparence, la fidélité, etc.

Règles d’inférence et simulation objets

Cette interaction peut être également définie d’une façon relativement simple. On peut par exemple associer une base d’inférence avec un objet d’une simulation objets. A partir d’un “comportement” Ross par exemple, un objet peut lancer le processus d’inférence en envoyant un fait dans une base de données inférentielle avec la commande:

```
(add-fact <fact> <base d’inférence>)
```

Dans le jeu de règles, on peut par la suite prévoir des actions qui renvoient une information à un objet de simulation, par exemple avec la commande

```
(ask <objet> remember <fact>)
```

Il est clair qu’une règle peut également intervenir pour lancer ou pour interroger un objet de simulation.

```
(ask <objet> <comportement Ross>)
```

Donc l’interaction entre ces deux types de modélisation pourrait se faire selon un partage entre comportement intérieur d’objets-décideurs (modélisé par une base de règles appartenant à chacun des ces objets) et les autres comportements (modélisés par des comportements Ross).

Il existe un certain nombre d'outils qui intègrent la simulation d'événements discrets (orientée objets) avec des techniques d'intelligence artificielles. Nous avons déjà rencontré SimKit. D'autres sont Cayene (Ruiz-Mier et Talavage:89), Pross (O'KEEFE:89), DESE/DEVS (Cho:93). Le problème de nouveau n'est pas de le faire, mais de trouver des normes suffisamment flexibles (et acceptées) qui permettent la réutilisation de composantes de modélisation d'une modélisation dans une autre.

La multi-fonctionalité des langages de modélisation

Les techniques de simulation vont de plus en plus subir les influences de l'intelligence artificielle et de la programmation orientée objet. Nous avons pu donner une première indication que la modélisation objets et les systèmes de production peuvent être utilisés avantageusement comme outils de simulation; ils peuvent s'intégrer facilement à des approches plus traditionnelles, mais plus efficaces sur certains plans. Pour corroborer cette hypothèse dans le cadre de la modélisation des décideurs, il faudra faire l'effort de modéliser un phénomène plus complexe de plusieurs façons avec les outils que l'on vient de discuter. Toutefois, les modélisations des décideurs dans d'autres domaines (comme la fabrication ou les batailles militaires) montre que cette approche est à la fois faisable et très intéressante.

Il faut également noter que la simulation objets et les systèmes de production peuvent être chacun utilisés de façon plus générale. Il s'agit en fait de "langages de programmation" assez généraux. En effet, la simulation objets - par le biais des commandes comme "increment your <attribute> by <valeur>" et une simple modification du comportement de la montre - peut facilement être utilisée pour effectuer une simulation numérique. Il y aurait juste une baisse de l'efficacité. Certaines fonctionnalités des règles d'inférence peuvent être obtenues par le mécanisme de gestion de faits et de plans et la possibilité d'insérer des conditionnels dans le code d'un comportement. Les systèmes de production représentent un mécanisme de calcul universel. En plus, notre système permet l'envoi d'un fait d'une base de données vers une autre, simplement par la commande "(add-fact (....) <base d'inference>)". Ainsi on possède déjà le mécanisme de passage d'information utile pour faire une simulation objets. On peut définir un modèle de simulation numérique par une seule base d'inférence. Une montre de simulation peut être définie par une règle et les objets de simulation par des règles qui correspondent à certains faits dans la base de données. Leur calcul se fait par un envoi de faits d'activation.

Cette souplesse est un phénomène très connu en informatique. Dès que l'on possède un outil ayant des possibilités de programmation ou encore une ouverture totale vers un langage de programmation, on peut tout faire avec tout. Parfois, il est beaucoup plus difficile de construire son modèle de façon claire et élégante et de le faire tourner d'une façon relativement efficace. L'interaction entre des langages spécialisés me paraît donc

une meilleure alternative. Ultérieurement, il faut absolument développer un langage hybride bien intégré, tel qu'il existe par exemple dans le monde des coquilles de traitement des connaissances comme "KEE" et "SimKit".

6-5.2 Les simulations multi-modales

Jusqu'à présent, la littérature sur la simulation multi-modale est assez réstreinte. Peu d'approches offrent réellement des techniques d'intégration bien définies et bien testées. Il existe à notre avis deux traditions de recherche dans ce domaine. L'une vient de l'intelligence artificielle. Dans ce domaine, les chercheurs ont l'habitude de travailler avec plusieurs "langages" à l'intérieur d'un problème et l'intégration entre langages ne leur pose pas de grands problèmes. Toutefois, leur intérêt pour la simulation reste limité dans la plupart des cas car, en intelligence artificielle, il y a une faible tradition pour modéliser l'environnement général de l'agent intelligent[33]. L'autre tradition vient de la simulation numérique ou encore de la théorie des réseaux. Ces chercheurs ont tendance à privilégier la simulation et concevoir des objets comme les agents intelligents comme des cas spéciaux de simulation et de les considérer en quelque sorte comme un "mal nécessaire".

Une des rares méthodologies bien fondée et bien disséminée pour modéliser des systèmes dynamiques hiérarchiques et modulaires à événements discrets (angl. "Discrete Event Dynamic Systems" ou DEDS) est DEVS ("Discrete Event System Specification) développé par Zeigler et des collaborateurs à l'Université d'Arizona[34]. Le premier formalisme DEVS date du début des années soixante-dix et depuis il est a été progressivement modifié pour accomoder les systèmes hiérarchiques et modulaires. Il a été adopé dans une ou une autre forme par plusieurs équipes de chercheurs. Chow et Zeigler (94:1) affirment que "hierarchical modelling capability is increasingly being recognized as the predominant modeling paradigm for future simulation developments", mais aucun environnement de simulation connu ne le supporte. Toutefois, il existe plusieurs implémentations de recherche dont celle de Praehofer (93) qui s'intègre bien aux applications d'intelligence artificielle. La capacité hiérarchique ne permet

---

[33] Toutefois, en robotique, ce n'est pas le cas. Par définition, un robot doit examiner son environnement et agir sur lui. Cependant, le type d'environnement modélisé en robotique n'est pas le même. Il s'agit d'un monde quasi-fermé et on peut appliquer sans trop de dangers l'hypothèse du "monde fermé" où tout ce qui n' "existe" pas est faux. Nous citons à titre d'exemple le projet Soar-INFOR à l'Information Sciences Insitute (University of Southern California) sur la simulation d'un pilote d'avion de chasse à l'intérieur d'un simulateur de vol (Tambe et Rosenbloom 94, Rosenbloom et al. 94, Tambe et al 94). Leur pilote automatique doit adapter son comportement en fonction des changements dans l'environnement et de ce qu'il prédit sur les actions des opposants. Leur système à bases de connaissances basé sur Soar est sophistiqué mais n'approche pas encore les capacités d'un pilote humain.

[34] Cf. Zeigler (90) pour un survol, ou encore Zeigler et Vahie (93), Zeigler (91) et Zeigler, Vahie & Young (94).

pas seulement d'intégrer différentes sortes de modèles, mais également de les réutiliser et de les tester indépendamment, ce qui réduit considérablement le temps de développement.

Sous le label "multimodeling" Lee, Norris et Fishwick (93) ont introduit un cadre théorique et méthodologique similaire[35] qui permet d'intégrer "planification", "contrôle intelligent" et "simulation" dans un cadre orienté objets. Un "multimodèle" est composé d'autres modèles en forme de réseau ou de graphe et il permet de modéliser des systèmes larges à des niveaux variés d'abstraction. L'ensemble fonctionne selon deux principes (cf. Lee, Norris et Fishwick 93:4-5):

1. Les modèles sont organisés dans une structure hiérarchique. La couche la plus élevée fonctionne à un niveau d'abstraction assez élevé et initie l'exécution des modèles plus "bas" et plus spécifiques. Les modèles plus "bas" doivent accepter des "input" venant de modèles plus "hauts" et ces dernier doivent accepter tout "output" des modèles plus "bas".
2. Chaque type de modèle doit implémenter un langage d'accès commun qui permet de les instantier, de les initialiser, de leur envoyer un "input", de les interroger sur leur état, d'appliquer un "input" à leur état courant et de récupérer une sortie. Donc, chaque modèle peut être caractérisé par son "input", son "output", son état, et les transitions d'un état vers un autre.

Les simulation multi-modales permettent de choisir un type d'approche pour chaque sous-problème en fonction du type de connaissances que l'on veut acquérir et ceci en fonction des théories, des ressources et des données à disposition. Elles exigent des multiples compétences de la part du chercheur, mais offrent l'avantage de fournir un langage de travail souple et bien adapté à la modélisation de phénomènes complexes.

6-5.3 Conclusion et perspectives

Le concept de la simulation multi-modale n'est sans doute pas récente. Ainsi par exemple, Bennet et Alker (77) dans leur simulation des guerres du Pacifique ont déjà utilisé une technique de simulation à niveaux multiples. Des équations différentielles représentent l'environnement économique et politique à des niveaux régionaux et globaux et des procédures PL/1 sont utilisées pour modéliser les décisions. Toutefois, ce type de modélisation souffrait des limites technologiques de l'époque. Le langage de programmation non orienté objets et ayant des capacités de traitements de symboles faibles rendait difficile la tâche de modélisation. De plus, il n'existait pas les techniques de programmation des interfaces nécessaires à la modélisation de systèmes complexes. Il est très dommage que ce type de travail ait été plus ou moins abandonné en sciences politiques. Il est à

---

[35] Les auteurs font explicitement référence à DEVS et l'extension/composante "System Entity Structure/Model Base (SES/MB) pour représenter les composantes d'un modèle sur un plan plus abstrait (Zeigler 90).

espérer que les langages de simulation modélisation multi-modale utilisés dans le domaine de la simulation des entreprises puissent donnent un nouvel élan à ce type de recherche.

Le grand défi pour toute modélisation reste celui de l'apprentissage. Il s'agit là d'un problème général non seulement lié à l'IA, mais à toutes les sciences humaines. Ainsi, nous suggérons de recommencer d'abord avec des modèles plutôt statiques et descriptifs qui ont une valeur de prédiction dans des conditions "ceteris paribus structurelles" de l'environnement et du décideur. La créativité humaine et la prédiction des résultats de grands bouleversements des systèmes sociaux (nations, systèmes internationaux, etc) est hors de notre portée pour le moment. En exagérant, on pourrait presque postuler: "*on peut tout prédire sauf l'avenir!"*. En fait, *on peut prédire parfois ce que l'avenir ne sera pas et ce qu'il sera le plus probablement"*.

chapitre 7 Epistémologie et méthodes de la modélisation IA

Après avoir discuté la modélisation isolée du décideur et des approches de simulations multi-modales, nous faisons ici le point épistémologique et méthodologique de la “modélisation IA” au plan généra et de celle des sciences politiques et du décideur en particulier. Nous discutons d’abord les fondements épistémologiques de l’intelligence artificielle. Nous examinons notamment la question de savoir à quel point l’IA peut vraiment modéliser l’intelligence humaine. Ensuite, nous discuterons quelques aspects importants du génie cognitif, c’est-à-dire de la méthodologie pour construire un système à bases de connaissances. Nous concluons par une analyse de la notion de modèle en sciences sociales.

Un bon modèle de la démarche d’un décideur est un modèle exécutable par ordinateur. “Exécutable” ne signifie pas “imitation parfaite des processus cognitifs” du décideur. Un modèle du décideur sera nécessairement une construction analytique, mais une construction qui modélise les connaissances subjectives et intersubjectives potentiellement mises en jeu par l’individu.

7-1 Les bases épistémologiques de l'intelligence artificielle

L'intelligence artificielle est devenue un des terrains de bataille favoris de la philosophie de l'esprit. Comme peu de disciplines des sciences humaines, elle est explicite et revendicatrice. Elle s'attire en conséquence les critiques venant de nombreux autres domaines, mais elle se met également elle-même en question par le simple fait que ses programmes doivent tourner de mieux en mieux. Nous montrons ici que la plupart des critiques sont justifiées, mais que les solutions proposées aux problèmes font défaut. Ces critiques ont un impact sur l'ancrage épistémologique des modélisations IA en science politique.

Nous proposons une interprétation originale du statut des modèles. Le modèle devient le lieu, où observations empiriques et questions théoriques se discutent et se construisent en collaboration entre les chercheurs impliqués dans le projet, d'autres chercheurs et, si possible, les sujets étudiés. Le sens des représentations d'un modèle symbolique doit être socialement ancré.

7-1.1 Les disciplines de l'intelligence artificielle

L'intelligence artificielle n'a pas d'objet de recherche académique bien défini à part l'intérêt porté au "mental" et aux représentations de connaissances. Elle s'est divisée en de nombreuses sous-disciplines focalisant sur des problèmes bien distincts (tel que la vision, la résolution de problèmes, la compréhension du langage, l'apprentissage,...). Il n'existe pas de paradigme unifié de recherche et certaines branches de l'IA sont devenues des terrains d'échanges multidisciplinaires où se côtoient philosophes, psychologues, informaticiens et autres qui s'intéressent aux divers problématiques de l'intelligence. Ainsi les branches fondamentales de l'IA font partie des sciences cognitives. Forcément, il existe une multitude de façons de concevoir recherche fondamentale et recherche appliquée. Nous en distinguons cinq:

1. L'intelligence artificielle "pure". Cette école que l'on peut localiser par exemple dans certains groupes de recherche au MIT vise à découvrir ce qu'est l'intelligence au plan très général. La modélisation de l'esprit humain n'est pas au premier plan. Certains s'intéressent plutôt aux mécanismes qui constituent l'intelligence chez de simples agents autonomes (Brooks)[1], d'autres cherchent à constituer des programmes capables de résoudre certaines tâches difficiles et spécialisées comme gagner aux échecs.
2. L'intelligence artificielle "dure". Une tradition que l'on retrouve par exemple autour de Newell et Simon (CUI). Il s'agit de modéliser l'esprit humain en construisant un programme qui représente, à un certain niveau d'abstraction, les mécanismes humains. C'est ici que se retrouvent les fameuses thèses controversées comme "cognition = computation" et donc "esprit = programme" que nous allons discuter en détail plus bas.
3. L'intelligence artificielle "molle" (weak AI). Le but est similaire à celui de l'IA "dure", il s'agit de modéliser l'esprit humain. Toutefois, le programme n'a qu'un rôle de modèle heuristique. L'ordinateur et son programme ne sont pas mis en relation directe avec le cerveau et l'esprit. Il existe des variantes inductives et déductives de cette approche. La première cherche à construire l'objet "compréhension de l'intelligence" en construisant des programmes capables de résoudre certaines tâches très précises et ensuite de généraliser et tester une solution empiriquement trouvée. La deuxième est plus poppérienne: programmes et modèles sont destinés à tester certaines hypothèses.
4. L'intelligence artificielle "pratique". Il s'agit surtout (mais pas uniquement) des systèmes expert, sans doute la branche de l'I.A. la plus connue du grand public. Un système expert doit automatiser certaines tâches intellectuelles humaines ou encore assister un décideur humain ("decision support" ou "advisory systems"). Les tuteurs intelligents ("intelligent tutoring systems") sont une autre branche pratique comme certaines branches de la robotique. Dans toutes ces disciplines, "pratique" ne signifie pas absence totale de réflexion épistémologique, beaucoup d'impulsions théoriques ont leur origine dans des travaux pratiques. Curieusement les limites de l'IA se sont manifestées dans les systèmes expert plus que dans d'autres secteurs.
5. L'intelligence artificielle "outil de modélisation". On fait référence à des chercheurs dans d'autres disciplines faisant usage de certains langages de représentation et d'inférence pour décrire certains phénomènes, pour constituer des modèles ou pour formaliser des théories. Notre travail se situe par exemple dans cette catégorie.

Nécessairement, les frontières entre ces orientations fondamentales de l'IA ne sont pas hermétiques. Toute tentative d'automatiser la résolution d'une tâche intelligente doit amener à se demander ce qu'est l'intelligence ou le "mental" et si la résolution artificielle se fait vraiment de façon intelligente. Réciproquement, même l'intelligence artificielle la plus spéculative doit se poser la question de l'opérationalisation de ses concepts. Ainsi Pylyshyn (85:XIX) note que "... in cognitive science the gap between

---

[1] Souvent, on peut attribuer à ce type de recherche la formule: "vie = cognition".

metatheory and practice is extremely narrow".

Le rapport entre données, modèle et théorie en intelligence artificielle s'articule selon deux grands axes: la plupart des approches adopte une stratégie parfois difficile à articuler où données, modèle (programme) et théorie s'influencent mutuellement et itérativement de façon semblable aux modélisations systémiques du style "world-modelling" (Deutsch:66, Meadows:82). Face à ces orientations, on peut identifier un axe plus traditionnel s'inspirant de la psychologie expérimentale. Il peut s'agir de modélisations qui suivent le chemin: (1) articulation d'une théorie sous forme verbale, (2) formalisation d'au moins un aspect dans un programme et (3) phase de test y compris l'expérimentation avec des sujets. L'expérimentation teste la pertinence du modèle et ensuite la validité de la théorie. D'autres suivent une démarche plus mixte, le programme (modèle) se construit souvent en tenant massivement compte de données expérimentales comme les protocoles de pensée à haute voix.

L'approche "classique" en intelligence artificielle est plus difficile à décrire. Comme tout paradigme, les "écoles" d'IA connaissent plusieurs niveaux de recherche. On retrouve souvent un but de recherche général et "asymptotique" comme "comprendre le langage naturel". A ce niveau, on observe des propos plus ou moins bien articulés sur la nature du sujet de recherche. A un niveau intermédiaire, se trouvent des théories partielles en stade de pré-modélisation. Par exemple, dans le domaine de la compréhension du langage naturel, on peut citer la théorie des scripts et la définition de leur structure et de leur usage dans les processus cognitifs. A un "niveau plus bas", on retrouve finalement des programmes (modélisations) qui implémentent plus ou moins bien une théorie partielle. En ce qui concerne notre exemple, on peut citer la série des logiciels faits à Yale permettant d'identifier des scripts dans un jeu limité de textes écrits et de répondre à des questions que l'on pose au logiciel. Quand ce genre de recherche est effectué dans un département d'informatique, on entend souvent que le programme constitue la théorie. Il s'agit du concept de théorie utilisé parfois en sciences où on tente d'exprimer l'essentiel d'une théorie en un langage formel. La création des théories computationnelles et formelles a reçu la priorité épistémologique en IA. Toutefois, en pratique, cette maxime ne se traduit pas toujours très bien: l'écart entre le programme et la théorie verbale est grand, le programme est parfois "illisible" et les parties qui représentent un intérêt théorique sont confondues avec les parties inintéressantes.

L'IA est aussi une discipline d'ingénieur à forte vocation empirique. Il faut de longs et multiples efforts pour construire un programme qui "marche". Les sources d'inspiration sont multiples: observation de sujets, introspection, spéculation, théories et "paradigmes" psychologiques, etc.. La nature des données vaire selon le niveaux de recherche. Minsky utilise ainsi le terme d'épistémologie appliquée pour caractériser la contribution de l'IA à la philosophie. Un programme en IA n'est donc pas seulement une théorie mais également une expérience, un artefact qui peut être étudié, examiné et manipulé comme source de connaissance qu'il faut confronter en retour aux données et aux autre théories. Il est donc à la fois objet de construction et de source de réflexion (un peu comme une théorie en mathématiques). Données, modèle (théorie quasi-formelle) et théorie verbale se constituent et se reconstituent de façon circulaire. Un scénario sans doute difficile à accepter pour un Popperien. Mais cette épistémologie traditionaliste des sciences sociales n'a aucune recette à offrir pour l'étude de phénomènes complexes (à part s'abstenir). La recherche sur l'intelligence en IA est avant tout explorative, empirique et expérimentale. Ses fondations épistémologiques sont vivement discutées dans la littérature, mais pour le moment aucune solution n'à été adoptée par la communauté. La discipline est trop récente et la tâche très difficile.

Dans les sections suivantes, nous allons discuter plus en détail quelques questions épistémologiques clés qui sont d'un intérêt théorique et/ou pratique. Malgré les variations entre les formes d'IA (s'agissant de simples programmes destinés à se comporter intelligemment face à une tâche bien précise ou d'agents autonomes dotés de capacités d'apprentissage et d'interaction avec l'environnement sensori-moteur et social), deux grandes questions restent communes: que signifie le terme "intelligent"? Et peut-on construire des artefacts intelligents? Les sciences cognitives sont néanmoins d'accord sur un point: on sait de quoi les êtres humains sont capables:

> "They can (1) discriminate, (2) manipulate, (3) identify and (4) describe the objects, events and states of affairs in the world they live in, and they can also (5) produce descriptions and (6) respond to descriptions of those objects, events and states of affairs. Cognitive theory's burden is now to explain how human beings (or any other devices) do all this." Harnad (90:13).

L'IA et les autres sciences cognitives acceptent la difficulté de ce programme de recherche, même si elles doivent vivre avec certains difficultés ou certains paradoxes épistémologiques. Les approches comme le behaviorisme ou le rationalisme économique ne sont que des fuites en avant de problèmes qui intéressent la philosophie depuis 2000 ans. Les autres sciences systémiques sont confrontées exatement aux mêmes problèmes que l'IA.

Représentation et computation

L'approche dominante dans les sciences cognitives des dernières années est le cognitivisme, l' explication du comportement intelligent par des processus mentaux manipulant des représentations, c'est-à-dire des encodages (implicites ou explicites) d'informations. On peut distinguer deux grandes variantes de pensée: le symbolisme et le connexionisme. Les deux postulent l'existence de contenus "représentationels" (angl.: "representational content") manipulés par des computations. Le rôle clé des représentations dans les phénomènes mentaux est un postulat paradigmatique. L'essence même du concept de "représentation" n'est pas modélisée en termes systémiques ou fonctionnels ce qui conduit selon Bickhard (93a, 93b) à une im-interprétation d'une situation complexe

↓

résolution de problème à l'aide de règles (ou autre principes)

↓

réaction complexe

Figure 7-1: Le schéma I-R-R

passe théorique vers laquelle nous allons revenir.

Nous allons d'abord nous tourner vers l'intelligence artificielle "classique" (symbolique) qui s'ancre dans les principes de base de la psychologie d'information déjà discutée dans le chapitre 2. En intelligence artificielle classique, la plupart des modélisations caractérisent un comportement intelligent par des opérations formelles effectuées sur des structures symboliques. D'où le slogan:

cognition = computation + représentation

Il s'agit d'une position rationaliste (Winograd 86:15, Pfeifer 92:3) qui consiste à attribuer à l'agent intelligent le comportement suivant: (1) il définit des situations en termes d'objets identifiables ayant des propriétés données, (2) ensuite il identifie des règles générales applicables à cette situation en fonction des objets identifiés et (3) finalement il applique ces règles à la situation pour en déduire des actions à entreprendre. Ce modèle est populaire dans beaucoup de disciplines (y compris la psychologie cognitive) et il a déjà été discuté dans les chapitres précédents. Il est utile de rappeler le contraste avec schéma S-R. L'agent intelligent de l'IA classique est essentiellement un résolveur de problèmes tel qu'il est représenté dans le schéma I-R-R dans la figure 7-1.

On peut se demander comment justifier un tel modèle du traitement d'information au plan mental et physique. Au plan mental, la réponse est évidente. L'idée que l'on se fait d'une représentation des faits dans l'environnement que l'on manipule par la suite correspond bien à l'image naïve que nous avons de nous-mêmes. Il est difficile d'imaginer que nous n'imaginons pas, que le stimulus n'est pas interprété mais directement traduit en réponse, que nous n'avons ni buts ni croyances qui nous guident. Comment modéliser maintenant l'existence de ces processus symboliques dans le cerveau?

Une réponse souvent citée a été formulée et opérationalisée de façon précise par Newell et Simon dans leur thèse du "physical symbol system" (c.f. par ex. dans Newell 76, 81b) et du "knowledge level" (Newell 81a). Les actes à base de représentations symboliques sont expliqués par un modèle à plusieurs niveaux. Il existe un mécanisme physique capable de manipuler des symboles physiques (le cerveau). Les représentations sont physiquement instantiées comme des structures de symboles physiques. Elles ont donc une forme précise, forme qui peut être manipulée par des opérations mécaniques en quelque sorte. Voici une analogie très forte avec le fonctionnement de l'ordinateur. Un logiciel tourne sur un ordinateur puisque l'ordinateur sait manipuler sa représentation physique. Ce niveau 1 (biologique, physique ou physiologique) ne concerne - selon ces auteurs - pas l'IA. C'est du ressort de la biologie (comme les phénomènes encore "plus bas" qui sont du ressort de la chimie et de la physique). Il suffit de savoir qu'un système physique symbolique (angl. "physical symbol system") possède les moyens nécessaires pour servir de support général pour une action intelligente.

Pour le chercheur en psychologie ou en IA, le plus bas niveau digne d'intérêt serait le niveau 2 symbolique (aussi appelé niveau syntaxique ou architecture fonctionelle). L'IA ne devait pas être concernée par la mécanique de l'ordinateur ou du cerveau, mais uniquement par le mécanisme d'interprétation des structures symboliques et la forme que peuvent avoir ces structures symboliques. L'explication de la vie mentale commence à ce niveau et se poursuit au niveau 3 suivant, celui des connaissances: le "knowledge level" de Newell (81a), encore appelé "intentional ou semantic level".

Examinons de plus près le niveau 2 (symbolique), cette "interface" entre la description de l'esprit comme système physique et l'esprit comme système de représentation: nous donnons la parole à Pylyshyn (78, 80, 81, 84) qui appelle ce niveau également "architecture fonctionnelle". La formule "cognitition = computing over symbols" de Pylyshyn est sans doute très radicale, mais elle a le mérite d'être claire et exigeante:

> "To summarize what I have said about computing: A computational process is one whose behavior is viewed as depending on the representational or semantic content of its states. This occurs by virtue of there being another level of structure - variously called the 'symbol level' or the syntax or logical form - which possesses the following two essential properties. One, the formal syntactic structure of particular occurrences (tokens) of symbolic expressions corresponds to real physical differences in the system, differences that affect the relevant features of the system's behavior. Two, the formal symbol structures mirror all relevant semantic distinctions to which the system is supposed to respond and continue to do so when certain semantically interpreted rules are applied to them, transforming them into new symbol structures. For every apparent, functionally relevant semantic distinction theres is a corresponding syntactic distinction. Thus any semantic feature that conceivably can affect behavior must be syntactically encoded at the level of a formal symbol structure. By this means we arrange for the system's behavior to be describable as responding to the content of its representations - to what is being represented - in a manner perfectly compatible with materialism." *(Pylyshyn 84:74).*

Cette position cognitiviste de l'IA est fortement inspirée de la théorie de computation, ainsi Harnad (90:1) peut résumer la notion du système symbolique de l'IA par les points suivants. Un système symbolique (angl.: "symbol system") est......

1. un jeu de jetons (angl. "tokens") physiques (comme des inscriptions sur papier, des événements dans un ordinateur digital) qui sont
2. manipulés sur la base de règles explicites qui sont
3. également des jetons physiques ou des chaînes de jetons.
4. La manipulation des jetons symboliques par des règles est fondée uniquement sur la forme des jetons (et non pas sur leur sens), elle est donc purement syntaxique, et elle consiste
5. à combiner et recombiner des jetons symboliques selon des règles symboliques.
6. Il existe des jetons symboliques primitifs et atomiques et
7. des chaînes composites de jetons symboliques.
8. Le système entier et toutes ses parties - les jetons atomiques et composites, les manipulations syntaxiques (actuelles et potentielles) et les règles - sont tous interprétables sémantiquement: la syntaxe peut systématiquement attribuer un sens (attribuer un lien à des objets ou décrire un état mental(?)).

Voici un résumé du cognitivisme: les phénomènes cognitifs peuvent être décrits sur trois niveaux: "the biological (or physical) level, the symbolic (or syntactic or sometimes the functional) level, and the semantic (or intentional) level, or as Allen Newell (82) calls it, the "knowledge level"." (Pylyshyn 84:259). Le fait qu'il y ait un niveau symbolique indépendant de sa réalisation physique et qui fonctionne selon des règles explicites (et non implicites comme les phénomènes physiques) diffère un phénomène cognitif d'un phénomène physique ordinaire. Un phénomène mental est piloté par des règles ("rule-governed") et non pas seulement décrit par des règles ("rule-described").

7-1.2 Problèmes de l'IA symbolique

Bickhard et Terveen (93a, 94) ramènent l'essence du cognitivisme de l'IA symbolique à la notion d'"encodage". Ils qualifient le paradigme de base comme "encodisme". L' "encodisme" présuppose que les connaissances d'un système intelligent (comme l'acteur humain) sont des représentations, c'est-à-dire des codes sous une forme ou sous une autre. Pratiquement tous les problèmes de l'IA symbolique peuvent être liés à la notion d'encodage et surtout à l'encodage discret et symbolique utilisé dans l'IA symbolique traditionnelle.

Le problème de l'ancrage des symboles

Un modèle IA classique manipule des structures de symboles qui sont dénuées de sens pour le système. Ce dernier ne reconnaît que leur forme, tout sens est attribué par l'extérieur (le chercheur, la théorie, l'utilisateur). Est-ce que l'on peut réduire la cognition à la manipulation de symboles fondée sur leur forme? La discussion contemporaine autour du problème de l'ancrage des symboles a été déclenchée par le "Chinese Room Problem" dans l'article "Minds, Brains and Programs" (Searle 80). Non sans surprise, elle n'est pas terminée, periodiquement certains articles relancent le débat, entre autre "The symbol grounding problem" de Harnad (90).

Searle, dans son article, a argumenté qu'un système incapable de remplir les symboles de sens (mettre un contenu représentationel dans les représentations) peut malgré tout engendrer un comportement apparemment intelligent en répondant à des questions sur un récit "digéré" préalablement. Il s'agit d'une attaque en règle contre les prétentions de l'école du "Natural Language Understanding" de Yale (cf. par Schank 77). Plus généralement, Searle montre que le Turing Test n'est pas très convaincant et dénie surtout l'affirmation que toute intelligence s'affirme à travers un système symbolique.

Voici le "Gedankenexperiment" un peu simplifié du "Chinese Room" (Searle 81:284): Searle va simuler en personne un ordinateur qui "comprend" le chinois. Il s'enferme dans une pièce avec une liste de règles (R1) en anglais qui lui indique comment manipuler des jetons chinois uniquement basés sur leur forme (Searle ne parle pas Chinois). Cette liste lui permet de mettre en correspondance un jeu de jetons (J1) avec un deuxième jeu (J2). Maintenant, on lui donne un troisième jeu de jetons (J3) accompagné de nouvelles instructions (R2) en anglais qui lui permettent de mettre en corrélation les deux premiers jeux (J1 et J2) avec le jeu J3 afin de pouvoir rendre des jetons (jeu J4) en "réponse" à J3 à l'extérieur. Searle n'a aucune indication sur la nature et la fonction de ces jeux de jetons.

Le premier jeu (J1) correspond à un récit, le deuxième à un script (J2) et le troisième à des questions (J3) sur le récit (J1). Les instructions en anglais (R1 et R2) indiquant comment manipuler les formes correspondant à des programmes IA. Lorsqu'on donne à Searle (dans la pièce isolée) un "récit" sous forme de jetons incompréhensible pour lui (J1) il peut grâce à des mécanismes de manipulation de forme "comprendre" (mettre en correspondance avec le script J2) ce récit et donner des réponses (J4) à des questions (J4) qu'on lui pose au sujet du récit. Voici Searle qui "comprend" des récits sans rien comprendre. Il en conclut que l'intention (ou la sémantique) ne peut être que simulée ("weak AI"). Les réactions n'ont pas manqué dont une renverse l'argument. Searle en fait ne simule pas un ordinateur puisqu'il *interprète* des règles (R1 et R2) alors que la computation dans une machine implique des relations causales. Ce dispositif ne correspond donc pas au fonctionnement d'un ordinateur (une machine plus un programme qui exécute, l'architecture fonctionnelle de Pylyshyn). Cet argument montre que l'analogie de Searle n'est pas forcément juste, mais il ne résout pas le "emtpy symbol problem".

L'attribution de sens aux symboles dans l'IA classique s'appuie finalement sur une sémantique dénotationnelle (les représentations pointent sur des choses et ce pointage se fait par un observateur extérieur). Certaines réactions à l’égard de Searle ont tenté de montrer que le sens émerge quelque part dans la complexité du système, les symboles renvoyant à des symboles qui renvoient à des symboles, etc. On peut bien donner du sens à une expression composée de symboles en formalisant leur sémantique (c’est-à-dire en utilisant d’autres expressions symboliques pour définir le sens). Mais à un moment donné, il faut arrêter cette cascade pour ancrer le tout dans des “unités de sens”. Harnad (90:9) illustre bien la futilité de cette proposition avec l’exemple “Chinese/Chinese Dictionary-Go-Round”. Il note que l’on ne peut pas apprendre le chinois avec à sa seule disposition un dictionnaire Chinois/Chinois où des symboles dénués de sens renvoient à d’autres jusqu’à ce qu’on revienne au point de départ sans avoir rien appris. C’est là une des raisons pour lesquelles Wittgenstein s’est détourné du positivisme logique.

Une autre solution proposée au paradoxe de la séparation entre syntaxe et sémantique (le sens exclu du traitement des expressions) est d’ancrer les processus mentaux et leur représentations à l’extérieur. Il ne suffit pas de connecter simplement un système symbolique au monde avec des “traducteurs” sensori-moteurs (en les branchant sur des composantes d’entrée/sortie). Une mise en correspondance entre représentations et perceptions (et effecteurs) par des tables de traduction n’est pas source de sens. Selon Harnad (90: 14ff), le “symbol grounding problem” peut être résolu en dotant un système de capacités à engendrer des discriminations et des identifications d’ “input”. La capacité de discrimination permet de juger si deux “inputs” sont différents et à quel degré. L’identification permet d’attribuer un nom à un “input”, dire s’il fait partie d’une certaine catégorie. La discrimination repose sur notre capacité à former des icônes (des transformations analogiques des objets projetés sur nos zones sensorielles). Il s’agit ici d’un processus mécanique qui n’implique aucune interprétation. L’identification consiste à extraire certains traits de l’icône qui permettent de la distinguer sans ambiguïté d’autres, qui ne font pas partie de la même catégorie. Elle nous fournit des représentations catégoriques. Certaines de ces catégories sont probablement innées, mais d’autres doivent être apprises sinon il n’y aurait pas d’évolution. Les modèles connexionnistes sont capables de ce type de performance (cf. plus bas). Les représentations iconiques et catégorielles ne sont pas symboliques, elles sont causales et ont une valeur taxonomique. Les premières sont des copies analogiques des projections sensorielles, les deuxièmes des objets filtrés préservant quelques traits essentiels. Les représentations symboliques peuvent intégrer des représentations iconiques et catégorielles dans leurs expressions. Un système peut constituer un jeu de symboles élémentaires qui associent un nom avec des représentations catégorielles et iconiques. Les autres symboles du langage naturel peuvent être créés par des combinaisons de symboles ancrés.

Le “symbol grounding problem” peut être résolu ou au moins atténué

par deux stratégies: (1) celle esquissée ci-dessus: la construction de robots autonomes qui construisent eux-même leur “grounding” ou alors (2) en acceptant que l’observateur externe (le chercheur, le concepteur ou l’utilisateur) fournisse le sens des objets que l’ordinateur manipule. Dans ce dernier cas, il faut veiller à ce que le système reste transparent et qu’on puisse l’inspecter.

La critique phénoménologique et la “situated action”

La phénoménologie de Heidegger et certaines sociologies du “quotidien” comme l’éthnométhodologie ont fourni depuis longtemps des armes contre les modélisations rationalistes des processus mentaux. Dans la tradition phénoménologique, tout compréhension est ancrée dans des situations historiques concrètes. Toute ontologie est donc contextuelle et il n’est pas question que l’on puisse abstraire des représentations logiques, finies et indépendantes, telles que celles utilisées en intelligence artificielle. Toute interprétation (herméneutique) est une entreprise de reconstitution linguistique reproduisant le contexte historique et situationnel. La notion de contexte et d’arrière-plan (angl. “background”) devant lequel le sens se forme est clairement contraire à la vision de l’IA pour qui seuls des liens “logiques” entre des représentations formelles font partie des processus mentaux. La phénoménologie a ses problèmes propres: ces “contextes” ne sont guère opérationnalisables et le chercheur est invité à se “re-placer” dans le contexte pour comprendre, il doit re-produire ce qui s’est passé en se fiant au miracle du langage naturel. Cette approche évite la difficulté en fuyant vers un idéalisme linguistique qui interdit certaines généralisations comme les heuristiques de résolution de problèmes. La phénoménologie nous semble un excellent outil de critique, mais comme outil d’analyse pour les processus mentaux, elle n’a pas fait ses preuves.

Le courant de la “situated action”[2] est issu de l’éthnométhodologie de Garfinkel. Révélé par le livre “Plans and Situated Actions” de Lucy Suchman (87), il a eu un impact considérable sur certains domaines de l’intelligence artificielle. Ancré dans une sociologie de “compréhension” et de “shared understanding”, le courant de l’action située remet en question la notion de connaissances stables partagées. L’intelligibilité partagée est un phénomène émergent au courant d’une action située. Le “background” dans lequel l’action est engendrée et interprétée ne correspond pas à des structures mentales, mais il s’agit du monde (social et physique) lui-même. Un plan n’est qu’une ressource vague pour l’action: l’action utilise le plan comme elle “utilise” l’interaction. L’action observée dans un contexte réel, pour Suchman, n’est pas isomorphe de la pensée structurée vers la résolution de problèmes chère à l’intelligence artificielle symbolique. La “situated action” reste toutefois intentionnelle et son acteur poursuit un objectif, même si les plans ne prescrivent plus l’action.

---

[2] Nous nous sommes inspirés de l’excellent compte-rendu de Visetti (89) et de Bickhart et Terveen (94) pour cette discussion.

Ainsi, le plan considéré par l'IA traditionnelle comme un objet rationnel et complet devient "produit de l'activité de rendre compte de l'action lorsque ses prémisses sont questionnées" (Visetti 89:79) et il devient "un artefact de notre raisonnement sur l'action, et non pas le mécanisme générateur de l'action" (Visetti 89:79). L'élément constituant de l'action est la situation, son interprétation, la négotiation et la construction commune de sens. Les représentations détaillées et sophistiquées sont construites uniquement en cas de besoin, par exemple lorsque le cours de l'action devient problématique. Cette position ne met pas fondamentalement en cause le cognitivisme, elle montre plutôt de façon élégante et empirique que le problème de l'IA pour représenter toutes les connaissances nécessaires pour planifier en détail une action (et ses contingences) n'a pas de raison d'être. Le flou et l'incomplet sont au coeur de l'action humaine et ils sont efficaces, puisqu'il peuvent être comblés si nécessaire. Les intentions également, gagnent leur existence surtout par attribution mutuelle dans un échange social. Voici une citation plus longue de Visetti (89:93) qui résume bien l'essentiel:

> *"Plans and situation actions* avance finalement une thèse simple: les actions sont toujours socialement et physiquement situées, et la situation est essentielle à l'interprétation de l'action. Par *situation,* on doit entendre un complexe de ressources et de contraintes, qui peuvent toutes, le cas échéant, jouer un rôle signitificatif sans pour autant que ce rôle soit nécessairement réductible à un jeu de représentations mentales préalablement objectivées dans les apppareils cognitifs."

Cet "émergisme" doit être mis en corrélation avec les critiques venant du connexionisme et de l'interactionisme à la Bickhart et Terveen (94). Il partage avec le connexionisme le fait d'avoir apporté des techniques nouvelles à l'IA, mais également le flou en ce qui concerne la modélisation du raisonnement et surtout celle des activités cognitives nécessaires au fonctionnement des décideurs et des spécialistes qui pilotent le monde du travail. La conséquence directe sur les systèmes expert d'un nouveau style qui se propage depuis la Californie[3] est une double réorientation: (1) vers le "Situated Software Design" (Hofman, Pfeifer et Vinkhuyzen 94) impliquant les futurs utilisateurs dès le départ dans les travaux de conception et de développement; (2) vers l'intégration de systèmes expert avec les systèmes de gestion des connaissances (Edmonds, O'Brien and Bayley 93), des systèmes de négociation de connaissances et de support de décisions de groupe (Jacob et Pirkul 92, Jelassi, Klein et Mayon-White 92), etc. Il s'agit ici d' "interfaces" homme-machine et homme-homme-machine qui permettent à l'acteur humain de mieux gérer ses connaissances et ses interactions avec des artefacts techniques. Nous saluons vivement cette réorientation, sans toutefois perdre de vue que la "situated action" n'offre pas de solution aux problèmes connus de la modélisation des processus cognitifs . Nous en examinons quelques-uns ci-après:

---

[3] Voir par exemple Clancey 93

La robustesse des représentations symboliques

Les représentations de l'IA symbolique ont une structure relativement proche du langage naturel. Elles sont complexes et composées de symboles plus simples. Citons un passage plus long de Daniel Memmi (90:54) qui résume bien l'IA symbolique sous cet angle:

> "En résumé, on peut décrire l'IA symbolique comme la manipulation formelle d'un langage de représentation. Ce langage est constitué d'expressions symboliques structurées, possédant un sens intuitif qui peut être verbalisé et publiquement communiqué. Ces expressions sont nettement formalisées, sans le flou et les irrégularités du langage naturel, et les traitements sont purement syntaxiques et le plus souvent séquentiels. En d'autres termes, l'IA s'inspire d'une conception logicisée et formelle du langage naturel pour caractériser le matériau même de la pensée. C'est une forme moderne de rationalisme: la conviction que la connaissance peut se réduire à un langage intellectuel clair, à la fois intuitif et public"

L'IA symbolique partage certains avantages et inconvénients avec d'autres formes de rationalisme (comme la théorie de jeux par exemple). Il s'agit d'une approche de modélisation puissante qui a démontré ses capacités pratiques. Mais comme d'autres formalismes, elle souffre de compatibilité avec la réalité. Le manque de flexibilité est un de ses grands problèmes: un programme AI traditionnel et notamment les systèmes expert sont très fragiles. Ils montrent souvent un comportement inapproprié dans des situations qui n'ont pas été prévues à l'avance. Cela tient du fait qu'il leur manque une capacité de généralisation et d'apprentissage et qu'ils raisonnent en termes "logiques" et discrets. La manipulation formelle d'un langage de représentation implique que le système ne peut pas faire appel au sens des expressions. Malgré de nombreuses techniques comme le "pattern matching" sophistiqué (pour donner de la souplesse aux principes de raisonnement), les logiques floues et autres (pour introduire la probabilité), le métaraisonnement (pour adapter la stratégie de raisonnement) et l'apprentissage symbolique (pour générer de nouvelles "procédures"), le système s'égare ou s'arrête lorsque des données intraitables sont rencontrées (cf. Memmi 90:51, Pfeifer 92:3).

Le "frame problem"

Dès le début de l'intelligence artificielle, le (ou les) "frame problem(s)" a été mis en évidence comme un problème technique . Il s'agissait de savoir comment modéliser et tenir compte des changements dans le "monde" à la suite d'une action. Le problème qui se pose au modéliseur est de prévoir toutes les conséquences de toutes les actions dans toutes les circonstances du domaine modélisé. Cela représente un travail gigantesque et on peut même argumenter que l'implicite (les interactions causales possibles) ne peut pas être modélisé par l'explicite (Bickhart et Terveen 94:108). Typiquement, un acteur humain ne tient compte que de ce qui est nécessaire dans un contexte historique précis. Ses processus apperceptifs adaptatifs et dynamiques sont très économiques. Ils tiennent compte non seulement du contexte mais également des buts, valeurs, intérêts, etc. de l'individu en question. (Bickhart et Terveen 94:110). Cette simplicité et cette efficacité humaine en ce qui concerne la compréhension de situations modifiées est un des plus grands défis de l'IA symbolique. Elle se perd parfois dans des explosions combinatoires ou de la "non-compréhension".

L'adaptation et l'apprentissage

Nous avons déjà vu que les systèmes IA symboliques sont fragiles en ce qui concerne leurs capacités d'adaptation à des situations nouvelles. Que peuvent-ils donc apprendre? Malgré le courant important du "machine learning", il convient de noter que la priorité en IA a toujours été donnée à la modélisation des représentations et des processus d'inférence nécesaires pour le "problem solving", la compréhension du langage natuel, la déduction logique, la planification, etc. ... en espérant que la modélisation de l'apprentissage sera plus simple une fois ces phénomènes compris.

