



National Library
of Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Canadian Theses Service · Service des thèses canadiennes

Ottawa, Canada
K1A 0N4

NOTICE

The quality of this microform is heavily dependent upon the quality of the original thesis submitted for microfilming. Every effort has been made to ensure the highest quality of reproduction possible.

If pages are missing, contact the university which granted the degree.

Some pages may have indistinct print especially if the original pages were typed with a poor typewriter ribbon or if the university sent us an inferior photocopy.

Previously copyrighted materials (journal articles, published tests, etc.) are not filmed.

Reproduction in full or in part of this microform is governed by the Canadian Copyright Act, R.S.C. 1970, c. C-30.

AVIS

La qualité de cette microforme dépend grandement de la qualité de la thèse soumise au microfilmage. Nous avons tout fait pour assurer une qualité supérieure de reproduction.

S'il manque des pages, veuillez communiquer avec l'université qui a conféré le grade.

La qualité d'impression de certaines pages peut laisser à désirer, surtout si les pages originales ont été dactylographiées à l'aide d'un ruban usé ou si l'université nous a fait parvenir une photocopie de qualité inférieure.

Les documents qui font déjà l'objet d'un droit d'auteur (articles de revue, tests publiés, etc.) ne sont pas microfilmés.

La reproduction, même partielle, de cette microforme est soumise à la Loi canadienne sur le droit d'auteur, SRC 1970, c. C-30.

UN ARGUMENT COMPUTATIONNEL IMPOSANT LE RECOURS
A L'ATTENTE COGNITIVE COMME FONDEMENT DE LA DYNAMIQUE DE CONNAISSANCE

par

Pierre G. Tremblay

Thèse présentée à l'Ecole des Etudes Supérieures
pour l'obtention du Ph.D. en Psychologie

Ottawa Canada

© Pierre G. Tremblay, Ottawa, Canada, 1987.

Permission has been granted to the National Library of Canada to microfilm this thesis and to lend or sell copies of the film.

The author (copyright owner) has reserved other publication rights, and neither the thesis nor extensive extracts from it may be printed or otherwise reproduced without his/her written permission.

L'autorisation a été accordée à la Bibliothèque nationale du Canada de microfilmer cette thèse et de prêter ou de vendre des exemplaires du film.

L'auteur (titulaire du droit d'auteur) se réserve les autres droits de publication; ni la thèse ni de longs extraits de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation écrite.

ISBN 0-315-40747-6



UNIVERSITÉ D'OTTAWA
UNIVERSITY OF OTTAWA

A Hélène

REMERCIEMENTS

Je désirerais ici remercier de façon particulière certaines personnes pour leur participation. Elles ont grandement facilité mon travail.

Mon directeur de thèse, le Dr. Claude Lamontagne, pour son incroyable disponibilité et la qualité de sa supervision;

Mes deux collègues et amis, Jean-Roch Beausoleil, Ph.D, et
Jean-Pierre Delage, Ph.D;

Mlle Marina Brassard, pour sa générosité;

Ma compagne, Hélène Gauthier pour son soutien technique;

Mon père, pour tout.

RESUME

Le problème dont traite cette thèse est celui des attentes cognitives. Elle l'aborde théoriquement, conséquence de la position épistémologique popperienne sous-jacente à ce travail, et de façon formelle, par la présentation d'un modèle computationnel qui représente la conjecture par rapport aux attentes cognitives. Cette conjecture s'inscrit dans le domaine général de la théorie des schèmes en psychologie cognitive. Les représentations spécifiques (schèmes), générées par le modèle computationnel, sont exprimées sous forme de "frames" (Minsky, 1975) particuliers. Dans ce contexte, l'attente cognitive est présentée comme l'élément structural d'une représentation, dont le contenu résulte de l'action de procédures de prédiction du système cognitif, et dont le rôle est de maximiser les procédures de connaissance du système en y introduisant une dynamique de conjecture et réfutation. Les éléments et procédures computationnels nécessaires pour définir un tel système de connaissance sont introduits par la création d'un organisme hypothétique aux prises avec un problème de connaissance particulier: la représentation d'une carte géographique du type de celles utilisées dans les jeux de simulation ("wargames"), qui tiennent lieu, ici, de paradigme. Subséquemment, des déductions par rapport à la nature psychologique de l'attente seront dérivées de la conjecture en vue d'élaborer un test empirique susceptible d'en provoquer la réfutation.

"En même temps un changement extraordinaire se faisait dans ses idées. Les phases de ce changement furent nombreuses et successives...