Dans le cadre de l'encodisme, l'apprentissage doit se contenter - par principe - à l'exploration de l'espace combinatoire par des variations, des combinaison et des sélections de représentations et de leurs éléments. Il est par exemple possible d'abstraire des causalités à partir de régularités de descriptions de situations, donc de reformuler par exemple des régularités dans des "cas" historiques comme des règles. Il est également possible de modifier des heuristiques en fonction de l'expérience en modifiant et/ou en sélectionnant des règles. Mais l'apprentissage de représentations ou de "fonctions" nouvelles reste en principe impossible (cf. Bickhart et Terveen 94:134). Un système traditionnel peut apprendre selon les modalités programmées et selon des critères de succès internes. Le fait que la plupart des systèmes IA symboliques ne peuvent pas agir sur un environnement aggrave le cas. L'environnement, parce que plus riche, devrait engendrer des erreurs pour permettre au système de corriger son action. Un système sans boucle de rétroaction externe est passif et plutôt statique. Toutefois, connecter un système au monde ne suffit pas: un système bâti avec des encodages dépend de ces encodages et ne peut pas savoir ce qu'ils représentent, s'ils représentent du faux et s'ils devraient représenter autre chose.

La représentation semble être un phénomène *émergeant* lié à un contexte d'action. L' "encodisme" inhérent au cognitivisme ne peut pas y faire face. Mais qui le peut?

7-1.3 Le connexionisme - complément ou alternative?

Le mot "connexionisme" se réfère à un ensemble de sous-disciplines ayant des techniques de modélisation et des sujets d'intérêts variés[4]. Ils ont en commun la métaphore "neuronale":

> "... un traitement fortement parallèle effectué par un réseau de nombreux "neurones formels" élémentaires connectés entre eux. Ces unités de traitement sont en grand nombre (souvent plus d'un millier par réseau) mais très simples, et la puissance de calcul est surtout due à leurs interactions au sein du réseau. Chaque unité fait la somme de ses entrées selon une fonction particulière (incluant souvent un seuil) qui détermine la réponse du neurone formel. La fonction de sortie est généralement non-linéaire et prend parfois en compte l'état passé de l'unité. Le calcul s'effectue par transmission des signaux de sortie à travers le réseau. De plus à chaque connexion entre unités est associé un poids qui module la transmission des signaux. L'ensemble des connexions avec leurs poids respectifs représente la connaissance à long terme d'un réseau, et on peut généralement modifier le poids à l'aide de diverses procédures d'apprentissage." (Memmi 90:55).

Les modèles connexionnistes n'offrent guère une alternative à la modélisation symbolique, plutôt un complément. Au plan fondamental, on peut leur adresser les mêmes critiques que celles émises à l'égard de l'encodisme car eux aussi encodent des connaissances préalables par le biais de l'architecture et de la paramétrisation des noeuds du réseau. En outre, ces systèmes:

- doivent être entraînés par un jeu d'exemples bien choisis (un autre biais "encodiste");
- ils sont lents à apprendre quelque chose de vraiment nouveau;
- ils ont besoin d'un tuteur (ou encore des "fonctions" d'apprentissage préconstruites et adaptées à certains problèmes);
- ils plafonnent à un certain niveau de compétence. L'absence d'une logique combinatoire les empêche par exemple d'effectuer des tâches de résolutions de problèmes complexes (le fameux "planning" de l'IA).

La force de ses systèmes est sans doute leur bonne capacité à induire des invariants dans un jeu d'inputs ou encore des réflexes. A l'heure actuelle toutefois, il est dificile de savoir jusqu'où on peut pousser ce type de modélisation (cf. par ex. Bechtel: 93). Ainsi, il existe en IA aussi une tradition de systèmes hybrides déléguant par exemple la perception à une couche connexionniste et le raisonnement symbolique à une couche symbolique. L'art consiste à trouver une bonne passerelle entre ces architectures. Il est difficile d'associer une représentation symbolique à une information diffuse distribuée dans l'état d'activation d'un réseau connexionniste.

7-1.4 La negation totale du cognitivisme: une alternative valable ?

Les alternatives proposées par rapport au cognitivisme peuvent être classées sous deux formes: (1) La "nouvelle robotique"[5] construit des architectures "behavioristes" sans connaissances préalables, mais capables d'apprendre un comportement "intelligent" en fonction des entrées/sorties. Ces "insectes" sont en effet assez spectaculaires, mais restent des insectes. Ce qui caractérise l'acteur humain par rapport à ces machines est justement le langage et ses capacités réflexives qui nécessitent des opérations intentionnelles et structurantes. Ces modèles sans représentations ne possèdent

---

[4] Voir aussi notre esquisse du connexionisme dans la section 2-1.5 "Vers une approche cognitiviste" [p. 30].

[5] Voir par exemple l'article "Intelligence without reason" de Brooks (91), ou Pfeifer (92).

pas les biais de l’ “encodage”, mais elles ne possèdent pas non plus ce que l’on peut appeler l’ “intelligence”. Il s’agit ici d’un “rebirth” du behaviorisme avec exactement les mêmes problèmes qu’avaient critiqués Miller, Chomsky, Piaget, etc.: une incapacité à modéliser ou à expliquer le comportement intentionnel et complexe d’un utilisateur de langage[6].

(2) La phénoménologie met en question la validité des structures de représentations permanentes et universelles que l’on retrouve dans les modèles IA. Elle interdit la production de savoir sur les processus cognitifs explicites et indépendants de l’interpréteur humain. Certes, la critique de base est assez juste, mais il faut la relativiser (comme le fait Searle) et considérer les modèles IA comme des constructions analytiques qui ne sont pas des copies du cerveau humain.

7-1.5 Le statut épistémologique de l’ IA appliquée à la science politique

La majorité des critiques adressées à l’IA fondamentale ou encore à ses variantes pratiques sont probablement fondées. Elles mettent surtout en cause une certaine IA fondamentale, celle qui repose sur l’équation “cognition = computation”. Nous ne savons pas comment l’IA peut et va ajuster ses programmes de recherche. La réponse la plus simple aux critiques formulés, est que ces critiques ne proposent aucune alternative. Une autre réponse est de réorienter les programmes de recherche pour éliminer les points faibles (comme la nouvelle robotique par exemple).

Le modéliseur en science politique s’oriente autour des IA “faibles” et pratiques. Le “knowledge level” de Newell est en principe un bon niveau d’analyse. Toutefois, au lieu d’ancrer le statut épistémologique des connaissances dans la métaphore du système symbolique physique comme chez Newell, il est préférable de l’ancrer socialement. Le “social knowledge level” fait référence aux *connaissances communicables* que l’on peut attribuer à un acteur social en fonction de ce que l’on sait sur lui et sur son rôle et de ce que l’on sait sur les capacités humaines, sociales et politiques à résoudre une certaine classe de problèmes. Toutefois, la critique contre les IA fondamentales touche aussi ce type de modélisation plus “prudent” et plus analytique. Le problème de la modélisation de l’apprentissage, le “frame problem”, la “ungraceful degradation”, etc. résultent des problèmes fondamentaux de l’IA symbolique. Il reste suffisamment d’éléments qui militent en faveur de la modélisation à l’aide des techniques de l’IA symbolique. Les autres approches souffrent de problèmes similaires (apprentissage, adaptation, etc.) et elles n’offrent pas d’alternatives intéressantes au plan épistémologique. Par contre, toutes ces critiques, nous forcent à

---

[6] Notons toutefois, qu’il est probablement plus dur de modéliser l’ “intelligence” totale (perception, apprentissage, etc.) d’un animal (et même d’un insecte) que certains comportements intelligents de l’homme. Après tout, l’évolution a mis beaucoup plus de temps à développer les animaux que les hommes (à partir des animaux).

être clairs sur le statut épistémologique des modèles IA en science politique. A cause de leur statut différent, ces modèles échappent à la plupart des critiques à l’égard de l’IA. Voici la réponse aux critiques les plus importantes discutées ci-dessus:

1. le “symbol grounding problem”: un modèle IA n’a pas besoin de sens inné puisqu’il est interprété par un humain (le chercheur ou toute autre personne intéressée). Les modèles doivent et peuvent être ancrés socialement. Le modéliseur, en coopération avec les experts et utilisateurs doit veiller à ce qu’on puisse attribuer une signification commune aux représentations syntaxiques du modèle.
2. La faible capacité d’adaptation et d’apprentissage: Un modèle représente avant tout un code “de signification sociale”, valable dans un certain contexte social. L’apprentissage est un problème intéressant, mais il n’est pas primordial dans l’état actuel de la recherche. “Représentation” implique “inférence”. Donc, malgré ses limites, un modèle IA n’est pas une description statique d’un phénomène, mais l’encodage d’un système intentionnel à capacité de décision (fondé sur les observations de sa performance). Il s’agit ici d’un grand progrès par rapport aux monographies statiques ou par rapport aux modèles plus rigoureux qui étudient des phénomènes isolées.
3. Les problèmes de robustesse: On serait peut-être tenté de se réorienter vers le connexionisme. A notre avis, un système symbolique possède un avantage majeur par rapport à un système connexioniste: Un modèle doit être symbolique et inspectable, sinon sa fonction scientifique sera limitée. Les composantes du modèle, ainsi que son fonctionnement doivent être facilement accessibles par les collègues du modéliseur. C’est le cas en ce qui concerne les modélisations symbolique des systèmes à bases de connaissances, mais pas en ce qui concerne un système connexioniste d’une certaine complexité.

Il est intéressant que Clancey (93) veuille réorienter le génie cognitif (angl.: “knowledge engineering”) dans le même sens. Il utilise le terme de “social grounding” pour valider un système expert. En effet, au centre du débat ne se trouve plus le transfert des connaissances de l’expert vers un système informatique, mais une construction commune entre expert, cognicien et utilisateur d’un outil de gestion de connaissances où la signification des connaissances du système sera négociée par les participants[7]. Les modèles IA en science politique peuvent s’inspirer de cette réorientation. Le modèle devient le lieu, où observations empiriques et questions théoriques se discutent et se construisent en collaboration entre les chercheurs impliqués dans le projet, d’autres chercheurs et, si possible, les sujets étudiés.

---

[7] La nouvelle discipline du “Situated Software Design” (Hofmann, Pfeifer et Vinkhuyzen 93) tente par exemple d’ancrer le développement de logiciels dans le monde “réel” (partiellement inconnu, changeant, et pas toujours prédictible), ceci, par opposition au “monde virtuel, rationnaliste et fermé” des spécifications informatiques traditionnelles.

7-2 La modélisation IA et le génie cognitif

Dans cette section, nous allons discuter la méthodologie et quelques techniques du génie cognitif (aussi appelé ingénierie de la connaissance, angl. “knowledge engineering”). Le génie cognitif fait référence à l’ensemble des méthodes utilisées pour les systèmes à bases de connaissances (angl. “knowledge based systems”).

Il serait idéal, si en science politique, on pouvait mettre sur pied un groupe de travail chargé de développer des langages communs pour tout type de modélisation et si nécessaire des passerelles entre ces langages. Les systèmes de représentation constituent la pierre angulaire des systèmes à bases de connaissances et l’expressivité d’un dispositif de modélisation en dépend fortement. Des langages standardisés nous permettraient de créer des bases de données communes (comme c’est déjà le cas en relations internationales) et d’échanger des “briques” de modélisation entre chercheurs.

Nous avons dit qu’il existe une différence importante entre l’IA du type “science cognitive” ou “pure” et l’IA pratique ou appliquée. La deuxième doit fournir des systèmes *capables de résoudre de façon optimale une certaine classe de tâches*. La première modélise certains processus cognitifs ou le phénomène de l’intelligence en soi. Le critère de succès dans ce cas est la question de savoir si le système est un bon modèle, voire une bonne théorie. La modélisation IA en sciences sociales se situe entre ces deux filières. Avec les IA plus fondamentales, on partage le souci d’une certaine homomorphie structurelle ou fonctionnelle du modèle (il doit décrire quelque chose). Toutefois, selon notre opinion, on n’opère pas au même niveau de description (les processus cognitifs détaillés) et on ne s’attache pas à la même fidélité structurelle du modèle. Avec l’IA pratique, on partage le souci d’une certaine “completeness”, de l’inspectabilité, de la modularité et de la communicabilité du modèle au défaut d’une complexité plus adéquate mais ingérable.

7-2.1 Introduction

La grande majorité des systèmes expert sont des systèmes à bases de connaissances (“knowledge based systems”)[8] et la majorité des “knowledge based systems” sont des systèmes expert[9]. Le génie cognitif (“knowledge engineering”) a pour but de déterminer les connaissances d’un expert dans un domaine précis et de les simuler. Le mot “connaissance” englobe

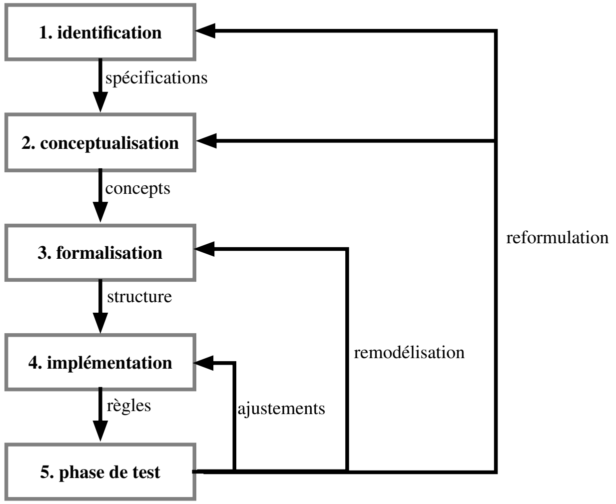


Figure 7-2: Les stades du génie cognitif selon Waterman

à la fois des faits, des problèmes typiques et des heuristiques de résolution de problème. Au début des systèmes expert, le mot “connaissance”se référait aux connaissances d’un expert acquises au terme d’une longue expérience. Ces connaissances sont souvent peu formalisées et inaccessibles au non-expert. En raison de cet intérêt porté aux connaissances spécialisées et floues, la méthodologie du génie cognitif repose souvent sur des recettes comme celles de Buchanan et al. (83: 139-149). Pour construire un système expert, Waterman (85:136-139) propose les étapes suivantes (illustrées Figure 7-2: “Les stades du génie cognitif selon Waterman” [p. 304]):

1. L’identification: il s’agit de définir les buts du projet, les tâches détaillées que le système devrait résoudre et d’identifier les contraintes techniques et pratiques (machines, logiciels, personnel, temps, etc. à disposition)
2. La conceptualisation et l’élicitation (obtention) des connaissances: il faut identifier et/ou constituer un vocabulaire plus précis pour décrire une activité de résolution de problème. Les concepts, relations, heuristiques, etc. identifiés lors de l’étape précédente doivent être rendus explicites.

---

[8] Pour certains types d’application (par exemple celles nécessitant des capacités d’adaptation et/ou des techniques souples de reconnaissance de formes), on utilise d’autres techniques comme les réseaux neuronaux.

[9] Les modèles de type “SOAR” [p. 147] sont à bases de connaissances, mais il ne s’agit en règle générale pas de systèmes expert.

3. La formalisation: les concepts exprimés en langage naturel doivent être traduits dans un langage formel (dans un sens pas très strict du terme). Cela permet d'exprimer un problème ainsi que les heuristiques utilisées pour le résoudre avec des expressions quasi formelles. Ensuite, il faut rendre apparentes les interdépendances des données et des connaissances (flux d'information, identification de sous-problèmes, etc). En même temps, il faut choisir (ou construire) un logiciel approprié (un moteur d'inférence par exemple) .
4. L'implémentation: avec les connaissances formalisées, il faut construire un système informatique. Dans la plupart des cas, il s'agit d'écrire des règles informatiques. Parfois on construit un prototype rapide (un peu comme nos systèmes *-Lex) si cela n'a pas déjà été fait, afin de tester le bon choix des outils et la pertinence de l'analyse formelle.
5. La phase test: chaque version du système doit être testée extensivement. Cela peut conduire à des multiples ajustements et affinages du système informatique, à une remodélisation complète du système qui renvoit à l'étape 3 ou encore à une reconceptualisation des tâches qui renvoie aux étapes 1 et 2. Le savoir-faire est dynamique et ne peut être saisi que dans une simulation dynamique. Aussi, ces itérations sont inévitables.

Dans toutes les phases du projet, l'ingénieur cognitif (cognicien ou "knowledge engineer") doit travailler en coopération étroite avec l'expert. Une implication importante de l'expert est surtout inévitable pour les phases 2 (élicitation du savoir) et 5 (test). A condition de pouvoir l'intéresser à un langage plus formel, il est aussi conseillé de l'associer aux phases plus techniques.

La vision "classique" de l'ingéniérie de la connaissance est très centrée sur le problème de bien "extraire" et de bien modéliser les connaissances de l'expert. Le rôle clé dans le dispositif appartient à l'ingénieur-cognicien. C'est lui qui "gère" les trois niveaux du "knowledge engineering" les plus importants:

1. Elicitation de la connaissance: il s'agit d'extraire les connaissances de l'expert et d'autres sources disponibles.
2. Analyse de la connaissance: il s'agit de structurer et d'organiser ces connaissances qui sont normalement hautement non-structurées et de formes diverses. Au début du processus, il s'agit de voir d'abord quels sont les types de connaissance utilisés et dans un deuxième temps, il faut préparer l'implémentation, éventuellement par une formalisation non-informatique des connaissances.
3. Implémentation de la connaissance: ensuite, il faut traduire ces connaissances structurées dans un format informatique.

On utilise souvent le terme "acquisition des connaissances" pour décrire l'extraction, la structuration, l'organisation et la traduction des connaissances.

La sélection d'outils informatiques

L'exemple de notre modélisation d'une décision administrative dans le chapitre 5 "La modélisation d'une décision administrative par le génie cognitif" [p. 175] montre l'importance du choix des outils. L'outil le plus important à choisir est la coquille "système expert". Chaque outil réunit certains avantages et inconvénients liés au mode de représentation, à son moteur d'inférence, son prix, sa maniabilité, son interface utilisateur, etc. Dans certains cas, il est important de pouvoir transformer les fonctionnalités d'un outil. Parfois il faut construire l'outil soi-même. Dans certains domaines mal connus du génie cognitif, l'interaction entre l'acquisition des connaissances et le choix, l'adaptation ou le développement d'un outil sont importants. Aujourd'hui il existe un grand nombre d'outils gratuits ou commerciaux que l'on peut classifier selon plusieurs axes.

- Les techniques de représentation des connaissances: dans Smyc par exemple, nous utilisons des règles "si-alors" bâties sur des triplets "objet-attribut-valeur", des contextes, des valeurs de certitude, etc. Dans les systèmes de chaînage avant comme notre "AIPSS"[10], les faits et règles peuvent avoir des structures plus complexes et des variables arbitraires.
- Les schèmes de conclusion (inférences) indiquent comment utiliser les règles. Dans SMYC, il s'agit d'une variante du "modens ponens".
- les structures de contrôle (inférences) déterminent la sélection et l'ordre d'application du savoir-faire. Dans SMYC par exemple, on utilise un chaînage arrière "depth first".
- L'interface pour le cognicien: les facilités pour construire et inspecter un système.
- L'interface utilisateur peut être plus ou moins convivial lui donner plus ou moins de possibilités d'interroger le système, de "voir ce qui se passe et pourquoi". Notons que la facilité d'usage fait aussi référence à la difficulté conceptuelle d'utilisation.
- L'adaptabilité et l'ouverture: le degré avec lequel on peut adapter un logiciel à ses besoins. Il existe une palette de systèmes complètement ouverts (souvent imbriqués dans Lisp) et d'autres qui sont complètement fermés.
- La taille du système que l'on peut modéliser fait référence au nombre de connaissances que l'on peut y mettre et à sa vitesse d'éxécution.

7-2.2 L'élicitation des connaissances

La littérature sur l'élicitation (extraction) est large, facilement accessible et de bonne qualité[11]. Nous en esquissons juste les principes de base et nous discutons quelques spécificités liées au domaine de la modélisation

---

[10] Voir la section 6-2.3 "Simulation numérique et règles d'inférence" [p. 246] pour un petit aperçu de "AIPSS".

du décideur. L’élicitation des connaissances se fait dans le cadre du processus d’acquisition (élicitation, transfert, organisation, etc.). Par rapport à ce cadre général, nous pouvons distinguer en sciences sociales quatre grandes approches pour acquérir “données” et connaissances:

1. Les approches de la psychologie d’information et de la “knowledge acquisition” des systèmes expert font l’hypothèse forte que les connaissances sont structurées et partiellement accessibles. Leurs méthodes focalisent sur des “thinking aloud protocols” et sur des entretiens structurés par rapport à des tâches de résolution de problème ou de connaissances sur le monde. Les données empiriques sont d’une relativement bonne qualité (elles sont reproductibles), mais souffrent du biais de la situation artificielle de l’intervention.
2. Les approches fondées sur l’interprétation sont étroitement liées à la tradition herméneutique sans toujours pouvoir s’identifier à une position de “Verstehen” forte à la Dilthey. Ces approches sont centrées sur la compréhension et l’interprétation des structures de sens (angl. “meaning”). Leur méthodes sont centrées autour d’entretiens non-directifs ou l’analyse de textes, d’enregistrements audio et vidéo. Un exemple est donné par les travaux de Suchman dont les résultats ont été discutés dans “La critique phénoménologique et la “situated action”” [p. 296]. Le biais expérimental de cette méthode est relativement faible car elle ne force pas les sujets à des rationalisations qui n’ont pas lieu dans un contexte réel.
3. Les approches analytiques (comme la théorie de décision ou des jeux) sont généralement guidées par des théories. Sauf exception, elles ont peu de validité externe. Dans la mesure où leur vocation est la modélisation de situation idéales, voire normatives, elles n’en ont même pas besoin. Leur avantage est leur simplicité relative. Elles ont également une bonne capacité de prédiction de quelques phénomènes que l’onpeut isoler (problèmes de choix) étant donné leur haut degré d’abstraction.
4. Les approches dites “systémiques” se situent quelque part au milieu des précédentes. Elles considèrent les entités à modéliser comme étant structurées et possédant des fonctions internes et externes. En outre, des “systèmes” comme le décideur politique sont considérés auto-organisateurs et intentionnels. Comme les modèles de l’intelligence artificielle, les modèles systémiques visent une homomorphie: structures et fonctions du systèmes devraient correspondre aux structures et fonctions du phénomène étudié. Ce qui distingue l’approche systémique de l’IA est la portée des modèles du social. Si nécessaire, le systémisme ne dédaigne pas d’utiliser des méthodes analytiques pour modéliser des fonctions ou des structures difficiles d’accès. Ainsi le systémisme fait le pont entre l’analytique, l’herméneutique et la psychologie de l’information.

---

11. Voir par exemple: La collection “Knowledge Elicitation” de Diaper (89), les articles de la revue “Knowledge Acquisition”, la collection “Knowledge Acquisition for Knowledge Based Systems” de Gaines et Boose (88) et les tomes plus récents de la même série.

Nous pensons qu’il est temps de faire revivre l’approche systémique. A tort identifée en sciences politiques soit à la modélisation mathématique des systèmes dynamiques soit à la théorie ou la philosophie politique, elle devrait aujourd’hui adopter des techniques multi-modales de modélisation en utilisant un ensemble de méthodes adaptées (selon des critères épistémologique et d’économie de recherche) aux données disponibles.

Pour illustrer la multiplicité des données, revenons un peu sur la législation sur l’acquisition des immeubles. Les “connaissances” utilisées dans nos systèmes M-Lex et P-Lex et dans les esquisses du chapitre 6 “Le décideur, son organisation et son environnement” [p. 237] montrent le caractère hybride du concept de “donnée” ou de “connaissance”. Nous avons utilisé des textes de loi, de la jurisprudence, des manuels juridiques, des entretiens, des expériences de pensée à haute voix, nos connaissances sur le système juridique et politique, etc. etc. Les concepts de “knowledge engineering”, de “knowledge acquisition” et de “knowledge elicitation” prennent un autre sens dans le cadre de modélisation en sciences sociales. L’acquisition de connaissances ne concerne plus principalement l’extraction et le transfert des connaissances à partir d’un expert, mais à partir de multiples sources et sous des formes multiples.

Elicitation de connaissances et entretiens

Pour le modéliseur en sciences sociales, il existe deux types de personnes à interroger: (1) les personnes (individus, ou membres des groupes) que l’on désire modéliser et (2) des “experts” qui peuvent apporter leur contribution grâce à leurs connaissances sur un sujet. Il est souvent difficile d’obtenir la coopération nécessaire et lorsqu’il y a coopération, elle est souvent de courte durée. L’élicitation des connaissances est un processus qui peut être très long. En conséquence, il faut adapter la stratégie. Si on désire minimiser le temps de l’interviewé, il faut commencer très tôt la modélisation, travailler beaucoup par inférence et espacer les entretiens dans le temps. Cette procédure est déconseillée dans la littérature sur l’acquisition des connaissances. Celle-ci suggère des entretiens très complets pour aboutir à un “concept model” totalement détaché de toute conceptualisation informatique[12] avant même de commencer à construire un prototype.

A part ces problèmes d’accès, il convient de mentionner les problèmes généralement rencontrés dans le génie cognitif:

(1) Normalement, un sujet ne pense pas de la même façon qu’un système

---

12. Voir par exemple la méthode KADS qui introduit plusieurs étapes de modélisation. La modélisation des connaissances de l’expert est une étape strictement séparée du “design model” qui sert à implémenter un système (Wielinga, Schreiber et Breuker 92: 7-14).

expert, il laisse notamment de côté les “détails” nécessaires aux opérations mécaniques d’un système expert. Citons Waterman (86:153):

> “They have a tendency to state their conclusions and the reasoning behind them in general terms that are too broad for effective machine analysis. ... The expert seldom operates at a basic level. He makes complex judgments rapidly, without laboriously reexamining and restating each step in his reasoning process. The pieces of knowledge are assumed and are combined so quickly that it is difficult for him to describe the process. When he examines a problem, he cannot easily articulate each step and may even be unaware of the individual steps taken to reach a solution.”

Waterman (86:154) utilise les termes de “paradoxe d’expertise” et de “ paradoxe du génie cognitif” pour décrire le fait suivant: “the more competent domain experts become, the less able they are to describe the knowledge they use to solve problem”. Ce phénomène est dû aux effets de la compilation de savoir et au mode de raisonnement analogique et associatif. Dans certains cas, le raisonnement du décideur politique est encore plus dur à décoder, car il agit de façon moins “rigoureuse et formelle”. Dans le jargon du génie cognitif, on parle souvent du problème de la “décompilation des connaissances”.

(2) Un deuxième problème est la rationalisation: “.. studies have shown that when experts attempt to explain how they reached a conclusion, they often construct plausible lines of reasoning that bear little resemblance to their actual problem solving activity." (Waterman 86:154). Nous avons effectivement rencontré ce phénomène dans notre étude sur la LAIE. En outre, il faut éviter d’être son propre expert (méthodes d’introspection). On peut facilement tester le fonctionnement d’un système de règles, mais pas forcément leur validité par rapport à un comportement réel.

Il existe plusieurs techniques d’entretien que l’on peut classer selon deux axes: les méthodes observationnelles sont plutôt passives, orientées sur l’observation et essaient d’interagir de façon minimale avec le sujet. Les méthodes intuitives sont centrées autour de l’entretien actif et de l’introspection.

- La méthode de la pensée à haute voix (angl.: “thinking aloud”) combinée à l’analyse des protocoles (Ericsson 83) est la méthode la plus ancienne en IA pour la collection “objective” de données. Son principe de base est de soumettre des tâches à résoudre au sujet et de le faire penser à voix haute. Cette méthode a été utilisée intensivement par l’équipe de Newell et Simon (cf. la section 4-3 “Intelligence artificielle et résolution de problèmes” [p. 135]).
- Une forme plus “faible” et plus générale de la méthode de la pensée à voix haute est la simple observation du comportement (enregistrements audio, vidéo, notes, etc.) utilisée le plus souvent par les anthropologues et les sociologues. Elle possède l’avantage d’avoir une très faible incidence sur le sujet, mais elle ne fournit que très peu de données sur les processus internes.

- L’entretien piloté par une théorie est très différent et souvent utilisé en psychologie cognitive. Tout le dispositif est destiné à produire des données qui permettent de valider une théorie. On utilise par exemple des exercice de rappel d’un récit pour tester des théories sur l’organisation de la mémoire épisodique.
- L’introspection est une méthode très intuitive. Cette méthode est dominante dans les courants de l’IA “pure”. Elle sert à provoquer des idées pour ensuite les implémenter dans un programme intelligent.

Il existe évidemment des mélanges et/ou des combinaisons de ces méthodes, comme les entretiens semi-dirigés. Il faut également mentionner que différentes techniques sont utilisées à différentes étapes de l’acquisition des connaissances:

1. Au début d’un processus d’acquisition, il est utile de prévoir un certain nombre de discussions ouvertes avec les sujets modélisés, experts, futurs utilisateurs, etc. pour se familiariser avec les méthodes de résolution de problème, structures de connaissances, etc. Dans cette phase, il faut observer la règle de base de la recherche exploratoire: être le plus ouvert possible. Dans cette phase, il est aussi important de consulter toute la littérature et autres documents accessibles sur le sujet afin de bien saisir le “langage du domaine”.
2. Dans un deuxième temps, on peut organiser des discussions informelles sur le problème. Il s’agit ici de trouver un moyen pour structurer tous les types de problèmes que le système expert sera amené à résoudre. Dans notre système M-Lex, il s’agissait par exemple d’identifier exactement quel type d’information le décideur reçoit, et comment un cas juridique est divisé en sous-problèmes (sujet, acquisition et motif).
3. Ces deux types d’entretiens permettent de déterminer l’espace du problème (ou domaine de tâche).
4. Une fois que l’on possède une idée du langage du domaine ainsi que la nature de ses problèmes, on peut procéder à des entretiens du type “thinking aloud” pour analyser en profondeur des problèmes bien spécifiques. Le cognicien doit souvent intervenir pour clarifier les choses ou alors discuter le protocole avec le sujet après coup.
5. Une fois que l’on passe au stade de “system refinement”, l’entretien est organisé selon les nécessités de la modélisation. Souvent, on fait participer les sujets au développement du système qu’ils doivent tester et commenter. Idéalement, le sujet devrait aussi examiner chaque règle et participer activement à la recherche des cas extrêmes que le système ne peut pas résoudre.

Comme nous l’avons déjà mentionné, en sciences sociales, on a souvent affaire à des décideurs qui ne veulent ou ne peuvent pas participer à ce genre d’exercice[13]. Toutefois, il est important de connaître au moins les grands principes de l’entretien et de ses méthodes. Etant donné cette situation, il est très important de savoir utiliser des méthodes d'analyses de textes et d'enregistrements que nous n'allons pas discuter ici pour des raisons de place[14]. Etant donné que l'accès aux données est difficile, il faut également procéder à des expériences cliniques avec des sujets de substitution afin d'obtenir quelques données sur les processus de décision. Ces données sont peu précises, mais néanmoins utiles comme le montrent les expériences de Dörner (cf. la section 3-5 "Le modèle "Lohhausen"" [p. 91]) ou encore les expériences psycho-sociologiques sur le dilemme du prisonnier répété (cf . 3-2.1 "La théorie des jeux" [p. 62]).

7-2.3 La génération de données cliniques

A l'heure actuelle, nous possédons très peu de données psychologiques sur la résolution de problème et les décisions du type rencontré en politique. D'un côté, il existe des recherches comme celles de Doerner et de l'autre quelques résultats sur le raisonnement quasi-rationnel[15]. Pour mieux faire le lien entre théories psychologiques et théories du décideur politique, il faut davantage d'expérimentation avec des dispositifs permettant de reproduire le plus fidèlement possible des situations réelles.

Dans l'avenir, nous proposons de mettre en place des réalités virtuelles textuelles (RVT) pour étudier le comportement des gens dans un monde artificiel qui permet d'enregistrer toute action et toute communication. Une réalité virtuelle textuelle (serveur MUD) est un logiciel qui permet à un utilisateur de se connecter à un "monde virtuel textuel". La connexion sur un serveur se fait par simple "telnet" ou encore par un logiciel client spécialisé (qui existe pour la plupart des architectures). Dans une RVT, on peut notamment:

- naviguer (en utilisant des commandes de direction, en utilisant des artifices (par exemple des trains virtuels, parfois le "téléportage")
- communiquer en direct avec d'autres personnes connectées ou des personnes artificielles (dans une "pièce", à "distance" ou en différé avec un système de courrier électronique)
- utiliser des artefacts (tels qu'enregistreurs, tableaux d'affichage, etc.)
- construire (des locations, des artéfacts et des commandes pour les utiliser soi-même ou les mettre à disposition de tout le monde).

A l'origine, créés pour les jeux de rôle ("MUD" signifie "Multiple User Dungeon"), ces serveurs sont de plus en plus utilisés à des fins pédagogiques[16]. D'autres utilisent les RVT comme lieu de rencontre pour chercheurs (cf. par ex. le "Media Moo" au MIT pour le "media research" ou l' "Astro MOO" de Xerox Parc pour l' "astronomie" (cf. Bruckman & Resnick 93 et Curtis 93). Finalement, les RVT "sociaux" servent parfois de laboratoire d'expériences sociales comme "Point Moot" de Actlab (Advanced Communications Technology, at the College of Communication, University of Texas, Austin). Ainsi le terme "MUD" se traduit aujourd'hui plutôt par "Multiple User Dimension" ou "Multiple User Dialogue". Nous préférons utiliser le terme le plus neutre: "réalité virtuelle textuelle" (RVT)

Les serveurs RVT dédiés à la recherche et à l'enseignement utilisent en règle générale la technologie MOO ("MUD- Object oriented") développée à Xerox Parc. Il s'agit d'un serveur qui tourne en mémoire vive, assez gourmand en CPU. En contrepartie, le "MOO Programming Language" est très flexible et permet à des utilisateurs autorisés de rajouter relativement facilement des objets et des "verbes" (selon leur terminologie) à un serveur et de créer ainsi des "lieux" spécialement adaptés à une certaine activité. Notons encore que d'autres environnements intégrant coopération, communication, information et artifices sont en cours de développement. Certains RVT sont connectés entre eux sous forme de réseaux et constituent un espace d'espaces virtuels.

Une interaction dans une RVT ou tout outil similaire qui risque d'apparaître sur le marché (comme les outils de collaboration intégrant hypertexte, "espaces" et outils de communication divers) ne peut pas remplacer le monde réel et une activité réelle. Néanmoins, une RVT est un terrain expérimental puissant (conservant la trace de toute activité). L'avenir appartient sans doute aux "vraies" réalités virtuelles graphiques intégrant le "vidéo conferencing à distance". Mais pendant les années à venir, cette technologie ne sera pas abordable dans notre contexte. Toutefois, les expériences gagnées dans des mondes virtuels "textuels" simples, ne chargeant que très peu le réseau, nous seront sans doute très utiles pour expérimenter les "cyberspaces" de demain.

Les jeux de rôle comme générateur de connaissances

Les jeux de rôle (au sens large du terme) ont une longue tradition en sciences sociales pour engendrer des résultats que l'on espère généralisables. Certains ont eu un impact en science politique [17]. La plupart des résultats est à consommer avec une certaine prudence car les participants aux expé-

---

[13] En outre, la décision est souvent collaborative, ce qui nécessite un ajustement supplémentaire des techniques d'entretien.

[14] Nous renvoyons par exemple à la méthodologie développé par Gallhofer et Saris pour analyser des documents diplomatiques dans le cadre de leur recherches sur les choix quasi-rationnels. Voir la section 3-2.2 "Modèles de choix à rationalité limitée" [p. 69].

[15] Voir par exemple Svenson 89a et 89b ou encore Tversky et Kahneman 74 et 81.

[16] Un exemple intéressant est le serveur "Diverse University MOO" associé au projet "Globewide Network Academy" (Butts et al. 94) sur lequel ont lieu des cours "on-line" divers.

[17] Cf. par exemple les expériences en psychologie sociale sur l'autorité (Milgram), le "gaming" pour étudier les processus de décision ou encore les expériences avec certains paradigmes de la théorie des jeux comme le dilemme du prisonnier répété (Alker 80c). En ce qui concerne la littérature sur le "simulation & gaming" qui a surtout sa place dans la formation ou le "diagnostic" institutionel, cf. par exemple Carlson et Mishauk (72) ou Crookall 87).

riences sont rarement les mêmes que les acteurs-cible et les gens ne se comportent pas toujours de la même façon dans un contexte artificiel. En ce qui concerne les RVT, des études ont montré que l'immersion des participants actifs et habitués est assez forte[18]. Les RVT connaissent certains des problèmes d'organisation sociale, politique et économique que l'on peut retrouver dans le monde réel (y compris le crime).

Une RVT est un environnement virtuel simulé cohérent. En règle générale, elle fonctionne selon des règles perceptibles. Certains simulent un “espace réaliste”, modélisant par exemple une petite ville typique. Ils tentent d'organiser la vie selon des principes proches du monde réel. D'autres ont lieu dans des espaces historiques (réalistes) et d'autres sont partiellement ou totalement imaginaires autorisant des actes et des artifices qui n'existent pas dans le monde réel. Nous avons tenté d'établir une classification de quelques RVT “non-ludiques” selon quelques caractéristiques dans la figure 7-3. Elle montre une très grande variance fonctionnelle et structurelle de ces RVT [19]. Il est intéressant de constater que toutes ces RVT ont des problèmes “politiques” à régler, par exemple choix du “régime”, classes de “citoyens”, procédures de régulation de conflits, gestion des participants asociaux, économie de construction (qui aide à construire), règles d'aménagement (qui a le droit de construire et quoi), gestion des ressources rares (liées à la capacité du serveur), etc. Les RVT ludiques peuvent être classées selon 2 grands axes: (1) tâches fixes (par exemple tuer un maximum de “monstres”) vs. jeux de rôles ouverts (par ex. jouer le rôle d'un prince dans une société médiévale) et (2) règles strictes vs. règles ouvertes. Il existe quelques centaines de ces jeux qui se jouent au niveau planétaire et qui nécessitent un investissement de 20 à 30 heures par semaine par participant. L'immersion des participants semble être très forte (ce qui donne lieu à des inquiétudes et des interdictions dans un grand nombre d'universités) .

Figure 7-3: Classification de quelques RVT

	Diverse Univ.	EON	Lambda MOO	Point MOOt	Media + Astro + Bio MOOs	Opal + Cardiff + Jayshouse MOOs	Hypertext hotel + Write Mush
Présence d'un système écologique, économique et politique	-			++			
Réalisme des movements et communications	-	+		++			
But: recontres sociaux		+	+++	+	+	+	
But: rencontres pédagogiques	+++	++		-			
But: rencontres professionnelles	++			-	+++	+	
But: expérimentation sociologique		+		+++			
But: recherche en RVT	+	+	+	++	+	+++	
But: environnement d'apprentissage	+	++					
But: Art et littérature							+++

---

[18] Voir par exemple Ackerman (94) et Reid (94)

[19] Voir aussi la “Master thesis” de E. Reid (94) pour une comparaison de quelques RVT et surtout pour son analyse de la culture de ces RVT.

Nous n'avons pas pu trouver de travaux utilisant des RVT comme terrain d'expérimentation. Il existe seulement un certain nombre de publications de type anthropologique sur l'organisation sociale des RVT ou encore sur les RVT comme outil pour travailler sur son identité, etc. Mais notre proposition a sans doute de l'avenir puisqu'elle permettra de marier les avantages des simulation numériques à la Dörner avec le type d'expériences de nature psycho-sociologique. On pourra à la fois simuler un monde complexe et observer la dynamique d'un système d'acteurs.

7-2.4 L'organisation des connaissances

Le problème de l'organisation, de la structuration et du transfert des connaissances est sans doute le travail le plus intéressant pour le modéliseur. Cette tâche va de l'esquisse la plus abstraite et générale du système à modéliser aux difficultés techniques de la représentation des connaissances. Un modèle IA est (normalement) fondé sur des connaissances ce qui signifie que des structures de connaissances opèrent sur des structures de connaissances. Le rôle technique du modèle est de transformer une structure dans une autre (par exemple un problème en une solution). Le matériel collecté lors du processus d'extraction des connaissances ne permet pas ce genre d'opération sans réorganisation majeure.

Newell (81) affirme que le niveau [20]conceptuel le plus important d'un système à bases de connaissances est le “knowledge level”.

> “The focus for determining the behavior of the system rests with the knowledge, i.e. with the *content* of what is known. The internal structure of the system is defined exactly so that nothing needs to be known about it to predict the agent's behavior. The behavior is to depend only on what the agent knows, what it wants [....] (Newell 81:20).

---

[20] Un “niveau” en intelligence artificielle consiste d'abord en son “infrastructure”: un médium ou langage dans lequel on peut exprimer quelque chose y compris des règles de composition et des composantes qui peuvent effectuer des calculs. La “superstructure” est définie par l'ensemble des éléments exprimés dans ce langage. La signification des éléments par rapport à la modélisation est définie par leur contenu et non par leur forme. Leur forme sert à exécuter le modèle et à étudier le comportement dynamique du système.

Cette vision de Newell donne une vision très fonctionnelle à la notion de connaissance. Elle s'accorde bien à la problématique de la modélisation du décideur. Lorsqu'on modélise un décideur politique, on lui attribue des connaissances (le "knowledge level"). Le contenu de ces connaissances encodées dans un langage de représentation peut être calculé selon les principes "rationnels" de l'infrastructure du "knowledge level"[21]. Au plan de l'observation du système, les connaissances à modéliser correspondent donc à ce que le système *fait* grâce au *contenu* des représentations. Pour "comprendre" (au sens herméneutique du terme) le modèle, il faut "lire" les représentations et les *simuler (les "penser").* Autrement dit, l'utilisateur qui étudie le comportement d'un modèle, devrait transposer ces représentations au "knowledge level" pour les traiter ensuite dans *son* système de représentations grâce à des processus cognitifs. Le même principe s'applique à l'étude de la dynamique d'un système: les nouvelles structures générées par le système peuvent être interprétées au niveau des connaissances.

Notre idée de modélisation est d'utiliser un langage "informatique" pour parler dynamiquement des connaissances utilisées (quasi-)rationnellement par un individu ou une organisation. Ainsi, pour modéliser un décideur, il est important d'utiliser des langages de représentations qui peuvent être "lus" et interprétés facilement. Sinon le modèle possède une orientation trop "psychologique" voire "psycho-biologique", ce qui n'est pas notre but. La description d'un système au "knowledge level" met l'accent sur le *contenu* d'un système (buts, actions), tandis qu'une description au "symbol level" fait référence à des représentations et des mécanismes d'inférence. La notion de représentation prend sa signfication théorique avant tout à ce niveau de description inférieure de la cognition (le "symbol level" de Newell) d'où sa formule "representation = knowledge + access". C'est ce niveau-là qui *réalise* un jeu de connaissances et il nous intéresse moins ici. Ainsi faut-il conceptuellement bien distinguer le contenu des connaissances que l'on met dans un système (par exemple sous forme de règles) et ce que le système peut en faire grâce à la forme des contenus et ses mécanismes d'inférence.

Dans la littérature de recherche récente[22] sur les systèmes expert, le "knowledge level" est surtout valorisé comme étape intermédiaire dans le processus du "knowledge engineering". La notion du "knowledge level" est plus opérationel que chez Newell et elle s'intéresse beaucoup aux types de connaissances utilisées par un agent humain. En étudiant la structure de quelques systèmes bien connus, Clancey (83) a mis évidence l'importance des connaissances implicites qui ne sont pas explicitées dans les règles, mais "perdues" dans les heuristiques de sélection des règles. Le besoin de dissocier plusieurs niveaux de connaissances est devenu particulièrement

---

[21] On fait ici référence au niveau fonctionel (symbolique ou syntaxique), cf. "Représentation et computation" [p. 290].

[22] Voir par exemple: Steels et McDermott 93, Van de Velde 93

clair dans le développement de systèmes tuteurs intelligents. L'apprentissage de raisonnements complexes exige en effet de pouvoir isoler les aspects stratégiques de la résolution de problème. Ceci montrait qu'une réalisation typique d'un jeu de connaissances marchait bien pour un certain type de simulation (système expert) et qu'il en fallait une autre pour un autre domaine (enseignement). Ce type d'observation a amené Breuker (85) et d'autres à postuler une analyse beaucoup plus poussée des connaissances avant l'implémentation. Il s'agissait notamment de rendre explicites les différents types de connaissances utilisées implicitement par l'expert et pas seulement celles qui sont nécessaires à première vue pour faire tourner un système. Steels (90:37-42) distingue par exemple les composantes d'expertise suivantes:

1. Les tâches et sous-tâches: dans un système expert, on peut par exemple distinguer des tâches génériques telles que "diagnostic", "interprétation", "design", "planification", "classification", "choix", etc. (cf. Chandrasekaran:83). Ensuite, il existe une multitude de tâches qui sont spécifiques aux domaines.
2. Les modèles du domaine et de cas: l'acteur humain se fait souvent un modèle du cas à résoudre et utilise ou construit des modèles plus larges du domaine. Ces modèles lui permettent de raisonner sur les propriétés structurelles et fonctionnelles des objets.
3. Les méthodes de résolution de problème, c'est-à-dire les méthodes utilisées pour appliquer des connaissances à une tâche: Il s'agit par exemple de méthodes utilisées pour diviser une tâche en sous-tâches gérables ou encore des méthodes pour classifier des cas.

Il existe un certain nombre de techniques d'acquisition et de modélisation de connaissances que nous ne discuterons pas ici pour des raisons de place [23] et parce que chaque type de modélisation nécessite un autre type d'organisation des connaissances. Nous mentionnerons seulement la stratégie de décomposition. Pour gérer la complexité du monde, un système doit se différencier en sous-systèmes spécialisés (Luhman 84, Simon 81:195). Le modéliseur doit observer ce phénomène ontologique et tenter de reproduire cette structure.

7-2.5 La représentation des connaissances

Commençons par une citation de Charniak et McDermott (85:8):

> "Representation is a stylized version of the world. Depending on how it is to be used, a representation can be quite simple, or quite complex".

Dans le contexte du génie cognitif, les représentations ont une fonction technique et utilitaire. Il s'agit d'un moyen pour exprimer de façon modulaire et structurée des connaissances. Une représentation encode un savoir analytique et non pas une connaissance au sens "Verstehen" du terme.

---

[23] Voir par exemple la méthode KADS (Wielinga, Schreiber et Breuker 92) ou Klinker 93 pour les travaux récents dans le domaine du "knowledge modelling".

```
         person              house
           |                   |
           |                   |
           | instance          | instance
           |                   |
           v                   v
      person-1------------->house-1
                  bought
```

Figure 7-4: Représentation d'un simple fait par un réseau sémantique

Comme toute construction artificielle, un système de représentation possède des limites en ce qui concerne la représentation des compétences de l'objet modélisé. Dans notre contexte, un langage de représentation a deux fonctions principales: (1) la représentation des connaissances que l'on possède sur des acteurs politiques de façon à pouvoir faire (2) des inférences qui amènent vers des nouvelles représentations[24].

Une expression ou une liste d'expressions représentent un savoir formalisé. Prenons, par exemple, la phrase simple:

```
Une personne a acheté une maison
```

Elle pourrait se traduire par le triplet:

```
(bought person house)
```

Cette formule possède une lacune conceptuelle car elle ne fait pas la distinction entre la définition abstraite (comme: "une personne quelconque a acheté une maison quelconque, quelque temps dans le passé") et la définition concrète (comme: "un homme X a acheté une maison X à un moment T"). La formule ci-dessus représente donc plutôt un savoir intensionnel[25] résidant dans la mémoire sémantique tandis que des formules comme:

```
(bought-1 person-1 house-1)

(bought yesterday person Muller house "No 311a")
```

représentent des instantiations de la mémoire épisodique. Il existe donc une différence importante entre des descriptions de classes (types) de connaissances et des instantiations concrètes. La différence se détecte selon les conventions formelles utilisées dans un langage de représentation donné. Pour interpréter des expressions, il faut donc adopter des conventions comme la suivante: une expression est un *prédicat* formée de symboles simples ou d'expressions. Dans les notations pré-fixées, le premier élément dans la liste possède une fonction spéciale. Ce *symbole-prédicat* indique comment interpréter le reste de l'expression et il établit un lien parmi les éléments suivants. Ces *arguments* peuvent être des variables, des références à des objets uniques, des fonctions (qui retournent une valeur, par exemple une autre expression) ou encore des prédicats.

---

[24] On retrouve notre formule: "cognition = représentation + computation". A mettre en contraste avec la formule de la "nouvelle IA": "cognition = vie".

[25] "intensionel" au sens de la sémantique intensionnelle (manipulation de concepts sans y associer des objets concrets).

```
frame     ::==    (header
                     <term1>
                     <term2>
                     [<term>....] )
term      ::==    (<role> <filler>)
role      ::==    <constant symbol>
filler    ::==    <constant symbol> | <variable> | <frame>
```

Figure 7-5: La notation "frame" (ou "slot and filler")

Lorsqu'une formule affirme un fait, on parle d'une proposition ou d'une assertion. Une assertion doit être unique. La façon dont on veut représenter une assertion ou encore un ensemble de savoir sémantique dépend des buts du modéliseur. Reprenons notre exemple simple d'une personne qui a acheté une maison. On peut représenter ce fait par un réseau sémantique comme dans la Figure 7-4: "Représentation d'un simple fait par un réseau sémantique" [p. 317]. Ce réseau sera exprimé par les expressions suivantes:

```
(instance person person-1)
(instance house house-1)
(bought person-1 house-1)
```

Cette formule possède deux inconvénients: Primo, il faut se souvenir de la signification des positions dans chaque représentation pour pouvoir l'interpréter. Secundo, elle ne met pas suffisamment en valeur le fait qu'il s'agit d'un ensemble. Pour remédier à ce dernier problème, on peut adopter une notation qui rajoute une référence commune "transaction":

```
(instance transaction-13 transaction)
(actor    transaction-13 person-1)
(object   transaction-13 house-1)
(instance person person-1)
(instance house house-1)
```

Nous préférons en règle générale la notation "frame" ou "slot and filler" dont nous donnons la grammaire dans la figure 7-5. Elle accentue l'ensemble par rapport aux éléments. Par cette notation, on pourrait représenter le type abstrait de "transaction" comme:

```
(transaction
        (actor person?)
        (object house?))
```

Cette expression définit des relations entre des classes de symboles. Son instantiation pourrait être représentée comme:

```
transaction-13 = (transaction
                        (actor person-1)
                        (object house-1))
```

En utilisant des éléments "slot-filler" comme "(actor person?)" on peut facilement interpréter le sens d'une expression sans être trop verbeux. Les sous-expressions comme "(actor person-1)" signifient implicitement quelque chose comme "(actor transaction-xx person-1)". Finalement pour représenter dans la mémoire d'un système l'événement d'une transaction, on peut employer une "event-token representation" comme:

```
(event event-1
        (transaction
                (actor person?)
                (object house?)))
```

La notation “frame” ou des variantes sont parfois utilisées avec des moteurs d’inférence de type “chaînage avant”. Toutefois, pour des raisons d’économie de calcul, on simplifie les expressions en laissant de côté le “slot”. Dans ce cas, le sens du “filler” est déterminé par sa position dans l’expression[26]. Ce type de notation plus claire est populaire dans des modélisations utilisant des représentations et/ou des méthodes de raisonnement complexe comme par exemple l’école de “Yale” dont nous avons brièvement discuté le système “Politics” (page 167). Cette notation est proche des objets structurés de la programmation orientée objets qui se marie d’ailleurs très bien avec les systèmes de production[27].

Le but de cette section n’était pas de donner une introduction à la représentation des connaissances, après tout il s’agit du problème central de toute l’IA symbolique, mais de sensibiliser le lecteur au fait qu’il existe des conventions plus ou moins simples à lire et à utiliser mais dont il faut connaître la grammaire d’encodage. Il est également important de savoir distinguer entre un “type” qui représente une connaissance ou une relation abstraite et une “instance” qui représente un fait. Cette distinction existe dans tous les systèmes IA même si elle n’est pas rendue explicite.

“Cyc” (Guha 90) et le “Knowledge Sharing Effort” (Fikes et al. 91) sont deux projets majeurs en IA essayant de fournir des bases communes au génie cognitif. Cyc tente de construire une très large base de connaissances humaines essentielles (angl. “common sens knowledge base”), une sorte d’ontologie sur laquelle on pourrait bâtir de nombreuses entreprises du génie cognitif. Le “Knowledge Sharing Effort” est un consortium pour développer des conventions qui permettront de partager et de réutiliser des bases de connaissances et même des systèmes à bases de connaissances.

Il serait idéal, si en science politique, on pouvait mettre sur pied un groupe de travail chargé de développer des langages communs pour tout type de modélisation et si nécessaire des passerelles entre ces langages. Les systèmes de représentation constituent la pierre angulaire des systèmes à bases de connaissances et l’expressivité d’un dispositif de modélisation en dépend fortement. Des langages standardisés nous permettraient de créer des bases de données communes (comme c’est déjà le cas en relations internationales) et d’échanger des “briques” de modélisation entre chercheurs.

---

[26] Voir par exemple les règles et les faits dans notre exercice: “Simulation discrète et inférence” [p. 248]

[27] On peut citer ici les coquilles “KEE” ou “YAPS”, ou encore la “Object Oriented Production System (OOPS)”, un moteur de chaînage avant intégré à LISP/CLOS développé au TECFA, FPSE, Université de Genève (cf. Schneider et al. 93b et 93c).

7-3 Pour une nouvelle modélisation systémique

Dans cette section, nous discuterons la notion de “modélisation” d’abord au plan général et ensuite par rapport aux modélisations IA en sciences sociales et plus particulièrement celles du décideur.

Les différents paradigmes de modélisation mettent en évidence plusieurs aspects des processus modélisés. Notre position en faveur des modèles multi-paradigme ne découle pas d’une vision “oecuméniste”. Tout le monde n’a pas toujours raison. Néanmoins, lorsqu’une approche permet de modéliser de façon plus adéquate un phénomène, il ne faut pas hésiter à l’utiliser dans une modélisation hybride.

7-3.1 La notion de modèle scientifique

Quelle est la signification du terme “modèle” dans le contexte de nos préoccupations? Beaucoup de chercheurs utilisent “modèle” et “théorie formalisée” comme des termes synonymes, impliquant que toute théorie verbalisée devrait être traduite et (réduite) dans un langage formel. Ainsi le terme de modèle signifie simplement un ensemble d’expressions mathématiques décrivant formellement certains phénomènes. En mathématique et en logique, le terme de “modèle” connaît une définition plus syntaxique: un modèle est un système fermé d’expressions formelles que l’on peut déduire à partir d’une théorie.

Notre conception de la modélisation n’est formelle que dans le sens où nous désirons “travailler” avec *des formes exactes*. Notre but est de trouver des procédures et des descriptions symboliques qui imitent un “vrai” processus cognitif et de “vrais” processus de communication. Ces processus et ces descriptions sont des formes qui opèrent sur des formes et qui sont programmées par des formes. Dans ce sens seulement, nos modèles seraient formels au sens strict; c’est-à-dire la fonction d’une expression dans un modèle est déterminée par sa forme et par l’usage qu’en font d’autres formes. Le tout possède une certaine logique qui toutefois n’est pas nécessairement fermée ni cohérente. Un modèle est donc une description d’une “machine” en quelque sorte à l’aide d’un langage utilisant des formes exactes. En d’autres termes: *un modèle devrait être “exécutable” par un ordinateur*.

Outre ce critère de “computabilité”, notre définition de la modélisation n’est pas du tout formelle. Nous ne voyons aucun intérêt à décrire les acteurs humains ou collectifs comme des systèmes axiomatiques fermés. Ils n’agissent pas selon ces principes. Les deux définitions de “modèle” (l’une d’inspiration quantative des sciences sociales et l’autre logique) ne couvrent pas non plus cette notion telle qu’elle est utilisée dans la pratique par la plupart des chercheurs. La plupart des “ensembles de connaissance” cohérents [28] sont en fait appelés “modèle” en science sociales. Evidemment, cette utilisation du terme le dilue un peu et enlève de sa force mais par contre implique un meilleur rapport du modèle avec l’empirique. En effet, limiter la notion de modèle à des formalismes stricts aurait pour conséquence de laisser une grande partie du corps théorique associé à un modèle résider à l’extérieur et qu’elle serait donc en partie oubliée.

Un exemple typique est fourni par la théorie des jeux. Un modèle de conflit et de coopération comme le dilemme du prisonnier n’existe pas sans les présuppositions théoriques qu’on fait sur les joueurs, la communication entre eux, la possibilité de répéter, leurs capacités “stratégiques” et ainsi de suite. Suivant ces présuppositions, le contenu de ce jeu peut changer complètement de sens et de logique. Certains de ces éléments qui devraient faire partie du modèle sont formalisables, d’autres ne le sont pas facilement. En résumé donc, si on limite le concept de modélisation au seul contenu des modèles mathématiques, on exclut des phénomènes du modèle. Elles font partie de la modélisation et il faut éviter d’oublier par quelles présuppositions et contraintes externes le modèle fonctionne.

Nous sommes d’accord avec Stachowiak (65): il faut définir le terme de modèle à la fois analytiquement et empiriquement. Une première analyse de Stachowiak (65) propose trois caractéristiques ou fonctions principales que possède un modèle en science sociales.

1. La fonction de **représentation**: les modèles sont toujours des modèles de quelque chose. Ils représentent des originaux naturels ou artificiels qui eux-mêmes peuvent être des modèles. Ces originaux ont des propriétés systémiques. Ils constituent donc des “tous” (angl. “wholes”) que l’on peut, au moins potentiellement, décrire comme jeu d’éléments et leurs inter-relations. Autrement, il est inintéressant de construire un modèle.
2. La fonction de **réduction**: un modèle ne représente pas toutes les propriétés de l’original mais - espérons-le - seulement celles qui sont intéressantes au plan de la recherche. Il va de soi (pour les adeptes d’un paradigme non-positiviste) que l’original constitue lui-même déjà une sorte de modèle pré-scientifique. On doit donc parler d’une double réduction.
3. La fonction **subjectivisante** (all. “Subjektivierungsfunktion”): un modèle ne possède jamais une relation “naturelle” avec l’original. Il modélise quelque chose *pour* quelque chose, c’est-à-dire qu’il sera ins-

---

[28] All. Erkenntnisgebilde, cf. Stachowiak 65:436

trumental pour certains actes ou pensées à un moment donné. En d'autres termes, l'interprétation d'un modèle doit se faire par rapport à son but et à son usage.

Ces fonctions ou caractéristiques de Stachowiak montrent que les questions ontologiques et épistémologiques sont fortement interdépendantes. La nature du modèle "naïf" que se construit l'acteur ordinaire (comme le décideur politique) ne diffère pas fondamentalement de celle du chercheur à ce niveau d'analyse. En tant que personnes ordinaires, nos rapports avec le monde sont également fondés sur des sortes de modélisations. Ainsi, toute recherche en perception et cognition (telle qu'on la retrouve en psychologie cognitive et en intelligence artificielle) est également une sorte d'épistémologie appliquée. L'objet de recherche (le modèle) est construit, ou comme le dit Le Moigne (84:22): "modéliser, c'est instrumenter". La différence entre le modèle "naturel" d'un décideur et le modèle scientifique est, notamment, que nous devons construire ces instruments d'une façon explicite.

Le rapport entre le modèle et son "original"

On peut définir des classes de modèles suivant leur relation avec l'original, c'est-à-dire par rapport à ce qu'ils représentent. Nous distinguons une dimension "de comportement" (est-ce que le modèle se comporte comme l'original?) et une dimension structurelle-fonctionnelle (dans quelle mesure sont-ils construits de façon similaire?). Ces deux dimensions existent en règle générale dans tous les modèles en sciences sociales, mais l'aspect "comportement" tient une place prépondérante. [29]

Modéliser implique de construire une image qui ressemble par quelques aspects à l'objet d'étude (cf. Stachowiak 65:439ff. et Le Moigne 84:75ff.). En d'autres termes, il doit exister une sorte **d'analogie**. On peut distinguer **l'analogie formelle** et **la similarité qualitative**. Il existe une analogie formelle s'il y a des équivalences structurelles et relationnelles entre un modèle et son original. Stachowiak (65:439) distingue les cas suivants:

1. L'homomorphisme, une correspondance surjective (angl.: one to many mapping): L'idéal du modéliseur est ce type-là. A chaque élément du modèle correspond un ensemble exact d'éléments de l'original.
2. Modèles ayant des traits supplémentaires, une correspondance "un à plusieurs", mais complétée par d'autres éléments: typiquement, un modèle ne modélise pas seulement une classe de propriétés bien définie que l'on retrouve dans l'original, mais il contient du "bruit". Cette situation représente le cas normal en sciences sociales.
3. Le polymorphisme, une correspondance "plusieurs à un": dans ce cas, le modèle est plus riche que l'original, c'est-à-dire que l'on peut réduire des ensembles d'éléments du modèle à des éléments singuliers de l'original. Ce cas n'existe pas en sciences sociales.
4. L'isomorphisme, une correspondance bijective: il s'agit ici du modèle formel idéal. A chaque élément de l'original correspond un élément du modèle et inversement. Deux objets isomorphes décrivent en fait la même chose avec des langages différents. Cette classe de modèles est très intéressante pour certains types de recherche en sciences mais un tel modèle ne réduit rien et on n'arrive plus à gérer la complexité.

L'analogie formelle est concernée avant tout par les relations formelles entre quelques éléments. La similarité **qualitative** par contre est plus concernée par l'essence (le "Was-Sein") de l'original. Les modèles en sciences sociales cherchent à être homomorphes, les analogies qualitatives[30] n'ont pas beaucoup d'importance.

Les modèles contre-factuels sont un cas spécial du modèle homomorphique. Ils modélisent un phénomène en modifiant certains éléments afin de savoir comment il se comporte sous ces a-priori. Il existe plusieurs variantes. Lors d'une simulation d'un système, par exemple, on peut modifier quelques valeurs de paramètres, la nature des relations entre éléments, voire même la structure des relations. Normalement, une telle analyse possède comme points de départ des questions théoriques bien précises.

Les modèles scientifiques

Les modèles scientifiques constituent une classe particulière de modèles, même si leur fonction principale - c'est-à-dire l'organisation de cd que l'on sait sur quelque chose - reste la même partout. Un modèle est toujours un modèle de quelque chose (principe de similarité) pour quelque chose (principe d'utilité). Leur objectif pratique est un gain de connaissance scientifique. Dans la pratique scientifique, on peut dire qu'il y a modèle si le modèle permet de savoir quelque chose de plus sur l'original. En règle générale, en sciences sociales, un modèle a plutôt un statut *constructif* qu'explicatif-analytique. On exige également d'un modèle qu'il soit plus

---

[29] Evidemment, il ne faut pas les confondre avec les modèles behavioristes. Un bon modèle de décideur essaye de tenir compte des processus internes de décision. Un modèle behavioriste pur ne modélise pas vraiment un organisme, mais il décrit ou prédit une certaine classe de son comportement avec un langage dont on peut dire qu'il peut être choisi au hasard. Ces modèles ne sont pas d'un très grand intérêt pour nous étant donné qu'ils n'arrivent pas expliquer comment et pourquoi une personne agit. Par contre, il est tout à fait utile d'utiliser ces boîtes noires pour la modélisation de certaines parties d'un système pour lesquelles seul le comportement entrée/sortie est intéressant. De plus, dans pas mal de cas, il n'est pas possible d'accéder aux structures internes et dans ce cas, il nous faut tenter de modéliser ce que l'on peut appeler les "boîtes noires intentionnelles", c'est-à-dire un modèle qui tente au moins de décrire les buts d'un système et de faire des hypothèses sur ses structures internes vitales.

[30] Un exemple d'un modèle qualitativement analogue est par exemple la simulation d'une rivière dans un modèle réduit de type "bac à sable".

précis que la description “naïve” de l’original et qu’il soit plus simple à manier.

La plupart des chercheurs en sciences sociales seraient sans doute d’accord avec cette définition minimale. Mais il n’existe pas de consensus sur la place et la nature exacte de la modélisation en sciences sociales. Selon notre perspective de travail, il s’agit de construire des propriétés structurelles et fonctionnelles d’un objet de recherche. Ensuite, on tire des conclusions analogiques sur la réalité en analysant la structure et en observant le comportement du modèle. Etant donné la circularité de ce procédé, la phase de construction du modèle est tout aussi importante que son utilisation. Modéliser veut dire construire un langage pour parler de la réalité que l’on ne connaît pas. Le processus de construction est itératif et essaie de rapprocher en quelque sorte le modèle de son original.

Ceci réitère bien notre conviction épistémologique: *l’essence de la connaissance ne peut pas se fonder sur quelques fonctions explicatives. La connaissance se crée en construisant des systèmes qui reflètent les propriétés essentielles de l’objet et ses relations avec l’environnement.* Un modèle constructiviste peut être utilisé à des fins prédictives, mais le modèle entier ***lui-même*** constitue l’explication et non pas quelques variables indépendantes. Le Moigne (78-86) utilise la notion de systémographie pour nommer l’art de construire un modèle dans le sens de la théorie générale des systèmes.

Un modèle de décideur ou d’une classe de décideurs doit posséder les deux ancrages empirique et théorique. Il doit posséder une grande isomorphie avec notre image générale du décideur et il doit être homomorphe aux phénomènes auxquels nous nous intéressons. L’homomorphie entre le modèle et l’original ne peut être vérifiée, mais elle peut être testée en quelque sorte dans un sens Poppérien vague. Il faut se contenter de faire des correspondances entre “données” et certaines parties du modèle. Nos modèles ne seront pas des “black-box”, mais beaucoup de ses composantes représenteront des connaissances pour lesquelles on ne possède pas d’accès direct. L’isomorphie avec un modèle général peut être décidée beaucoup plus facilement. La validation empirique par des données sera toujours plus difficile que la validation théorique puisque le rapport du modèle avec le monde n’est pas direct. Il s’agit d’un langage pour parler du monde et non pas d’une collection contrôlée de mesures.

7-3.2 La formation inductive de théories et les données “soft”

La modélisation IA ainsi que d’autres approches systémiques procèdent de façon inductive. Cela amène à deux problèmes bien connus de la théorie de la modélisation inductive:

1. Le modéliseur-cogniticien n’est pas un arbitre neutre entre les sources de connaissances (données) et les instruments pour construire un modèle.
2. Les connaissances humaines ne sont pas accessibles directement. En termes de psychologie d’information, la mémoire à long terme est uniquement accessible par des fragments de la mémoire à court terme (ou par ses portions activées si on préfère un autre paradigme).

En d’autres termes, beaucoup de données dans le génie cognitif sont toujours “faibles” (angl.: “soft”). Elles doivent être engendrées et sont difficilement validables dans les détails et à travers les sujets. Il faut distinguer les problèmes de l’élicitation des connaissances de ceux de l’analyse et de la formalisation des connaissances. Dans l’élicitation, il est important d’obtenir des données valables (angl. “reliable”) et dans l’analyse et la formalisation, il faut transformer et organiser ces données sous une forme théoriquement intéressante. Un processus cognitif est toujours une performance (comme tous les critiques de l’IA nous le font remarquer) qui ne dit pas grand chose sur la compétence. En d’autres termes, la mémoire humaine n’est pas accessible à l’interrogation, mais elle peut être sondée et la trace du sondage peut être analysée de façon méthodique. Une remarque similaire est vraie pour l’analyse de documents écrits et les enregistrements non-intruisifs (non gênantes) de comportements: un texte (au sens large du terme) n’explicite rien sur son producteur et sur les processus de production, mais il peut donner des indices importants.

Dans tous ces cas, il est important de suivre une approche pluri-disciplinaire permettant d’augmenter les contraintes théoriques et pratiques afin de diminuer l’incertitude. Nous sommes d’accord avec cette affirmation de Laske (86:263): “

> Data does not lie around just to be picked up. To produce data entails having a theory. When building a theory of expert behavior -- either a microtheory of a single expert, or a macrotheory of a "representative expert" -- one by necessity entertains at least the following theories:
>
> 1.A theory of the functional architecture of the human expert as an information processor
>
> 2. A model of the expert's verbalization process in its relation to ongoing information processing.
>
> 3. A theory of the cultural and physical task environment of the expert.
>
> 4. A theory of the internal representation of the task environment (= problem space) as reflected in the expert's verbalization.

Il faut ajouter les théories qui dépassent un domaine d’observation particulier. En ce qui concerne notre modélisation “P-Lex” (cf. page 207 ff.), on peut citer les théories sur la mise en oeuvre des législations. De bonnes méthodes inductives nous donnent toujours des données d’une bonne qualité en ce qui concerne la performance (de ce qui a été observé). Mais cette approche néglige par définition “tout ce qui est possible”. A ce niveau, des théories complémentaires doivent intervenir pour assurer une meilleure portée d’une modélisation. La méthode empirique doit favoriser des protocoles pas trop intruisifs (comme la pensée à voix haute). Laske (86:270-71) prétend ainsi que les données ne sont pas interprétées dans le "thinking aloud" et que la mémoire à long terme est sondée indirectement et de façon non-contaminée. Dans le cas de questions dirigées, la mémoire à long terme serait directement sondée, mais de façon contaminée. Cette méthode servira donc principalement à compléter ou à valider un modèle de compétence [31]. Sans entrer dans les détails de cette discussion, il nous semble simplement important de rappeler que la façon dont on collecte les données doit être adaptée à la fonction qu'auront les données. En somme, la théorie inductive doit veiller:

- à collecter les données qui serviront à la formation de théories de façon peu intruisive et "large";
- à solidifier la théorie inductive par un maximum de sources (théoriques et autres);
- utiliser plusieurs méthodes pour attenuer les faiblesse de chaque méthode individuelle (cf. Kleinmuntz 87:142).
- à procéder à des tests de validation par les méthodes appropriées.

7-3.3 Vers les modèles multi-paradigmes

Nous avons montré a plusieurs endroits la tension qui existe entre un idéal de modélisation et le résultat, ou encore entre la prétention théorique d'une approche et la réalité empirique. Un modèle est un compromis. Etant donné que tout modèle sérieux de toute approche épistémologique produit un gain de connaissances ("anything goes"!), il faut choisir un type d'approche en fonction du type de connaissances que l'on veut acquérir avec un modèle, en fonction des ressources, des données à disposition, etc. Il est clair que les fonctions d'évaluation de leur validité interne et externe ne seront pas les mêmes. Chaque démarche épistémologique suit ses propres règles et possède ses propres problèmes qu'il faut connaître et atténuer.

Il nous paraît extrêmement important de savoir tirer avantage de plusieurs types de modélisations au lieu de s'enfermer dans des guerres de tranchées. Ces guerres ont certainement leur utilité car elles permettent de faire évoluer les paradigmes. En ignorant les critiques des autres, on diminue énormément la complexité d'un problème, et au bout d'une décennie une grande victoire de l' "adversaire" force quand même à adapter ses stratégies. Toutefois, une meilleure coopération entre les paradigmes de l'analyse systémique, de l'intelligence artificielle, des sociologies "subjectives" à la Weber, de la psychologie d'information, etc. serait bienvenue dans le cadre de displines-tiers qui utilisent leurs techniques. L'analyse du décideur politique nous semble être un cas exemplaire pour le multi-paradigmatisme. En effet, ce qui nous intéresse, c'est l'augmentation de nos connaissances, et pas la méthode en soi. Examinons quelques avantages de la modélisation IA et comment ils s'intègrent à d'autres approches:

---

[31] Nous ne partagons pas totalement cette vision. Le "thinking aloud" est sans doute intruisif, mais moins que les questions dirigées.

1. Proximité empirique, structurelle et fonctionnelle avec le sujet modélisé: En science politique, une distance et un degré d'abstraction plus élevés sont nécessaires pour garder une certaine généralité et aussi pour ne pas se perdre dans des détails qui rendent impossible l'aboutissement de la recherche. Ainsi nous pensons que les techniques utilisées pour les systèmes expert sont plus adaptées à nos besoins que des modèles plus sophistiqués mais plus difficiles à manier. Il est important qu'un modèle reste inspectable, extensible et contrôlable.
   Par contre, il devient parfois utile d'abandonner la méthode IA. Ainsi dans les sections 6-2 "La modélisation de l'environnement" [p. 243] et 6-3 "La modélisation d'objets et d'acteurs" [p. 253], nous avons montré l'utilité des méthodes plus simples et plus abstraites pour modéliser l'environnement du décideur.
2. Les modèles IA sont formels et dynamiques, ils sont composés d'objets et de relations ayant une structure syntaxique précise qui modélisent des processus. L'idéal IA veut que toute la théorie soit incorporée dans un système informatique. Là aussi, il faut nuancer. Plutôt que de "fermer" une théorie, il faut accepter l'idée que les théories purement verbales peuvent et doivent compléter un modèle informatique. Même en IA, il existe certaines publications célèbres comme la "society theory of mind" (Minsky 79 et 88) qui n'ont jamais été implémentées sur ordinateur, ne serait-ce que partiellement. Elles ont toutefois eu une influence importante sur la recherche. Une comparaison peut être faite avec les "Nerves of Government" de Deutsch (66) qui était une sorte de précurseur de ce qu'on fera peut-être dans les années 2000 [32]. Toutefois, nous pensons qu'il est temps de tenter des modélisations sur une large échelle, qui, à cause du manque de ressources, n'ont pas encore vu le jour en sciences politiques[33].
3. Les modèles IA nécessitent en principe une compréhension totale du processus à modéliser: la critique de l'IA montre qu'il s'agit ici d'un but trop ambitieux. Il n'y aurait probablement jamais compréhension totale d'un phénomène, entre autre parce qu'un tel modèle devrait être presque aussi complexe que le phénomène lui-même. Etant donné que l'accès aux données est difficile et que les ressources en hommes sont faibles, il faut parfois se résigner à l'utilisation de modèles analytiques. Toutefois, en ce qui concerne la modélisation du décideur, on ne voit pas trop l'intérêt des modèles rationnels empruntés à l'économie. Les

---

[32] Il convient de noter que la communauté de la "modélisation globale" a bien amorcé ce travail. A titre d'exemple nous citons le modèle GLOBUS (Bremer 87) et le modèle SIMPEST (Allan et Luterbacher 92). Le sous-modèle SIMSWISS (Allan et Luterbacher 92: 106-119) inclut, par exemple, une modélisation de la budgétisation des dépenses par un "secteur gouvernemental" en fonction du support de la population qui lui, est fonction de la situation économique.

[33] Les nouvelles neurosciences qui doivent faire face à des problèmes de complexité similaire à ceux des sciences d'information semblent avoir réussi ce pari. Citons par exemple Edelman qui a réussi à obtenir un budget de 100 Mio US$ pour son programme.

travaux de l'école "quasi-rationnelle" (Gallhofer et Saris 79, Karlsson 89, Svenson 79, Kleinmuntz (87), etc.) nous semblent beaucoup plus intéressants. Les modèles analytiques peuvent abstraire ou simplifier au maximum, mais l'adoption de fausses prémisses ne nous semble être utile que dans le cadre de la philosophie politique (par ex. le "public choice", l'analyse contre-factuelle de la théorie des jeux) ou encore dans le cadre de prescriptions normatives (systèmes d'aide à la décision).

4. Un modèle IA doit être exécutable afin de pouvoir être testé intensivement. Cette caractéristique que l'IA partage avec certaines autres approches nous semble importante. Un modèle sans données (comme il en existe beaucoup dans la théorie du choix rationnel) pose des problèmes car il est difficile d'évaluer sa portée au-delà de la recherche d'idéal-types. Le canal "données - modèle" doit être bi-directionnel, sinon la communication entre chercheurs n'est pas garantie. La faiblesse des modèles IA est leur capacité de prédiction. Il s'agit en effet plutôt de modèles descriptifs ou performatifs, faisant souvent abstraction des principes qui engendrent en profondeur des comportements étudiés. Cette faiblesse n'est pas à notre avis un problème inhérent, mais découle du fait que ce type de modélisation n'en est qu'à ses débuts en science politique.

La plus grande faiblesse de la modélisation IA est sans doute la négligence très fréquente de l'environnement [34] ce qui a provoqué le "symbol grounding problem" (cf. "Le problème de l'ancrage des symboles" [p. 293]). Tout le monde s'accorde aujourd'hui sur l'utilité, voire sur la nécessité de modéliser l'environnement, proposition que nous faisions aussi dans le chapitre 6 "Le décideur, son organisation et son environnement" [p. 237].

Les différentes paradigmes de modélisation permettent de mettre en évidence différents aspects des processus modélisés. Notre position en faveur des modèles multi-paradigme ne découle pas d'une vision "oecuméniste". Tout le monde n'a pas toujours raison. La rivalité entre approches est nécessaire pour leur progrès et celui de l'ensemble. Néanmoins, lorsqu'une approche permet de modéliser de façon plus adéquate un phénomène, il ne faut pas hésiter à l'utiliser dans une modélisation hybride.

---

[34] Notons toutefois, que la "nouvelle IA" a complètement renversé ce fait. En effet, elle construit des boîtes d'entrée/sortie sans aucune connaissance préalable. Au départ, ses "insectes" (cf. par exemple Pfeifer et Verschure 92, Brooks:91, Kuipers:91) n'ont qu'une architecture à capacité auto-organisatrice qui ne se développe que grâce à l'environnement.

chapitre 8 Applications pratiques

Toute recherche sur les méthodes doit aussi s'interroger sur l'utilité de ces méthodes pour la pratique politique. La tâche de la science politique n'est pas uniquement d'étudier des phénomènes politiques, mais également de proposer des améliorations. Nous nous interrogeons sur la possibilité de mieux former nos décideurs et nous discutons brièvement les outils d'aide à la décision.

Nous estimons que notre démarche est également utile sur le plan pratique.

8-1 Le problème: le déficit de décision

Nos sociétés modernes semblent connaître un déficit de décision et certains décideurs politiques un certain déficit cognitif. Si c'est le cas il existe trois méthodes pour y remédier: (1) améliorer les conditions de décision, (2) améliorer le décideur et (3) améliorer les outils de décision.

Presque tout le monde s'accorde à démontrer qu'il existe des problèmes de gestion dans nos sociétés modernes. La politique actuelle a tendance à diviser les problèmes de décision et à les confier à des sous-systèmes qui codifient les méthodes de résolution de problèmes à leur manière (Luhmann:82) en sélectionnant (ou définissant) la partie du problème qui les intéresse (Luhman 73:55-86). Cette méthode du "muddeling through" organisée ne fonctionne pas trop mal, mais elle a l'inconvénient de multiplier inutilement les unités administratives et la "densité" des règles qui sont souvent en contradiction "politique" entre elles [1]. L'autre alternative moderne, le néo-libéralisme ne tombe pas dans ce piège, mais la confiance dans les "capacités auto-régulatrices du marché" augmente le coût social et écologique des non-décisions. Aujourd'hui, les solutions proposées face à des problèmes globaux ne sont que rarement globales.

Pratiquement toute la littérature empirique de la décision en psychologie expérimentale et/ou cognitive [2] s'accordent à montrer la rationalité très limitée des décideurs humains. En même temps, la société devient de plus en plus complexe. Face à ces constats, on peut d'abord se poser la question, si c'est vraiment grave. L'analyse politique montre en effet que le système politique peut s'adapter quelque peu à ce phénomène:

1. Le décideur politique de haut niveau s'entoure de plus en plus d'un "staff" dont la principale fonction est de gérer l'information et d'interfacer le décideur avec l'administration et avec d'autres corps politiques. Par ce système, le décideur est censé surveiller à son tour la gestion de l'information par ses conseillers et de faire des choix. Evidemment, il s'expose au danger du filtrage d'information. Le choix d'un bon outil de coopération pourrait quelque peu remédier à ce problème.
2. Le système politique se différencie d'abord verticalement en revalorisant les niveaux régionaux et internationaux et ensuite horizontalement par domaine. Cela fonctionne bien pour toute problématique isolable, mais pose de grands problèmes en ce qui concerne les problèmes multifacettes (chômage) ou multi-niveaux (dépôts de déchets, problème des réfugiés).
3. Un corollaire au point précédent est l'affirmation que, dans un système démocratique, les sous-systèmes peuvent faire valoir leurs intérêts, si nécessaire avec violence (paysans, jeunes), pour obtenir un compromis plus ou moins viable. Cette affirmation est sans doute partiellement juste, mais elle se revèle fausse lorsqu'elle concerne des phénomènes exponentiels (écologie), lorsque ca concerne les faibles (pays en voie de développement) ou lorsque le "public choice" implique des conflits entre les préférences (besoins d'argent de l'Etat et appauvrissement de la classe moyenne productive). Encore dans le même sens: l'Etat démocratique moderne n'est pas réformable, mais il se réorganise lorsqu'il y a une vraie crise. (Le "New Deal, les "miracles Allemands et Japonais", "Mai 68", etc.)

Cette liste non-exhaustive montre que les problèmes politiques ne peuvent pas être uniquement attribués aux (in)capacités des décideurs politiques. Ainsi on lie souvent les problèmes de décision à des facteurs externes (comme la "politique télévision", la puissance des groupes de pressions qui jouent des jeux individualistes comme le "MaxiMin", ou encore l'effet accumulatif des arguments négatifs dans les démocraties directes ou le systèmes d'élections majoritaires). Même un bon décideur doit se plier en grande partie à la logique d'un système. Pourtant, le fait que l'on distingue intuitivement et parfois méthodiquement de bons et de mauvais décideurs (surtout au niveau collectif), montre que le décideur a toujours un rôle à jouer. Lorsqu'on observe les gouvernements modernes, il est parfois tenté de faire référence aux pathologies de Dörner discutées dans la section 3-5 "Le modèle "Lohhausen"" [p. 91] [3].

---

[1] Voici un exemple tiré du problème de l'acquisition des immeubles par des étrangers: Cette législation a bien réglé le "problème" des acquisitions, mais pas celui de l'aménagement du territoire. La construction des "Jumbo-Châlets" en Valais par exemple a été fortement stimulé par les dispositifs de la Lex Furgler. Le problème du développement économique des montagnes a aussi été en conflit avec cette législation (comme le financement des HLM dans le Canton de Genève).

[2] Cf. notamment les travaux de Tversky et Kahneman qui sont fréquemment cités dans les travaux non-normatifs sur la décision.

[3] Ici, nous n'avons pas l'intention d'étudier la nature exacte de ces déficits de décision. Toutefois, on peut, par exemple, formuler l'hypothèse que certains ne sont pas aussi inévitables (imposés par la nature du système politique et de la société moderne), mais plutôt induits par le mécanisme de sélection de l'élite politique qui produit certains types de décideurs qui à leur tour imposent leur fonctionnement aux autres. L'absence, en Suisse, de conseillers féderaux "profilés" démontre ce principe. Voici encore quelques observations qu'un observateur naif pourrait formuler: (a) Certains systèmes politiques ont tendance à réduire les problèmes à un problème central: Angleterre (l'économie), France, Espagne et Italie (luttes d'influences internes). (b) Certains gouvernements comme celui de la Russie, produisent des décisions "aléatoires" et des changements de direction à court terme répétitifs. (c) Certains systèmes comme la Suisse sont léthargiques. Ces trois exemples indiquent l'existence de problèmes et il faudrait des analyses comparatives plus poussées pour en déterminer les causes.

Evidemment, il est très difficile de savoir si on peut vraiment former de meilleurs décideurs politiques. Ainsi, on peut formuler le souhait que non seulement la formation des décideurs soit améliorée, mais que le processus de sélection favorise des politiciens selon leur capacité de décision et non pas selon des critères de capacité pour la lutte politique interne. Il n'est ni possible ni souhaitable qu'ils aient à passer un test de type "Lohhausen" (section 3-5, p. 91), mais il serait bon que le public et surtout la presse soient éduqués pour examiner le "track record" d'un politicien en fonction des capacités nécessaires pour gérer un système complexe. Cela peut se faire en enseignant la systémique dans les écoles secondaires et en mettant sur pied des formations sur la décision adaptées aux décideurs de haut niveau. En dernier lieu, un décideur polyvalent a sans doute plus de chances de réussir. Comprendre au moins les langages principaux (un peu de Droit, d'économie, de politique, de technique) réduira fortement la charge cognitive lorsqu'on est confronté aux problèmes "multi-dimensionnels" de la politique [4].

Résumé

Face à ces problèmes, il existe trois types de solution:

- Amélioration des conditions de décision: ce problème relève plutôt de la théorie politique et de la théorie de l'organisation et il ne sera pas traité ici. La seule remarque qu'il convient de faire ici, c'est qu'il est important de donner au décideurs politiques les moyens de faire une politique "honnête" (pour bien préciser les problèmes), "globale et multifacteurs" (pour ne pas s'attaquer uniquement aux sous-problèmes et aux symptômes) et à "long-terme" (pour pourvoir gérer la lenteur relative de l'environnement).
- Amélioration des outils de décision: la charge cognitive des décideurs est aujourd'hui sans aucun doute dépassée par la masse d'informations à gérer. Il faudrait sérieusement poursuivre l'étude des outils d'aide à la décision et d'aide à la collaboration. Il existe de plus en plus d'outils informatiques utilisés par les décideurs des grandes entreprises qui commencent à faire leurs preuves. [5]
- Amélioration des décideurs: tout le système de formation (et surtout dans les écoles et les universités) est aujourd'hui centré sur la résolution de problèmes relativement bien définis. Il est important d'offrir (surtout au niveau des formations continues), la possibilité d'apprendre à gérer des situations de résolutions de problèmes dans un environnement complexe.

---

4. On peut formuler l'hypothèse, que la bonne marche relative du système Suisse peut être attribuée à la formation généraliste dans nos lycées et à l'immersion "pratique" de notre élite politique. Elle n'est pas un argument contre une plus grande professionnalisation de nos parlementaires mais encourage une rotation des élites entre économie, administration(s), recherche et politique. Désavantageux au plan "indépendance de la politique", cette rotation est nécessaire au plan cognitif. Sans avoir fait quelque chose dans un domaine, on n'y comprend pas grand chose.
5. Nous y reviendrons brièvement dans la section 8-3 "Systèmes d'aide à la décision" [p. 351] de la conclusion.

8-2 La formation des décideurs

L'avenir de nos sociétés se jouera sans doute en bonne partie sur les efforts consentis à la formation. Le déficit de décision semble être en augmentation aujourd'hui. Ainsi faudra-t-il (entre autre) tenter d'améliorer la formation de nos futurs décideurs.

Nous présentons ici une voie possible qui repose sur les techniques de simulation et de l'IA. Il s'agit d'environnements d'apprentissage de la décision complexe, composés d'un "micro-monde", d'une interface structurée, et d'agents pédagogiques.

8-2.1 Les principes de l'enseignement et de l'apprentissage

Enseigner et apprendre se résument à deux principes de base:

1. on apprend en faisant quelque chose (psychologie),
2. on apprend en poursuivant un but pédagogique (science de l'éducation).

Un environnement d'apprentissage doit tenir compte de ces deux perspectives. Si on veut former de futurs décideurs, il ne suffit pas de leur donner des "manuels de décision". Il ne suffit pas de "lire" quelque chose pour savoir faire. Il ne suffit même pas d'être en mesure de reproduire les théories et "recettes" de la décision, mais il faut maîtriser la décision dans un contexte simulé de décision qui ressemble structurellement aux types de situations que le décideur va rencontrer plus tard. Puisqu'ils mettent l'apprenant "en situation", les environnements d'apprentissages modernes sur ordinateur peuvent jouer un rôle important dans la formation de la décision.

La conception de logiciels éducatifs a pris une tournure importante cette dernière décennie à la suite d'avances techniques et des changements intervenus dans les théories d'apprentissage et d'enseignement. Un environnement d'apprentissage avancé se caractérise par des éléments tels que:

- la multiplicité de styles d'enseignements (la même matière peut être enseignée de façon diverse, et pour certaines matières, il existe des styles préférables);
- la multiplicité de sources d'apprentissage (expériences, "coaching", exploration d'hypertextes, simulations, etc...);

- l'utilisation d'interfaces riches qui autorisent des manipulations directes d'objets;
- l'utilisation de techniques d'intelligence artificielle pour l'intégration d'experts et de tuteurs qui aident à résoudre des problèmes ou qui permettent d'intégrer des raisonnements pédagogiques.