Ce que l'esprit négligeait dans cette première appréciation beaucoup trop synthétique, nous ne croyons pas nécessaire de l'indiquer ici. C'est l'état d'un esprit en marche que nous constatons. Les progrès ne se font pas tous en une seule étape. Cela dit, une fois pour toutes, pour ce qui précède comme pour ce qui va suivre, nous continuons."

Victor Hugo, 1862

TABLE DES MATIERES

1 PARADIGME ET PROBLEME	1
1.0 Les jeux de simulation comme paradigme	1
1.1 Caractérisation des attentes	6
1.2 Conclusion	20
2 EPISTEMOLOGIE ET FORMALISME	26
2.0 Le cadre épistémologique: Karl R. Popper	26
2.1 L'Intelligence Artificielle	31
2.1.1 La représentation de la connaissance	33
2.1.2 Les réseaux sémantiques	38
2.1.3 Les "framés"	43
3 LE MODELE COMPUTATIONNEL	51
3.0 La tâche	51
3.1 Le modèle	56
3.1.1 La caractérisation primaire	60
3.1.2 La caractérisation secondaire	69
3.1.3 La caractérisation tertiaire	77
3.1.4 La caractérisation quaternaire	84
3.2 Extension du modèle	98
3.2.1 Le cas du groupement	108
3.2.2 Le cas de la transposition	116
4 IMPLICATIONS PSYCHOLOGIQUES	122
4.0 Introduction	122
4.1 Edward C. Tolman	125
4.1.1 "Expectancies" et attentes computationnelles	133
4.1.2 Postulats et procédures computationnelles	139
4.1.3 Le renforcement partiel	142
4.2 Léon Festinger	150
4.2.1 Les problèmes de la dissonance cognitive	155
4.2.2 Le recours au modèle computationnel	159
4.2.3 La dissonance cognitive: nouvelle approche	164
4.3 Conclusion	170
BIBLIOGRAPHIE	175

1 PARADIGME ET PROBLEME.

1.0 Les jeux de simulation comme paradigme

Les jeux de simulation, plus connus sous le nom de "wargames", sont des représentations formalisées de conflits militaires. Conçus pour l'enseignement de la science militaire ils se sont rapidement diffusés dans le grand public sur l'impulsion générée par leurs qualités ludiques et pédagogiques.

En effet, tout en étant divertissants, ils offrent aux joueurs l'occasion de revivre la situation historique simulée en la répétant, ou en la recréant dans le but d'en extrapoler les prolongements possibles. Par exemple, que serait-il arrivé si Hitler avait ordonné à la *Luftwaffe* d'anéantir les terrains d'aviation de la *Royal Air Force* lors de la Bataille d'Angleterre au lieu de s'acharner à bombarder des objectifs civils (Londres, Coventry etc.)?

Mais ces jeux fournissent en plus à leurs adeptes l'occasion d'analyser, d'étudier et d'approfondir l'ensemble du contexte socio-politique implicite au conflit simulé en mettant en place un environnement rigoureux favorisant cette activité puisqu'ils sont des simulations exhaustives des aspects impliqués au niveau économique, social et militaire. Le jeu en simulant les contraintes historiques réelles va donc ainsi fournir aux joueurs l'occasion de les expérimenter ce qui modifiera nécessairement leur compréhension de la situation.

Ces jeux ne laissent pas de place au hasard. Les différentes pièces voient leur potentiel de mouvement, leur rendement au combat et leur en-

durance se modeler sur les performances historiques des unités impliquées. Une matrice hexagonale sert à normaliser le mouvement; des tables statistiques (incorporant des éléments comme la nature des unités, leur force relative, le terrain sur lequel elles se trouvent ou encore leur état d'approvisionnement) régularisent les situations de combat de sorte qu'à chaque instant le joueur est en mesure d'anticiper le risque qu'implique une manoeuvre particulière. Des règles globales viennent contraindre les ouvertures potentielles de divergence historique dans le sillon imposé par l'histoire.

Le facteur hasard, présent dans toute activité militaire, n'est donc pas évacué du jeu de simulation, mais il est plutôt placé sous le contrôle absolu du joueur qui aura à l'évaluer en fonction de sa tactique et de sa stratégie, elles-mêmes établies en tenant compte de l'identité de l'adversaire. Ainsi, certaines personnes préfèrent une approche modérée, prudente, alignée davantage sur la situation historique, alors que d'autres jouent plus agressivement, en prenant davantage de risques. Il est évident que la connaissance au départ des attitudes de l'adversaire va influencer notre propre conception stratégique, et vice-versa, de sorte que cette influence peut être aussi avantageuse que néfaste: dans le cas où un des joueurs utilise cette attente pour surprendre l'adversaire.