On peut distinguer deux approches fondamentales du logiciel éducatif:

- l'approche **micro-monde**, fondée sur l'exploration par l'apprenant d'une situation-problème bien définie;
- l'approche **tutorielle**, fondée sur la mise en oeuvre d'agents dotés, soit d'une expertise quant au contenu à enseigner, soit d'une expertise pédagogique.

Ces deux approches reposent sur différentes théories de l'apprentissage, le constructivisme pour l'approche micro-monde, le comportementalisme 'évolué' ou l'approche socio-culturelle pour le mode tutoriel. Nous considérons que ces théories ne s'excluent pas mutuellement mais éclairent chacune le processus complexe d'apprentissage sous un angle particulier.

Les théories d'apprentissage sont très divergentes, mais presque toutes sont d'une certaine utilité pour définir les propriétés d'un bon dispositif d'apprentissage. Voici quelques idées clés:

- l'apprentissage doit avoir lieu dans un conditionnement externe optimal (behaviorisme);
- l'apprentissage est lié à la résolution active de problèmes et concerne l'intégration, la construction et la compilation de nouvelles connaissances (cognitivisme);
- l'apprentissage est sous contrainte des capacités cognitives humaines (psychologie cognitive).

Voici en somme les qualités qu'un dispositif d'apprentissage de la décision devrait posséder:

- L'apprenant doit être actif (sinon il ne saura pas "faire" dans l'avenir).
- L'environnement d'apprentissage doit être construit comme un environnement de travail complexe et riche. Il doit refléter les propriétés essentielles de ce qui doit être appris (sinon on apprend autre chose),
- L'environnement doit être structuré en fonction des capacités de l'apprenant. La richesse de l'environnement d'apprentissage est une qualité mais ne doit pas décourager ou désorienter un apprenant.
- Un environnement d'apprentissage doit incorporer des tuteurs et/ou des experts qui peuvent assister l'apprenant. Autrement, il faut prévoir un support pédagogique externe au logiciel.

En somme enseigner et apprendre impliquent un dispositif d'apprentissage complet (Sandberg 94:225) comme on le retrouve dans la figure 8-

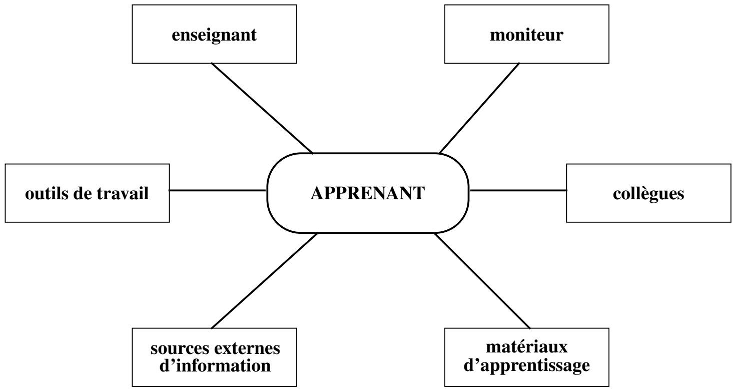


Figure 8-1: Les composantes d'un environnement d'apprentissage

1. Ces composantes dénotent des *fonctions* que l'on peut retrouver sous différentes formes:

1. L' "enseignant" a comme rôle de guider et/ou d'instruire l'apprenant
2. Le "moniteur" s'assure que l'apprenant apprend quelque chose. Ce rôle peut être rempli par un enseignant, par l'apprenant ("self-control") ou par un programme qui teste ou évalue les connaissances
3. Les "collègues" permettent d'améliorer la vitesse d'apprentissage. La discussion favorise la clarification des concepts par exemple.
4. Les "matériaux d'apprentissage" font référence à tout ce qui doit être appris (savoir statique, savoir-faire). Sur ordinateur, cela peut être des hypermédia exploratoires, des leçons et tâches communiquées, des simulations, des environnements de résolution de problème, etc.
5. Les "sources externes d'information" concerne tout ce qui n'est pas directement mis à disposition (par exemple la bibliothèque)
6. Les "outils de travail" font référence à tout ce qui peut aider le processus d'apprentissage autre que le matériel d'apprentissage (par exemple traitement de texte, papier et crayon, calculateur, etc.).

Dans ce dispositif, l'ordinateur joue un rôle croissant, surtout dans les domaines où il peut compléter le rôle de l'enseignant et fournir des matériaux d'enseignement d'un nouveau type:

1. Extension de la mémoire: comme la calculette, il devient un outil pour exécuter certaines tâches ou pour manipuler certains objets, activités qui n'auraient pas été possibles autrement. Ce rôle n'est pas spécifique

à l'apprentissage, cette fonction de "laboratoire artificiel" est accomplie dans bien d'autres contextes.
2. Medium d'apprentissage: presque identique au plan fonctionnel, le programme peut servir au développement de capacités cognitives et de connaissances. Dans ce cas, on se servira du programme également comme "prothèse intellectuelle", sauf que l'on peut la jeter après usage (un peu comme les expériences en physique illustrant un principe théorique aux élèves).

L'intelligence artificielle n'a pas de rôle en particulier par rapport à l'informatique traditionnelle, à part le fait qu'elle a mis définitivement un terme aux tendances mathématisantes de l'informatique appliquée et qu'elle a permis de comprendre l'ordinateur comme un outil généralisé de mise en oeuvre de processus symboliques. Un programme est donc un médium computationnel de représentation qui doit son existence au "New expressive power through new expressive means" (Hill 89:29).

Ces quelques éléments suffisent pour comprendre d'une part que la mise à disposition d'un environnement d'apprentissage utile et efficace n'est pas simple et d'autre pourquoi quelqu'un de bien formé à l'université (par exemple) n'est pas opérationnel dans la pratique. Si on veut former des décideurs, il faut les former ou bien dans la pratique ou bien dans un environnement qui simule la pratique en ce qui concerne les propriétés qu'il faut apprendre.

Peut-on enseigner la décision dans une situation complexe?

Sans rentrer dans le détails de la situation de décision "moderne" et des défaillances des décideurs que nous avons discutée en détail dans la section 3-5 "Le modèle "Lohhausen"" [p. 91], nous allons brièvement rappeler le problème. Les acteurs humains ont une capacité limitée de traitement d'information. Certains sujets arrivent apparemment à gérer plus ou moins bien ce problème, mais d'autres virent dans des comportements pathologiques (comme l'attribution des erreurs aux autres). Il est nécessaire de réduire la complexité de tout problème, toutefois il faut éviter des pièges comme agir sans tenir compte des effets secondaires ou comme utiliser une recette sans vouloir savoir dans quelles conditions elle est valable. Il semble que les erreurs de décision sont en augmentation dans notre société, ou plutôt l'incapacité de décision. Le décideur politique de haut niveau se caractérise par le fait qu'il ne fait rien, ou alors qu'il favorise la différenciation des structures administratives et des dispositifs d'action de l'Etat Cette dernière stratégie a comme effet que la machinerie devient plus lourde sans forcément être efficace. En effet, les sous-systèmes raisonnent toujours en fonction d'un langage très "propriétaire", ce qui ne fait que déplacer les problèmes.[6]

Pour améliorer cette situation, il existe à notre avis trois stratégies qu'il faut combiner:

1. Améliorer la formation générale d'un décideur: c'est trivial à dire, mais lorsqu'un décideur maîtrise un dossier, cela le décharge beaucoup cognitivement et émotionellement et il peut attribuer plus des ressources à la résolution du problème en question.
2. Il est clair qu'un décideur politique ne peut pas être formé à tout. Il faut le former à utiliser des dispositifs d'aide à la décision. Un exemple est la constitution et la gestion d'un groupe de collaborateurs-experts. Un autre est l'utilisation d'outils informatiques à la décision, comme choisir une méthode efficace de choix quasi-rationnel dans un environnement incertain.
3. Finalement, il faut tenter de former les décideurs à gérer la résolution de problèmes dans un environnement complexe. Dans un premier temps, il faut évidemment enseigner (partout en fait) la nature des systèmes sociaux modernes et les pathologies de décision que l'on peut observer. En même temps, il faut les mettre dans des situations de décision artificielles où ils n'ont rien à perdre et où ils peuvent de façon répétitive prendre des décisions et voir dans un “miroir” ce qu'ils font.

C'est sur ce dernier point que nous proposons une contribution avec le système PEPS. En bref, il s'agit d'apprendre les capacités cognitives nécessaires pour mieux gérer un système complexe avec des heuristiques telles que celles qui ont été discutées dans la section 4-2.2 “Les heuristiques de la gestion d'un environnement complexe” [p. 125]: il faudrait apprendre par exemple à:

- arranger et structurer des buts (définir les importances, détecter les conflits et dépendances, etc.).
- établir des priorités d'intentions et d'allocation de ressources (éviter par exemple de s'occuper de détails)
- établir des plans d'actions et de décisions et analyser leurs effets potentiels
- suivre les décisions et procéder à des changements sans tomber dans le piège de l'actionnisme aléatoire.

Il difficile de savoir à l'heure actuelle si on peut enseigner à décider et aussi s'il est possible de transférer des connaissances gagnées (si c'est possible) à un environnement d'apprentissage. Mais vu la situation, il faut essayer.

8-2.2 PEPS: Un micro-monde d'apprentissage

PEPS est le prototype[7] d'un logiciel multi-fonction pour l'étude et l'enseignement des processus de décision dans un environnement complexe.

---

[6] Voici un exemple: le problème du chômage est délégué vers le système d'aide au chômage et vers la politique monétaire (synonyme de la politique économique). Résultat: une société à deux vitesses, mais sans émeutes. Est-ce assez?

PEPS est fondé sur une version modifiée d'une des simulations de Dörner, appelée “MORO”. A l'origine, MORO était un programme qui tournait avec une interface très minimale sur un micro-ordinateur. Dans les dispositifs expérimentaux de chez Dörner, l'ordinateur ne fait que les calculs. L'interface est assuré par une personne (l'expérimentateur) qui fournit également des informations supplémentaires (savoir “background”, instructions, etc.) à l'utilisateur. PEPS intègre tous ces aspects, et des composantes supplémentaires ont été rajouté pour faciliter l'apprentissage de la décision dans un monde complexe.

Examinons le système “PEPS” en mode “simulation” simple: au départ, chaque sujet reçoit un briefing sur sa tâche. Il existe chez Dörner plusieurs types de situations expérimentales. Une importante décision concerne la nature du ou des buts que l'on donne à accomplir. On peut poser un but très global (assurer et améliorer le bien-être de la population ou suggérer plusieurs buts explicites. On peut limiter le temps total de l'expérience tout en indiquant un nombre minimal de cycles à traiter (2-3 heures pour 15 cycles par exemple).

Dans PEPS, tout le briefing est fait par le programme au choix de l'apprenant ou de l'enseignant. PEPS contient également un hypertexte intégré qui met à disposition de l'information sur le micro-monde “MORO” à gérer.

La simulation est implémenté avec un moteur de simulation discrète tel qu' il a été décrit dans la section 6-2.2 “Un langage de simulation pour la simulation discrète des systèmes dynamiques” [p. 244]. Ce moteur a été modifié pour les besoins spécifiques d'une simulation pédagogique. Les objets de simulation sont plus riches comme le montre l'extrait de la figure 8-2 “Extrait du modèle de simulation “MORO”” [p. 343]. De nouvelles clauses existent pour la documentation (“doc”, “text”) et pour gérer en temps réel les conséquences d'une intervention d'un apprenant (“facts”). Il existe également des objets qui ne font pas partie de la simulation. Les objets “def-special” servent également aux interventions de l'apprenant, c'est-à-dire à la comptabilisation des interventions et à la propagation des effets.

Le programme de jeu MORO est une simulation de l'activité économique d'une petite tribu du sud du Sahara, dans la zone du Sahel. L'acteur a pratiquement tous les pouvoirs dans le maniement du programme et donc sur l' “avenir” de la tribu. Il intervient dans le déroulement du processus

---

[7] PEPS était conçu par l'auteur avec l'aide de plusieurs personnes, dont Gabriel Baud-Bovet, Günter Albers, Pierre Dillenbourg, Michel Grzeskowiak (FPSE), Warren Sack (MIT). Il était implémenté par D.Schneider sur une machine “LISP/Symbolics” et construit à partir du système AIPSS programmé en Scheme pour les ordinateurs du type PC. La partie “micro-monde” a été transféré dans Allegro Common Lisp pour stations Unix, mais pour le moment, il nous manque les ressources pour continuer ce projet.

```
(def-level ?diesel
   sbs (moro ) group X-Appareils
   groups (Appareils)
   ini (0)
   eq (- ?diesel ?diesel-consomme)
   facts ((propagate-to ?taux-diesel-disponible))
   doc "Diesel (stock en litres)")

(def-special ?diesel-achat
   sbs (moro ) group X-Appareils
   groups (Appareils achat)
   ini (0)
   eq (progn 0)
   facts ((prix-achat 1 unite)
     (is ?diesel))
   doc "Diesel (achat en litres)")

(def-flow ?besoin-diesel
  sbs (moro ) group X-Appareils
  groups (Appareils)
  ini (0)
  eq (+ (* ?tracteurs 12000); 300 * 8 heures
   (* ?pompes-mil 12000)
   (* ?pompes-pres 12000)
   (* ?maisons-grenier 4000)
   (* ?maisons-frigo 12000))
  facts ()
  doc "Calcul du besoin en diesel"
  )

(def-flow ?taux-diesel-disponible
  sbs (moro ) group X-Appareils
  groups (Appareils)
  ini (0)
  eq (if (< ?diesel ?besoin-diesel)
    (zero-/ ?diesel ?besoin-diesel)
    1)
  facts ((propagate-to ?tracteurs-utilisables ?pompes-mil-utilisables
                 ?pompes-pres-utilisables ?maisons-grenier-utilisables
                 ?maisons-frigo-utilisables))
  doc "taux de diesel disponible"
  text "S'il y a plus de diesel que de besoin = 1,
sinon = diesel/besoins")

(def-flow ?diesel-consomme
  sbs (moro ) group X-Appareils
  groups (Appareils)
  ini (0)
  eq (* ?besoin-diesel ?taux-diesel-disponible)
  facts ()
  doc "Quantite de diesel consomme"
 text "On consomme autant de diesel qu'on doit, ou alors tout ce que l'on
possede"
  )
```

Figure 8-2: Extrait du modèle de simulation "MORO"

(d'une manière qui sera décrite plus loin) sur la base d'indices de la situation, d'analyses et de planifications. Les apprenants peuvent effectuer les opérations suivantes:

- acheter (équipement technique varié),
- vendre (vaches, mil, etc.),
- changer les coutumes (nourriture, etc.),
- changer des services,

Toutes ses opérations coûtent ou rapportent de l'argent et ont une incidence sur le système global. La simulation se déroule normalement dans un rythme annuel, ce qui amène à bien "peser" les décisions. Voici une mise "sous condition" typique d'un sujet en mode "libre"[8]:

> "Imaginez vous en Afrique de l'Ouest, à l'extrémité sud du Sahara, par exemple au Burkina Faso, en tant que coopérateur à l'aide au développement. Là, vit la tribu des Moros. Les Moros sont des semi-nomades vivant de l'élevage des boeufs et de la culture du millet.
>
> La tribu compte actuellement 550 personnes (?population)[9]. Tout ne va pas pour le mieux. Les boeufs (?boeufs) qui servent de nourriture principale sont petits et mal nourris. Selon les coutumes nomades, les Moros laissent paître leurs troupeaux à proximité des points d'eau, selon un cycle dépendant des conditions atmosphériques. Toujours selon des coutumes anciennes, des boeufs sont abattus chaque année et sont mangés lors de rituels (?boeufs-abattus). L'existence menée est proche du minimum vital. La situation serait meilleure si un nombre relativement important de têtes de bétail n'était par décimé chaque année par la maladie du sommeil (la trypanosomiases) propagée par la mouche tsé-tsé (?tse-tse).
>
> Par le passé, il y eut souvent des famines, surtout les années où la pluie était rare ou inexistante; ce qui, au cours du temps, a eu pour conséquence une relative constance du nombre d' habitants. Il y a environ 20 ans, afin d'améliorer la situation, le gouvernement du pays a lancé un programme de culture du millet, la seule plante utile qui pousse un tant soit peu dans les conditions locales. (?mil-disponible). Le millet n'est sans doute pas très productif, il a cependant amélioré considérablement les conditions de vie des Moros. Actuellement environ 8 km2 des 1000 km2 du territoire Moro ont été transformés en champs de millet (?tot-km2).
>
> En dehors de leurs méthodes traditionnelles, les Moros ne disposent pas de soins médicaux. Une grande partie de la mortalité peut être attribuée à l'insuffisance de soins médicaux et aux rudes conditions de vie.
>
> Depuis quelque temps, des organisations internationales d'aide et le gouvernement de ce pays discutent de toutes sortes de mesures qui pourraient améliorer les conditions de vie des Moros et d'autres tribus plus à l'ouest. On a par exemple l'impression qu'avec une meilleure distribution d'eau. Les pâturages à disposition pourraient nourrir de plus grands troupeaux de boeufs. On envisage, par conséquent, l'installation de puits profonds qui permettraient l'utilisation des réserves d'eau souterraine. On pense aussi à une lutte intensive contre la mouche tsé-tsé en intervenant au niveau de sa reproduction. Enfin, on songe à instaurer une aide médicale pour parer aux insuffisances les plus graves de la situation actuelle. On prévoit, par exemple, une courte formation médicale de quelques membres de la tribu (\"formation sanitaire\"), une consultation sanitaire régulière, surtout pour les membres les plus jeunes de la tribu, ainsi que l'installation d'un service de radio-secours lié à un service de sauvetage aérien.
>
> La situation du territoire des Moros pose également un autre problème du fait que, plus au sud, au Burkina, règne une réelle surpopulation. Selon l'opinion du gouvernement et des organisations d'aide, les Moros ne tirent

---

[8] Nous reproduisons ici le texte en entier pour bien montrer l'esprit de ce monde de simulation.

[9] Les symboles comme "?population" sont dans le programme des liens d'hypertexte renvoyant à d'autres documentations.

> pas assez profit de leur territoire -apparemment celui-ci pourrait nourrir un plus grand nombre de semi-nomades élevant des boeufs. C'est pour cette raison que le gouvernement souhaite prendre des mesures qui augmenteraient à la longue la population, tout en évitant une surpopulation. Cependant, des indications sur un ordre de grandeur optimal de la population dans le territoire des Moros manquent totalement.
>
> Une plus forte densité de population dans le territoire des Moros serait également souhaitable pour des raisons politiques. Il y a, du côté d'un pays voisin du nord, une forte pression en vue d'une \"correction de frontière\", étant donné la faible densité de population de ce territoire limitrophe.
>
> A présent, votre tâche en tant qu'intervenant, est de planifier et exécuter des mesures menant à une amélioration à long terme des conditions de vie des Moros. Le gouvernement vous a transmis un pouvoir de décision total, ainsi qu'un budget de départ d'un million de Rikas (devise locale) pour les prochaines 20 années. Cet argent est un crédit sans intérêt, qui devra être remboursé d'ici la fin de votre mission. Il n'y a pas davantage d'argent à disposition, d'une part parce que le gouvernement ne dispose lui-même que d'un budget très restreint, et d'autre part parce qu'on attend de vous que vous fassiez des bénéfices avec la vente des produits de la tribu et que de ce fait vous arriviez à un auto-financement. En cas d'extrême nécessité, le gouvernement ne financerait que des mesures aptes à parer aux manques de nourriture les plus graves et ceci pour autant que vous n'ayez plus d'argent.
>
> Parlons maintenant de la situation expérimentale elle-même: nous ne pouvons naturellement pas vous envoyer réellement en Afrique. Mais nous avons reproduit sur ordinateur cette situation qui existe vraiment de manière analogue, nous simulons les Moros et leur vie.
>
> Imaginez que vous arrivez chez les Moros à la fin d'une année administrative. Vous vous procurez les données actuelles de l'année écoulée et vous devez maintenant planifier les mesures qui devront être exécutées l'année prochaine. Après avoir reçu les données, l'ordinateur calculera la nouvelle position à la fin d'une année. Vous pouvez lui demander toutes les informations dont vous avez besoin - pour autant qu'elles existent.
>
> Certaines informations vous seront d'ailleurs données automatiquement:
>
> si, au cours de la dernière année planifiée, quelque chose devait s'être sensiblement détérioré (de telle manière que vous le verriez immédiatement si vous étiez réellement en présence des Moros), alors vous en serez automatiquement informé,
>
> d'autre part, l'ordinateur vous transmettra les plaintes des Moros, qui vous seront présentées de leur part sans caractère officiel. Vous ne devrez pas nécessairement donner suite à de telles plaintes.
>
> Prenez note: l'ordinateur n'est pas votre aide ou votre conseiller, il ne fait que transmettre les informations et les mesures à prendre, en tant qu'intermédiaire entre vous et les Moros simulés par programme.
>
> Actuellement, vous disposez de 2 heures que vous pouvez répartir à votre gré sur chaque année. Vous devez arriver à vos conclusions dans les délais indiqués.

Un texte similaire existe par exemple pour présenter des buts plus détaillés ou pour étaler la simulation sur plusieurs séances. Le programme MORO ne simule pas une situation réelle de prise de décisions dans un champ écologico-politique. Personne ne dispose de tels pouvoirs absolus. En revanche, le programme offre la possibilité de rendre immédiatement visibles à l'utilisateur les conséquences de ses hypothèses et de ses décisions - peut-être aussi de ses fautes de raisonnement.

En tant qu'instrument d'investigation, le programme est utilisable de multiples façons. Avec des protocoles appropriés, on peut:

- déterminer la constance de l'action du sujet
- saisir l' “ampleur” du spectre des décisions et des questions,
- calculer la tendance et la variabilité des variables manipulées,
- faire émerger des styles d'action, etc.

Ces indices peuvent être utilisés de manière isolée (par exemple comme indicateur de caractéristiques de la personnalité) ou mis en relation avec d'autres données, par exemple le comportement dans d'autres situations, situations réelles ou de laboratoire ou avec des données d'essai. Actuellement, PEPS mémorise:

1. du texte (tout ce que le système affiche (à part les textes et les tableaux))
2. en forme codée: toutes les activités du sujet (avec l’heure)
3. les rapports annuels

L’ordinateur comme “constructorium”

Il est très important de stimuler les activités méta-cognitives de l’apprenant car elles favorisent l’apprentissage et surtout la généralisation de connaissances. En bref, pour que l’apprenant puisse s’améliorer, il faut lui montrer ce qu’il fait et ce qu’il apprend. On stimule les processus de réflexion par un mécanisme qui reflète ses activités. L’utilisation d’un ordinateur pour promouvoir les processus de réflexion réflective est bien documentée dans la littérature (cf. par exemple Dillenbourg 92 ou Collins et Brown 88).

A un premier niveau très banal, il est important de donner des outils à l’apprenant qui lui montrent les conséquences d’une action, l’évolution d’objets choisis ou d’ une façon générale, l’évolution de l’état du monde simulé. Ce genre d’outils existe dans tous les modèles de simulation à vocation pédagogique ou pédagogico-ludique comme SimCity.

A un deuxième niveau, PEPS met à disposition des outils statistiques simples permettant le calcul de corrélations et/ou de régressions ou encore des outils permettant l’exploration graphique et libre du réseau: le graphe représentant le système ou des parties du système peut être affiché. Suivant le but pédagogique, ils peuvent être utile, ou non. S’il s’agit d’enseigner la logique d’un système il faut donner accès à tout outil qui explicite la structure du système. S’il s’agit d’apprendre à gérer un système opaque et complexe, il faut barrer l’accès à ces outils.

A un troisième niveau, PEPS met à disposition un certain nombre de dispositifs qui favorisent l'apprentissage d'un comportement adéquat face à un système. Il s'agit de provoquer de façon plus ou moins dirigiste de bonnes stratégies cognitives. Examinons un simple modèle de planification qui doit produire les meilleurs résultats. Voici les étapes que l'apprenant devrait exécuter plus ou moins dans l'ordre:

1. Observation de changements importants (et notamment ceux qui concernent les variables “critiques” du système liées aux buts fixés). Lorsqu'il constate par exemple une variation importante d'une variable, le sujet peut se demander si des buts importants sont menacés maintenant ou dans un avenir proche. Si c'est le cas, on peut par exemple engendrer le but de corriger cette variation ou de protéger autrement le but important.
2. L'apprenant doit donc apprendre à gérer un réseau de buts. Certains sont donnés par l'environnement (le logiciel ou l'expérimentateur ici). La notion de “but” dans ce cadre est simple: il s'agit d'augmenter, de maintenir ou de diminuer une quantité d'un état du système. Ainsi faut il par exemple tenter de prédire les menaces immédiates et prochaines pour les états en question. Si nécessaire, il peut mettre un but sur un agenda provisoire à inclure dans un agenda d'action.
3. Vérifier si les actions du dernier cycle ont permis de résoudre (ou améliorer) des problèmes:
   - s'il y a succès, il faut marquer l'action et éventuellement la continuer
   - autrement, il faut remettre ce problème sur l'agenda provisoire.
4. Traitement de l'agenda provisoire:
   - Expansion de chaque but en un arbre de sous-buts en utilisant les connaissances “background” et “common sense”.
   - Il faut voir si le même but a déjà été résolu (cf. point 3)
   - Extraire de cette liste ou bien les méthodes déjà connues ou bien un arbre de sous-buts et les mettre sur l'agenda.
   - Si un nouveau sous-but est apparu, il faut le mettre sur la liste des observations.
5. Exécution de l'agenda.
   - exécution des méthodes connues
   - expansion des sous-buts.

En fonction d'un tel modèle “normatif” de planification, on peut forcer l'apprenant à effectuer certaines opération ou au moins les lui suggérer. Voici une stratégie très dirigiste qui “pousse” l'apprenant dans le “bon” sens qui est mis en oeuvre dans PEPS:

- Principe: un utilisateur ne peut pas manipuler des objets sans les connaître. Donc: avant de faire quelque chose, contrôler s'il connaît l'information attachée à cet objet.
- Principe: il faut se souvenir des échecs précédents. Donc: vérifier si l'apprenant refait la même chose dans une même situation.

- Principe: il faut savoir pourquoi on fait quelque chose. Donc: l'apprenant doit indiquer le pourquoi des buts pour chaque action qu'il effectue. Si le but n'existe pas, il peut le créer (cf. point suivant).
- Principe: il faut gérer un ensemble de buts à plus long terme. Donc, il faut forcer l'apprenant à maintenir une liste de buts (diminution, augmentation ou maintenance d'un état du système).
- Principe: un aspect important de la planification concerne le monitoring de certaines “variables” centrales ou de variables que l'on désire suivre pendant un certain temps pour contrôler les effets d'une action par exemple. Ainsi les sujets peuvent rajouter des objets sur une liste d'observation. Les valeurs de ces variables seront affichées dans un tableau (si voulu) au début de chaque cycle.
- Principe: il faut favoriser l'autocritique. Donc, au début du cycle suivant, on peut montrer à l'apprenant un tableau récapitulatif des actes exécutés pour atteindre certains buts. On pourrait aussi lui demander une évaluation de ses performances. Dans le même ordre d'idée, dans PEPS, on peut favoriser la réflexion globale en demandant à l'apprenant d'écrire un rapport au bout de chaque cycle de simulation

Ce type de structuration d'activités dans un environnement de simulation est relativement simple à mettre en oeuvre. Toutefois, il faut rester très prudent quant à son efficacité. Des telles mesures peuvent avoir simplement l'effet pervers que l'apprenant apprenne à manipuler le logiciel et non pas vraiment la planification des décisions dans un système complexe. Ces questions commencent déjà au niveau de la mise à disposition de l'information: faut-il juste laisser aux gens la possibilité de se renseigner, faut-il afficher toute information importante ou faut-il forcer les apprenants à la chercher? Il faut aussi se demander si l'effet réseau de l'hypertexte n'est pas trop artificiel dans la mesure où il met en évidence les liens entre les différentes composantes du système. En ce qui concerne l' “assistance structurelle” à la planification, le même type de questions doit être posé. Il nous semble qu'il faut poursuivre une stratégie adaptative aux capacités et aux besoins de l'apprenant comme par exemple dans le système “Memolab”[10]. Au début d'un processus d'apprentissage, il faut par exemple utiliser une stratégie semi-libre qu'il faut renforcer ou relâcher selon les progrès de l'apprenant. Le but est évidemment que l'apprenant gère tout le processus de planification lui-même et que le système n'intervienne que très rarement pour lui signaler des erreurs graves commises.

Vers des assistants “intelligents”

Au delà d'une aide de type “structuration de l'action”, on peut rajouter des acteurs artificiels au système qui remplissent des fonctions d'experts (ou

---

[10] Cf. par ex. Schneider et al. (93a, 93b) ou Dillenbourg et al. (93,94) pour plus de détails.

de critiques) ou encore des rôles pédagogiques.

(1) Construction d'un réflecteur: en fonction des buts que s'est donné l'apprenant ou des buts imposés à l'apprenant, de petits systèmes expert peuvent critiquer les résultats.

(2) Construction d'un expert qui saurait gérer MORO et être utilisable pour montrer à l'apprenant ce qu'il aurait fait: on peut identifier trois possibilités principales pour construire un modèle expert qui saurait gérer un système comme MORO:

1. la méthode "système expert classique": la constitution d'un savoir expert en forme de règles qui sait ce qu'il faut faire et ce qu'il ne faut pas faire ("mal-rules"). Le "knowledge engineering" "classique" consiste dans ce cas précis à encoder les connaissances du modéliseur ou encore à faire tourner le système et observer dans quelles situations apparaissent des changements importants. Il s'agit d'une sorte d'analyse de sensitivité. En même temps, on peut observer comment les humains arrivent à faire évoluer le système dans le bon sens. Ces connaissances seront codés sous forme de règles qui s'activeront dans certaines situations. Cette méthode présente le désavantage qu'elle ne fonctionne que dans des situations qui ont été prévues plus ou moins explicitement.
2. La méthode dite de "deuxième génération": la modélisation qualitative d'un modèle du système. Une méthode de plus en plus populaire consiste à faire un modèle du monde de façon à ce qu'il permette de résoudre les problèmes à gérer. Dans le cas d'un modèle dynamique comme MORO ce modèle existe déjà en quelque sorte sous la forme de la simulation. Seulement, la complexité d'une telle simulation rend justement problématique tout raisonnement automatique avec ses équations.

   Nous (Warren Sack) avons essayé de construire une description qualitative de ce système quantitatif. Chaque équation était réécrite pour fonctionner avec des valeurs "augmente" (+), "diminue" (-) ou "constant" (0) et pour en retourner une telle valeur. Autrement dit, la valeur ("+", "-" ou "0") d'un objet était calculée en combinant d'une certaine façon les valeurs des autres objets qui se retrouvent dans son équation de simulation. Les prédictions de ce système étaient de très mauvaise qualité, car ce type de raisonnement qui a fait ses preuves en physique qualitative ne tient pas compte du poids des variables. Les prédictions étaient un peu meilleures au niveau des deuxièmes dérivées. Voici un exemple d'une équation "normale" et de son équivalent "qualitatif":

```
(def-flow 1?tracteurs-utilisables
        sbs (moro appareils) groups (appareils)
        ini (0)
        eq      (if (< ?taux-diesel-disponible 1)
                (* ?tracteurs ?taux-diesel-disponible)
                ?tracteurs)
)

(def-flow ?v-tracteurs-utilisables
```

```
        sbs (moro appareils) groups (appareils)
        ini (0)
        eq (determine-if (< ?taux-diesel-disponible 1)
           (combine (depend ?v-tracteurs '+)
                    (depend ?v-taux-diesel-disponible '+))
           (depend ?tracteurs '+))
)
```

3. A cela, on pourrait rajouter une composante d'apprentissage qui apprend comment gérer le système par une méthode de "trial & error". Toutefois, nous nous sommes pas aventurés dans ce projet. Il y a la question des ressources, mais également le fait que l'apprenant doit de préférence découvrir lui-même comment gérer le système. Une interface réflective et un peu dirigiste (suivant les besoins), ainsi que des critiques sont en principe suffisantes au plan pédagogique.

Environnements de simulations riches et apprentissage

Le type d'environnement du projet PEPS a sans doute un grand avenir pour la formation. Elle respecte le principe de la "mise en situation" de l'apprenant et augmente ainsi la chance que les connaissances acquises peuvent être transmises dans le monde réel. Dans le domaine du "edutainement", les programmes d'ordinateur mélangant "jeu" et "education" il existe déjà un nombre de produits comme "Balance of Power", "SimCity", "SimWorld", "Civilization", etc. qui modélisent des environnements riches et qui permettent en principe d'acquérir certaines capacités de décision. En ce qui concerne les logiciels destinés à la formation proprement dite, on peut citer par exemple SimNet dans le domaine militaire. Il existe également d'autres produits proto-typiques (comme PEPS) comme le système de Williams (93). Ce dernier a implémenté un logiciel pour apprendre la gestion des désordres publics à l'aide d'une simulation orientée objets avec une interface graphique permettant de gérer des agents dans l'espace.

8-3 Systèmes d'aide à la décision

Les systèmes d'aide à la décision font référence à un ensemble varié d'outils informatiques supportant directement ou indirectement la décision voire le travail général du gestionnaire. Nous nous y intéressons pour trois raisons (1) Ces systèmes vont modifier la décision. (2) Afin de produire des systèmes réellement utilisées, il est important d'avoir des modèles riches et justes du décideur et du fonctionnement de la décision. (3) On peut considérer qu'un modèle est un système d'aide au travail du chercheur.

Les systèmes d'aide à la décision (angl. "decision support systems") ne nous intéressent que marginalement ici. Toutefois, trois raisons nous incitent à en parler brièvement:

1. l'existence de ces outils a modifié et va modifier considérablement la décision. Ils permettent au décideur individuel et l'organisation de mieux gérer la masse et la complexité de l'information et aux organisations de mieux coordonner l'activité des décideurs individuels.
2. Afin de produire des systèmes réellement utilisées par les décideurs, il est important d'avoir des modèles riches et justes du décideur et du fonctionnement de la décision (cf. Kleinmuntz 87:143-147).. En parcourant la littérature récente sur les systèmes d'aide à la décision nous avons retrouvé les propriétés de "notre image" du décideur, un indicateur que nos a-priori théoriques sont justes et utiles.
3. Il existe une analogie entre un modèle scientifique et un système d'aide à la décision. Les deux devraient permettre de gérer une grande masse d'information, de la structurer et de l'utiliser pour produire des nouvelles connaissances.

Lors qu'on analyse la littérature, les mots de "decision support" et de "advisory system" sont souvent associés aux systèmes expert qui ont fait leur preuve dans certains domaines restreints. Plus globalement, il existe une littérature spécialisée sur les systèmes de support à la décision (angl. "decision support systems, DSS"). Elle est née dans les années soixante-dix (Keen et Morton 78) et issue de certaines branches de l'informatique commerciale comme les systèmes bureautiques (angl. "office automation"), les systèmes d'information de gestion (angl. "management information systems", MIS), etc. On peut distinguer trois périodes de recheche principales (cf. Zuurbier 92 et Keen 86). Au début, un DSS faisait référence à tout outil informatique qui aide le gestionnaire dans ses tâches y compris la prise de décision-choix. Aujourd'hui un grand nombre d'outils (comme les systèmes documentaires, les bases de données, les tableurs et autres outils d'analyse de données) sont disponibles et font objet de recherches spécialisées. Aussi, vers la fin des années quatre-vingt et sous le slogan "putting the 'D' back in", les chercheurs se sont davantage intéressés au DSS comme outil d'aide à la décision (et au processus de la décision) au sens propre du terme et ils ont commencé a s'intéresser de près aux études de la décision dans les organisations, notamment dans la perspective du paradigme de la "bounded rationality". Dernièrement, l'aspect social, c'est-à-dire l'échange de l'information dans une organisation et l'aide à la décision de groupes sont au centre de l'attention de la recherche[11].

Nous classons les systèmes d'aide à la décision selon trois grands axes:

1. Les systèmes d'information et d'analyse d'information (systèmes de documentation, bases de données, analyse de données, simulations, certains systèmes expert, etc.)
2. Les systèmes d'aide à la prise de décision (systèmes expert, logiciels de support de choix, etc.)
3. Les systèmes de communication et de coopération (systèmes de travail coopératif à distance, systèmes de négociation, etc.)

Certains systèmes sont très spécialisés, mais d'autres tentent d'intégrer plusieurs fonctionalités de ces trois axes[12]. Nous n'allons pas discuter à fond ces variantes systèmes d'aide à la décision ici, mais nous limiter à esquisser quelques approches et types de logiciels d'un intérêt potentiel pour le décideur:

1. Il existe des outils d'aide à la décision qui permettent d'effectuer des choix dans un problème multi-attributs. Il s'agit en fait de logiciels qui permettent à un décideur d'agir comme le prescrivent certaines théories du choix. Dans le cas idéal d'un problème totalement spécifiable, il est assez facile d'implémenter des outils qui visualisent un arbre de décision et qui permettent d'opérer un choix optimal selon les critères voulus (par exemple minimisation de risque). Il est plus difficile de donner de l'assistance pour des problèmes mal définis. D'abord, il s'agit d'assister le décideur pour structurer le problème. Il faut par exemple éliciter les alternatives de choix ou encore les probabilités, attributs et valeurs des résultats. Cette assistance peut être implémentée avec un système expert (Rajkovic et al. 92). Ensuite il faut l'aider à choisir une règle de décision appropriée[13] au problème incomplètement défini et/ou montrer au décideur le mécanisme de décision utilisée (cf. aussi Rajkovic et al. 92).

---

[11] Cf. par exemple la collection de Jelassi, Klein et Mayon-White 92 ou les articles de Jacob et Pirkul 92 et de Samurçay et Rogalski 93..

[12] cf. par ex. Jacob et Pirkul 92

[13] Voir Svenson (79) et Huber (82) en ce qui concerne le choix d'une règle de décision pour des problèmes mal définis, ainsi que la section 3-2.2 "Modèles de choix à rationalité limitée" [p. 69].

2. Les systèmes expert qui fournissent de l'assistance pour la résolution de problèmes implicant des connaissances relativement larges et floues[14].
3. L'IA peut fournir également des outils pour d'autres types de raisonnement. Ainsi Kolodner (91) a développé un système d'aide à la décision à bases de cas ("Case-Based"). L'ordinateur possède une très bonne capacité pour retrouver des cas similaires qui permettent un raisonnement par analogie, domaine où l'humain est très fort. Angehrn et Dutta (92) ont intégré les case-based reasoning dans un système de choix multi-critères.
4. Les "group decision support systems" (GDSS) ou "multi-participant decision support systems" (MDSS)[15] possèdent par rapport au DSS en plus des composantes de travail coopératif et de négociation. Il existe un certain nombre de variantes. Par exemple, les systèmes de support de négociation (cf. Bui 92) relient des systèmes de support de décision individuels par une composante de communication et de décision de groupe.
5. Les systèmes de travail coopératif pluôt connus sous les labels "computer support collaborative work" (CSCW), "groupware" ou plus généralement "computer mediated communication" (CMC) sont plutôt issues des travaux dans la discipline du "human computer interaction" (HCI)[16]. Le point de départ n'est pas l'organisation ni la décision comme pour les DSS, mais la tâche (cognitive) d'un travail[17] qu'il faut effectuer en commun à travers des stations de travail. Ce domaine nous fournit par exemple des outils pour discuter à distance ou encore spécialement dans une pièce équipée d'ordinateurs "à discussion", pour élaborer des documents ou des artéfacts ("industrial design") à plusieurs et à distance.

Les systèmes de support de décision ont probablement un rôle qui va au-delà de la simple assistance. Ils exercent sans doute une influence sur la façon de voir le monde et de raisonner. La publication de Salomon (88) porte le titre significatif "AI in reverse: computer tools that turn cognitive". Elle montre, qu'en utilisant un logiciel, on peut l'imiter peu à peu et adopter ses logiques de raisonnement.

Les systèmes d'aide à la décision de l'avenir sont sans doute les systèmes d'information qui intègrent un accès à de multiples sources d'information comme les bases de données, les hypertextes, les systèmes expert, etc. qui combinent ce dispositif avec des systèmes "computer supported coorperative work" et de "group decision support". (cf. Alter 92 et Keen 86). Un bon prototype pour un système d'information de la nouvelle génération est SIMS (Arens et al 93) qui est présenté sous le label "information mediator". Ce système tente de médiatiser dans une interface commune des systèmes de données, de connaissances, de support de décision, de planification, etc. Avec l'énorme prolifération des systèmes d'information et d'aide à la décision, il est sans aucun doute avantageux de construire des accès plus ou moins transparents à l'aide d'une seule interface.

---

[14] Cf. le chapitre 5 "La modélisation d'une décision administrative par le génie cognitif" [p. 175] pour un exemple et la section 7-2 "La modélisation IA et le génie cognitif" [p. 303] pour une introduction au génie cognitif (y compris des références).

[15] Voir par exemple les conceptualisations de Zuurbier (92), Jacob et Pirkul (92).

[16] Voir le livre "Shared Minds" de Schrage (90) pour une introduction au concept du travail collaboratif.

[17] Voir par exemple Woods et Roth (91), Resnik (91) et Hancock (92).

chapitre 9 Conclusion

La conclusion se fera sur deux plans: celui de la démarche du décideur et celui de la modélisation.

Nous finirons par un plaidoyer en faveur du financement de grands projets, car sans équipe, tout travail de modélisation restera modeste.

9-1 La modélisation du décideur

Une méthodologie de la modélisation du décideur se dégage (a) d'une conceptualisation générale du décideur, (b) d'un cadre méthodologique général pour modéliser le décideur, (c) de nos études de cas méthodologiques et techniques, (d) et de la littérature sur des modélisations similaires. Nous allons ici brièvement revoir la notion du décideur.

Compte tenu de la richesse du phénomène du décideur et de la variété des types de décisions, on ne peut pas préconiser tel ou tel type précis de modélisation . Mais nous postulons que la modélisation du décideur à l'aide d'un système à bases de connaissances portera ses fruits.

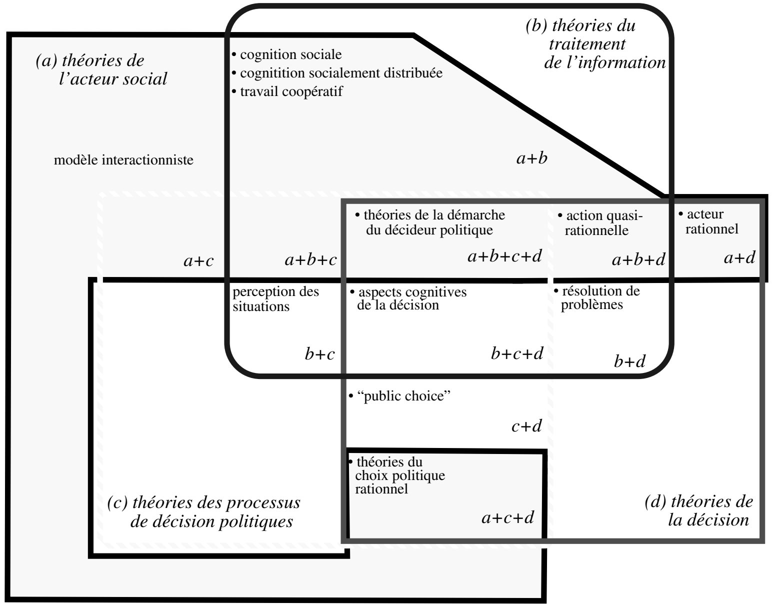
La modélisation de la démarche du décideur doit se faire dans un cadre théorique bien articulé. En ce qui concerne le décideur individuel, nous le construisons à partir (a) des théories de l'acteur social, (b) des théories (psychologiques) du traitement de l'information, (c) des théories des processus de décision politique, et (d) des théories de la décision. Au départ, nous avons postulé que l'acteur politique est volontariste, mais guidé par des normes sociales et bureaucratiques. Il est rationnel, mais de façon limitée. Il pense en utilisant des "logiques" de résolution de problèmes. Il est réflexif si la situation l'exige, mais ses capacités cognitives sont limitées en fonction de ses capacités de traitement de l'information, de ses connaissances (y compris ses croyances) et de ses états affectifs. Un acteur est un système de connaissances. Il interprète des situations et il réfléchit avant d'agir.