Pour un psychologue intéressé par l'étude des processus cognitifs, ces jeux présentent un double intérêt. Premièrement, ils transposent le problème du hasard dans un contexte d'évaluation de probabilités (ce qui en soi est déjà une activité cognitive d'importance), et deuxièmement, puisqu'ils transfèrent les niveaux de difficulté et de représentation de

U

jeux comme les Échecs ou le Go sur des substrats plus concrets (cartes géographiques, véhicules motorisés, avions etc...), ils présentent au joueur, comme au psychologue, l'attrait de la référence à l'univers quotidien contrairement aux jeux à représentations plus abstraites. Par exemple, l'estimation de la distance parcourue par un véhicule moteur en 24 heures est à la portée de tout nord-américain, ce qui n'est pas le cas de l'évaluation des déplacements d'un cavalier en "X" coups aux Échecs.

De plus, comme ces jeux sont des simulations réalistes d'événements complexes, ils font appel à la fois à des ressources intellectuelles de haut niveau (raisonnement probabiliste, pouvoir déductif, organisation et intégration conceptuelle...) ainsi qu'à une bonne connaissance de l'histoire géo-politique ce qui, tout en n'étant pas nécessaire pour apprécier un jeu de simulation, présente un attrait supplémentaire car ce recours permet la mise en place d'un univers de signification de second niveau (par exemple, le tableau conceptuel des événements socio-politiques de la seconde moitié de ce siècle) qui pourra éventuellement être modifié par une réflexion amorcée via un jeu de simulation. Ce processus, c'est un *apprentissage de second niveau*. Il fera objet d'une discussion plus approfondie à la sous-section 1.1.

Tous ces éléments font des jeux de simulation des défis de taille pour le joueur et, puisqu'ils mettent en cause les mécanismes les plus formels et les plus complexes de l'esprit, ils constituent pour un psychologue des candidats préférentiels pour l'étude des fonctions cognitives supérieures car ils les circonscrivent dans un univers rigoureux, bien défini, mais de dimensions restreintes: c'est l'avantage que procu-

re le recours à la simulation, où tous les paramètres sont sélectionnés et choisis de sorte que leurs interactions sont établies selon des critères fixes en fonction de buts précis. Pour le psychologue, une telle situation offre l'attrait à la fois du contrôle serré des paramètres, qui caractérise davantage l'expérimentation en laboratoire, sans pour autant que soit perdu l'attrait de la spontanéité et de la richesse d'une activité ludique.

Pour toutes ces raisons les jeux de simulation constituent le point de départ de cette recherche, qui s'inscrit dans le domaine général de l'investigation scientifique des processus cognitifs. Ils ont été le champ privilégié dans lequel s'est défini et articulé le problème dont traite cette thèse. Les jeux de simulation ont été utilisés comme paradigme d'abord par observation directe du comportement de joueurs, puis par l'analyse de commentaires (comme ceux qui seront présentés dans la section suivante), mais aussi par la réflexion sur des problèmes¹, et enfin par le recours à l'introspection lors de ces études. En procédant de cette façon nous avons graduellement isolé un problème particulier: celui des attentes cognitives.

Avoir une attente cognitive, c'est *s'attendre* à quelque chose. C'est la mise en place d'un certain cadre conceptuel qui détermine en partie *ce qui est* au niveau de l'esprit au moment présent, et *ce qui se peut*, c'est à dire ce qui peut survenir dans des moments ultérieurs. De façon intuitive, on pourrait concevoir une attente cognitive comme étant une supposition, ou une présomption, ou une inférence qu'une personne pour-

¹ Entendu dans le même sens qu'aux Echecs, c'est à dire un état de jeu donné auquel il faut trouver une solution particulière dans des conditions minimales. Par exemple, le problème suivant: selon la disposition "X", les blancs font MAT en deux coups.

rait faire en fonction des informations qu'elle possède.

Puisqu'il vient d'être établi précédemment que le recours à l'analyse de commentaires de joueurs s'est avéré très utile et déterminant dans l'entreprise de définition du problème de thèse, et que le but de ce premier chapitre est justement d'introduire de façon intuitive le lecteur à cette même problématique, alors on présentera dans la section suivante les commentaires d'avant partie de deux joueurs qui expliquent le placement particulier de leurs pièces pour cette partie. Leur analyse servira dans les prochaines sections à caractériser la notion d'attente cognitive.

1.1 Caractérisation des attentes cognitives

Cette section fera ressortir les caractéristiques principales qui décrivent l'attente cognitive. Elles sont regroupées sous trois thèmes majeurs (le lien entre l'attente et l'expérience antérieure, le statut de globalité de l'attente et sa capacité prédictive). Le but spécifique de la section est d'arriver, premièrement, à illustrer comment la notion d'attente implique chacun de ces grands thèmes et, deuxièmement, à qualifier plus précisément des éléments spécifiques leur appartenant. Pour ce faire, le paradigme des jeux de simulation sera utilisé par le biais du recours au texte présenté ci-dessous. Ce sont les commentaires d'introduction de 2 personnes se préparant à jouer un jeu de simulation nommé "*Storm Over Arnherm*", ci-après désigné *SOA*.²

Ce jeu, publié chez Avalon-Hill en 1981, a comme contexte la célèbre tentative de la 1^{ière} Division Aéroportée Britannique (les *Diabes Rouges*) pour conserver le pont d'Arnherm face aux 9^{ième} et 10^{ième} Divisions Panzer SS lors de l'opération *Market-Garden* en septembre 1944.

La figure 1 est un schéma du jeu *Storm Over Arnherm* montrant les subdivisions du terrain en zones. De plus, dans chaque zone apparaissent les symboles (ex.: 4-6-6) utilisés par les joueurs dans leurs commentaires. Cette figure est l'état du jeu tel qu'il se présente au moment où les joueurs le commentent.

² Il est important de souligner qu'au moment où il a écrit son commentaire, aucun des joueurs n'avait encore vu le placement des pièces adverses. Donc, tout le discours de chaque joueur porte sur ce à quoi il s'attend par rapport à son adversaire.

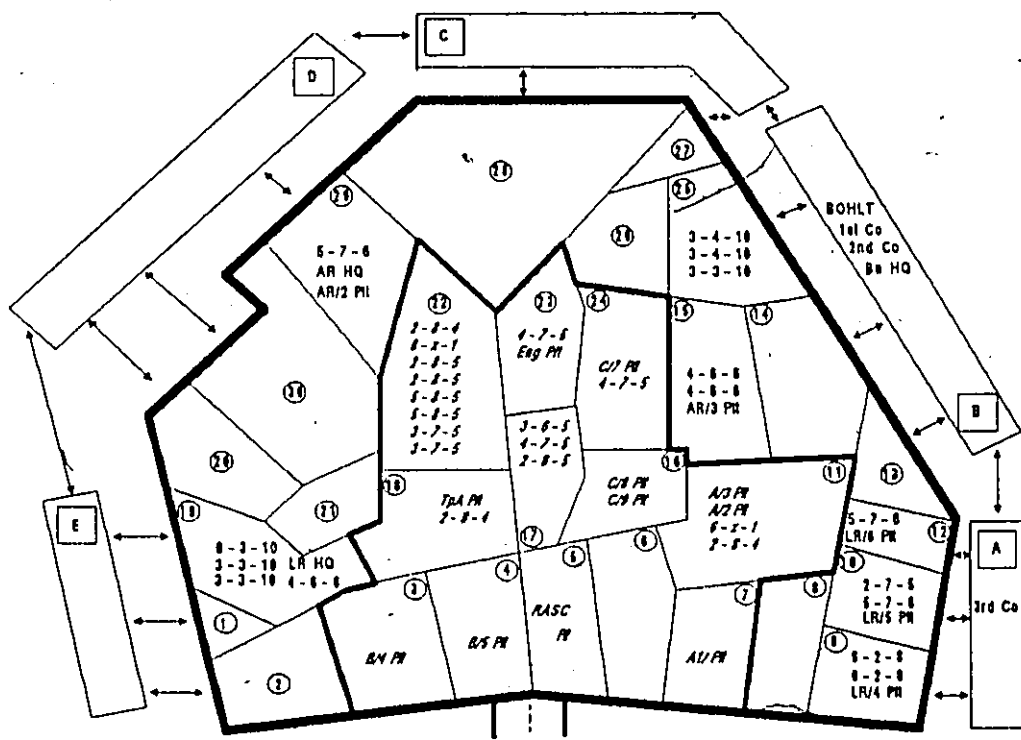


Figure 1: placement initial des pièces dans "Storm Over Arnhem". Les zones A, B, C, D et E sont des zones périphériques permettant le déplacement autour du périmètre d'action (zones numérotées). L'objectif principal est le pont au centre-sud de la figure. Les Britanniques (représentés par des caractères *italiques*) occupaient l'embranchure Nord du pont. L'extension de leur périmètre est représentée par la ligne de dimension intermédiaire.