Notre proposition pour une nouvelle méthodologie de la modélisation du décideur se dégage (a) de cette conceptualisation générale du décideur, (b) de notre cadre méthodologique général de modélisation du décideur, (c) de nos études de cas méthodologiques et techniques, (d) et de la littérature sur des modélisations similaires. Avant de rentrer dans le vif du sujet de la modélisation, examinons les caractéristiques importantes du décideur selon ces axes de réflexion.

(1) Les théories de l'action sociale nous enseignent que le décideur est un phénomène multi-dimensionnel. Un individu agit selon plusieurs principes qui sont dominants, simplement présents ou absents dans différents types de situation de décision. Nous avons distingué plusieurs grandes orientations: (1) l'action "téléologique" poursuit des buts de façon rationnelle; (2) l'action "sociologique" suit les normes aveuglément, sans réflexion; (3) l'action "normative" suit des normes en les interprétant et en tenant compte des motivations de l'acteur; (4) l'action "bureaucratique" suit des recettes; (5) l'action "dramaturgique" suit les besoins de la "maintenance" de l'acteur; (6) l'action "interactive" possède la capacité de réfléchir sur les principes qui guident l'action, de les communiquer et de les négocier. Notre idéal-type de l'acteur politique est donc au croisement de ces idéal-types, mais il ne s'agit ni d'une intersection ni d'une union. Il va de de soi que ces catégories sont trop "pures" pour complètement dominer dans une situation. Dans la plupart des situations, l'acteur politique est quasi-rationnel, se sert d'automatismes institutionnels quand rien ne s'y oppose. Il est réflexif (réfléchit sur les moyens intellectuels mis en oeuvre) si la situation l'exige.

(2) Les théories psychologiques du traitement de l'information nous fournissent surtout des théories de résolution de problème (y compris leur perception) et des théories sur la capacité de la mémoire et les limites de la cognition. Selon eux, l'acteur humain et surtout le décideur politique est une sorte de "naive problem solver". Il fonctionne grâce à son savoir et son savoir-faire. En conjonction avec les travaux en intelligence artificielle, cette discipline nous a fourni un langage pour parler des processus subjec-

Figure 9-1: Bases théoriques de la modélisation de la démarche du décideur politique



tifs ayant lieu tout au long de la démarche du décideur.

(3) Notre but n'était pas de faire une revue exhaustive de la littérature sur les théories des processus de décision politique. Nous l'avons parcourrue avec deux objectifs principaux. Premièrement, nous voulions corroborer notre a-priori sur le fait que les théories générales de l'action sociale et de la cognition peuvent être appliquées de façon intéressante au domaine politique. Un grand nombre de travaux en sciences administratives, en politique publique et en relations internationales nous ont conforté dans ce sens. Deuxièment, il s'agissait de dégager les spécificités de la décision politique par rapport aux problèmes qui servent habituellement de cadre de référence aux travaux en psychologie, en anthropologie, en économie et en sociologie. Les plus grandes différences viennent de l'énorme quantité d'information que doit potentiellement gérer le décideur politique, du peu de précision qu'il possède sur le fonctionnement de son environnement et finalement de la longeur des processus de décision. Ces trois caractéristiques nécessitent d'adapter la méthodologie de modélisation du traitement de l'information utilisée dans les sciences cognitives dans un sens plus analytique.

(4) Les théories de la décision "pures" nous fournissent une analyse des propriétés formelles de certains types de décision et des recettes normatives pour prendre des décisions de façon rationnelle. Les théories de la décision quasi-rationnelle font une contribution similaire, mais davantage basée sur des travaux empiriques (expériences cliniques, analyses de protocoles de décision, observations de séances de décision, etc.).

Toute recherche couvrant la modélisation du décideur dans une perspective Weberienne sera nécessairement interdisciplinaire[1]. Dans les intersections du graphe des ensembles dans la figure 9-1 nous avons inséré quelques-unes de ces disciplines, à titre d'exemple. Nous n'allons pas rentrer dans les détails ici, car cela été fait tout au long de ce travail. La seule remarque que nous désirons faire ici est que la plupart des modèles qui ont contribué à notre réflexion sont le fruit d'une coopération interdisciplinaire. Voici les plus importants:

- La modélisation des croyances et de la perception politique (sections 3-3 "'Cognitive maps' et 'operational code'" [p. 81] et 4-5.2 "L'interprétation d'événements politiques" [p. 167])
- La modélisation de la décision quasi-rationnelle (section 3-2.2 "Modèles de choix à rationalité limitée" [p. 69])
- La modélisation du décideur dans un environnement complexe (section 3-5 "Le modèle "Lohhausen"" [p. 91])
- La modélisation du décideur administratif (sections 5-4 "La dimension politique dans l'application d'une loi" [p. 207] et 3-2.3 "Le "governmental problem solving" de Crecine" [p. 78])
- La modélisation de groupes de décision en politique internationale (sections (sections 4-5.3 "Un modèle de planification: JESSE" [p. 170], 4-5.4 "La modélisation de relations constitutives en politique" [p. 172],
- La modélisation de systèmes politiques globaux (pas traitée, mais cf. la section 6-2 "La modélisation de l'environnement" [p. 243]
- La modélisation d'événements historiques (section 6-4 "La mémoire du décideur et l'apprentissage" [p. 271]).

En partie à cause des critiques adressées au cognitivisme, mais surtout à cause de la difficulté d'accès aux données, notre type idéal de modélisation n'est pas psychologique, mais il s'insère plutôt dans une tradition anthropologique de la cognition sociale pour qui les constructions symboliques sont le niveau juste de description pour analyser les actes de communication. Les règles qui attribuent du savoir-faire à un décideur ne sont pas des règles psychologiques, mais des règles analytiques décrivant comment, selon toute l'information que l'on possède, l'acteur effectue sa démarche. Il ne s'agit pas d'un nouveau behaviorisme, car nous postulant que l'acteur peut s'identifier à ses règles. Idéalement, nos modèles forment un terrain d'entente entre acteurs, co-acteurs et chercheurs, ils sont "socially grounded".

Les modélisations du décideur du futur seront, espérons-le, multi-facettes et elles inclueront simultanément les éléments suivants:

1. La perception d'une situation en fonction des croyances et d'autres connaissances
2. Les activités de résolution de problème y compris des problèmes de choix (cf. le chapitre 5 "La modélisation d'une décision administrative par le génie cognitif" [p. 175])
3. L'interaction entre décideurs (cf . la section 6-3 "La modélisation d'objets et d'acteurs" [p. 253])
4. La modélisation de l'environnement (cf. la section 6-2 "La modélisation de l'environnement" [p. 243])

---

[1] Le mot "interdisciplinarité" fait référence à plusieurs types d'échanges entre disciplines. Il peut s'agir (a) soit de véritables recherches interdisciplinaires (chercheurs de disciplines variées travaillant ensemble), (b) soit de transferts de résultats ou de méthodes, (c) soit d'un développement d'outils théoriques ou méthodologies similaires, (d) soit de la création de nouvelles disciplines de recherche. Chacune de ces stratégies possède des avantages et des inconvénients. La "vraie" recherche interdisciplinaire entraîne souvent un coût de communication très élévée et une exigence parfois trop élevée de connaissances pour le chercheur individuel. Le transfert de résultats et de méthodes conduit à un "lag" important (souvent entre 10 et 20 ans). La "réinvention" d'une méthodologie va plus vite (elle sera plus simple), mais ne produit pas forcément les résultats les meilleurs. La création d'une nouvelle discipline de recherche est souvent une opération avantageuse, mais conduit parfois à la situation oú des disciplines travaillent sur le même phénomène sans aucune coopération. Suivant la situation, il est souhaitable de combiner une ou plusieurs stratégies.

Ce type de travail peut également avoir des résultats pratiques intéressants. Les modélisations à base de sens (all. “Sinn”) sont proches de la réalité empirique et ont donc une bonne chance d’être acceptées par un apprenant (cf. section 8-2 “La formation des décideurs” [p. 337]) ou le décideur (cf. section 8-3 “Systèmes d’aide à la décision” [p. 351]).

9-2 La méthode IA en science politique

Les méthodes IA offrent un complément très intéressant aux techniques de modélisations actuellement utilisées en science politique et plus particulièrement celles pour modéliser un décideur. L'IA offre un ensemble de "langages" qui permettront d'augmenter la profondeur des modèles et d'améliorer la précision des théories "verbales". Nous présentons ici une réinterprétation du rôle du modèle dans le cadre de la communication scientifique.

Les données fondamentales sur lesquelles une décision individuelle est basée et auxquelles elle aboutit sont des informations qui peuvent être avantageusement modélisées par des constructions symboliques. Voici une première facette du "knowledge oriented modelling". L'autre facette concerne la construction et le partage des modèles. Là aussi, il s'agit de constructions symboliques qui peuvent être manipulées et transmises en tant qu'objets à étudier.

9-2.1 L'utilité des modèles IA en science politique

Les modélisations analytiques, computationnelles, mathématiques et autres ont toujours trouvé leur terrain de prédilection dans le domaine des relations internationales. Cela tient à la fois à la nature de l'objet de la recherche qui se prête souvent mal aux analyses statistiques et au "background" de certains chercheurs. En relations internationales, l'élément "cognitif" ou le "sens" est important et ne peut pas être traité uniquement avec des modèles mathématiques ou statistiques. Comme le constate Hudson (91:1), les chercheurs qui utilisent l'IA en relations internationales ont souvent un "background" en méthodes quantitatives et ils ne sont pas satisfaits des résultats obtenus.

Hudson (91:2-4) explicite le "problème" à l'aide d'une typologie des difficultés touchant aux sujets de recherche empruntée à Weinberg (75). Il existe trois situations de recherche dont une se prête particulièrement bien aux modélisations inspirées par l'IA:

1. **La simplicité organisée** (angl.: "organized simplicity) possède les propriétés d'un mécanisme: elle est bien structurée, relativement peu complexe et contient une population faible. Les méthodes analytiques et mathématiques fonctionnent bien pour expliquer et prédire des phénomènes. Les théories de choix tombent dans ce domaine.

2. **La complexité organisée** possède les propriétés d'un système. Ce type de sujet ne peut pas être modélisé par des méthodes analytiques et sa structuration est trop complexe pour un traitement statistique. Typiquement, les systèmes expert et les modélisations cognitives font partie des outils appropriés pour travailler dans ce domaine
3. **La complexité non-organisée** possède les propriétés d'un "environnement". Elle contient beaucoup d'informations et d'objets, peu de structure organisée et se prête bien aux méthodes statistiques ou encore, dans certains cas,à la modélisation mathématique de systèmes.

Toute discipline doit toujours "inventer" ses problèmes en évitant à la fois ce qui est simple et inintéssant et ce qui est trop difficile. L'espoir en ce qui concerne les recherches en IA et en science politique est de trouver des modèles plus riches qui tiennent à la fois compte de la richesse de la réflexion humaine (les décideurs), des événements historiques (la mémoire des cas) et de l'environnement complexe (les contraintes et stimuli externes). En relations internationales, la liberté des décideurs est relativement importante. Par conséquent, les facteurs cognitifs sont importants. En outre, les régularités statistiques sont faibles, d'où l'intérêt prononcé pour des méthodes qualitatives d'analyse de données. Le décideur impliqué dans les politiques publiques internes possède sans doute un degré moindre de liberté d'action, mais les éléments "perception de problème", "résolution de problèmes", "choix", etc. existent bel et bien. L'absence relative de l'IA dans ce domaine s'explique, à notre avis, surtout par la "sociologie" de ce secteur.

"Wissen" is nicht "Erkenntnis" (le savoir n'est pas connaissance): la modélisation peut produire du savoir, quelque chose qui se construit et se reconstruit socialement. Le savoir peut être exprimé à l'aide de phrases précises. "Erkenntnis" (connaissance) est lié à l'individu et doit se constituer dans un sens herméneutique. Ce problème bien connu de la littérature philosophique crée le paradoxe suivant: lorsqu'on met l'être humain, son intentionnalité et ses processus de raisonnement au centre d'un travail de recherche, nos méthodes font défaut. Les méthodes quantitatives et analytiques puissantes et rigoureuses ne fonctionnent plus (cf. Hudson 91:2). En d'autres termes, l'écart entre savoir (scientifique) et connaissance du sujet est très ou trop important[2]. La modélisation computationnelle inspirée des méthodes de l'intelligence artificielle donne l'espoir de pouvoir réduire cet écart. L'IA est utilisée depuis environ vingt ans en relations internationales et il existe une dizaine de chercheurs qui publient régulièrement dans ce domaine. Il s'agit d'un nombre très faible qui s'explique d'abord par la difficulté relative des méthodes, mais également par le fait que toute recherche manipulant un grand ensemble de "connaissances" nécessite un investissement en ressources humaines difficile à obtenir en sciences sociales

---

[2] De plus, on peut attribuer aux adeptes de certaines approches (comme le "rational choice") une attitude ".... suppose we have a can opener" (cf. Schrodt 91:28).

9-2.2 La modélisation du décideur

La littérature croissante dans le domaine de “International Relations and AI” ainsi que notre propre argumentation montre qu’il est possible et utile de modéliser le décideur par des techniques empruntées à l’IA. Cette discipline fournit un large éventail de méthodes qui peuvent contribuer favorablement à augmenter nos connaissances sur des phénomènes comme:

1. la perception des événements politiques,
2. l’application de règles juridiques, politiques, sociales, etc.,
3. la planification et la résolution de problèmes dans un environnement complexe,
4. le choix par un acteur à rationalité limitée,
5. l’intégration du décideur dans des macro-modèles.

Les travaux d’IA et relations internationales montrent la faisabilité technique de ce type de modélisation mais également son intérêt théorique. Toute modélisation est sans doute réductionniste. L’avantage des modèles IA est de pouvoir bien calibrer les pertes d’information en fonction d’un but de recherche et des ressources disponibles. Toutes les formes de rationalité peuvent être modélisées. L’IA est particulièrement bien adaptée à une perspective Weberienne qui définit l’acteur comme quelqu’un qui agit en pensant, en interprétant son environnement social et physique. L’intégration du déciceur dans des modèles d’organisation et dans des modèles d’environnement politique, social et économique nécessite une modélisation “multi-facettes” (cf. la section 6-5.2 “Les simulations multi-modales” [p. 282]).

Toute modélisation du décideur politique inspirée uniquement par les théories économiques (maximisation des résultats dans un monde d’information complète sans problèmes de ressources de calcul) ou sociologiques à la Durkheim (exécution de règles sans réflexion ni choix) est vouée à l’échec. La métaphore du traitement heuristique de l’information permet de trouver un juste milieu entre ces deux extrêmes qui manquent totalement de validité empirique. L’acteur réflexif de Habermas est sans doute plus difficile à modéliser. Mais là aussi il s’agit d’un idéal-type peu réaliste. Toutes les recherches en sciences cognitives montrent justement que l’homme a tendance à réfléchir le moins possible et qu’il le fait seulement lorsqu’il y a un problème (comme un “breakdown” de communication). Toutefois, l’aspect “communication” et “négotiation de sens” est un phénomène important dont il faudra tenir compte le mieux possible.

9-2.3 Une réinterprétation du statut épistémologique des modèles “IA”

Nous allons d’abord résumer brièvement quelques modélisations, utilisées en sciences politiques ou en informatique, de systèmes (y compris des systèmes intentionnels comme le décideur). Nous nous faisons l’avocat d’une réorientation “pragmatique” du type “Some things go for some things”. Ce qui compte le plus est l’utilité d’une approche par rapport à une problématique, mais pour qu’une approche soit utile, il est impératif de savoir quel type de connaissance elle permet de gérer. Un modèle n’est finalement qu’un outil pour communiquer un savoir et c’est dans ce sens qu’il faut interpréter et valider un modèle.

Ci-dessus nous esquissons les propriétés de cinq types de modélisations que nous avons rencontrées dans les chapitres précédents. En science politique, deux visions sur la modélisation dominent: les (1) modélisations des systèmes dynamiques et (2) les modèles de choix rationnel. En intelligence artificielle appliquée, deux approches semblent dominer le “marché”, (3) les systèmes expert et (4) les nouveaux “knowledge tools”. Finalement, (5) la modélisation cognitive en science politique s’inspire des travaux de la psychologie de l’information.

(1) La modélisation de systèmes dynamiques est populaire, par exemple, en recherche opérationnelle, dans les études stratégiques ou l’écologie (par ex. Meadows 82). Le “paradigme” de modélisation que l’on retrouve le plus souvent est le suivant (cf. Paul et Thomas 94):

- Il existe un problème dans le monde réel qu’il faut modéliser
- Ce problème est formalisé par un langage semi-formel (souvent des graphes) ou formel (par exemple des équations)
- Le modèle “logique” est traduit dans un modèle d’ordinateur
- Il est testé et “vérifié” (ajustement de paramètres par exemple)
- Le modèle est ensuite utilisé pour décrire une situation, tirer des conclusions, faire des prédictions, etc.

(2) Les modèles de choix rationnel (par ex. Ordeshook 92) populaires en politique publique ou en relations internationales n’ont que rarement cet ancrage empirique. Voici le “paradigme” le plus souvent rencontré:

- On définit une situation typique de choix (avec ou sans l’intervention d’agents coopératifs ou antagonistes)
- Cette situation est formalisée par un modèle mathématique fondé sur un modèle d’optimisation d’utilité individuelle.
- Le résultat du modèle est présenté comme une sorte de constante dans un univers de choix rationnel.

(3) Le “paradigme” qui semble dominer le domaine des **systèmes expert** (par ex. Wielinga 92): est le suivant:

- Il existe un jeu de connaissances (implicite) dans le monde qu’il faut modéliser
- Un ingénieur-cognicien extrait et formalise ces connaissances avec la participation plus ou moins active des intéressés (surtout des “experts”)

- Le “modèle” est implémenté sur ordinateur, testé et révisé et mis à disposition des utilisateurs

(4) Le nouveau paradigme des “**knowledge tools**” (par ex. Clancey 93) met plus l’accent sur l’utilisateur d’un “modèle”:

- Il existe un problème flou pour lequel il faut trouver un instrument de représentation et de manipulation.
- En étroite collaboration avec l’utilisateur, un ingénieur-cognicien développe un outil pour représenter et manipuler les informations associées à un domaine de problème
- L’utilisateur a recours à cet outil pour visualiser l’information et pour en extraire de nouvelles informations

(5) La modélisation cognitive en science politique (par ex. Donald Sylvan 89) s’inspire surtout du paradigme de la psychologie de l’information:

- Il existe un phénomène qu’il faut modéliser
- Un chercheur en science politique (parfois en collaboration avec des informaticiens) formalise le domaine.
- Le modèle est porté sur ordinateur, testé et fréquemment révisé. Il sert surtout à décrire un phénomène.

On peut caractériser ces cinq approches selon plusieurs axes comme dans la figure 9-2. Nous proposons un nouveal idéal-type que nous appelons “knowledge-oriented” et que nous esquisserons dans la section 9-2.5 “‘Knowledge oriented modelling’” [p. 370].

Suite aux problèmes mis en évidence dans le domaine du génie cognitif et suite au glissement du paradigme vers les “outils de connaissance” (angl. “knowledge tools”, voir Paul 94), on peut affirmer en tout cas deux choses:

- On ne peut pas définir un problème de recherche complexe de façon précise[3]. Un des exercices principaux de la modélisation est de le définir (si possible en interaction avec les sujets étudiés)
- La formalisation n’est pas simple, beaucoup d’éléments ne peuvent pas être formalisés. Ainsi tout modèle nécessite l’appui de théories verbales riches (et nécessairement floues).

Le modèle sert avant tout de médium de communication du problème[4] suivant le principe que la vérité scientifique est une construction intersubjective, sujette à argumentation. Il s’agit d’une base de données intelligente à utiliser dans un contexte de recherche ou de pratique plus large. Les modèles multi-modaux serviront à garder l’étendue (angl. “scope”) d’un sujet d’étude et à mieux “ancrer” les modèles du décideur individuel

---

[3] en définissant par exemple une série d’hypothèses sous forme de règles “si.... alors”.

dans leur environnement. Notre type idéal de modélisation suit cette “knowledge orientation”.

Les données jouent plusieurs rôles dans la plupart des modélisations. Souvent, elles servent à la fois à construire un modèle et à le valider. En ce qui concerne les méthodes pour explorer les processus de décision, il en existe plusieurs, dont l’observation de choix dans des situations expérimentales, l’observation de comportement input-output dans des situations “naturelles”, le traçage d’activités de résolution de problème. Toutes ces approches sont intéressantes.

9-2.4 La modélisation de constructions théoriques

L’objet d’une modélisation peut être une théorie politique. Au lieu de l’ex-

Figure 9-2: Classification des approches de modélisation

	Définition du problème	Importance des données	Acquisition de connaissances	Destinataire	flexibilité du modèle
(1) Simulations numériques	question théorique précise ou floue	variable	données numériques ou a priori	modéliseur (dans les DSS[a]: client)	faible (ajustement de paramètres)
(2) Modèles de choix	question théorique précise	pas importante	-	modéliseur (dans les DSS: client)	faible (règles de décision)
(3) Systèmes expert “traditionnel”	question pratique floue	importante	analyse de protocoles, entretiens	client	faible
(4) “knowledge” tool	question pratique floue	moyenne	protocols, entretiens, construction	client	moyenne
(5) modélisation cognitive	question théorique précise ou floue	moyenne	toutes les méthodes	modéliseur	faible
“knowledge oriented” simulation	questions précises et floues	importante	toutes les méthodes	modéliseur, autres chercheurs	moyenne - forte

[a] DSS = “Decision Support Systems”

---

[4] Voir aussi la pragmatique universelle de Habermas (84:353-440) qui tente d’identifier les conditions universelles de la communication: “Der Ausdruck >Situation möglicher Verständigung< der in dieser Perspektive dem Ausdruck >Objekt möglicher Erfahrung< entsprechen würde, zeigt indessen schon, dass der Erwerb von Erfahrungen, die wir in Kommunikationsprozessen machen, gegenüber dem Ziel der Verständigung, dem diese Prozesse dienen, sekundär ist. Die allgemeinen Strukturen der Rede müssen wohl zunächst einmal unter dem Verständigungsaspekt, nicht unter dem Erfahrungsaspekt untersucht werden” (Habermas 84:383).

primer verbalement comme c'est souvent le cas en science politique, on peut construire des modèles comme l'ont fait David Sylvan et Glassner (85) pour certaines théories rationalistes du politique. L'avantage de ce type de modélisation est selon les auteurs (Sylvan et Glassner 85:151) "... [to be] able to proceed with their analysis in a rigourous, replicable fashion, taking advantage of the power of formal languages to explore connections, derive new hypotheses, and develop a more systematic understanding of related empirical phenomena".

Une théorie rationaliste comme celle de Simmel peut être modélisée en termes de combinaisons et de transformations d'éléments (Sylvan et Glassner 85:108). Dans le cas le plus simple, la combinaison est une opération intellectuelle qui associe à un concept (par exemple "bureaucratie") un certain nombre d'autres termes (par exemple "organisation hiérarchique", "distribution interne d'autorité", etc.). En utilisant des grammaires génératives ou des propositions logiques, on peut exprimer des constructions plus complexes. Une transformation est une opération qui consiste à substituer des éléments dans une expression. Dans ce contexte, une transformation sert à décrire par exemple les lois de l'évolution sociale. Autrement dit, le modéliseur doit extraire des grammaires (par exemple des jeux de règles) qui définissent les transformations possibles. Les problèmes techniques pour modéliser combinaisons et transformations sont assez semblables. Pour leur modélisation de la théorie de Simmel, les auteurs utilisent par exemple des éléments de la théorie des ensembles et de la logique.

Modéliser des théories politiques et sociales avec un formalisme informatique est une approche intéressante. Au-delà du fait qu'on rend explicite une construction intellectuelle et qu'on teste sa conhérence interne, la modélisation a le mérite d'aller au-delà d'une simple formalisation. Exprimé sous forme d'expressions logiques, un modèle permet en principe d'effectuer de nouvelles déductions qui ne se retrouvent pas dans le texte. Toutefois, le cas de Simmel montre que ce n'est pas simple. L'auteur utilise très peu de synonymes et de liens entre ses propositions (Sylvan et Glassner 85: 149). Il s'agit là d'une faiblesse que l'on retrouve dans beaucoup de théories structuralistes (l'ensemble n'est guère plus que la somme des parties). Dans ce cas, le modéliseur peut rajouter ces éléments "systémiques" à la modélisation, mais il s'agirait d'une extension à la théorie. Dans ce sens, le modèle informatique deviendrait le point de départ pour une entreprise de perfectionnement théorique.

Ainsi on rajoute une nouvelle dimension à la fonction de communication des modèles IA. Non seulement, ils nous permettent de dialoguer sur un sujet empirique de façon explicite et détaillée, mais (potentiellement) également sur l'ensemble des constructions théoriques. La stratégie épistémologique choisie par Majeski et David Sylvan (93) pour analyser les décisions est la même (cf. 4-5.4 "La modélisation de relations constitutives en politique" [p. 172]). Ils considèrent les expressions verbales des

décideurs comme des *théories* sur des phénomènes réels. Pour chaque phénomène référencé il peut exister plusieurs mondes (théories) construits qui mettent en évidence d'autres objets et d'autres relations. Leurs analyses empiriques portent sur la composition de ces théories "naives" et sur leur mise en relation. Par exemple, comment un décideur construit une recommendation d'action à partir d'une description de la situation, de buts, de moyens d'action à disposition et de missions à remplir. On ne se pose pas la question de savoir comment *une* situation cause une autre, mais comment les acteurs dans une culture assemblent les choses. Cette perspective de "comment on construit le monde" est une démarche anthropologique. La question du modéliseur commence par "comment" et non pas "pourquoi". Ce "comment" laisse la place à des alternatives. Une culture de décision se définit donc en quelque sorte par un ensemble de recettes possibles qui s'appliquent à un ensemble de interprétations possibles de situations, dont une est dominante à un certain moment donné de l'histoire.

La modélisation cognitiviste de la décision implique une causalité, on explique la décision en attribuant certaines structures de connaissances au décideur. Les analyses de Sylvan et Majeski sur les relations constitutives dégagent un "langage" utilisé par un groupe de décideurs pour parler d'un domaine et pour formuler des décisions. Essentiellement ils tentent de reconstruire une "culture". Sur un premier plan, il s'agit d'ici de deux approches incompatibles. Toutefois, rien n'empêche le modéliseur "cognitiviste" de reprendre les relations constitutives dominantes dans un domaine observé et de les interpréter comme des règles causales.

9-2.5 'Knowledge oriented modelling'

Nous plaidons en faveur de la réintégration de la perspective weberienne. La décision en politique est le résultat d'un comportement intentionnel, quasi-rationnel et social. L'acteur perçoit de l'information et la traite avant d'agir. L'action résulte essentiellement en une production de textes qui sont interprétés par d'autres acteurs. Les données fondamentales sur lesquelles une décision individuelle est basée et auxquelles elle aboutit sont des informations qui peuvent être avantageusement modélisées par des *constructions symboliques*. Voici une première facette du "knowledge oriented modelling".

L'autre facette concerne la construction et le partage des modèles. Là aussi, il s'agit de constructions symboliques qui peuvent être manipulées et transmises en tant qu'objets à étudier. Idéalement ces modèles devraient être mis à disposition électroniquement sur le réseau informatique, et accompagnés de données et de textes théoriques. Toute théorie publiée devrait également être disponible sous forme d'hypertexte indexé, permettant aux lecteurs d'examiner les données et d'exécuter des modèles. Ainsi, tout chercheur peut rapidement "faire le tour" d'une recherche, retrouver et lire les idées essentielles, faire tourner le modèle, inspecter les données brutes, et si nécessaire reprendre les éléments qui l'intéressent pour ses propres travaux. Le projet de recherche du futur se manifestera donc sous forme d'un système d'information entièrement accessible sur ordinateur. Un premier prototype d'un tel système a été créé par J. Mallery et B. Renaud (Renaud 94, Mallery 94a, Mallery 94b). Il s'agit d'une interface "World-Wide-Web" qui permet aux chercheurs connectés à l'Internet de travailler sur la base de données "SHERFACTS" avec leur logiciel d'analyse basé sur l'algorithme ID2[5]. Nous montrons un écran de ce système d'informa-

Document Title: M.I.T. Feature Vector Editor

Document URL: http://tj/rule-learning

Learn If–Then Rules about International Relations

This WWW interface allows you to run experiments that learn *if–then* rules about the history of international conflict since 1945. You can specify experiments for the *Inductive Interaction Detection System* (I2D) to perform on the *SHERFACS International Conflict Management Dataset*. This rule learning technology goes beyond the well–known Quinlan ID3 and C4 algorithms because it works on non–rectangular datasets. The SHERFACS dataset is non–rectangular because it codes the (de–)escalatory phases of a conflict, which vary in number and contain variable actions by actors. I2D was developed to extend the conventional approach so that it could be productively applied to data analysis in international relations.

Instructions: You need to set the parameters and then click on the send button. After the experiment completes, the system will return a page describing the rules learned.

Please Select a Control Matrix.

Predict the next phase type of case based on managment involvement.

Explain I2D control matrices.

Please Select a Sequence.

+Tight–Bipolar–Disputes–45+10/62

Explain these sequences.

Minimum Local Precision ○ .1 ○ .2 ○ .3 ○ .4 ○ .5 ○ .6 ● .7 ○ .8 ○ .9

Minimum Coverage ○ 1 ● 2 ○ 3 ○ 4 ○ 5 ○ 6 ○ 7 ○ 8 ○ 9

Rule Ordering Basis *Predicted Value Then Weighted Coverage*

Send *(send the request)* Clear *(reset the form)*

---

[5] Nous avons discuté ces travaux dans la section 6-4 "La mémoire du décideur et l'apprentissage" [p. 271]. Voir aussi Mallery et Sherman (93), Mallery (94) Mallery et Hurwitz (87) et Mallery (88).

tion scientifique dans la figure 9-3. L'avenir du type de modélisation que nous suggérons sera connecté ou ne sera pas!

9-3 L'avenir de la modélisation en science politique

Nous pensons qu'il est important d'augmenter les ressources pour la modélisation en science politique. Sans avoir de structures de recherches similaires à celles des sciences naturelles, le programme dont nous nous faisons l'avocat ne pourra sans doute jamais vraiment commencer.

L'acteur humain possède une rationalité limitée. Il existe un certain nombre de techniques intéressantes de modélisation de l'acteur quasi-rationnel utilisant des théories de choix comme celles discutées dans la section 3-2.2 "Modèles de choix à rationalité limitée" [p. 69]. D'autres se sont inspirées des travaux en intelligence artificielle, notamment un certain nombre de recherches en IA et relations internationales (discutées dans la section 4-5 "La modélisation IA de la décision en science politique" [p. 165]). La critique très percutante venant des psychologies ou sociologies phénoménologiques[6] discutée dans la section 7-1 "Les bases épistémologiques de l'intelligence artificielle" [p. 287] montre que même les approches "quasi-rationnelles" ont leurs limites. Selon cette littérature, le vécu ne peut pas être modélisé dans le sens de la psychologie de l'information. Il y a une différence fondamentale entre un savoir (ce qui peut être transmis) et l'expérience (ce qui se passe lors d'une décision).

Toutefois, ce constat n'implique pas l'abandon mais la réorientation de la notion de modèle et la réinterprétation des problèmes. La complexité et l'impénétrabilité scientifique des décideurs sont d'abord plutôt une bonne chose dans le sens où elles nous garantissent une vie et pas seulement une existence. Ensuite, il est possible de faire progresser nos connaissances. Il existe aujourd'hui une littérature assez importante se prononçant en faveur des méthodes systémiques et du traitement de l'information. Mais comme le montre le sort des grands classiques comme "The Nerves of Government" (Deutsch 66) ou encore ce travail-ci, on ne peut plus faire de la recherche d'une grande portée thématique en profondeur dans de petits groupes instables. Les modèles globaux quantitatifs ou encore les modélisations IA en relations internationales ont cruellement démontré le besoin en "men" et "power" pour aller au-delà d'une amorce.

Si la science politique veut éviter le sort de la psychologie expérimentale cognitive (micro-théories incompatibles avec une grande qualité

---

[6] Cf. par exemple les travaux de Suchman ("situated action"/ethnométhodologie) ou de Karlsson (psychologie/étude de la décision)

scientifique), de l'économie politique (micro-théories difficilement applicables avec une grande rigueur scientifique), de l'analyse des politiques publiques (monographies riches non généralisables), de la philosophie politique (répétition de vieux problèmes philosophiques dans un autre langage), elle doit suivre l'exemple de la biologie ou de la physique qui mettent en place des structures de recherche adaptées à la complexité du sujet. Sinon il reste le choix entre la micro-théorie (études des comportements politiques), la simplicité (monographies journalistiques) ou la fuite (modèles économiques de la politique).

La fonction du modèle n'est pas auxiliaire (pour tester des hypothèses ou pour réduire la complexité des observations). Le modèle est central à toute démarche scientifique concernée par une réalité complexe. Par ailleurs, il doit se développer au sein d'un cadre théorique riche et complet. Voici donc la formule:

Modèle du décideur = système d'information et de communication

Appendice

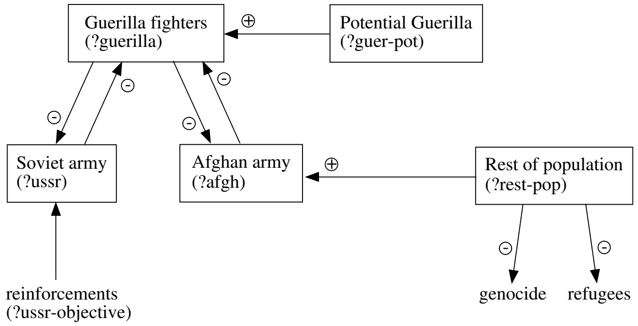
L'appendice contient quelques exemples techniques qui ne sont pas nécessaires à la compréhension du texte.

A-1 Test du langage de simulation

Pour tester le langage de simulation pour la simulation discrète des systèmes dynamiques (voir la section 6-2.2 “Un langage de simulation pour la simulation discrète des systèmes dynamiques” [p. 244]) nous avons repris un modèle tiré de Allan et Stahel (1983). Il représente un modèle “a priori” sur la guerre en Afghanistan avec une attention spéciale portée à la question de savoir si (et sous quelles conditions) la guérilla peut survivre. Etant donné qu’il n’existait que très peu de données sur ce conflit en 1981-82, les paramètres sont des estimations fondées sur des données empiriques que l’on possède sur d’autres conflits estimés comparables. Pour estimer la problématique “la guérilla peut-elle survivre”, le modèle doit a priori estimer les chances de la guérilla de façon pessimiste. La structure de base du modèle est reproduite dans la figure ci-dessous qui montre les niveaux les plus importants du système. Les flux entre eux sont représentés à l’aide des flèches.

Dans notre langage de simulation numérique discrète d’événements, les niveaux doivent être bien différenciés des flux à cause de l’algorithme de calcul. Le modèle ci-dessus présente ce type de structure. Par contre, la manière de définir les objets de simulation (en termes traditionnels: les équations et les paramètres) reste très souple. C’est le modéliseur qui décide s’il préfère un modèle très compact ou très désagrégé avec beaucoup de variables. Ici, nous avons choisi de travailler avec relativement beaucoup d’objets par rapport au modèle d’origine. L’idée derrière ce choix est qu’il sera plus simple de les manipuler avec d’autres mécanismes, par exemple des systèmes d’inférence ou des simulations orientées objets. Voici les “équations” qui définissent le modèle:

Figure A-1: La structure du modèle “afghanistan”



```
; --- guerilla
(def-level ?guerilla sbs (*gen*) ini (155000)
           eq (+ ?guerilla ?guer-gains (- ?guer-losses)))
(def-flow ?guer-gains sbs (*gen*) ini (0)
          eq (* ?guer-gain-r ?guer-pot))
(def-parm ?guer-gain-r sbs (*gen*) ini (0.01))
(def-flow ?guer-losses sbs (*gen*) ini (0)
          eq (* ?guer-loss-r ?guerilla (+ ?ussr ?afgh)))
(def-parm ?guer-loss-r sbs (*gen*) ini (0.00000035))
; -- potential guerilla
(def-level ?guer-pot sbs (*gen*) ini (1470000)
           eq (- ?guer-pot ?guer-gains))
; -- rest of population
(def-level ?rest-pop sbs (*gen*) ini (10850000)
           eq (- ?rest-pop ?army-recruits ?genocide ?refugees))
(def-parm ?army-recruits sbs (*gen*) ini (1500))
(def-flow ?genocide sbs (*gen*) ini (0)
          eq (* 0.0011 ?rest-pop))
(def-flow ?refugees sbs (*gen*) ini (0)
          eq (+ 120803))
; -- ussr army
(def-level ?ussr sbs (*gen*) ini (0)
           eq (+ ?ussr ?ussr-flow (- ?ussr-losses)))
(def-flow ?ussr-flow sbs (*gen*) ini (0)
          eq (- ?ussr-objective ?ussr))
(def-parm ?ussr-objective sbs (*gen*) ini (85000))
(def-flow ?ussr-losses sbs (*gen*) ini (0)
          eq (* 0.003 ?guerilla))
; -- afghanistan
(def-level ?afgh sbs (*gen*) ini (35000)
           eq (+ ?afgh ?army-recruits (- ?afgh-losses)))
(def-flow ?afgh-losses sbs (*gen*) ini (0)
          eq (* 0.006 ?guerilla))
; -- observations
(def-obs ?guer-tot-losses sbs (*gen*) ini (0)
         eq (+ ?guer-tot-losses ?guer-losses))
(def-obs ?ussr-tot-losses sbs (*gen*) ini (0)
         eq (+ ?ussr-tot-losses ?ussr-losses))
(def-obs ?afgh-tot-losses sbs (*gen*) ini (0)
         eq (+ ?afgh-tot-losses ?afgh-losses))
```

Voici les résultats d’une simulation:

```
==> (sim-plot *gen* 72)
a = ?GUERILLA        min: 167801.25                max: 252302.585649685
b = ?GUER-POT        min: 712937.31430302          max: 1455300.
c = ?REST-POP        min: 1552781.45434478         max: 1.0715762e7
d = ?USSR            min: 84243.092243051          max: 84535.
e = ?AFGH            min: 35570.                   max: 43998.9650902446
f = ?GUER-GAINS      min: 7201.38701316182         max: 14700.
g = ?GUER-LOSSES     min: 1898.75                  max: 10938.1432205581
h = ?GENOCIDE        min: 1844.62198396161         max: 11935.
i = ?REFUGEES        min: 120803                   max: 120803
j = ?USSR-FLOW       min: 465.                     max: 85000
k = ?USSR-LOSSES     min: 465.                     max: 756.907756949056
l = ?AFGH-LOSSES     min: 930.                     max: 1513.81551389811
m = ?GUER-TOT-LOSSES min: 1898.75                  max: 712241.155119586
n = ?USSR-TOT-LOSSES min: 465.                     max: 49500.5174548777
o = ?AFGH-TOT-LOSSES min: 930.                     max: 99001.0349097554

STEP   1: ** ea  *                     g             d     *
STEP   2: **    e  a*                   g         d       **
STEP   3: * *     e   a *                 g   d          **
STEP   4: * *       e     a*               dg           **
STEP   5: *  *        e      a *       d     g         **
STEP   6: *  *          e        *   d         g      * *
STEP   7: *   *          e        da*           g    * *
STEP   8: *    *           e   d      a*          g * *
[ ................ ]
STEP  66: * **                 d  a    *           ge    *
STEP  67: * **                  da    *            g  e  *
STEP  68: ***                   ad   *             g   e  *
STEP  69: **                   a  d *             g      e *
STEP  70: **                  a    *              g       e*
```

```
STEP  71: *                  a    * d             g         *
```

Le résultat de ce modèle était que la guérilla survivra (lettre a ci-dessus). Cela a été confirmé par l’histoire. Voici quelques valeurs de deux variables importantes d’observation, les pertes totales de la guérilla et des soviétiques.

```
==> (list-sim *gen* ?guer-tot-losses ?ussr-tot-losses)
SIM-I> LIST OF SIMULATION BASE *GEN* OBJECTS
         ?GUER-TOT-*?USSR-TOT-*
MAX     : 712241.155  49500.517
MIN     :   1898.750    465.000
STEP   0:   1898.750    465.000
STEP   1:   8952.569    968.404
STEP   2:  16349.533   1494.305
STEP   3:  24069.475   2041.238
STEP   4:  32091.955   2607.801
STEP   5:  40397.181   3192.659
.........
STEP  61: 619066.486  43208.591
STEP  62: 628657.773  43861.449
STEP  63: 638188.840  44509.182
STEP  64: 647659.400  45151.735
STEP  65: 657069.196  45789.055
STEP  66: 666418.003  46421.093
STEP  67: 675705.623  47047.802
STEP  68: 684931.887  47669.138
STEP  69: 694096.644  48285.061
STEP  70: 703199.769  48895.533
STEP  71: 712241.155  49500.517
```

Comparons ces résultats avec les résultats obtenus dans la simulation continue originale de Allan et Stahel. Avec leur méthode de calcul, ils arrivent après 72 cycles à 712’000 pertes pour la guérilla et à 49’000 pertes pour les Soviétiques. Notre modèle arrive à ces chiffres un cycle plus tôt, ce qui est un résultat excellent.

A-2 L’exemple «Demopolis»

“Demopolis” est un petit exemple complet montrant comment on pourrait intégrer règles et simulation numérique discrète et sert de test pour le petit langage que nous avons dévelopé (voir la section 6-2.3 “Simulation numérique et règles d’inférence” [p. 246]). Il représente un simple modèle démographique caricatural. Il existe une base de simulation “intelligente” appelée “demopolis” qui est en communication avec deux bases d’inférence. Il s’agit de deux décideurs, le gouvernement et le peuple. Chacun des deux observe certaines variables de simulation et réagit en fonction de certains seuils. Ils s’envoient également des messages entre eux.

```
;;; FILE pop.sib
;;; Short demo program for the simulation inference module
;;; The way in which we do this is still very experimental
;; **************************** THE POLIS ******************************
;; --------------------------- The systems in demopolis
;; The system which simulates the country (demopolis); it can do numeric
;; simulation and inference
(def-sib demopolis)
;; The system which models the "people"
(def-ib people)
;; The system which models the "government"
(def-ib government)
;; --------------------------- the simulation objects of demopolis
  (def-level ?pop sbs (demopolis)
             ini (20000)
             eq (+ ?pop ?Birth (- ?Death)))
  (def-flow ?Birth sbs (demopolis)
            ini (0)
            eq (* ?Birthrate ?pop))
  (def-flow ?Death sbs (demopolis)
            ini (0)
            eq (* ?Deathrate ?pop))
  (def-parm ?Birthrate sbs (demopolis) ini (0.051))
  (def-parm ?Deathrate sbs (demopolis) ini (0.039))
  (def-obs ?occupation sbs (demopolis)
           ini (0)
           eq (/ ?pop 20000))
; ----------------------- declaration of inference base - subsystems
;; At some point we must tell the demopolis system to whom it should send its
;; states after each cyle. The subsys function does this. Note, that this
;; kind of "interface" is still very experimental.
(sub-sys demopolis demopolis)
(sub-sys demopolis government)
(sub-sys demopolis people)
;; ---------------------------- the rules for demopolis
;; The following two rules are needed for "administration purposes".
;; -------- organization rules
;; clean up msg from the simulation cycle, also passed to the others
;; sim-cycle no and end msg are removed
;;
(p clean-up ibs (demopolis people government)
   lhs (end sim-cycle)
       (sim-cycle -t)
   rhs (rm =f1 =f2))
;; -------- update rules
;; This rule fires when it encounters an "effect" pattern in the data base
;; and if its "time" (-s) is equal to the simulation cycle number (-t)
;; The "(eval ..)" function evaluates (= executes) the function stored in
;; the variable "-thing".
(p trigger-effect ibs (demopolis)
   lhs (sim-cycle -t)
```

```
       (effect -thing -s)
   test (= -t -s)
   rhs (eval -thing)
       (rm =f2)
   )
;; *************************** THE ACTORS ******************************
;; --------------------------- the rules for the government
;; This rule allows family allocations to people when the occupation of
;; the territory is too low.

;; Let's illustrate how inference bases are linked to the simulation base.
;; After each simulation cycle, the simulation system writes its states to
;; all the systems which have been declared as subsystems.
;; It uses the following template: (sys-var <?name> <simulation-object>
;; which then is used by the lhs of a rule. The function
;; (so-val <simulation-object>) returns the value of a simulation object,
;; (so-def <simulation-object> <val>) sets the value of a simulation object.
;; Note also the difference between the add-f and the add-fact functions.
;; The further adds a fact to the proper database, whereas the the latter
;; adds a fact to another database.

  (p augment-births
     ibs (government)
     lhs (sim-cycle -t)
         (family-allocation -x)
         (sys-var ?occupation -occobj)
     test (< (so-val -occobj) 0.945)
          (not-fact (program birth-stimulation -n) government)
     rhs (add-f* `(family allocation ,(+ -x 300) (time ,-t)))
         (add-fact* `(family-allocation ,(+ -x 300) (time ,-t)) people)
         (add-f* `(program birth-simulation ,(+ -t 12)))
         (rm =f2)
     )

 ;; checks the time a program should run, before a new one can be installed

  (p program-update ibs (government)
     lhs (sim-cycle -t)
         (program -prog -endtime)
     test (>= -t -endtime)
     rhs  (rm =f2)
     )

;; If the government organizes a war, the population is reduced once
;; to 80 percent

  (p organize-war ibs (government)
     lhs (voice-of-people make-war)
         (sys-var ?pop -popobj)
     rhs (so-def -popobj (* 0.8 (so-val -popobj)))
         (rm =f1)
     )

;; If the government hears the voice of the people, it undertakes some
;; symbolic action without effect upon the system

  (p react-to-people ibs (government)
     lhs (voice-of-people -anything)
    rhs (msg /N /beep "MESSAGE FROM THE GOVERNMENT: GIVE SPEECH" /N /beep)
         (rm =f1))

;; In the beginning there is no family allocation
  (initial-facts government (family-allocation 0))

;; --------------------------- the rules for the people
;; If people feel too crowded they reduce the birthrate (in 5 cycles)
;; and they call for a war.
;; This rule writes (effect <function> <time> templates
;; in an inference base. They are triggered upon an impulse by the "trigger
;; effect rule". This is a typical example where we use a procedure,
;; i.e. "(so-def .....)" as data and evaluate it when needed.

  (p check-population ibs (people)
     lhs (sys-var ?pop -popobj)
```

```
         (sys-var ?birthrate -brobj)
         (sim-cycle -t)
     test (> (so-val -popobj) 21000)
     rhs (add-fact (voice-of-people make-war) government)
         (add-fact* `(effect
                       (so-def ,-brobj (- (so-val ,-brobj) 0.05))
                       ,(+ -t 5))
                    demopolis))

;; But they also react positivly to family allocations, i.e. the birth-rate
;; is raisen by 0.06 percent in seven cycles.

  (p react-to-family-allocation ibs (people)
     lhs (family-allocation -amount (time -t))
         (sys-var ?birthrate -brobj)
     rhs (add-fact* `(effect (so-def ,-brobj (+ (so-val ,-brobj) 0.06))
                             ,(+ -t 7))
                    demopolis)
         (rm =f1))
```

Voici une “trace” assez longue qui montre comment ce petit système tourne. Cette trace n'est pas très facile à comprendre. Il s'agit ici d'un système prototype à l'interface très rudimentaire. Toutefois, on voit le principe de l'interaction entre ces différents systèmes et le mécanisme d'exécution de règles. Il faut essayer de comprendre comment s'exécutent les règles et le code devient plus clair. Il suffit par exemple de bien analyser les événements qui se passent dans le cycle no.6 pour comprendre la logique. Au début de ce cycle, la règle “check-population” qui modélise la perception du seuil de la population par le peuple est activée. Elle produit deux conséquences. Un “message” qui appelle à commencer une guerre est envoyé au gouvernement (insertion de “voice-of-people make-war” dans sa base de faits) et le taux de natalité est diminué dans le modèle de simulation (avec effet retardé). Le gouvernement réagit au message envoyé en activant les règles “react-to-people” et “organize-war”.

```
SB-D> Defining Level: ?POP
SB-D> DEMOPOLIS - Level: ?POP defined
SB-D> DEMOPOLIS - Flow: ?BIRTH defined
SB-D> DEMOPOLIS - Flow: ?DEATH defined
SB-D> DEMOPOLIS - Parameter: ?BIRTHRATE defined
SB-D> DEMOPOLIS - Parameter: ?DEATHRATE defined
SB-D> DEMOPOLIS - Obs: ?OCCUPATION defined
KB-D> DEMOPOLIS - Rule CLEAN-UP defined
KB-D> PEOPLE - Rule CLEAN-UP defined
KB-D> GOVERNMENT - Rule CLEAN-UP defined
KB-D> DEMOPOLIS - Rule TRIGGER-EFFECT defined
KB-D> GOVERNMENT - Rule AUGMENT-BIRTHS defined
KB-D> GOVERNMENT - Rule PROGRAM-UPDATE defined
KB-D> GOVERNMENT - Rule ORGANIZE-WAR defined
KB-D> GOVERNMENT - Rule REACT-TO-PEOPLE defined
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:   1 (FAMILY-ALLOCATION 0 )
KB-D> PEOPLE - Rule CHECK-POPULATION defined
KB-D> PEOPLE - Rule REACT-TO-FAMILY-ALLOCATION definedOK
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:   1 (SYS-VAR ?POP #<ENVIRONMENT> )
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:   2 (SYS-VAR ?BIRTH #<ENVIRONMENT> )
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:   3 (SYS-VAR ?DEATH #<ENVIRONMENT> )
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:   4 (SYS-VAR ?BIRTHRATE #<ENVIRONMENT> )
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:   5 (SYS-VAR ?DEATHRATE #<ENVIRONMENT> )
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:   6 (SYS-VAR ?OCCUPATION #<ENVIRONMENT> )
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:   2 (SYS-VAR ?POP #<ENVIRONMENT> )
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:   3 (SYS-VAR ?BIRTH #<ENVIRONMENT> )
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:   4 (SYS-VAR ?DEATH #<ENVIRONMENT> )
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:   5 (SYS-VAR ?BIRTHRATE #<ENVIRONMENT> )
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:   6 (SYS-VAR ?DEATHRATE #<ENVIRONMENT> )
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:   7 (SYS-VAR ?OCCUPATION #<ENVIRONMENT> )
KB-R> PEOPLE     - Add fact:   1 (SYS-VAR ?POP #<ENVIRONMENT> )
KB-R> PEOPLE     - Add fact:   2 (SYS-VAR ?BIRTH #<ENVIRONMENT> )
```

```
KB-R> PEOPLE     - Add fact:   3 (SYS-VAR ?DEATH #<ENVIRONMENT> )
KB-R> PEOPLE     - Add fact:   4 (SYS-VAR ?BIRTHRATE #<ENVIRONMENT> )
KB-R> PEOPLE     - Add fact:   5 (SYS-VAR ?DEATHRATE #<ENVIRONMENT> )
KB-R> PEOPLE     - Add fact:   6 (SYS-VAR ?OCCUPATION #<ENVIRONMENT> )
----------------------------- simulation cycle: 2 ------------------------
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:   7 (SIM-CYCLE 2 )
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:   8 (SIM-CYCLE 2 )
KB-R> GOVERNMENT - Rule AUGMENT-BIRTHS fails test
KB-R> PEOPLE     - Add fact:   7 (SIM-CYCLE 2 )
KB-R> PEOPLE     - Rule CHECK-POPULATION fails test
KB-R> DEMOPOLIS  - --- Inference for sim-cycle done, cleaning STM’s
............
----------------------------- simulation cycle: 6 ------------------------
;; à examiner plus particulièrement =====
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:  15 (SIM-CYCLE 6 )
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:  16 (SIM-CYCLE 6 )
KB-R> GOVERNMENT - Rule AUGMENT-BIRTHS fails test
KB-R> PEOPLE     - Add fact:  15 (SIM-CYCLE 6 )
;;*** la règle qui teste le seuil de population est activable ***
KB-R> PEOPLE     - Rule CHECK-POPULATION succedes test
KB-R> PEOPLE     - Ready rules: (CHECK-POPULATION)
KB-R> PEOPLE     - --- Rule: CHECK-POPULATION EXECUTES, Facts used:
                   (SYS-VAR ?POP #<ENVIRONMENT> )
                   (SYS-VAR ?BIRTHRATE #<ENVIRONMENT> )
                   (SIM-CYCLE 6 )
  KB-R> GOVERNMENT - Add fact:  17 (VOICE-OF-PEOPLE MAKE-WAR )
  ;;*** la règle qui réagit à la pression pour une guerre est activable ***
  KB-R> GOVERNMENT - Rule ORGANIZE-WAR succedes test
  KB-R> GOVERNMENT - Ready rules: (ORGANIZE-WAR)
  ;;*** une deuxième règle de réaction est activable ***
  KB-R> GOVERNMENT - Rule REACT-TO-PEOPLE succedes test
  KB-R> GOVERNMENT - Ready rules: (ORGANIZE-WAR REACT-TO-PEOPLE)
  KB-R> GOVERNMENT - --- Rule: ORGANIZE-WAR EXECUTES, Facts used:
                     (VOICE-OF-PEOPLE MAKE-WAR )
                     (SYS-VAR ?POP #<ENVIRONMENT> )
    ;; la population a perdu 20%!
    SIB-R> DEMOPOLIS - New value installed for ?POP
    ;; c’est la conséquence de cette règle
    KB-R> GOVERNMENT - Rm fact:  17 (VOICE-OF-PEOPLE MAKE-WAR )
    KB-R> GOVERNMENT - Rule: ORGANIZE-WAR executed ---
    KB-R> GOVERNMENT - --- Rule: REACT-TO-PEOPLE EXECUTES, Facts used:
                     (VOICE-OF-PEOPLE MAKE-WAR )
    ;; voici un autre type de réaction, c.a.d imprimer qc.
    MESSAGE FROM THE GOVERNMENT: GIVE SPEECH
    KB-R> GOVERNMENT - Rm fact:  17 (VOICE-OF-PEOPLE MAKE-WAR )
    KB-R> GOVERNMENT - Rule: REACT-TO-PEOPLE executed ---
    ;; ici le système lance "effet délayé", le taux de natalité
   va baisser au cycle 11, cf. la règle "check population".
   KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:  16 (EFFECT (SO-DEF #<ENVIRONMENT>
                                           (- (SO-VAL #<ENVIRONMENT> )
                                                      0.05 ))
                                           11 )
  KB-R> DEMOPOLIS  - Rule TRIGGER-EFFECT fails test
  KB-R> PEOPLE     - Rule: CHECK-POPULATION executed ---
KB-R> DEMOPOLIS  - --- Inference for sim-cycle done, cleaning STM’s
----------------------------- simulation cycle: 7 ------------------------
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:  18 (SIM-CYCLE 7 )
KB-R> DEMOPOLIS  - Rule TRIGGER-EFFECT fails test
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:  19 (SIM-CYCLE 7 )
KB-R> GOVERNMENT - Rule AUGMENT-BIRTHS fails test
KB-R> PEOPLE     - Add fact:  17 (SIM-CYCLE 7 )
KB-R> PEOPLE     - Rule CHECK-POPULATION fails test
KB-R> DEMOPOLIS  - --- Inference for sim-cycle done, cleaning STM’s
-------------------------------- simulation cycle:  8 --------------------
----
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:  20 (SIM-CYCLE 8 )
KB-R> DEMOPOLIS  - Rule TRIGGER-EFFECT fails test
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:  21 (SIM-CYCLE 8 )
KB-R> GOVERNMENT - Rule AUGMENT-BIRTHS succedes test
KB-R> GOVERNMENT - Ready rules: (AUGMENT-BIRTHS)
KB-R> PEOPLE     - Add fact:  19 (SIM-CYCLE 8 )
KB-R> PEOPLE     - Rule CHECK-POPULATION fails test
KB-R> GOVERNMENT - --- Rule: AUGMENT-BIRTHS EXECUTES, Facts used:
                   (SIM-CYCLE 8 )
```

```
                   (FAMILY-ALLOCATION 0 )
                   (SYS-VAR ?OCCUPATION #<ENVIRONMENT> )
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:  22 (FAMILY ALLOCATION 300 (TIME 8) )
KB-R> PEOPLE     - Add fact:  20 (FAMILY-ALLOCATION 300 (TIME 8) )
KB-R> PEOPLE     - Rule REACT-TO-FAMILY-ALLOCATION succedes test
KB-R> PEOPLE     - Ready rules: (REACT-TO-FAMILY-ALLOCATION)
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:  23 (PROGRAM BIRTH-SIMULATION 20 )
KB-R> GOVERNMENT - Rule PROGRAM-UPDATE fails test
KB-R> GOVERNMENT - Rm fact:   1 (FAMILY-ALLOCATION 0 )
KB-R> GOVERNMENT - Rule: AUGMENT-BIRTHS executed ---
KB-R> PEOPLE     - --- Rule: REACT-TO-FAMILY-ALLOCATION EXECUTES, Facts
used:
                   (FAMILY-ALLOCATION 300 (TIME 8) )
                   (SYS-VAR ?BIRTHRATE #<ENVIRONMENT> )
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:  21 (EFFECT (SO-DEF #<ENVIRONMENT>
                                              (+ (SO-VAL #<ENVIRONMENT> )
                                                    0.06 ))
                                         15 )
KB-R> DEMOPOLIS  - Rule TRIGGER-EFFECT fails test
KB-R> PEOPLE     - Rm fact:  20 (FAMILY-ALLOCATION 300 (TIME 8) )
KB-R> PEOPLE     - Rule: REACT-TO-FAMILY-ALLOCATION executed ---
KB-R> DEMOPOLIS  - --- Inference for sim-cycle done, cleaning STM’s
----------------------------- simulation cycle:  9 ------------------------
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:  23 (SIM-CYCLE 9 )
KB-R> DEMOPOLIS  - Rule TRIGGER-EFFECT fails test
KB-R> DEMOPOLIS  - Rule TRIGGER-EFFECT fails test
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:  25 (SIM-CYCLE 9 )
KB-R> GOVERNMENT - Rule PROGRAM-UPDATE fails test
KB-R> PEOPLE     - Add fact:  22 (SIM-CYCLE 9 )
KB-R> PEOPLE     - Rule CHECK-POPULATION fails test
KB-R> DEMOPOLIS  - --- Inference for sim-cycle done, cleaning STM’s
...........
---------------------------- simulation cycle:  10 ------------------------
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:  27 (SIM-CYCLE 11 )
KB-R> DEMOPOLIS  - Rule TRIGGER-EFFECT fails test
KB-R> DEMOPOLIS  - Rule TRIGGER-EFFECT succedes test
KB-R> DEMOPOLIS  - Ready rules: (TRIGGER-EFFECT)
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:  29 (SIM-CYCLE 11 )
KB-R> GOVERNMENT - Rule PROGRAM-UPDATE fails test
KB-R> PEOPLE     - Add fact:  26 (SIM-CYCLE 11 )
KB-R> PEOPLE     - Rule CHECK-POPULATION fails test
KB-R> DEMOPOLIS  - --- Rule: TRIGGER-EFFECT EXECUTES, Facts used:
                   (SIM-CYCLE 11 )
                   (EFFECT (SO-DEF #<ENVIRONMENT>
                                   (- (SO-VAL #<ENVIRONMENT>) 0.05 ))
                           11 )
SIB-R> DEMOPOLIS - New value installed for ?BIRTHRATE
KB-R> DEMOPOLIS  - Rm fact:  16 (EFFECT (SO-DEF #<ENVIRONMENT>
                                              (- (SO-VAL #<ENVIRONMENT> )
                                                   0.05 ))
                                        11 )
KB-R> DEMOPOLIS  - Rule: TRIGGER-EFFECT executed ---
KB-R> DEMOPOLIS  - --- Inference for sim-cycle done, cleaning STM’s
---------------------------- simulation cycle:  12 ------------------------
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:  29 (SIM-CYCLE 12 )
KB-R> DEMOPOLIS  - Rule TRIGGER-EFFECT fails test
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:  31 (SIM-CYCLE 12 )
KB-R> GOVERNMENT - Rule PROGRAM-UPDATE fails test
KB-R> PEOPLE     - Add fact:  28 (SIM-CYCLE 12 )
KB-R> PEOPLE     - Rule CHECK-POPULATION fails test
KB-R> DEMOPOLIS  - --- Inference for sim-cycle done, cleaning STM’s
...........
---------------------------- simulation cycle:  15 ------------------------
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:  35 (SIM-CYCLE 15 )
KB-R> DEMOPOLIS  - Rule TRIGGER-EFFECT succedes test
KB-R> DEMOPOLIS  - Ready rules: (TRIGGER-EFFECT)
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:  37 (SIM-CYCLE 15 )
KB-R> GOVERNMENT - Rule PROGRAM-UPDATE fails test
KB-R> PEOPLE     - Add fact:  34 (SIM-CYCLE 15 )
KB-R> PEOPLE     - Rule CHECK-POPULATION fails test
KB-R> DEMOPOLIS  - --- Rule: TRIGGER-EFFECT EXECUTES, Facts used:
                   (SIM-CYCLE 15 )
                   (EFFECT (SO-DEF #<ENVIRONMENT>
                                   (+ (SO-VAL #<ENVIRONMENT>) 0.06 ))
```

```
                           15 )
SIB-R> DEMOPOLIS - New value installed for ?BIRTHRATE
KB-R> DEMOPOLIS  - Rm fact:  21 (EFFECT (SO-DEF #<ENVIRONMENT>
                                              (+ (SO-VAL #<ENVIRONMENT> )
                                                   0.06 ))
                                        15 )
KB-R> DEMOPOLIS  - Rule: TRIGGER-EFFECT executed ---
KB-R> DEMOPOLIS  - --- Inference for sim-cycle done, cleaning STM’s
..............
---------------------------- simulation cycle:  20 -----------------------
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:  45 (SIM-CYCLE 20 )
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:  47 (SIM-CYCLE 20 )
KB-R> GOVERNMENT - Rule PROGRAM-UPDATE succedes test
KB-R> GOVERNMENT - Ready rules: (PROGRAM-UPDATE)
KB-R> PEOPLE     - Add fact:  44 (SIM-CYCLE 20 )
KB-R> PEOPLE     - Rule CHECK-POPULATION fails test
KB-R> GOVERNMENT - --- Rule: PROGRAM-UPDATE EXECUTES, Facts used:
                   (SIM-CYCLE 20 )
                   (PROGRAM BIRTH-SIMULATION 20 )
KB-R> GOVERNMENT - Rm fact:  23 (PROGRAM BIRTH-SIMULATION 20 )
KB-R> GOVERNMENT - Rule: PROGRAM-UPDATE executed ---
KB-R> DEMOPOLIS  - --- Inference for sim-cycle done, cleaning STM’s
---------------------------- simulation cycle:  21 ------------------------
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:  47 (SIM-CYCLE 21 )
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:  49 (SIM-CYCLE 21 )
KB-R> PEOPLE     - Add fact:  46 (SIM-CYCLE 21 )
KB-R> PEOPLE     - Rule CHECK-POPULATION fails test
KB-R> DEMOPOLIS  - --- Inference for sim-cycle done, cleaning STM’s
...............
---------------------------- simulation cycle:  30 ------------------------
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:  65 (SIM-CYCLE 30 )
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:  67 (SIM-CYCLE 30 )
KB-R> PEOPLE     - Add fact:  64 (SIM-CYCLE 30 )
KB-R> PEOPLE     - Rule CHECK-POPULATION succedes test
KB-R> PEOPLE     - Ready rules: (CHECK-POPULATION)
KB-R> PEOPLE     - --- Rule: CHECK-POPULATION EXECUTES, Facts used:
                   (SYS-VAR ?POP #<ENVIRONMENT> )
                   (SYS-VAR ?BIRTHRATE #<ENVIRONMENT> )
                   (SIM-CYCLE 30 )
KB-R> GOVERNMENT - Add fact:  68 (VOICE-OF-PEOPLE MAKE-WAR )
KB-R> GOVERNMENT - Rule ORGANIZE-WAR succedes test
KB-R> GOVERNMENT - Ready rules: (ORGANIZE-WAR)
KB-R> GOVERNMENT - Rule REACT-TO-PEOPLE succedes test
KB-R> GOVERNMENT - Ready rules: (ORGANIZE-WAR REACT-TO-PEOPLE)
KB-R> GOVERNMENT - --- Rule: ORGANIZE-WAR EXECUTES, Facts used:
                   (VOICE-OF-PEOPLE MAKE-WAR )
                   (SYS-VAR ?POP #<ENVIRONMENT> )
SIB-R> DEMOPOLIS - New value installed for ?POP
KB-R> GOVERNMENT - Rm fact:  68 (VOICE-OF-PEOPLE MAKE-WAR )
KB-R> GOVERNMENT - Rule: ORGANIZE-WAR executed ---
KB-R> GOVERNMENT - --- Rule: REACT-TO-PEOPLE EXECUTES, Facts used:
                   (VOICE-OF-PEOPLE MAKE-WAR )
MESSAGE FROM THE GOVERNMENT: GIVE SPEECH
KB-R> GOVERNMENT - Rm fact:  68 (VOICE-OF-PEOPLE MAKE-WAR )
KB-R> GOVERNMENT - Rule: REACT-TO-PEOPLE executed ---
KB-R> DEMOPOLIS  - Add fact:  66 (EFFECT (SO-DEF #<ENVIRONMENT>
                                               (- (SO-VAL #<ENVIRONMENT> )
                                                    0.05 ))
                                         35 )
KB-R> DEMOPOLIS  - Rule TRIGGER-EFFECT fails test
KB-R> PEOPLE     - Rule: CHECK-POPULATION executed ---
KB-R> DEMOPOLIS  - --- Inference for sim-cycle done, cleaning STM’s
...............
```

Voici un graphe de l’évolution des variables de simulation. Les variables ?pop et ?occupation évoluent ensemble, on voit donc une étoile au lieu des lettres a et d. Dans ce diagramme, on voit bien la logique discrète des événements qui découle de l’intervention des règles dans une simulation discrète fondée sur des équations. Les événements les plus importants se passent entre les cycles 5/6, 10/11, 14/15 et 29/30. Par exemple le niveau de la population ?pop (“*”) diminue brusquement dans le cycle 6 (conséquence de la guerre). Les naissances ?birth (“b”) tombent dans le cycle 11 (conséquence du changement brusque du taux de natalité). L’augmentation des allocations familiales dans le cycle 8 a la conséquence inverse à partir du cycle 15.

```
a = ?POP           min: 15624.4920843431          max: 21655.5563359669
b = ?BIRTH         min: 16.2416757633504          max: 1292.55277543442
c = ?DEATH         min: 609.35519128938           max: 827.936759464489
d = ?OCCUPATION    min: 0.781224604217153         max: 1.08277781679835
STEP   1:                                                     * c
STEP   2:                                                     b  *c
STEP   3:                                                      b    *c
STEP   4:                                                       b     * c
STEP   5:                                                      b        * c
STEP   6:                   c*                        b
STEP   7:                      *                      b
STEP   8:                        c*                    b
STEP   9:                          c*                  b
STEP  10:                             *                 b
STEP  11: b                    *        c
STEP  12: b             *       c
STEP  13: b      *       c
STEP  14: *      c
STEP  15: c   *                                           b
STEP  16:     c  *                                         b
STEP  17:         c  *                                      b
STEP  18:             c  *                                   b
STEP  19:                 c  *                                b
STEP  20:                      c *                             b
STEP  21:                          c  *                         b
STEP  22:                               c *                       b
STEP  23:                                   c *                    b
STEP  24:                                        c *                b
STEP  25:                                             c *             b
STEP  26:                                                  c*          b
STEP  27:                                                       c*      b
STEP  28:                                                            c*   b
STEP  29:                                                                 *
STEP  30:                     c *                              b
STEP  31:                         c  *                          b
```

Voici une liste avec les valeurs plus précises:

```
               ?POP     ?BIRTH      ?DEATH ?BIRTHRATE ?DEATHRATE?OCCUPATION
MAX     :  21655.556   1292.553    827.937       .061       .039      1.083
MIN     :  15624.492     16.242    609.355       .001       .039       .781
STEP   0:  20240.000   1020.000    780.000       .051       .039      1.012
STEP   1:  20482.880   1032.240    789.360       .051       .039      1.024
STEP   2:  20728.675   1044.627    798.832       .051       .039      1.036
STEP   3:  20977.419   1057.162    808.418       .051       .039      1.049
STEP   4:  21229.148   1069.848    818.119       .051       .039      1.061
STEP   5:  21483.897   1082.687    827.937       .051       .039      1.074
STEP   6:  17393.363    876.543    670.298       .051       .039       .870
STEP   7:  17602.084    887.062    678.341       .051       .039       .880
STEP   8:  17813.309    897.706    686.481       .051       .039       .891
STEP   9:  18027.068    908.479    694.719       .051       .039       .901
STEP  10:  18243.393    919.380    703.056       .051       .039       .912
STEP  11:  17550.144     18.243    711.492       .001       .039       .878
STEP  12:  16883.239     17.550    684.456       .001       .039       .844
STEP  13:  16241.676     16.883    658.446       .001       .039       .812
STEP  14:  15624.492     16.242    633.425       .001       .039       .781
STEP  15:  15968.231    953.094    609.355       .061       .039       .798
STEP  16:  16319.532    974.062    622.761       .061       .039       .816
STEP  17:  16678.562    995.491    636.462       .061       .039       .834
STEP  18:  17045.490   1017.392    650.464       .061       .039       .852
STEP  19:  17420.491   1039.775    664.774       .061       .039       .871
STEP  20:  17803.742   1062.650    679.399       .061       .039       .890
STEP  21:  18195.424   1086.028    694.346       .061       .039       .910
STEP  22:  18595.723   1109.921    709.622       .061       .039       .930
STEP  23:  19004.829   1134.339    725.233       .061       .039       .950
```

```
STEP  24:  19422.935   1159.295   741.188       .061       .039       .971
STEP  25:  19850.240   1184.799   757.494       .061       .039       .993
STEP  26:  20286.945   1210.865   774.159       .061       .039      1.014
STEP  27:  20733.258   1237.504   791.191       .061       .039      1.037
STEP  28:  21189.390   1264.729   808.597       .061       .039      1.059
STEP  29:  21655.556   1292.553   826.386       .061       .039      1.083
STEP  30:  17705.583   1056.791   675.653       .061       .039       .885
STEP  31:  18095.106   1080.041   690.518       .061       .039       .905
```

Cet exemple sans intérêt théorique montre bien l'utilité de combiner simulation numérique et règles sans difficultés majeurs. En effet, c'est un moyen pour tenir compte du décideur humain, et revaloriser certaines modélisations du type "Club de Rome" à ses débuts qui n'ont pas su intégrer dans leurs scénarios de tels mécanismes, qui interviennent dans des boucles de "feed-back" positif.

Bibliographie

AAMODT, A. et PLAZA, E. (1994). Cased-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *AI Communications*, 7(1):39–59.

ABELSON, H. SUSSMAN, G. (1985). *Structure and Interpretation of Computer Programs*. The MIT Press, Cambridge, Ma.

ABELSON, R. (1979). Differences between Belief and Knowledge Systems. *Cognitive Science*, 3:355–366.

ABELSON, R. P. (1973). The structure of belief systems. In SCHANK et COLBY, (eds.), *Computer Models of Thought and Language*. Freeman, San Francisco.

ABELSON, R. P. (1980). In defense of common sense representations of knowledge. Cognitive Science Technical Report 6, Yale University.

ACKERMANN, E. (1994). Direct and Mediated Experience: Their Role in Learning. In LEWIS, R. et MENDELSOHN, P., (eds.), *Lessons from Learning*. North-Holland, Amsterdam.

AGHA, G. (1986). *Actors: A Model of Concurrent Computation in Distributed Systems*. MIT Press, Cambridge.

ALEXANDER, J. H., FREILING, M. J., SHULMAN, S. J., STALEY, J. L., REHFUSS, S., et MESSIK, S. L. (1986). Knowledge Level Engineering: Ontological Analysis. Tektronix Laboratory, Computer Research Laboratory.

ALKER, Jr., H. R. (1974). Are there structural models of voluntaristic social action. *Quality and Quantity*, 8:199–246.

ALKER, Jr., H. R. (1975). From information processing research to the sciences of human communication. *Informatique et sciences humaines*, 40-41.

ALKER, Jr., H. R. (1980). Some Dynamics of Ideological Thought. MIT, mimeo.

ALKER, Jr., H. R. (1981). From Political Cybernetics to Global modeling. In R., M. et B.M., R., (eds.), *From National Developpement to Global Community*. Allan and Undwin, London.

ALKER, Jr., H. R., BENNET, J., et MEFFORD, D. (1980). Generalized Precedent Logics for Resolving Insecurity Dilemmas. *International Interactions*, 7:165–206.

ALKER, Jr., H. R. et CHRISTENSEN, C. (1972). From causal modeling to artificial intelligence: the evolution of an UN peace-making simulation. MIT, Dept. of Pol. Science.

ALKER, Jr., H. R. et GREENBERG, W. J. (1976). On simulating collective security regime alternatives. MIT, Dept. of Pol.Science., mimeo.

ALKER, Jr., H. R. et HURWITZ, R. (1980). *Resolving prisonners dilemmas, Student Manual + Teacher's Manual*. APSA, Washington.

ALKER, Jr., H. R., LEHNERT, W., et SCHNEIDER, D. K. (1985). Two reinterpretations of Toynbe's Jesus: Explorations in computational hermeneutics. *Versus*, special issue on narrative summarization and analogical reasoning.

ALKER,Jr., H. R. (1983). Fairy tales and world histories: interpretive story grammars as possibilist world models. paper prepared for APSA, Chicago, Illinois.

ALLAN, P. (1983). *Crisis Bargaining and the Arms Race: A Theoretical Model*. Ballinger, Cambridge, MA.

ALLAN, P. et LUTERBACHER, U. (1992). Strategie und politisch-ökonomische Zusammenhänge, Computersimulationsmodelle der Grossmächte und der Schweiz. In ALLAN, P. et al., (eds.), *Simulationen strategischer Probleme*, pages 87–128. VDF, Zurich.

ALLAN, P. et STAHEL, A. (1983). Tribal Guerilla Warfare Against a Colonial Power, Analzing the

War in Afghanistan. *Journal of Conflict Resolution*, 27(4):590–617.

ALLISON, G. (1971). *Essence of decision*. Little Brown, Boston.

ALLPORT, G. W. (1968). Traits revisited. In ALLPORT, G., (ed.), *The Person in Psychology*. Boston.

ALLPORT, G. W. et ODBERT, H. S. (1936). Trait-Names: A psychological study. *Psychological Monographs*, 47.

ALTER, S. (1992). Why Persist with DSS when the Real Issue Is Improving Decision Making? In JELASSI, T., KLEIN, M. R., et MAYON-WHITE, W., (eds.), *Decision Support Systems: Experiences and Expectations, Proceedings of the IFIP TC8/WG 8.3 Working Conference on Decision Support Systems*, pages 215–224, Amsterdam. North-Holland.

AMEY, L. R. (1980). System Objectives And Budgetary Control. *Behavioural, Science*, 25:130–139.

ANDERSON, A., (ed.) (1964). *Minds and Machines*. Prentice Hall, New Jersey.

ANDERSON, J.R.and BOYLE, C. et REISER, B. (1985). Intelligent Tutoring Systems. *Science*, 228:456–462.

ANDERSON, J. R. (1975). *Cognitive Psychology and its Implications*. Freeman, San Francisco.

ANDERSON, R. C. et AUSUBEL, D. P., (eds.) (1966). *Readings in the Psychology of Cognition*. Holt, Rinehard and Winston, New York.

ANGEHRN, A. et DUTTA, S. (1992). Integrating Case-Based Reasoning in Multi-Critera Decision Support Systems. In JELASSI, T., KLEIN, M. R., et MAYON-WHITE, W., (eds.), *Decision Support Systems: Experiences and Expectations, Proceedings of the IFIP TC8/WG 8.3 Working Conference on Decision Support Systems*, pages 133–150, Amsterdam. North-Holland.

APPELT, D. E. (1980). A Planner for Reasoning about Knowledge and Action. In *Proceedings of the First Annual Conference on Artificial Intelligence*, pages 131–133.

ARBIB, M. (1972). *The Metaphorical Brain, Introduction to Cybernetics as Artificial Intelligence and Brain Theory*. Wiley, New York.

ARCHBOLD, A. A. et HOBBES, J. (1981). Notes on the Analysis of Evaluative Argumentation in Text. mimeo.

ARENS, Y., CHEE, C., HSU, C., et KNOBLOCK, C. (1993). Retrieving and Integrating Data from Multiple Information Sources. *International Journal of Intelligent and Cooperative Information Systems*, 2(2):127 – 158.

ASHBY, W. (1960). *Design for a Brain*. Wiley, New York.

ASHBY, W. (1962). Principles of The Self-Organizing System. In VON FOERSTER, H. et ZOPF, W., (eds.), *Principles of Self-Organization*. MacMillan, New York.

AUSTIN, J. L. (1956). *How to do things with words*. Oxford Univ. Press, Oxford.

AXELROD, R. (1973). Schema Theory: An Information Processing Model of, Perception and Cognition. *APSR*, 167:1248–67.

AXELROD, R., (ed.) (1976). *Structure of decision: the cognitive map of political elites*. Princeton Univ. Press, Princeton.

AXELROD, R. (1984). *The Evolution of Cooperation*. Basic Books.

BACH, K. et HARNISCH, R. (1979). *A Theory of Speech Acts*. MIT-Press, Cambridge (Ma.).

BACKMANN, C. (1970). Role theory and international relations: a commentary, and extension. *International Studies Quarterly*, 14:310–319.

BADDELEY, A. (1990). *Human Memory, Theory and Practice*. Laurence Erlbaum, London.

BALLMER, T. et BRENNENSTUHL, W. (1981). *Speechact Classification*. Springer, New York.

BALZER, R. et al. (1980). HEARSAY III: A Domain - Independent Framework for Expert Systems.

BARDACH, E. (1977). *The implementation game : what happens after a bill becomes a law*. The MIT Press, Cambridge, MA.

BARR, A. et FEIGENBAUM, E. A., (eds.) (1982). *The Handbook of Artificial Intelligence*, volume I, II, II. Kaufman, Los Altos.

BARTLETT, F. (1932). *Remembering*. Cambridge Press, Cambridge.

BAUM, E. (1992). On Optimal Game Tree Propagation for Imperfect Players. In *Proceedings of the Tenth National Conference on Artificial Intelligence*.

BEAUVOIS, J.-L. (1993). *Cours de Psychologie*, volume 2, chapter Bases des fonctionnements socio-cognitfs, pages 101–225. Dunod, Paris.

BECHTEL, W. (1993). Currents in Connectionism. *Minds and Machines*, 3(2):125–153.

BECKER, S. et SELMAN, B. (1986). An Overview of Knowledge Acquisition Methods for Expert Systems. Technical Report CSRI-184, University of Toronto, Computer Systems Research.

BENNET, J. P. (1984). No Second Thoughts about First Use. University of Pennsylvania, Dept. of Regional Science.

BENNET, J. P. et ALKER, H. R. J. (1977). When National Security Politics Bred Collective Insecurity: The War of The Pacific in a World Politics Simulation. In DEUTSCH, K., (ed.), *Problems of World Modeling*. Ballinger, Cambridge.

BENSELER, F. et al. (1980). *Autopoiesis, Communication and Society: The Theory of Autopoietic Systems in the Social Sciences*. ??, Frankfurt.

BERGER, P. L. (1963). *Invitation to sociology, A humanistic perspective*. Doubleday, Garden City.

BERLINSKI, D. (1978). *On Systems Analysis*. The M.I.T. Press, Cambridge.

BERTANLANFFY von, L. (1968). *General Systems Theory*. Braziller, New York, revised edition edition.

BICKHARD, M. H. (1993). Representational Content in Humans and Machines. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 5:285–333.

BICKHARD, M. H. et TERVEEN, L. (1994). *Impasse and Solution, Foundational Issues in Artificial Intelligence and Cognitive Science*. in press.

BIRNBAUM et al. (1980). Towards a AI Model of Argumentation. In *Proceedings of the First Annual Conference on Artificial Intelligence*, pages 313–315, Stanford University.

BLOCK, N., (ed.) (1980). *Readings in philosophy of psychology*, volume I. Harvard Univ. Press, Cambridge.

BLUMER, H. (1967). *Symbolic interactionism, perspective and method*. Prenctice Hall, Englewood Cliffs.

BOBROW, D. et COLLINS, A., (eds.) (1975). *Representation and Understanding: Studies in Cognitive Science*. Academic Press, New York.

BODEN, M. (1977). *Artificial Intelligence and Natural Man*. Harvester Press, Hassocks.

BODEN, M. (1978). Artificial Intelligence and Piagetien Theory. *Synthese*, 38:389–414.

BODEN, M. A. (1972). *Purposive Explanation in Psychology*. Harvard University Press, Cambridge.

BODILY, S. E. (1985). *Modern decision making: a guide to modeling with decision support systems*. McGraw-Hill, New York.

BODNER, D., NARAYANAN, S., SREEKANTH, U., GOVINDARAJ, T., McGINNIS, L., et MITCHEL, C. (1994). Analysis of Discrete Manufacturing Systems for Developing Object-Oriented Simulation Models. Georgia Institute of Technology, submitted to the Industrial Engineering Research Conference, Atlanta, Georgia.

BONHAM, G. et al. (1979). The october war: changes in cognitive orientation towards the middle east conflict. *International studies quarterly*, 23:3–44.

BONHAM, G. et SHAPIRO, M. (1977). *Thought and action in foreign policy*. Birkhaeuser, Basel.

BONHAM, G., SHAPIRO, M., et NOZICKA, G. (1976). A cognitive process model of foreign policy decision making. *Simulation and gaming*, 7:123–152.

BORING, E. (1946). Mind and Mechanism. *American Journal of Psychology*, 2.

BOSSEL, H. (1977). Modeling of the Cognitive Processes Determining Nonroutine Behavior. In BOSSEL, H., (ed.), *Concepts and Tools of Computer-assisted Policy Analysis*. Birkhauser, Interdisciplinary Systems Research, Basel.

BOUDON, R. (1979). *La logique du social: Introduction à l'analyse sociologique*. Hachette, Paris.

BOURNE, L. (1966). *Human Conceptual Behavior*. Allyn, Boston.

BRACHMAN, R. et al. (1983). What are expert systems? In HAYES-ROTH, F., WATERMAN, D., et LENAT, D., (eds.), *Building Expert Systems*. Addison-Wesley, New York.

BRAMS, S. J. (1975). *Game Theory and Politics*. The Free Press, New York.

BRAYBROOKE, D. et LINDBLOM, C. E. (1970). *A strategy of decision : policy evaluation as a social process*. Free Press, New York.

BREMER, S. A. (1987). *The GLOBUS Model: Computer Simulation of Worldwide Political and Economic Developments*. Westview, Boulder.

BRENNENSTUHL, W. (1975). *Handlungstheorie und Handlungslogik*. Scriptor, Kronberg.

BREUKER, J. et WIELINGA, B. (1985). KADS: Structured Knowledge Acquisition for Expert Systems. In *5ièmes Journées Internationales, Les systèmes experts et leurs applications*, pages 887–900. Agence de l'informatique.

BRODIN, K. (1972). Belief systems, doctrines, and foreign policy. *Cooperation and Conflict*, 7:97–112.

BROOKS, R. (1991). Intelligence Without Reason. In *IJCAI*, pages 569–595.

BROWN, R. H. (1976). Social Theory as Metaphor. *Theory and Society*, pages 169–196.

BROWN, S. R. et TAYLOR, R. W. (1972). Perspective in Concept Formation. *Social Science Quarterly*, 52:852–860.

BRUCE, B. (1980). Analysis of Interacting Plans as Guide to the Understanding of Story Structure. *Poetics*, 9:295–311.

BRUCKMAN, A. (1993). Programming for Fun: MUDs as a Context for Collaborative Learning. MIT Media Lab, working paper.

BRUCKMAN, A. et RESNICK, M. (1993). Virtual Professional Community: Results from the MediaMOO Project. In *Third Internation Conference on Cyberspace*, Austin, Texas.

BUCHANAN et al. (1983). Constructing an expert system. In HAYES-ROTH, F., WATERMAN, D., et LENAT, D., (eds.), *Building Expert Systems*. Addison-Wesley, New York.

BUCHANAN, B. et FEIGENBAUM, E. (1978). DENDRAL and META-DENDRAL:Their Applications Dimensions. *Journal of Artificial Intelligence*, 11:5–24.

BUCHANAN, B. et HEADRICK, T. (1970). Some Speculation About Artificial Intelligence and Legal Reasoning. *Stanford Law Review*, 23.

BUCHANAN, W. et CANTRIL, H. (1953). *How nations see each other*. Univ of Illinois Press, Urbana.

BUCKLEY, W. (1966). *Sociology And Modern Systems Theory*. Prentice Hall, New York.

BUI, T. (1992). Building DSS for Negotiators: A Three-Step Design Process. *IEEE*, 1.

BUNDY, A. (1978). *Artificial Intelligence: An Introductory Course*. Edinburg Univ. Press, Edinburg.

BURKE, K. (1966). *Language as symbolic action. Essays on life, literature and method*. Univ. of California Press, Berkeley.

BURKE, K. (1969). *A Grammar of Motives*. University of California Press, Berkeley.

BURKE, K. (1969/50). *A Rhetoric of Motives*. University of California Press, Berkeley.

BUSEMEYER, J. R. et MYUNG, I. J. (1992). An Adaptive Approach to Human Decision Making: Learning Theory, Decision Theory, and Human Performance. *Journal of Experimental Psychology: General*, 121(2):177–194.

BUSSHOFF, H. (1976). Der politische Code. *KZFSS*, pages 335–351.

CAMMARATA, S., GATES, B., et ROTHENBERG, J. (1988). Dependencies, Demons, and Graphical Interfaces in the ROSS Language. Technical Report N-2589-DARPA, The RAND Corporation.

CANTOR, M. W. (1979). Prototypes in person perception. In BERKOWITZ, (ed.), *Advances in Experimental Socialpsychology*. Academic Press, New York.

CARBONELL, J. F. (1981a). Towards a Computational Model of Problemsolving and Learning by Analogy. Draft 2, CMU, mimeo.

CARBONELL, J. G. (1979). POLITICS: Automated Ideological Reasoning. *Cognitive Science*, 2:355–366.

CARBONELL, J. G. (1981b). POLITICS. In SCHANK, R. C. et RIESBECK, C., (eds.), *Inside Computer Understanding*. Erlbaum, Hillsdale.

CARBONELL, J. G. (1981c). *Subjective Understanding, Computer Models of Belief Systems*. UMI Research Press, Ann Arbor.

CARLSON, J. G. et MISSHAUK, M. J. (1972). *Introduction to gaming: management decision simulations*. Wiley, New York.

CARRIER, H. D. et WALLACE, W. A. (1989). An Epistemological View of Decision-Aid Technology with Emphasis on Expert Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 19(5):1021–1029.

CHANDRASEKARAN, B. (1987). Towards a Functional Architecture for Intelligence Based on Generic Information Processing Tasks. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Artificial Intelligence*, pages 1183–1192, Milan, Italy.

CHARNIAK, E. et McDERMOTT, D. (1985). *Introducution to Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, Reading, MA.

CHARNIAK, E., RIESBECK, C., et McDERMOTT, D. (1980). *Artificial Intelligence Programming*. Erlbaum, Hillsdale.

CHO, T. H. (1993). *A Hierarchical, Modular Simulation Environment for Flexbile Manufacturing System Modeling*. PhD thesis, The University of Arizona.

CHOMSKI, N. (1959). Review of 'Verbal Behavior' of B.F. Skinner, New York, Appleton, Centory-Crofts. *Language*, 35:26–58.

CHOMSKI, N. (1979). Human language and other semiotic systems. *Semiotica*, 25:31–44.

CIAMPI, C. (1983). *Artificial Intelligence and Legal Information Systems*. Elsevier, New York.

CICOUREL, A. (1964). *Method and measurement in sociology*. The Free Press, New York.

CLANCEY, William, J. (1983). The Epistemology of a Rule-Based Expert System - a Framework for Explanantion. *Artificial Intelligence*, 20:215–251.

CLANCEY, William, J. (1985). Heuristic Classification. Technical Report KSL 85-5, Stanford Knowledge Systems Laboratory. also appeared in Artificial Intelligence 27 (1985) pp.289-350.

CLANCEY, W. J. (1992). The Frame of Reference Problem in the Design of Intelligent Machines. In Lehn, K., (ed.), *Architectures for Intelligence, Proceedings of the 22nd Carnegie Symposium on Cognition*, pages 357–423. Erlbaum, Hillsdale (NJ).

CLANCEY, W. J. (1993). Guidon-Manage Revisited: A Socio-Technical Systems Approach. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 4(1):5–34.

CLIPPINGER, J. (1977). *Meaning and Discourse, A Computational Model of Psychoanalytic Speech and Cognition*. John Hopkins University Press, Baltimore.

COBB, R. (1973). The belief-systems perspective: an assessment of a framework. *Journal of politics*, 35:121–53.

COHEN, P., MORGAN, J., et POLLAK, M. (1990). *Intentions in Communication*. MIT Press, Cambridge, MA.

COHEN, P. R. (1979). Elements of a plan-based theory of speech-acts. *Cognitive science*, 3:177–212.

COLBY, K. (1973). Simulations of Belief Systems. In SCHANK, R. C. et COLBY, K., (eds.), *Computer models of thought and language*. Freeman, San Francisco.

COLBY, K. M. (1974). Ten Criticisms of Parry. MEMO-AIM 244, Stanford.

COLBY, K. M. (1981). Modeling a paranoid mind, (with commentary). *The Behavioral and Brain Sciences*, 4:515–560.

COLLINS, A. et BROWN, J. (1988). The Computer as a Tool for Learning through Reflection. In MANDL, H. et LESGOLD, A., (eds.), *Learning Issues for Intelligent Tutoring Systems*. Springer-Verlag, New York.

COOK, S., HAFNER, C., McCarty, L., MELDMAN, J., PETERSON, M., SPROWL, J., SRIDHARAN, N., et WATERMAN, D. (1981). The Applications of Artificial Intelligence to Law: A Survey of Six Current Projects. In *Proceedings of the AFIPS National Computer Conference*, pages 689–96. AFIPS Press.

CORTES, F., PRZEWORSKI, A., et SPRAGUE, J. (1974). *Systems Analysis for Social Scientists*. Wiley, New York.

COVRIGARU, A. A. et LINDSAY, R. K. (1991). Deterministic Autonomous Systems. *AI Magazine*, 12(3):110–117.

COWAN, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention and their mutual constraints with the human information processing system. *Psychological Bulletin*, 104:163–191.

CRECINE, J. P. (1969). *Governmental Problem-Solving, A Computer Simulation of Municipal Budgeting*. Rand McNally, Chicago.

CROOKALL87, D. et al., (eds.) (1987). *Simulation-gaming in the late 1980s : proceedings of the International Simulation and Gaming Association's 17th International Conference*, New York. Pergamon Press.

CROZIER, M. et FRIEDBERG, E. (1977). L'acteur et le système, Seuil, Paris.

CROZIER, Michel (1990). L'évaluation des performances pédagogiques des établissements universitaires. La documentation française, Paris.

CUTLER, R. M. (1982). The formation of soviet foreign policy: organizational and cognitive perspectives. *World Politics*, 34.

DALLMAYER, (ed.) (1977). *Understanding and Social Inquiry,(Anthology)*. Notre Dame Press, Indiana.

DAMPNEY, C., JOHNSON, M. S., et DEUBLE, P. (1992). Taming Large Complex Information Systems. In *Complex Systems 92, Australian National University*, Amsterdam. IOS Press. ftp://life.anu.edu.au/pub/complex_systems/anu92/papers.

DAVIS, R. (1982). Expert Systems: Where are we? And where do we go from here? *The AI Magazine*, Spring:3–22.

De BEAUGRANDE, R. (1980). *Text, Discourse and Process, Towards a Multidisciplinary Science of Texts*, volume Advances in Discourse Processes vol.4. Ablex, Norwood, N.J.

DE BEAUGRANDE, R. et COLBY, B. N. (1979). Narrative Models of Action and Interaction. *Cognitive Science*, 3:43–66.

DE BEAUGRANDE, R. et DRESSLER, W. (1981). *Introduction to Textlinguistics*. Longman, New York.

DE JONG, G. (1986). An Approach to Learning from Observation. In MICHALSKI, R., CARBONELL, J., et MITCHELL, T., (eds.), *Machine Learning, An Artificial Intelligence Approach*, volume 2. Morgan Kaufmann, Los Altos (CA).

de JONG, T., de HOOG, R., et de VRIES, F. (1993). Coping With Complex Environments: The Effects of Providing Overviews and a Transparent Interface on Learning With a Computer Simulation. *International Journal of Man-Machine Studies*, 39(4):621–639.

DE RIVERA, J. H. (1968). *The psychological dimension of foreign policy*. Merril, Columbus.

DELLEY, J.-D., DERIVAZ, R., MADER, L., MORAND, C.-A., et SCHNEIDER, D. (1982). *Le Droit en action*. Georgi, St-Saphorin.

DENNET, Daniel, C. (1981). Intentional Systems. In HAUGELAND, J., (ed.), *Mind Design*. MIT Press, Cambridge,MA.

DENNET, D. (1965). Action,Reason, and Purpose. *The Journal of Philosophy*, 62:85–96.

DENNET, D. (1969). *Content and Consciousness*. Humanities Press, New York.

DENNET, D. C. (1979). Artificial Intelligence as Philosphy and as Psychology. In RINGLE, M., (ed.), *Philosophical Perspectives in Artificial Intelligence*. Humanities Press, Atlantic Highlands.

DEUTSCH, K. W. (1966). *The Nerves of Government*. The Free Press, New York.

DHAR, V. et CROKER, A. (1988). Knowledge-Based Decision Support in Business: Issues and a Solution. *IEEE Expert*, 3(1):53–62.

DI RENZO, G., (ed.) (1974). *Personality and Politics*. Anchor, New York.

DILLENBOURG, P. (1992). The Computer as Constructorium. In MOYSE, R. et ELSOM-COOK, M., (eds.), *Knowledge Negotiation*. Academic Press, London.

DILLENBOURG, P., HILARIO, M., MENDELSOHN, P., et SCHNEIDER, D.and BORCIC, B. (1993). De la généralisabilité d'un environnement d'apprentissage. In BARON, M., GRAS, R., et NICAUX, J., (eds.), *Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur*, pages 159–168. Eyrolles, Paris.

DILLENBOURG, P., SCHNEIDER, D., et MENDELSOHN, P. (1994). The distribution of pedagogical roles in a Multiagent Learning Environment. In LEWIS, R. et MENDELSOHN, P., (eds.), *Lessons from Learning, Proceedings of the IFIP TC3/WG3.3 Working Conference on*

Lessons from Learning, Amsterdam. North-Holland.

DOERNER, D. (1976). *Problemloesen als Informationsverarbeitung*. Kohlhammer, Suttgart.

DOERNER, D. (1987a). On the Logic of Failure: Thinking, Planning and Decision Making in Uncertainty and Complexity. Memorandum 54, Lehrstuhl Psychologie II, Universität Bamberg.

DOERNER, D. (1987b). Von der Logik des Misslingens. Denken, Planen und Entscheiden in Unbestimmtheit und Komplexität. Memorandum 54, Lehrstuhl Psychologie II, Universität Bamberg.

DOERNER, D., KREUZIG, H., REITHER, F., et STAEUDEL, T. (1983). *Lohhausen. Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Huber, Bern.

DOERNER, D., SCHAUB, H., STAEUDEL, T., et STROHSCHNEIDER, S. (1987). Ein System zur Handlungsregulation oder Die Interaktion von Emotion, Kognition und Motivation. Memorandum 57, Lehrstuhl Psychologie II, Universität Bamberg.

DOERNER, D., STAEUDEL, T., et STROHSCHNEIDER, S. (1986). Moro - Programmdokumentation. Memorandum 23, Lehrstuhl Psychologie II, Universität Bamberg.

DOWNS, A. (1957). *An Economic Theory of Democracy*. Harper and Row, New York.

DREYFUSS, H. (1972). *What Computers Can't Do*. Harper and Row, New York.

EBBINGHAUS, H. (1885). *Ueber das Gedächtnis: Untersuchungen zur experimentellen Psychologie*. Duncker und Humbolt, Leipzig.

EDMONDS, E., O'BRIEN, S. M., et BAYLEY, T. (1993). Constructiong End-User Knowledge Manipulation Systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 38:51–70.

EDWARDS, W. et TVERSKY, A., (eds.) (1967). *Decision making: selected readings*. Penguin, Harmondsworth.

ERICSSON, A. K. et SIMON, H. A. (1983). *PROTOCAL ANALYSIS, Verbal Reports as Data*. The MIT Press, Cambridge, Ma.

ESHELMAN, L. et McDERMOTT, J. (1986). MOLE: A Knowledge Acquisition Tool That Uses Its Head. Carnegie Mellon University ??

ETHEREDGE, L. S. (1979). Government Learning, An Overview. M.I.T., Center for International Studies.

ETZIONI, A. (1968). *The active society, a theory of societal and political processes*. The Free Press, New York.

EULAU, H. (1963). *The behavioral persuasion in politics*. Random House, New York.

EVANS, J., OVER, D. E., et MANKTELOW, K. I. (1993). Reasoning, Decision Making and Rationality. *Cognition*, 49(1&2):165–18.

EVARD, R. (1993). Collaborative Networked Communication: MUDs as Systems Tools. In *LISA*, Monterey, CA.

FALKOWSKY, L. (1979a). Psychological Models and Systemic Outcomes. In FALKOWSKY, L., (ed.), *Psychological models in international politics*. Westview, Boulder.

FALKOWSKY, L., (ed.) (1979b). *Psychological models in international politics*. Westview, Boulder.

FARAG, W. M. (1989). SEIF: A System for Learning Adaptable Actions. Technical report, AI Laboratory, The University of Michigan.

FEIGENBAUM, E. et FELDMAN, J. (1963). *Computers and Thought*. McGraw-Hill, New York.

FELDMAN, J. A. et SPROULL, R. F. (1977). Decision Theory and Artificial Intelligence II: The hungry monkey. *Cognitive Science*, 1(2):158–192.

FESTINGER, L. (1964). *Conflict, decision, and dissonance*. Stanford University Press, Stanford.

FIKES, R. E. (1982). A Commitment-based frameword for describing informal cooperative work. *Cognitive Science*, 6:331–347.

FIKES, R. E., CUTKOSKY, M., GRUBER, T., et Van BALEN, J. (1991). Knowledge Sharing Technology. Technical report, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University.

FIKES, R. E. et NILSSON, N. J. (1971). STRIPS: A New Approach to the Application of Theorem Proving to Problem Solving. *Artificial Intelligence*, 2:189–208.

FIKSEL, J. et HAYES-ROTH, F. (1989). Knowledge Systems for Planning Support. *IEEE Expert*, 4(3):16–24.

FILLMORE, C. (1986). The Case for Case. In BACH, E. et HARMS, R., (eds.), *Universals in Linguistic Theory*. Holt,Rinehart and Winston.

FINDLER, N., (ed.) (1978). *Associative Networks: The Representation and Use of Knowledge in Computers*. Academic Press, New York.

FINEGAN, A. (1992). Soft Systems Methodology: An Alternative Approach to Knowledge Elicitation in Complex and Poorly Defined Systems. In *Complex Systems 92, Australian National University*, Amsterdam. IOS Press. ftp://life.anu.edu.au/pub/complex_systems/anu92/papers.

FINGER, M. et SCHNEIDER, D. K. (1978). Les possibilités et les limites d'une sociologie de la communication. Univ. de Genève, Dept. de science politique, travail de séminaire.

FINLAY, D. et al., (eds.) (1967). *Enemies in Politics*. Rand McNally, Chicago.

FLORES, C. F. et WINOGRAD, T. (1978). Understanding cognition as understanding. mimeo, Stanford.

FODOR, J. (1980). Methodological Solipsism Considered as a Research Strategy in Cognitive Psychology (with peer commentary). *The Behavioral and Brain Sciences*, 3:63–109.

FODOR, J. (1983). *The Modularity of Mind*. M.I.T. Press, Cambridge.

FODOR, J. (1995). *The Language of Thought*. Harward University Press, Cambridge (Ma).

FODOR, J. et PYLYSHYN, Z. (1988). Connectionism and Cognitive Architecture: A Critical Analysis. *Cognition*, 28.

FOERSTER von, H. et ZOPF,Jr., G., (eds.) (1962). *Principles of Self-Organization, Transactions of The University of Illinois Symposium on Self-Organization, 1961*, New York. MacMillan.

FORRESTER, J. W. (1973). *World Dynamics*. MIT Press, Cambridge, 2 edition.

FRANK, M. P. (1984). Advances in Decision Theoretic AI: Limited Rationality and Abstract Search. Master's thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science, MIT.

FREGE, G. (1897). *Begriffsschrift, eine der arithmetischen nachgebildeten Formelsprache des reinen Denkens*. Halle.

FREI, D. et al. (1978). Weltbild und Aussenpolitik - Untersuchung zur aussenpolitischen Meinungsbildung im schweizerischen Parlament. Nationalfondsprojekt.

FRIEDBERG, E. (1993). Le pouvoir et la règle. Dynamiques de l'action organisée. Seuil, Paris.

FREILING, M., ALEXANDER, J., Messik, S., REHFUSS, S., et Sherri, S. (1985). Starting a Knowledge Engineering Project: A Step-by-Step Approach. *The AI Magazine*, pages 150–164.

GALLHOFER, I. N. et SARIS, W. E. (1979). An Analysis of the Argumentation of Decision Makers Using Decision Trees. *Quality and Quantity*, 16:411–430.

GALLHOFER, I. N. et SARIS, W. E. (1983). A Decision Theoretical Analysis of Decisions of the Dutch Government in Exile During World War II. *Historical Social Research, Quantum*

Information, 26:3–17.

GALLHOFER, I. N. et SARIS, W. E. (1989a). Decision Tres and Decision Rules in Politics: The Empirical Decision Analysis Procedure. In MONTGOMERY, H. et SVENSON, O., (eds.), *Process and Structure in Human Decision Making*, pages 293–311. John Wiley.

GALLHOFER, I. N. et SARIS, W. E. (1989b). Three methods for analyzing decision making using written documents. In MONTGOMERY, H. et SVENSON, O., (eds.), *Process and Structure in Human Decision Making*, pages 99–123. John Wiley.

GAUPP, P. et al. (1979). Die Methode des ”cognitive mapping” Ihre Anwendung auf Informationen ueber die internationale Umwelt. Kleine Studien zur Politischen Wissenschaft 154, Universität Zürich.

GEERTZ, C. (1973). *The interpretation of cultures*. Basic Books, New York.

GEORGE, A. (1969a). Case Studies and Theory Development: The Method of Structured Focused Comparison. In LAUREN, P., (ed.), *Diplomacy: New Approaches in History, Theory and Politics*. Free Press, New York.

GEORGE, A. (1969b). The ”operational code”: a neglected approach to the study of political leaders and decision making. *International studies quarterly*, 13.

GEORGE, A. (1979). The causal nexus between cognitive beliefs and decision-making behavior: the ”operational code” belief system. In FALKOWSKI, L., (ed.), *Psychological models in international politics*. Westview, Boulder.

GERNER, D. J., SCHRODT, P. A., FRANCISCO, R. A., et L., W. J. (1994). Machine Coding of Event Data Using Regional and International Sources. *International Studies Quarterly*, 38:91–119.

GOFFMAN, E. (1959). *The Presentation of Self in Everyday Life*. Doubleday, Garden City (N.Y.).

GOFFMAN, E. (1967). *Interaction Ritual; Essays on Face-to-Face Behavior*. Anchor Books, Garden City (N.Y.).

GOLDSTEIN, I. et PAPERT, S. (1977). AI, Language and the Study of Knowledge. *Cognitive Science*, 1:84–123.

GORDON, R. L. (1956/57). Dimensions of the depth interview. *American Journal of Sociology*, pages 158–164.

GRELON, A. (1978). Interviewer ? *Langage et Société*, 4:41–81.

GRIZE, J.-B. (1976). Matériaux pour une logique naturelle. Travaux du Centre de Recherches Sémiologiques 29, Université de Neuchatel, Neuchatel.

GROSS-STEIN, J. et TANTER, R. (1967). *Rational Decision Making. Israeli's Security Choices*. Ohio State University Press.

GRUSKY, O. et MILLER, G. A., (eds.) (1981). *The Sociology of Organizations*. The Free Press, New York.

GUETZKOW, H. (1962). Inter-Nation Simulation: An Example of a Self-Organizing System. In YOVITS, M. C., JACOBI, G. T., et GOLDSTEIN, G. D., (eds.), *Conference on Self-Organizing Systems,Chicago, 1962*. Spartan, Washington, D.C.

GUHA, R. et LENAT, Douglas, B. (1990). Cyc: A Mid-Term Report. *AI Magazine*, 11(3).

HABERMAS, J. (1981). *Theorie des kommunikativen Handelns, Zur Kritik der funktionalistischen Vernunft*, volume I + II. Suhrkamp, Frankfurt.

HABERMAS, J. (1984). *Vorstudien und Ergänzungen sur Theorie des kommunikativen Handelns*. Suhrkamp, Frankfurt.

HAGEN, J. J. (1974). *Rationales Entscheiden*. Fink, UTB, Muenchen.

HANCOCK, P. (1992). On the Future of Hybrid Human-Machine Systems. In WISE, J., HOPKIN, V., et STAGER, P., (eds.), *Vertification and Validation of Complex Systems: Human Factors*, volume 10, pages 61–85. NATO ASI Series F: Computer and Systems Sciences.

HARMON, P. et KING, D. (1985). *Expert Systems*. Wiley, New York.

HARNAD, S. (1990). The Symbol Grounding Problem. *Physica D*, 42:335–346.

HARRE, R. (1980). *Social Being, A Theory for Social Psychology*. Rowman and Littlefield, Totowa (New Jersey).

HARRE, R. et SECORD, P. (1978). *The Explanation of Social Behavior*. ??, London.

HART, A. (1986). *Knowledge Acquisition for Expert Systems*. Kogan Page, London.

HAUGELAND, J. (1978). The nature and plausibility of cognitivism (with peer commentary). *The Behavioral and Brain Sciences*, 2:215–260.

HAUGELAND, J., (ed.) (1981). *Mind Design, Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence*. The MIT-Press, Cambridge (Ma).

HAWTON, M. B. (1974). Essentials of a Self-Organizing System. *Cybernetica*, 17:85–123.

HAYES, A. C. (1977). A Semi-formal Explication of Talcott Parsons Theory of Action. *Sociological Inquiry*, 50:39–56.

HAYES-ROTH, B. et HAYES-ROTH, F. (1979). A cognitive model of planning. *Cognitive Science*, 3:275–310.

HAYES-ROTH, F., WATERMAN, D. A., et LENAT, D. B., (eds.) (1983). *Building Expert Systems*. Addison-Wesley, Reading.

HEARN, F. (1975). The Dialectical Uses of Ideal-Types. *Theory and Society*.

HEIDER, F. (1958). *The Psychology of Interpersonal Relations*. Wiley, New York.

HERADSTVEIT, D. et NARVESEN, O. (1978). Psychological constraints on decision making: A discussion of cognitive approaches: operational code and cognitive map. *Cooperation and Conflict*, 13:77–92.

HERMANN, M. (1977). *A Psychological examination of political leaders*. Free Press, New York.

HILL, W. C. (1989). The mind at AI: Horseless Carriage to Clock. *AI Magazine*, 10(summer).

HINTON, G. (1989). Connectionist Learning Procedures. *Artificial Intelligence*, 40.

HOFMANN, H. F., PFEIFER, R., et VINKHUYZEN, E. (1993). Situated Software Design. AI Lab, University of Zurich. Article submitted to the Fifth International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering.

HOFSTADTER, D. (1980). *Godel, Escher, Bach, An Eternal Golden Brand*. Vintage Books, New York.

HOLSTI, O. R. (1977). The 'operational code' as an approach to the analysis of belief systems. Duke University.

HORAN, J. (1979). *Counseling for Effective Decision Making*. Duxbury Press, North Scituate, MA.

HUBER, O. (1992). *Entscheiden als Problemlösen*. Hans Huber, Bern.

HÜBNER, K. (1983). *Critique of Scientific Reason*. University of Chicago Press, Chicago.

HUDSON, V. (1991). *Artificial Intelligence and International Politics*. Westview Press.

HUERLIMANN, W. (1981). *Methodenkatalog, Ein systematisches Inventar von ueber 3000 Problemloesungsmethoden*. Peter Lang, Bern.

HULL, C. (1952). *A behavior system*. Yale University Press, New Haven.

HUSSY, W. (1984). *Denkpsychologie, Eine Lehrbuch*, volume 1. Kohlhammer, Stuttgart.

INGENSCHAY, D. (1980). 'Sekundaere Konstruktionen', Ueberlegungen zum Verhaeltnis von Drama und Handlungstheorie. *Poetica*, 12:443–463.

IntelliCorp (1986). *The SimKit System*, 1.1. for kee version 3.0 edition.

JACKSON, P. (1986). *Introduction to Expert Systems*. Addison-Wesley, Wokingham, GB.

JACOB, V. S. et PIRKUL, H. (1992). Organizational Decision Support Systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 36(6):817–832.

JAMES, W. (1892). *Psychology*. Henry Holt, New York.

JANTSCH, E. (1975). *Design for Evolution, Self-Organization and Planning in the Life of Human Systems*. Braziller, New York.

JANTSCH, E. (1980). The Unifying Paradigm Behind Autopoesis, Dissipative Structures, Hyper- And Ultra-Cycles. In ZELANY, M., (ed.), *Autopoiesis, dissipative structures, and social orders*. Westview Press, Boulder.

JELASSI, T., KLEIN, M. R., et MAYON-WHITE, W., (eds.) (1992). *Decision Support Systems: Experiences and Expectations, Proceedings of the IFIP TC8/WG 8.3 Working Conference on Decision Support Systems*, Amsterdam. North-Holland.

JERVIS, R. (1976). *Perception and misperception in international conflicts*. Princeton University Press, Princeton, N.J.

JOB, B. L. et JOHNSON, D. (1991). UNCLESAM: The Application of a Rule-Based Model of U.S. Foreign Policy Making. In HUDSON, V., (ed.), *Artificial Intelligence and International Politics*. Westview Press.

JOHNSON-LAIRD, P. N. et SHAFIR, E. (1993). The Interaction Between Reasoning and Decision Making: An Introduction. *Cognition*, 49(1&2):1–9.

JOSEPH, G.-M. et PATEL, V. (1986). Specificity of Expertise in Clinical Reasoning. In *Program of the Eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society*, pages 331–345, Hillsdale, NJ. Lawrence Erlbaum.

KAHNEMAN, D. et TVERSKY, A. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, 47:263–91.

KAHNEMAN, D. et TVERSKY, A. (1982). The Simulation Heuristic. In KAHNEMAN, D., SLOVIC, P., et TVERSKY, A., (eds.), *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. Cambridge University Press.

KANDEL, L. (1972). Réflexions sur l'usage de l'entretien, notamment non directif, et sur les études d'opinion. *Epistémologie sociologique*, 13:25–46.

KARLSSON, G. (1987). *A Phenomenological Psychological Method: Theoretical Foundations and Empirical Application in the Field of Decision Making and Choice*. Akademitryck, Stockholm.

KARLSSON, G. (1989). Rules and Strategies in Decision Making: A Critical Analysis from a Phenomenological Perspective. In MONTGOMERY, H. et SVENSON, O., (eds.), *Process and Structure in Human Decision Making*, pages 293–311. John Wiley.

KARPATSCHOFF, B. (1982). Artificial Intelligence or Artificial Significance. *Journal of Pragmatics*, 6:293–304.

KEARSLEY, G. (1987). *Artificial Intelligence and Instruction, Applications and Methods*. Addison-Wesley, Reading.

KEEN, P. G. (1986). Decision Support Systems: The Next Decade. In McLEAN, E. R. et SOL, H. G., (eds.), *Decision Support Systems: A Decade in Perspective, Proceedings of the IFIP WG 8.3 Conference on Decision Support Systems*, pages 215–224, Amsterdam. North-Holland.

KEEN, P. G. et MORTON, S. M. (1978). *Decision Support Systems: An Organizational Perspective*. Addison-Wesley, Reading.

KIBLER, D. et HALL, Roger, P. (1985). A Model of Acquiring Problem Solving Expertise. In *Proceedings of the Seventh Annual Conference of the Cognitive Science Society*, pages 303–307.

KLAHR, P. (1984). TWIRL: Tactical Warfare in the ROSS Language. Technical Report R-3158-AF, The RAND Corporation.

KLAHR, P. (1986a). Expressibility in ROSS: An Object-oriented Simulation System. In *AI APPLIED TO SIMULATION: Proceedings of the European Conference at the University of Ghent*, pages 136–139, San Diego. Society for Computer Simulation.

KLAHR, P. et WATERMAN, D. (1986). *Expert Systems: Techniques, Tools, and Applications*. Addison-Wesley, Reading.

KLAHR, P. e. a. (1982). SWIRL: Simulating Warfare in the ROSS Language. Technical Report N-1885-AF, The RAND Corporation.

KLAHR, P. e. a. (1986b). Twirl: Tactical Warfare in the Ross Language. In KLAHR, P. et WATERMAN, D., (eds.), *Expert Systems: Techniques, Tools, and Applications*, pages 70–91. Addison-Wesley, Reading.

KLEIN, G. et CALDERWOOD, R. (1988). How Do People Use Analogues to Make Decisions? In KOLODNER, J., (ed.), *Proceedings of the DARPA Workshop on Case-Based Reasoning*, volume 1, pages 209–223, San Mateo, CA. Morgan Kaufman.

KLEIN, G. A. et CALDERWOOD, R. (1991). Decision Models: Some Lessons From the Field. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 21(5):1018–1026.

KLEINMUNTZ, D. N. (1987). Human Decision Processes: Heuristics and Task Structure. In HANCOCK, P. A., (ed.), *Human Factors Psychology*. North-Holland, Amsterdam.

KLINE, Paul, J. et DOLINS, Steven, B. (1986). Problem Features that Influence the Design of Expert Systems. Texas Instruments, AI Laboratory ??

KLINEBERG, O. (1964). *The human dimension in international relations*. Holt, New York.

KLINKER, G. (1993). *Special Issue: Current Issues in Knowledge Modelling*, volume 5 of *Knowledge Acquisition*. Academic Press, New York.

KLIX, F., (ed.) (1979). *Human and Artificial Intelligence*. North-Holland, Amsterdam.

KOLODNER, J. L. (1991). Improving Human Decision Making through Case-Based Decision. *AI Magazine*, 12(2):52–68.

KOLODNER, J. L. (1992). An introduction to Case-Based Reasoning. *Artificial Intelligence*, 6(1):3–34.

KOLODNER, J. L. (1993). *Cased-Based Reasoning*. Morgan Kaufman.

KONOLIGE, K. et NILSSON, N. J. (1980). Multiple-agent planning systems. In *Proceedings of the First Annual Conference on Artificial Intelligence*, pages 138–141.

KORHONEN, P., LEWANDOWSKI, A., et WALLENIUS, J., (eds.) (1991). *Multiple criteria decision support : proceedings of the International Workshop held in Helsinki, Finland, August 7-11, 1989*, Berlin. Springer.

KORNFELD, W. A. (1980). A synthesis of language ideas for AI control structures. AI Working Paper 201, M.I.T., AI Lab.

KOWALSKI, R. (1979). *Logic for Problem Solving*. North-Holland, Amsterdam.

KREUTZER, W. (1987). A Modeller's Workbench: Experiments in Object-Oriented Simulation. In Bézivin, J., Hullot, J.-M., Cointe, P., et Lieberman, H., (eds.), *Proceedings ECOOP '87*, LNCS 276, pages 203–212, Paris, France. Springer Verlag.

KRUMMENACHER, H. (1981). Internationale Normen un einzelstaatliches Krisenverhalten. Kleine Studien zur Politischen Wissenschaft 203-204, Universität Zürich.

KUHN, T. S. (1975). *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press, Chicago, 2 edition.

KUIPERS, B. et BYUN, Y. (1991). A Robot Exploration and Mapping Strategy Based on a Semantic Hierarchy of Spatial Representations. *Robotics and Autonomous Systems*, 9:47–63.

KUIPERS, B., MOSKOWITZ, A. J., et KASSIRER, J. P. (1988). Critical Decisions under Uncertainty: Representation and Structure. *Cognitive Science*, 12(2):177–210.

KUMMER, W. (1975). *Grundlagen der Texttheorie: zur handlungstheoretischen Begruendung einer materialistischen Sprachwissenschaft*. Rowohlt, Hamburg.

LACY, M. E. (1989). Artificial Laboratories. *AI Magazine*, 10(summer).

LANE, R. (1973). Patterns of Political Belief. In KNUTSON, J. N., (ed.), *Handbook of Political Psychology*. Jossey-Bas's Publishers, San Francisco.

LANGER, E. (1978). Rethinking the role of thought in social interaction. In *New Directions in Attribution Research*, volume 2. Erlbaum, Hillsdale.

LASKE, Otto, E. (1986). On Competence and Performance Notions in Expert System Design. In *6ièmes Journés Internationales, Les systèmes experts et leurs applications*, pages 257–297. Agence de l'informatique.

LAVE, J. (1988). *Cognition in Practice*. Cambridge University Press, Cambridge.

LEDDO, J. et R.P., A. (1986). The Nature of Explanations. In GALAMBOS, J., ABELSON, R., et BLACK, J., (eds.), *Knowledge Structures*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale (NJ).

LEE, J. J., NORRIS, W. D. I., et FISHWICK, P. A. (1993). An Object-Oriented Multimodel Approach to Integrate Planning, Intelligent Control and Simulation. Technical Report CIS TR93-022 TBP, Departement of Computer and Information Sciences, University of Florida.

LEE, W. (1997). *Decision Theory and Human Behaviour*. Wiley, New York.

LEGRENZI, P., GIROTTO, V., et JOHNSON-LAIRD, P. N. (1993). Focussing in Reasoning and Decision Making. *Cognition*, 49(1&2):37–66.

LEHNERT, W., ALKER, Jr., H. R., et SCHNEIDER, D. K. (1983). The heroic Jesus, The affective plot structure of Toynbee's Christus Patiens. In BURTON, S. et SHORT, D., (eds.), *Sixth International Conference on Computers and the Humanities*. Maryland, Computer Science Press, Rockville.

LEHNERT, W. G. (1981). Plot Units and Narrative Summarization. *Cognitive Science*, 4:293–333.

LEHNERT, W. G. et RINGELE, M. (1982). *Strategies for Natural Language Processing*. Erlbaum, Hillsdale.

LEITES, N. (1951). *The operational code of the politburo*. McGraw Hill, New York.

LENK, H., (ed.) (1974). *Normenlogik*. Verlag Dokumentation, UTB, Pullach.

LEVERICH, B., CANTEY, S., et Millar, R. (1988). *PC-ROSS User's Reference Manual*. The RAND Corporation. WD-3742-A.

LEWELLEN, M. J., GOLDINGER, S. D., PISONI, D. B., et GREENE, B. G. (1993). Lexical Familiarity and Processing Efficiency: Individual Differences in Naming, Lexical Decision, and Semantic Categorization. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(3):316–330.

LIVERGOOD, Norman, D. (1993). Design Issues in the Simulation of Beliefs in Corporate Intelligence Systems: REALPOLITIK II. *International Journal of Man-Machine Studies*, 39:99–112.

LONGUET-HIGGINS, H. (1981). Artificial Intelligence - a New Theoretical Psychology. *Cognition*, 10:197–200.

LOSEL, F. et SKOWRONEK, H. (1988). *Beiträ ge der Psychologie zu politischen Planungs- und Entscheidungs-prozessen*. Deutscher Studien Verlag, Weinheim.

LUHAMNN, N. (1984). *Sociale Systeme, Grundrisse einer allgemeinen Theorie*. Suhrkamp, Frankfurt.

LUHMANN, N. (1973). *Zweckbegriff und Systemrationalität*. Suhrkamp, Frankfurt.

LUHMANN, N. (1982). *The Differentiation of Society*. Columbia University Press, New York.

LURIA, A. (1979). *Cognitive developpment, its cultural and social foundations*. Harvard Univ. Press, Cambridge.

MAITRE, J. (1975). Sociologie de l'idéologie et entretien non directif. *Revue Francaise de sociologie*, 16:248–256.

MAJESKI, Stephen, J. et SYLVAN, D. J. (1993). U.S. Foreign Policy Making Regarding Bombing North Vietnam, 1963-65: The Narrowing of Acceptable and Winning Policy Recommendations. Annual Meeting of the International Studies Association, Acapulco, Mexico.

MALAKOOTI, B. (1988). A Decision Support System and a Heuristic Interactive Approach for Solving Discrete Multiple Criteria Problems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-18(2):273–284.

MALLERY, J. C. (1988). Thinking About Foreign Policy: Finding an Appropriate Role for Artificially Intelligent Computers. presented to the panel on <<Analytical Frameworks for the Analysis of Conflict>> at the Annual Meeting of the International Studies Association.

MALLERY, J. C. (1994a). Beyound Correlation: Bringing Artificial Intelligence to Events Data. *International Interactions (to appear)*.

MALLERY, J. C. (1994b). A Common LISP Hypermedia Server. In *Proceedings of The First International Conference on The World-Wide Web*.

MALLERY, J. C. et HURWITZ, R. (1987). Analogy and Precedent in Strategic Decision-Making: A Computational Approach. presented to the panel on <<Current Research in Artificial Intelligence>>, APSR Meeting.

MALLERY, J. C. et SHERMAN, F. L. (1993). Learning Historical Rules of Major Power Intervention in the Post-War International System. presented to the panel on <<New Directions in Computational Modeling>>, The Annual Meeting of the International Studies Association.

MAOZ, Z. (1981). The Decision to raid Entebe: Decision Analysis Applied to Crisis Behaviour. *Journal of Conflict Resolution*, 25:677–707.

MARCH, J. G. et SIMON, H. A. (1958). *Organizations*. Wiley, New York.

MARUICHI, T., UCHIKI, T., et TOKORO, M. (1987). Behavioral Simulation Based on Knowledge Objects. In Bézivin, J., Hullot, J.-M., Cointe, P., et Lieberman, H., (eds.), *Proceedings ECOOP '87*, LNCS 276, pages 213–222, Paris, France. Springer Verlag.

MATURANA, H. (1980). *Autopoeisis And Cognition, The Realization of The living*. Boston Studies In Philosophy of Science 42. D. Reidel, Boston.

MCARTHUR, D., KLAHR, P., et NARAIN, S. (1984). ROSS: An Object-Oriented Language for Constructing Simulations. Technical Report R-3160-AF, The RAND Corporation.

MCARTHUR, D., KLAHR, P., et NARAIN, S. (1985). *The ROSS Language Manual*. The RAND Corporation. N-1854-1-AF.

MCARTHUR, D. J., KLAHR, P., et NARAIN, S. (1986). ROSS: An Object-oriented Language for Constructing Simulations. In KLAHR, P. et WATERMAN, D., (eds.), *Expert Systems: Techniques, Tools, and Applications*. Addison-Wesley, Reading.

MCCARTHY, J. et HAYES, P. (1969). Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence. In *Machine Intelligence*. Elsevier, New York.

McCarty, T. L. (1977). Reflections on TAXMAN: An Experiment in Artificial Intelligence an Legal Reasoning. *Harward Law Review*, 90:837–893.

McCarty, T. L. (1980). Some Requirements for a Computer-Based Legal Consultant. In *Proceedings of the First Annual Conference on Artificial Intelligence*, pages 23–43, Stanford University.

MCCARTY, T. L. et SHRIDARAN (1982). A Computational Theory of Legal Argument. Technical report, Rudgers University, Laboratory for Computer Science Research.

MCCORDUCK, P. (1979). *Machines Who Think, A Personal Inquiry Into The History and Prospects of Artificial Intelligence*. Freeman, San Francisco.

MCCULLOCH, W. et PITTS, W. (1943). A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Neural Nets. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5:115–137.

McDERMOTT, D. (1992). Robot Planning. *AI Magazine*, 13(2):55–79.

MEAD, G. H. (1934). *Mind, Self and Society from the Standpoint of a Social Behaviorist*. University of Chicago Press, Chicago.

MEAD, G. H. (1938). *The Philosophy of the Act*. University of Chicago Press, Chicago.

MEAD, G. H. (1964). *On Social Psychology: Selected Papers*. University of Chicago Press, Chicago.

MEAD, G. H. (1982). *The Individual and the Social Self: Unpublished Work of George Herbert Mead*. University of Chicago Press, Chicago.

MEADOWS, D., RICHARDSON, J., et BRUCKMAN, G. (1982). *Groping in the Dark: The First Decade of Global Modelling*. Wiley, New York.

MEADOWS, D. H. et ROBINSON, J. M. (1985). *The electronic oracle : computer models and social decisions*. J. Wiley, Chichester, N.Y.

MEEHAN, J. R. (1980). Everything you always wanted to know about authority structures but were unable to represent. In *Proceedings of the First Annual Conference on Artificial Intelligence*, pages 212–214.

MEFFORD, D. (1979a). The grammar of change in political beliefs: a constructive critique of cognitive modeling. In *IPSA*, Moscow.

MEFFORD, D. (1979b). Simulating the practical logic of deterrence: an application for artificial intelligence. MIT/ISA.

MEFFORD, D. (1982). *The Soviet Use of Force*. PhD thesis, M.I.T., Department of Political Science.

MEFFORD, D. (1984a). Changes in Foreign Policy Across Time: The Logical Analysis of a Succession of Decision Problems Using Logic Programming. In *paper prepared for the Conference "Dynamic Models of International Conflict*", Boulder, CO.

MEFFORD, D. (1984b). Formulating Foreign Policy on the Basis of Historical Analogies: An Application of Developments in Artificial Intelligence. paper given at the International Studies Association, Atlanta.

MEFFORD, D. (1986). Analogical Reasoning and the Definition of the Situation: Back to Snyder for Concepts and Forward to Artificial Intelligence for Method. In HERMANN, C., KEGLEY, C., et ROSENAU, J., (eds.), *New Directions in the Comparative Study of Foreign Policy*. Allen and Unwin, New York.

MEGGLE, G., (ed.) (1985). *Analytische Handlungstheorie*, volume 1 + 2. Suhrkamp, Frankfurt.

MELDMAN, J. A. et FOX, S. J. (1981). Concise Petri Nets and Their Use in Modeling the Social

Work (Scotland) Act 1968. *Emory Law Journal*, 30:583–630.

MEMMI, D. (1990). Connexionnisme, Intelligence Artificielle et Modélisation Cognitive. *Intellectica*, 9-10:41–79.

MERTON, R. K. et KENDALL, P. L. (1945/46). The focused interview. *American Journal of Sociology*, pages 541–557.

MESAROVIC, M. D. (1980). On Self Organizational Systems. In YOVITS, M., (ed.), *Spontaneous Social Orders*. Westview Press, Boulder, Colorado.

MEY, J. L. (1982a). Introduction: On Simulating Machines and Lisping Humans. *Journal of Pragmatics*, 6:209–224.

MEY, J. L. (1982b). On Beeing a Model. *Journal of Pragmatics*, 6:281–292.

MICHALSKI, R., CARBONELL, J. G., et MITCHEL, T. M. (1983). *Machine Learning, An Artificial Intelligence Approach*. Tioga, Palo Alto.

MICHIE, D. (1974). *On machine intelligence*. Wiley, New York.

MILLER, JAMES, et GRIER (1978). *Living Systems*. McGraw-Hill, New York.

MILLER, G. A. (1956). The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63:81–79.

MILLER, G. A., GALANTER, E., et PRIBRAM, K. H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. Holt, New York.

MINKSKY, M. (1979). The Society Theory of Thinking. In WINSTON, P., (ed.), *Artificial Intelligence: An M.I.T. Perspective, Vol.1*. MIT Press, Cambridge.

MINOURA, T., PARGAONKAR, S. S., et REHFUSS, K. (1993). Structural Active Object Systems for Simulation. In *Proceedings OOPSLA '93, ACM SIGPLAN Notices*, pages 338–355. Published as Proceedings OOPSLA '93, ACM SIGPLAN Notices, volume 28, number 10.

MINSKY, M. (1963). Steps Toward Artificial Intelligence. In FEIGENBAUM et FELDMAN, (eds.), *Computers and thought*. McGraw-Hill, New York.

MINSKY, M. (1968). *Semantic Information Processing*. MIT Press, Cambridge.

MINSKY, M. (1975). A Framework for Representing Knowledge. In WINSTON, P., (ed.), *The Psychology of Computervision*. McGraw-Hill, New York.

MINSKY, M. (1980). K-Lines: A Theory of Memory. *Cognitive science*, 4:117–133.

MINSKY, M. (1982, fall). Why People Think Computers Can't. *The AI Magazine*, pages 3–15.

MINSKY, M. (1988). *The Society of Mind*. Simon and Schuster, New York.

MONTGOMERY, H. et SVENSON, O. (1989). *Process and Structure in Human Decision Making*. John Wiley.

MORIN, E. (1990). *Introduction à la pensée complexe*. ESF, Paris.

"MU", G. (1982). *Rhétorique générale*. Seuil, Paris, 2 edition.

MUELLER, D. C. (1989). *Public Choice II*. Cambridge University Press, Cambridge.

NARAYANAN, S., BODNER, D., SREEKANTH, U., GOVINDARAJ, T., McGINNIS, L., et MITCHEL, C. (1994a). An Object-Based, Direct-Image Approach to the Modeling and Simulation of Manufacturing Systems. Georgia Institute of Technology, submitted to the International Journal of Production Research.

NARAYANAN, S., BODNER, D., SREEKANTH, U., GOVINDARAJ, T., McGINNIS, L., et MITCHEL, C. (1994b). Research in Object-Oriented Manufacturing Simulations, An Assessment of the State of the Art. Georgia Institute of Technology, submitted to the Manufacturing Review.

NECHES, R., FIKES, R., FININ, T., GRUBER, T., PATIL, R., SENATOR, T., et SWARTOUT, W. (1991). Enabling Technology for Knowledge Sharing. *AI Magazine*, FALL:37–56.

NEUMANN, J., v. (1966). The Theory of Self-Reproducing Systems. In Burks, A., (ed.), *??* University of Illinois, Urbana.

NEUMANN, J., v. (1979). *The Computer and The Brain*. Yale University Press, New Haven.

NEUMANN, J., v. et MORGENSTERN, O. (1947). *Theory of games and economic behavior*. Princeton University Press, Princeton.

NEWELL, A. (1973). Artificial intelligence and the concept of mind. In SCHANK, R. C. et K.M., C., (eds.), *Computer Models of Thought and Language*. Freeman, San Francisco.

NEWELL, A. (1981). The Knowledge Level, Presidential Address, AAI80, Stanford. Technical Report CMU-CS-81-131, Carnegie Mellon University.

NEWELL, A. et SIMON, H. (1981). Computer Science as Empirical Enquiry: Symbols and Search. In HAUGELAND, J., (ed.), *Mind Design*. MIT Press, Cambridge,MA.

NEWELL, A. et SIMON, H. A. (1972). *Human Problem Solving*. Prentice-Hall, London.

NEWELL, A. et SIMON, H. A. (1976). Computer Science as Empirical Enquiry: Symbols and Search. *Communications of the ACM*, 19:113,126.

NIELSEN, N. (1986). Knowledge based Simulation Programming. In *National Computer Conference Conference Proceedings*, pages 125–134. AFIPS.

NIELSEN, N. (1991). Applications of AI Techniques to Simulation. In FISHWICK, P. et MODJESKI, R., (eds.), *Knowledge Based Simulation: Methodology and Application*. Springer Verlag, Hamburg.

NILSSON, N. (1981). *Principles of Artificial Intelligence*. Tioga, Paolo Alto.

NISBETT, R. et WILSON, T. (1979). Telling More Than We Know: Verbal Reports on Mental Processes. *Psychological Review*, 84:231–259.

NORMAN, D. (1980). Twelve Issues for Cognitive Science. *Cognitive Science*, 6:1–32.

NORMAN, D., (ed.) (1981). *Perspectives on Cognitive Science*. Ablex, Norwood.

O'KEEFE, R. M. (1989). The Role of Artificial Intelligence in Discrete-Event Simulations. In WIDMAN, L. E., LOPARO, K. A., et NIELSEN, N. R., (eds.), *Artificial Intelligence, Simulation & Modeling*, pages 381–413. Wiley, New York.

ORDESHOOK, P. C. (1992). *A Political Theory Primer*. Routledge, New York.

ORTONY, A. (1980). Cognitive Science vs. Artificial Intelligence. *SIGART*, 69.

PAGELLO, E. et PASGUALO.G. (1973). Artificial Intelligence – New Teleology or a New Technology. *Science*, 108:711–721.

PAPERT, S. (1968). *The Artificial Intelligence of Hubert L.Dreyfuss: A budget of fallacies*. AI Memo 154, M.I.T.

PARSONS, T. (1937). *The Structure of Social Action*. The Free Press, New York.

PARSONS, T., (ed.) (1953). *Working Papers in the Theory of Action*. The Free Press, New York.

PARSONS, T. (1977). *Social Systems and the Evolution of Action Theory*. The Free Press, New York.

PARSONS, T. (1978). *Action Theory and The Human Condition*. The Free Press, New York.

PARSONS, T. et SIHLS, E., (eds.) (1951/52). *Towards a General Theory of Action*. ??, Cambridge (Ma).

PATEL, V., AROCHA, Jose, F., et GROEN, Guy, J. (1986). Strategy Selection and Degree of Expertise in Medical Reasoning. In *Program of the Eighth Annual Conference of the Cognitive Science Society*, pages 780–793, Hillsdale, NJ. Lawrence Erlbaum.

PAUL, R. J. et THOMAS, P. J. (1994). Computer-Based Simulation Models for Problem-Solving: Communicating Problem Understandings. *The Arachnet Electronic Journal on Virtual Culture*, 2(2).

PAVEL, C. et NICHOLS, D. (1993). MUDs Grow UP: Social Virtual Reality in the Real World. In *Third Internation Conference on Cyberspace*, Austin, Texas.

PENNINGTON, N. et HASTIE, R. (1993). Reasoning in Explanation-based Decision Making. *Cognition*, 49(1&2):123–163.

PERRET-CLERMONT, A., PERRET, J.-F., et BELL, N. (1991). The Social Construction of Meaning and Cognitive Activity in Elementary School Children. In RESNIK, L. B., (ed.), *Perspectives on Socially Shared Cognition*. American Psychological Association, Hyattsville, MD.

PETERSON, J. (1981). *Petri Net Theory and the modeling of Systems*. Prentice Heall, N.J..

PFEIFER, R. (1979). Formalisierung in der Psychologie mit Hilfe von Computersimulation unter besonderer Beruecksichtigung der "Kuenstlichen Intelligenz"-Forschung. Berichte aus der interdisziplinaeren Konfliktforschungsstelle 5, Universität Zurich. (Diss ETH Nr. 6494).

PFEIFER, R. (1986a). Die vielgeschmäten Expertensysteme. *Bulletin de Schweizer Psychologischen Gesellschaft*, pages 79–91.

PFEIFER, R. (1986b). Expertensysteme. Universität Zürich, Institut für Informatik, Fortbildungsseminare in Wirtschatsinformatik.

PFEIFER, R. (1986c). "Knowledge Acquisition" und Lernen. *Technische Rundschau*, 18:34–39.

PFEIFER, R. (1986d). On the Use of Experience in Expert Systems. In *6ièmes Journés Internationales, Les systèmes experts et leurs applications*, pages 673–691. Agence de l'informatique.

PFEIFER, R. et LUETHI, H.-J. (1986). Decision Support Systems and Expert Systems: A Complementary Relationship. In TAKKENBERG, C., (ed.), *Expert Systems and Artificial Intelligence in Decision Support Systems*. Reidel, Boston.

PFEIFER, R. et NICHOLAS, D. W. (1981). Toward Computational Models of Emotion. mimeo, Dept.of Psychology, Carnegie-Mellon University.

PFEIFER, R. et VERSCHURE, P. (1992). Beyound Rationalism: Symbols, Patterns, and Behavior. Berichte 92.14, Institut fuer Informatik der Universtitaet Zuerich.

PIAGET, J. (1943). *Psychologie de l'Intelligence*. Colin, Paris.

PIAGET, J. (1950). *Introduction a l'epistémologie genetique*, volume 1,2,2. PUF, Paris.

POMEROL, J.-C. et BARBA-ROMERO, S. (1993). *Choix multicritè re dans l'entreprise: principes et pratique*. Hermes, Paris.

POPPER, K. (1984). *L'Univers irrésolu, Plaidoyer pour l'indéterminisme*. Hermann, Paris.

PRAEHOFER, H. (1993). An environment for DEVS-based multiformalism simulation in common Lisp/CLOS. *Discrete Event Dynamic Systems*, 3.

PRESSMAN, J. L. et WILDAVSKY, A. (1984). *Implementation : how great expectations in Washington are dashed in Oakland : or, why it's amazing that federal programs work at all : this being a saga of the economic development administration as told by two sympathetic observers who seek to build morals on a foundation of ruined hopes*. Univ. of California Press, Berkeley.

PRIGOGINE, I., ALLEN, P., et HERMAN, R. (1977). The Evolution of Complexity and The Laws of Nature. In LASZLO, ERVIN, et BIERMAN, J., (eds.), *Goals For a Global Community*. Pergamon, New York.

PUTNAM, H. (1960). Minds and Machines. In HOOK, S., (ed.), *Dimensions of mind*. ??

PUTNAM, H. (1975). *Mind, Language and Reality*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

PYLYSHYN, Z. W. (1978). Computational Models and Empirical Constraints. *The Behavioral and Brain Sciences*, 1:93–127.

PYLYSHYN, Z. W. (1980). Computation and Cognition: Issues in the Foundations of Cognitive Science. *The Behavioral and Brain Sciences*, 3:111–169.

PYLYSHYN, Z. W. (1981). Complexity and the study of Artificial and Human Intelligence. In HAUGELAND, J., (ed.), *Mind Design*. MIT Press, Cambridge.

PYLYSHYN, Z. W. (1984). *Computation and Cognition, Toward a Foundation for Cognitive Science*. MIT Press, Cambridge (Ma).

QUINLAN, J. (1983). Learning Efficient Classification Procedures and Their Application to Chess Endgames. In MICHALSKI, R., CARBONELL, J. G., et MITCHEL, T. M., (eds.), *Machine Learning, An Artificial Intelligence Approach*, volume 1. Tioga, Palo Alto.

RAIFFA, H. (1968). *Decision Analysis: Introductory Lectures on Choices under Uncertainty*. Addison-Wesley, Reading, MA.

RAIKOVIC, V., BOHANEC, M., LESKOSEK, B., et STURM, J. (1992). A Knowledge-Based Advising System for Choosing Sports. In JELASSI, T., KLEIN, M. R., et MAYON-WHITE, W., (eds.), *Decision Support Systems: Experiences and Expectations, Proceedings of the IFIP TC8/ WG 8.3 Working Conference on Decision Support Systems*, pages 215–224, Amsterdam. North-Holland.

RAM, A. (1980). Decision Models: A Theory of Volitional Explanation. In *Proceedings of the Twelvth Annual Conference of the Cognitive Science Society*.

RAPHAEL, B. (1976). *The Thinking Computer*. Freeman, San Francisco.

RAPOLD, D. (1980). Das politische Weltbild des Bundesrates. Kleine Studien zur Politischen Wissenschaft 191, Universität Zürich.

RAPPOPORT, A. (1962). Some Properties of Self-Organizing In Three-Person Groups. In FOERSTER, V. et HEINZ andZOPF,Jr., G. W., (eds.), *Principles of Self-Organization, Transactions of The University of Illinois Symposium on Self-Organization, Robert Allerton Park, 8 and 9 June, 1961*. MacMillan, New York.

RAPPOPORT, A. (1966). *Two-Person Game Theory, The Essential Ideas*. Univ. of Michigan Press, Ann Arbor.

READ, S. et CESA, I. (1990). This Reminds Me of the Time When...: Expectation Failures in Reminding and Explanation. *Journal of Experimental Social Psychology*, 26.

REDDY, R. (1988). Foundations and Grand Challenges of Artificial Intelligence. *The AI Magazine*, pages 9–23.

REDDY, Y. et FOX, M. (1982). KBS: An Artificial Intelligence Approach to Flexible Simulation. Technical Report TR CMU-R1-82-1, Robotics Institute, Carnegie-Mellon University.

REID, E. (1994). Cultural Formations in Text-Based Virtual Realities. Master's thesis, Cultural Studies Program, Department of English, University of Melbourne.

RENAUD, B. (1994). Global Data Sharing and Analysis: A Networked Hypermedia Approach. Political Science Departement, Massachusetts Institute of Technology, S.B. Thesis.

RESNIK, L. B. (1991). Shared Cognition: Thinking as Social Practice. In RESNIK, L. B., (ed.), *Perspectives on Socially Shared Cognition*. American Psychological Association, Hyattsville, MD.

RETTI, J. e. a. (1984). Frame-basierte Wissensrepräsentation für Modellierung und Simulation. Technical report, Bericht der Oesterreichischen Studiengesellschaft für Kybernetik.

RICH, E. (1983). *Artificial Intelligence*. McGraw-Hill, New York.

RICHARD, Jean-Fran c. (1990). *Les activités mentales, comprendre raisonner, trouver des solutions*. Colin, Paris.

RICOEUR, P. (1973). *Interpretation theory: discourse and the surplus of meaning*. The Texas Christian University Press, Fort Worth.

RICOEUR, P. (1975). *La métaphore vive*. Seuil, Paris.

RICOEUR, P. (1983). *Temps et récit*, volume 1. Seuil, Paris.

RIEGER, C. (1975). Conceptual Memory and Inference. In SCHANK, R. C., (ed.), *Conceptual Information Processing*. North Holland, Amsterdam.

RIESBECK (1975). Conceptual Information Processing. In SCHANK, R. C., (ed.), *Conceptual Information Processing*, pages 83–156. North Holland, Amsterdam.

RIESBECK, C. et SCHANK, R. (1989). *Inside Case Based Reasoning*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, N.J.

RINGLE, M., (ed.) (1979a). *Philosophical Perspectives in Artificial Intelligence*. Humanities Press, Atlantic Highlands.

RINGLE, M. (1979b). Philosophy and Artificial Intelligence. In RINGLE, M., (ed.), *Philosophical Perspectives in Artificial Intelligence*. Humanities Press, Atlantic Highlands.

RISSLAND, E. (1993). Examples in Legal Reasoning: Legal Hypotheticals. In *Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*.

ROGERS, C. R. (1945/55). The nondirective method as a technique for social research. *American Journal of Sociology*, pages 279–283.

ROIG, C. (1977). *Symboles et Société*. Lang, Berne.

ROIG, C. (1980). *La grammaire politique de Lenine*. L'age d'Homme, Lausanne.

ROKEACH, M. (1973). *The Nature of Human Values*. The Free Press, New York.

RORTY, A. O. (1976a). *The identities of persons*. Univ. of California Press, Berkeley.

RORTY, A. O. (1976b). A litterary post-script: Characters, persons, selves, individuals. In RORTY, A., (ed.), *The identities of persons*. Univ. of California Press, Berkeley.

ROSCH, E. (1977). Classification of Real-World Objects: Origins and Representation in Cognition. In JOHNSON-LAIRD, P. et WASON, P., (eds.), *Thinking: Readings in Cognitive Science*. Cambridge University Press, Cambridge.

ROSENBERG, J. K. (1980). Piaget and artificial intelligence. In *Proceedings of the First Annual Conference on Artificial Intelligence*, pages 266–268.

ROSENBLOOM, P. S. et al. (1994). Event Tracking in Complex Multi-agent Environments. In *to appear in Proceedings of the Fourth Conference on Computer Generated Forces and Behavioral Representation*, Orlando, FL.

ROSENBLUTH, A., WIENER, N., et BIGELOW, J. (1943). Behavior, Purpose and Teleology. *Philosphy of Science*, 10:18–24.

ROSNER, M. et Somers, H. L. (1980). Case in Linguistics and Cognitive science. Working Papers 40, ISSCO, Geneva.

ROSS, B. (1989). Some Psychological Results on Case-Based Reasoning. In HAMMOND, K., (ed.), *Proceedings of the DARPA Workshop on Case-Based Reasoning*, volume 2, pages 144–147, San Mateo, CA. Morgan Kaufman.

ROTHENBERG, J. (1989). The Nature of Modeling. In WIDMAN, L. E., LOPARO, K. A., et NIELSEN, N. R., (eds.), *Artificial Intelligence, Simulation & Modeling*, pages 75–92. Wiley, New York.

ROTHENBERG, J., NARAIN, S., STEEB, R., HEFLEY, C., et SHAPIRO, N. (1989). Knowledge-Based Simulation: An Interim Report. Technical report, The RAND Corporation.

RUIZ-MIER, S. et TALAVAGE, J. (1989). A Hybrid Paradigm for Modeling of Complex Systems. In WIDMAN, L. E., LOPARO, K. A., et NIELSEN, N. R., (eds.), *Artificial Intelligence, Simulation & Modeling*, pages 381–413. Wiley, New York.

RULOFF, D. et FREI, D. (1979). Content Analysis, A Survey of Techniques, with Special Reference to the Analysis of CSCE Documents. Kleine Studien zur Politischen Wissenschaft 147-148, Universität Zürich.

RUMELHART, D., HINTON, G., et McCLELLAND, J. (1986). A General Framework for Parallel Distributed Processing. In Rumelhart, D. et McClelland, J., (eds.), *Parallel Distributed Processing*. MIT Press, Cambridge (Ma).

RUMELHART, D. et McCLELLAND, J. (1986). *Parallel Distributed Processing*. MIT Press, Cambridge (Ma).

RUMELHART, D. E. et NORMAN, D. A. (1978). Accretion, Tuning, and Restructuring: Three Modes of Learning. In COTTON, J. W. et KLATZKI, R. L., (eds.), *Semantic Factors in Cognition*. Erlbaum, Hillsdale.

SACERDOTI, E. (1977). *A Structure for Plans and Behavior*. Elsevier North-Holland, New York.

SALOMON, G. (1988). AI in Reverse: Computer Tools that Turn Cognitive. *Journal of Educational Computing Research*, 4:12–140.

SAMURCAY, R. et ROGALSKI, J. (1993). Cooperative Work and Decision Making in Emergency Management. *Le Travail humain*, 56:53–77.

SAPIR, E. (1949). *Culture, Language and Personality*. Univ. of California Press, Berkeley.

SARBIN, T. (1968). Role: psychological aspects. In *International Encyclopedia of the social sciences, Vol 13*. Macmillan/Free Press, New York.

SARIS, W. E. et GALLHOFER, I. N. (1984). Formulation of Real Life Decisions: A Study of Foreign Policy Decisions. *Acta Psychologica*, 56:247–65.

SAYRE, K. (1976). *Cybernetics and The Philosophy of Mind*. Humantities Press, New York.

SCHANK, R. et CARBONELL, J. G. (1978). RE: The Gettisburg Adress, Representing Social and Political Acts. Research Report 127, Yale University, Dept. of Computer Science.

SCHANK, R. C. (1980). Language and Memory. *Cognitive Science*, 4:243–284.

SCHANK, R. C. (1982). *Dynamic Memory*. Cambrige University Press, Cambridge.

SCHANK, R. C. et ABELSON, R. (1977). *Scripts, Plans, Goals and Understanding*. Erlbaum, Hillsdale.

SCHANK, R. C. et COLBY, M. K., (eds.) (1973). *Computer Models of Thought and Language*. Freeman, San Francisco.

SCHANK, R. C., LEBOWITZ, M., et BIRNBAUM, L. (1980). An Integrated Understander. *American Journal of Computational Linguistics*, 6:13–30.

SCHANK, R. C. et RIESBECK, C. (1981). *Inside Computer Understanding*. Erlbaum, Hillsdale.

SCHELLING, T. C. (1963). *The strategy of conflict*. Oxford Univ.Press, New York.

SCHERER, K. et EKMAN, P. (1994). *Approaches to Emotion*. L. Erlbaum, Hillsdale N.J.

SCHLEIERMACHER, F. (1977). *Hermeneutik und Kritik*. Suhrkamp, Frankfurt.

SCHLUCHTER, W., (ed.) (1980). *Verhalten, Handeln und System, Talcott Parsons Beitrag zur Entwicklung der Sozialwissenschaften*. Suhrkamp, Frankfurt.

SCHMIDT, C., SRIDHARAN, N., et GOODSON, J. (1978). Plan Recognition: an Intersection of Artificial Intelligence and Psychology. *Artificial Intelligence*, 9:45–83.

SCHMIDT, S. J. (1976). *Texttheorie*. Fink, Müchen.

SCHNEIDER, D., BORCIC, B., DILLENBOURG, P., , et HILARIO, M. MENDELSOHN, P. (1993a). An Experimental Toolbox for Advanced Interactive Learning Environments. In *Symposium on Artificial Intelligence and Robotic*, Zurich.

SCHNEIDER, D., DILLENBOURG, P., MENDELSOHN, P., HILARIO, M., et BORCIC, B. (1993b). An Experimental Toolbox for Interactive Learning Environments. In *Proceedings of the Third International Lisp Users and Vendors Conference*, Cambridge, Ma. To appear in a special issue of Lisp Pointers (ACM SIGPLAN).

SCHNEIDER, D., DILLENBOURG, P., MENDELSOHN, P., HILARIO, M., et BORCIC, B. (1993c). Intégration d'un hypertexte dans un environnement d'apprentissage à initiative mixte. In *Actes du Colloque Hypermédias et Apprentissages, Third European Congress Multi Média, Intelligence Artificielle et Formation. APPLICA-93.*, Lille.

SCHNEIDER, D. K. (1983). Texte et politique 1: Prolégomènes pour l'analyse du texte narratif en science politique: un examen critique des écoles contemporaines de l'analyse et de la théorie du récit. Département de science politique, Université de Genève.

SCHNEIDER, D. K. (1984). Modeling Individual Decision. paper presented to the ECPR workshop on individual decision making.

SCHNEIDER, D. K. (1985a). Mycin-like expert systems in law: towards operational tools for legal expert systems. paper presented at the IFAC workshop on Artificial Intelligence in economics and management.

SCHNEIDER, D. K. (1985b). Some epistemological questions on representation and computation. Genéve, working paper.

SCHNEIDER, D. K. (1990). Modelling admistrative decisions with a Mycin language. Working Paper, FPSE, University of Geneva.

SCHNEIDER, D. K. et TONFONI, G. (1984). Introduzione. In TONFONFI, G., (ed.), *Menti, Cervelli et programmi, Un dibatto sull' Intelligenza Artificiale*. Club-Clued, Milano.

SCHRAGE, M. (1990). *Shared Minds, The New Technologies of Collaboration*. Random House, New York.

SCHRODT, P. A. (1984a). Artificial Intelligence and International Crisis, The Application of Pattern Recognition to the Analysis of Event Sequences. paper presented at the APSA meetings.

SCHRODT, P. A. (1984b). Artificial Intelligence and the State of Mathematical Modeling in International Relations. paper presented at the Conference on Dynamic Models of International Conflicts, Boulder, CO, oct/nov.

SCHRODT, P. A. (1991). Artificial Intelligence and International Relations: An Overview. In HUDSON, V., (ed.), *Artificial Intelligence and International Politics*. Westview Press.

SCHRYVER, J. C. (1992). Object-Oriented Qualitative Simulation of Human Mental Models of Complex Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 22(3):526–541.

SCHUETZ, A. (1974). *Der sinnhafte Aufbau der sozialen Welt. Eine Einleitung in die verstehende Soziologie*. Suhrkamp, Frankfurt.

SCHWARTZ, S. P. (1979). Natural kind terms. *Cognition*, 7:301–315.

SEARLE (1969). *Speech Acts*. Cambridge Press, London.

SEARLE, J. (1980). Minds, Brains, and Programs. *The Behavioral and Brain Sciences*, 3:417–424.

SEARLE, J. (1981). Minds, Brains, and Programs. In HAUGELAND, J., (ed.), *Mind Design*. MIT Press, Cambridge,MA.

SERGOT, M.J. et al. (1986). The British Nationality Act as a Logic Program. CACM 29(5): 370-386.

SEJNOWSKI, T. et ROSENBERG, C. (1987). Parallel Networks that Learn to Pronounce English Text. *Complex Systems*, 1:145–168.

SHAFIR, E., SIMONSON, I., et TVERSKY, A. (1993). Reason-based Choice. *Cognition*, 49(1&2):11–36.

SHAPIRO, M. J. et BONHAM, G. (1973). Cognitive process and foreign policy decision making. *International studies quarterly*, 17:147–174.

SHARKEY, N. et PFEIFER, R. (1984). Unconfortable bedfellows: cognitive psychology and AI. In YASDANI, M. et NARAYANAN, A., (eds.), *Artificial Intelligence: Human effects*. Ellis Herwood, Chichester.

SHORTCLIFFE, E. (1976). *Computer-Based Medical Consultations: MYCIN*. American Elsevier, New York.

SIMON, Herbert A.and SMITHBURG, D. W. et THOMPSON, V. A. (1950). *Public administration*. Knopf, New York.

SIMON, H., LANGLEY, P., et BRADSHAW, G. (1981). Scientific Discovery as Problem Solving. *Synthese*, 47:1–27.

SIMON, H. A. (1969). *The Sciences of the Artificial*. Cambridge Press.

SIMON, H. A. (1977). *The New Science of Management Decision*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.

SIMON, H. A. (1980). Cognitive Science: The Newest Science of the Artificial. *Cognitive Science*, 4:33–46.

SIMON, H. A. (1981). *The Sciences of the Artificial*. The MIT Press, Cambridge, (MA), 2 edition.

SIMON, H. A. (1985). Human Nature in Politics: The Dialogue of Psychology with Political Science. *American Political Science Review*, 79(2):293–304.

SKINNER, B. (1931). The Concept of the Reflex in the Description of Behavior. *Journal of Genral Psychology*, 5:427–58.

SKINNER, B. (1957). *Verbal Behavior*. ??, New York.

SLADE, S. (1991). Case Based Reasoning: A Research Paradigm. *AI Magazine*, 12(1):52–68.

SLEEMAN, D. et BROWN, J. (1982). *Intelligent Tutoring Systems*. Academic Press, New York.

SMITH, H., HENNESSY, P., et LUNT, G. (1991). An Object Oriented Framework for Modelling Organisational Communication. In *Studies in Computer Supported Cooperative Work: Theory, Practice and Design*. Elsevier.

SMOLENSKY, P. (1988). On the Proper Treatment of Connectionism. *Behavioral and Brain Sciences*, 11:1–73.

SRIDHARAN, N. (1982). A Flexible Structure for Knowledge, Examples of Legal Concepts. Technical Report LRP-TR-14, Rutgers University, Laboratory for Computer Science Research.

SRIDHARAN, N. et SCHMIDT, C. (1978). Knowledge-Directed inference in BELIEVER. In WATERMAN, D. et HAYS-ROTH, F., (eds.), *Pattern directed inference systems*. Academic Press, New York.

STEELS, L. (1978). Introducing conceptual grammar. AI Working Paper 176, M.I.T., AI Lab.

STEELS, L. et McDERMOTT, J. (1993). *The Knowledge Level in Expert Systems*. Academic Press, Boston (MA).

STEFIK, M. et al. (1983a). The Architecture of Expert Systems. In HAYES-ROTH, F., WATERMAN, D., et LENAT, D., (eds.), *Building Expert Systems*. Addison-Wesley, New York.

STEFIK, M. et al. (1983b). Basic Concepts for building expert systems. In HAYES-ROTH, F., WATERMAN, D., et LENAT, D., (eds.), *Building Expert Systems*. Addison-Wesley, New York.

STEINBRUNNER, J. D. (1997). *The Cybernetic Theory of Decision*. Princeton University Press, Princeton.

STONE, G. P. et FARBERMAN, H. A., (eds.) (1981). *Social Psychology Through Symbolic Interaction*. Wiley, New York, 2 edition.

STONE, P. J. et al. (1966). *The General Inquirer: A Computer Approach to Content Analysis*. The MIT Press, Cambridge.

SUCHMAN, L. (1987). *Plans and Situated Action*. Cambridge University Press, Cambridge.

SVENSON, O. (1979). Process Descriptions of Decision Making. *Organizational Behavior and Human Performance*, 23:86–112.

SVENSON, O. (1989a). Eliciting and Analysing Verbal Protocols in Process Studies of Judgement and Decision Making. In MONTGOMERY, H. et SVENSON, O., (eds.), *Process and Structure in Human Decision Making*, pages 65–81. John Wiley.

SVENSON, O. (1989b). Illustrating Verbal Protocol Analysis: Individual Decisions and Dialogues Preceding a Joint Decision. In MONTGOMERY, H. et SVENSON, O., (eds.), *Process and Structure in Human Decision Making*, pages 83–98. John Wiley.

SYLVAN, D. et GLASSNER, B. (1985). *A Rationalist Methodology for the Social Sciences*. Basil Blackwell.

SYLVAN, D. A. et CHAN, S., (eds.) (1984). *Foreign Policy Decision Making: Perception, Cognition and AI*. Praeger, New York.

SYLVAN, D. A., GOEL, A., et CHANDRASEKARAN, B. (1989). Analyzing Political Decision Making from and Information Processing Perspective: JESSE. Technical report, Laboratory for AI Research, Ohio State University.

SYLVAN, D. A., OSTROM, T. M., et GANNON, K. (1994). Case-Based, Model-Based, and Explanation-Based Styles of Reasoning in Foreign Policy. *International Studies Quarterly*, 38:61–90.

SYLVAN, D. J. et MAJESKI, Stephen, J. (1994). Modelling Theories of Constitutive Relations in Politics. paper submitted to the American Political Science Review.

TAMBE, M., JONES, R., LAIRD, J., ROSENBLOOM, P., et SCHWAB, K. (1994). Building Believable Agents for Simulation Environments: Extended Abstract. In *to appear in Proceedings of the AAAI Spring Symposium: Believable Agents*, Orlando, FL.

TAMBE, M. et ROSENBLOOM, P. S. (1994). Intelligent Automated Agents for Tactical Air Simulation: A Progress Report. In *to appear in Proceedings of the Fourth Conference on Computer Generated Forces and Behavioral Representation*, Orlando, FL.

TANAKA, A. (1980). China, China-Watching and CHINA-WATCHER. Working paper, MIT, Dept. of Political Science.

THORNDYKE, P. W. (1977). Cognitive structures in comprehension and memory of narrative discourse. *Cognitive Psychology*, 9:77–110.

TIBERGHIEN, G., MENDELSOHN, P., ANS, B., et GEORGE (1990). *Traité de Psychologie Cognitive*, volume 2, chapter Contraintes structurales et fonctionnelles des systèmes de traitement, pages 1–32. Dunod.

TOLMAN, E. C. (1951). A Psychological Model. In PARSONS, T., (ed.), *Toward a General Theory of Action*. Harper, New York.

TONFONI, G. (1982). A Frame-System Theory of Text. Working Paper, M.I.T., AI Lab.

TONFONI, G. (1983). Artificial Intelligence, Contributions to Text-Understanding, Summarization and Analogy Procedures. Versus, Bompiani, Milano, in press ????

TOULMIN, S. (1958). *The Uses of Argument*. Cambridge University Press, London.

TULVING, E. (1983). *Elements of Episodic Memory*. Oxford University Press, New York.

TURING, E. (1963). Computing Machinery and Intelligence. In FEIGENBAUM, E. et FELDMAN, J., (eds.), *Computers and Thought*. McGraw-Hill, New York.

TURNER, R. H. (1968). Role:sociological aspects. In *International Encyclopedia of the Social Sciences, Vol 13*. Macmillan/Free Press, New York.

TVERSKY, A. et KAHNEMAN, D. (1974). Judgement under uncertainty: heuristics and biases. *Science*, 185:1124–31.

TVERSKY, A. et KAHNEMAN, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211:453–458.

ULLRICH, R. A. et Wieland, G. (1980). *Organization theory and design*. Irwin, Homewood.

UNSELD, S. et MALLERY, J. C. (1991). Inductive Interaction Detection for Complex Datamodels. Technical Report 1298, MIT AI Laboratory Memo, Cambridge.

UNSELD, S. D. (1988). *Wissensbasierte Simulation einer Organisation*. Verlag der Fachvereine, Zurich. Diss. ETH Nr 8429.

Van de VELDE, W. (1993). Issues in Knowledge Level Modelling. In DAVID, J.-M., KRIVINE, J.-P., et SIMMONS, R., (eds.), *Second Generation Expert Systems*. Springer Verlag, Berlin.

VAN DIJK, T. A. (1977). *Text and context*. Longman, London.

VAN DIJK, T. A. (1980a). *Macrostructures, An interdisciplinary study of global structures in discourse, interaction and cognition*. Erlbaum, Hillsdale.

VAN DIJK, T. A. (1980b). Story Comprehension: an introduction. *Poetics*, 9:1–21.

VARELA, G., MATURANA, D., et URIBE, R. (1974). Autopoiesis: the organization of living systems, its characterization and a model. *Biosystems*, 5:187–196.

VISETTI, Y.-M. (1989). Compte rendu de Lucy A. Suchman, Plans and Situated Actions - The problem of Human/Machine Communication, *Intellectica*, 7.

von FOERSTER, H., (ed.) (1968). *Purposive Systems, Proceedings of The First Annual Symposium of The American Society for Cybernetics*. Spartan.

VON WRIGHT, G. (1963). *Norm and Action*. Routledge and Kegan, London.

WADDINGTON, C. H. (1977). *Tools for Thought*. Basic Books, New York.

WALTZ, D. (1982). Artificial Intelligence. *Scientific American*, 247(4).

WATERMAN, D. (1985). *A Guide to Expert Systems*. Addison-Wesley, New York.

WATERMAN, D. et HAYES-ROTH, F., (eds.) (1978). *Pattern-directed Inference Systems*. Academic Press, New York.

WATERMAN, D. et JENKINS, B. (1979). Heuristic Modeling Using Rule-based Computer Systems. In KUPPERMAN, R. et TRENT, D., (eds.), *Terrorism,Threat, Reality, Response*. Hoover Institution Press, Stanford University, Stanford.

WATERMAN, D. et PETERSON, M. A. (1981). Models of Legal Decisionmaking. Technical Report R-2717-ICJ, Santa Monica, Rand, The Institue for Civil Justice.

WATSON, J. (1913). Psychology as the Behaviorist Views it. *Psychological Review*, 20:158–177.

WATZLAWICK, P., BEAVIN, J. H., et JACKSON, D. D. (1967). *Pragmatics of Human Communication*. ??, New York.

WEBER, E. U. et COSKUNOGLU, O. (1990). Descriptive and Prescriptive Models of Decisionmaking: Implications for the Development of Decision Aids. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 20(2):310–317.

WEBER, M. (1969). *Basic Concepts of Socioloy*. Greenwook Press, Westport.

WEBER, M. (1981). *Soziologische Grundbegriffe*. Mohr (UTB 541), Tubingen.

WEIZENBAUM, J. (1976). *Computer Power and Human Reason*. Freeman, San Francisco.

WERTHEIMER, M. (1921). Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. *Psychologische Forschung*, 1:42–58.

WERTHEIMER, M. (1923). Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. *Psychologische Forschung*, 4:301–350.

WHITE III, C. C. (1990). A Survey on the Integration of Decision Analysis and Expert Systems for Decision Support. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 20(2):358–364.

WHITEHEAD, A. et RUSSEL, B. (1935). *Principia Mathematica*. The Cambridge University Press, Cambridge.

WHORF, B. L. (1979). *Language, thought and reality*. MIT Press, Cambridge.

WIDMAN, L. E., LOPARO, K. A., et NIELSEN, N. R. (1989). *Artificial Intelligence, Simulation & Modeling*. Wiley, New York.

WIELINGA, B. et BREUKER, J. (1984). Interpretation of verbal data for knowledge acquisition. In O'SHEA, T., (ed.), *Advances in Artificial Intelligence*, pages 41–50. North-Holland, Amsterdam.

WIELINGA, B., SCHREIBER, A., et BREUKER, A. (1992). KADS: A Modelling Approach to Knowledge Engineering. *Knowledge Acquisition*, 4:5–53.

WIENER, N. (1961). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. MIT Press, Cambridge.

WILENSKY, R. (1981). Meta-planning, planning in problem-solving and natural language understanding. *Cognitive Science*, 5:197–233.

WILENSKY, R. (1983). *Planning and understanding, a computational approach to human reasoning*. Addison-Wesley, Reading.

WILKS, Y. (1977). Methodological Questions about Artificial Intelligence: Approaches to Understanding Natural Language. *Journal of Pragmatics*, 1:69–84.

WILLIAMS, R. J. (1993). An Agent Based Simulation Environment for Public Order Management Training. In *Object Oriented Simulation Conference*.

WILLKE, H. (1982). *Systemtheorie*. Gustav Fischer, Stuttgart.

WINDISCH, U. (1978). *Xénophobie ? Logique de la pensée populaire*. L'age de d'Homme, Lausanne.

WINOGRAD, T. (1978). On Primitives, Prototypes, and other Semantic Anomalies. In *Workshops on Theroretical Issues in Natural Language Processing, (TINLAP)*.

WINOGRAD, T. (1980). What Does it Mean to Understand Language. *Cognitive Science*, 4:209–241.

WINOGRAD, T. (1983). *Language as a Cognitive Process*, volume Vol 1: Syntax. Addison-Wesley, Reading.

WINOGRAD, T. et FLORES, F. (1986). *Understanding Computers and Cognition*. Addison-Wesley, Reading (Ma).

WINSTON, P. (1980). Learning and Reasoning by Analogy: the Details. AI-Memo 520, M.I.T., AI Lab.

WINSTON, P. (1981). Learning new Principles from Precedents and Exercices. AI-Memo 632, M.I.T., AI Lab.

WINSTON, P. (1982). Learning by Augmenting Rules and Accumulating Censors. AI Memo 678, M.I.T.

WINSTON, P. (1984). *Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, Reading, 2 edition.

WINSTON, P. et HORN, B. K. (1984). *LISP*. Addison-Wesley, Reading (Ma.).

WISH, N. (1980). Foreign policy makers and their national role conceptions. *International Studies Quarterly*, 24:532–54.

WITTGENSTEIN, L. (1953). *Philosophical Investigations*. Macmillan, London.

WOODS, D. et ROTH, E. (1991). Cognitive System Engineering. In HELANDER, M., (ed.), *Handbook of Human-Computer Interaction*. North-Holland, Amsterdam.

WOODS, W. (1970). Transition Network Grammars for Natural Language Analysis. *Communications of the ACM*, 13:591–606.

WRAY, H. J. (1971). Comment on the interpretation of early research into belief systems. *The Journal of Politics*, 41:1173–1181.

WUNDT, W. (1874). *Principles of Physiological Psychology*, volume 1 + 2. Macmillan, London.

WYGOTSKI, L. S. (1988). *Denken und Sprechen*. Fischer, Frankfurt am Main.

YAGER, R. (1988). On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multicriteria Decisionmaking. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-18(1):183–190.

ZAJONC, B. (1980). Preferences without Inferences. *Amercian Psychologist*, 35:151–175.

ZEIGLER, B. P. (1990). *Object-Oriented Simulation with Hierarchical, Modular Models: Intelligent Agents and Endomorphic Systems*. Academic Press.

ZEIGLER, B. P. (1991). Object-Oriented Modeling and Discrete-Event Simulation. *Advances in Computers*, 33:67–114.

ZEIGLER, B. P. et VAHIE, S. (1993). DEVS Formalism and Methodology: Unity of Conception/ Diversity of Application. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Washington, DC.

ZEIGLER, B. P., VAHIE, S., et YOUNG, M. J. (1994). Successive Approximation in Multifacetted Modelling Methodology: Human Performance Application. *International Journal of Computer Simulation*.

ZELENY, M. (1977). Self-Organization of Living Systems, A Formal Model of Autopoeisis. *International Journal of General Systems*, 4:13–28.

ZELENY, M. (1980a). Autopoiesis: A Paradigm Lost? In ZELENY, M., (ed.), *Autopoiesis, Dissipative Structures, And Spontaneous Social Orders*. Westview Press, Boulder.

ZELENY, M., (ed.) (1980b). *Autopoiesis, dissipative structures, and spontaneous social orders*. Westview Press, Boulder.

ZELENY, M. et PIERRE, N. (1975). Simulation Models of Autopoeitic Systems. In *Proceedings of The 1975 Computer Simulation Conference*, pages 831–842, La Jolla, CA. Simulations Councils, Inc.

ZELENY, M. et PIERRE, N. A. (1976). Simulation of Self-Renewing Systems. In JANTSCH, E. et WADDINGTON, C. H., (eds.), *Evolution and Consciousness, Human Systems in Transition*. Addison-Wesley, Reading.

ZUURBIER, J. (1992). On the Design of Group Decision Support Systems. In JELASSI, T., KLEIN, M. R., et MAYON-WHITE, W., (eds.), *Decision Support Systems: Experiences and Expectations, Proceedings of the IFIP TC8/WG 8.3 Working Conference on Decision Support Systems*, pages 59–70, Amsterdam. North-Holland.

Changements (selon les remarques du jury)

1. Selon **lettre du 9 juin 95 reçu de la Faculté**: les 2 premières pages
2. **Viré** “comment faire une thèse en 12 ans dans “Avant-propos” [p. iii]
3. **Nouveau dans “Avant-propos” [p. iii], un petit résumé de 150 mots:**
   “Notre projet était de voir comment, dans l’avenir, on devrait développer l’analyse du décideur. Les décideurs humains ont des intentions et des rationalités: ils perçoivent, traitent et produisent activement de l’information. L’acteur politique est volontariste, mais guidé par des normes sociales et bureaucratiques. Il est rationnel, mais de façon limitée. Il pense en utilisant des “logiques” de résolution de problèmes.” [p. iii]
   “Ainsi, la modélisation de la conduite du décideur gagne en puissance si on traite celui-ci en tant qu’acteur qui perçoit et traite de l’information à travers son savoir et son savoir-faire. Nous montrons que les méthodes et les techniques de l’intelligence artificielle fournissent les moyens pour produire des modèles riches du décideur. Bien que complexes, ces modèles sont proches du langage naturel et facilitent donc l’échange entre les objets/sujets analysés, les chercheurs et le public cible.” [p. iii]
4. Selon les remarques de **M.Urio**: quelques remarques sur Crozier et Friedberg dans 3-1 “La notion de la décision” [p. 53]:
   - Une phrase ici:
     “La perception du décideur en science politique ne dépend pas uniquement d’orientations théoriques fondamentales. Les modèles du décideur sont également inspirés par le type du décideur analysé. Ainsi par exemple, certains spécialistes en sciences administratives ont tendance à voir le décideur comme un élément qui cherche à maximiser son “profit” par rapport à l’organisation (Allison 71), d’autres le voient comme “suiveur de règles administratives” (Crecine 69). Par contre, d’autres (Crozier 77) voient l’acteur comme élément constituant de l’organisation. Dans les relations internationales, compte tenu de l’importance relative des individus, on s’intéresse davantage aux éléments politiques et idéologiques de la perception qui précède l’action (George 69 et Holsti 70) ou encore à la nature conflictuelle des choix (Brams 75, Rappoport 66). D’autres encore évacuent presque le décideur de la décision et se concentrent sur son environnement (Meadows 82) ou sur les facteurs qui influencent la décision (Steinbrunner 74). Ce phénomène n’est guère surprenant. Les tâches cognitives ne sont pas du tout les mêmes pour les différents types de situations de décision. En outre, on peut étudier la décision à différents niveaux d’abstraction et sous des angles différents.” [p. 54]
   - Nouveau paragraphe:
     “Crozier et Friedberg (77) lient étroitement l’analyse de la décision à celle de l’organisation qui est à la fois cadre et résultat de l’action

(plus précisément: fruit de la liberté et de l'incertitude des acteurs). Dans ce contexte, leur importante notion de l'action stratégique n'est pas rationnelle au sens strict du terme, mais implique une rationalité adaptée à chaque situation, influencée par les contraintes générales à la rationalité, par les multiples motivations des acteurs, et plus "localement" par le contexte technique, économique, social et culturel et l'interdépendance stratégique des acteurs dans l'organisation. Les auteurs mettent également en valeur les notions importantes de la négociation et du pouvoir reliant les acteurs concernés à un espace d'action donné. Le pouvoir est vu comme facteur "structurant" dans des contextes flous et comme facteur de liberté dans des contextes apparemment structurés. Etudes empiriques à l'appui (par exemple Crozier 90), "décision" et "rationalité" sont vues larges et difficiles à définir avec précision. Dans un ouvrage plus récent, Friedberg (93:290) affirme explicitement la difficulté de toute généralisation de l'étude des organisations et de la décision. [La conception de l'organisation comme jeu de coopération conflictuelle entre acteurs] "nous oblige à nous contenter de savoirs partiels, de modèles locaux d'interprétation qui demandent constamment à être enracinés et concrétisés dans une connaissance fine du terrain et de ses configurations, chaque fois spécifiques"." [p. 55]

- Note en bas de page:
  2. "Notons que l'analyse des jeux d'acteurs de Crozier et de Friedberg dépasse le cadre de ce travail (voir "Guide de lecture" [p. 3]) mais les résultats de leur travaux ont une signification importante pour la modélisation du décideur individuel" [p. 55]

5. Selon remarque de **M. Pfeifer:** note en bas de page:
   2. "Voir par exemple la modélisation du "British Nationality Act" par l'équipe de Kowalski (Sergot et al. 1996) comme "programme logique" à l'aide du langage Prolog." [p. 181]

6. Selon remarque de **M. Pfeifer:** note en bas de page:
   12. "Notons toutefois qu'il existe le danger des "rationalisations post-hoc" lorsqu'on interroge des sujets et lorsqu'on les fait parler à haute voix (Nisbett et Wilson 79)." [p. 166]

7. Selon remarque de **M. Pfeifer:** modification d'une phrase dans: 5-3.2 "L'acquisition et la formalisation des connaissances" [p. 196]:
   M-Lex ne modélise donc pas un processus cognitif, mais des décisions que le décideur peut justifier "post hoc" en utilisant un raisonnement plus analytique, voisin de celui employé par le système

8. Selon remarque de **M. Pfeifer:** note en bas de page:
   9. "En outre, s'il utilise vraiment des règles il peut s'agir de"rationalisations post-hoc" (Nisbett et Wilson 79)." [p. 235]

9. Selon remarque de **M. Pfeifer:** changé le titre:
   6-5 "Vers un paradigme multi-modal de simulation et de modélisation" [p. 277]

10. Selon remarques de **M. Pfeifer et M. Pellegini**: remanié le chapitre 6 et crée une annexe:
    - Dans Annexe: A-1 "Test du langage de simulation" [p. 376], une phrase pour dire à quoi servait cet exemple:
      Afin de montrer qu'on ne perd pas énormément de précision avec un modèle discret par rapport à un modèle continu simple, le lecteur peut consulter la section A-1 "Test du langage de simulation" [p. 376] dans l'appendice.
    - **Mis dans Annexe: A-2 "L'exemple «Demopolis»" [p. 379] et rajouté quelques phrases.**
    - **Reécrit tout "Simulation discrète et inférence" [p. 248]**
      ******

11. Selon remarque de **M. Pfeifer:** changé la phrase:
    "Compte tenu de la richesse du phénomène du décideur et de la variété des types de décisions, on ne peut pas préconiser tel ou tel type précis de modélisation . Mais nous postulons que la modélisation du décideur à l'aide d'un système à bases de connaissances portera ses fruits." [p. 357]

Mise en page:

1. Les sections commencent maintenant avec une page droite, c'est une convention pour les livres...
2. Quelques petites corrections d'orthographe partout.