PARADIGME D'ANALYSE

Texte des Commentaires

JOUEUR BRITANNIQUE

"Before looking at my setup Area by Area, I will take some educated guesses at what Don's setup will be. In the past, Don has always placed one HQ, one HVY WP, and three 4-6-6s in Areas 19 and 29, I see no reason to expect anything different this game... Not knowing where my Anti-Tank Guns will be, Don almost always places all of his armor unit out of harm's way... Again I expect him to hold firm here. However, after seeing my setup in game one, there is some chance he may risk putting one or two armor units in either (or both) Area 19 and 29...

The Anti-Tank Guns are used as deterrents. The one in Area 22

will make it costly to use armor in Areas 28 and 29... In addition, as I said, there is also some chance he may set up armor in Areas 19 or 29. If he sets up armor in just one of the two, I hope I have picked the corresponding one for my Anti Tank gun.

(*The General*, Vol. 19, No. 1, p.15 & 17, juin 82)

JOUEUR ALLEMAND

My opponent is a veteran player who has bested me many times in this game... The last time we played I allowed him to neutralize my artillery cheaply by stationing my main artillery spotter in area 29... Alan is a firm believer in this tactic, so I must constantly be on guard against allowing him to neutralize my artillery so cheaply. By placing my 2-7-5 in area 10... I assure myself... It is doubtful whether he will attempt to block my artillery against this setup; and if he does, it should be to my advantage ...

The danger of this disposition is... The worst possible circumstance would be if he were to guess all this in advance and not setup in area 11 at all. I doubt this will occur however as this is the first time I have used this particular setup and we both tend to make major British commitments to area 11.

To the west I have abandoned my conservative ways and am chancing my armor to possible AT and artillery attacks in 19. In our last games Alan neglected to cover this area with even so much as an artillery spotter, let alone an AT gun. I am gambling that he is a creature of habit. He tends to favor AT gun placement in 23, 16, and 11 (as I do), but, like myself, he may feel that his play has become too patterned and make a switch. If I were him, I wouldn't place an AT gun in 11 simply ... Nevertheless, this is a chancy proposition; but I feel the need to do something different. Alan and I have played the game many times and he has become too accustomed to my conservative ways."

(*The General*, Vol. 19, No. 1, p.15, juin 82)

Comme il a été souligné, ces commentaires concernent la mise en place des pièces en préparation du jeu. Or, comme chaque joueur prépare son jeu secrètement, il est clair chez les deux joueurs que la mise en place des pièces a été influencée par une certaine attitude vis-à-vis du comportement de l'adversaire. Et qui plus est, on réalise que tout le discours présenté ci-haut est en fait un commentaire de chaque joueur sur la nature de ses propres attentes par rapport à son adversaire.

Si on analyse le texte en gardant à l'esprit la question des attentes cognitives, une des premières choses qui retient l'attention survient dans la toute première phrase de chaque commentaire.

Cette première constatation situe directement le problème des attentes cognitives: chaque joueur place partie qu'il entreprend dans un contexte très spécifique, l'ensemble de ses attentes, ce qui a des répercussions immédiates sur ce que sera la partie à venir d'abord par l'influence que ce contexte a exercé sur la mise en place des pièces, mais aussi par la pré-sélection d'attitudes par rapport à l'autre ("il est meilleur tacticien que moi", ou encore "comme d'habitude, il devrait être une proie facile") qui vont marquer le jeu.

Chaque joueur fait des pré-suppositions non seulement sur la qualité globale du jeu de son adversaire, ou encore de ses réactions en cours de partie, mais encore sur une situation très précise: la façon particulière dont il a placé chaque pièce et le *pourquoi* de ce placement spécifique en début de partie, ce qui correspond déjà à une vision plus globale du jeu de son adversaire. Enfin, les deux aspects précédents dénotent un désir de prévoir ce que son adversaire lui prépare à long terme.

Cette mise en place conceptuelle représentée par un ensemble multidimensionnel de préoccupations ayant trait tout autant à la tactique qu'à la stratégie, aux facteurs sociaux qu'aux facteurs psychologiques, sera appelée dorénavant *attente cognitive*, et déjà, sur la base de ces réflexions sommaires par rapport au problème, une première définition intuitive de l'attente cognitive peut être apportée.

DEFINITION No. 1: l'attente cognitive est la mise en place dans une situation particulière d'un *contexte* qui va subséquentement l'influencer.

Mais il reste à qualifier davantage cette attente. Par exemple, comment s'est-elle mise en place? En quoi consiste-elle exactement? Est-ce que tous les éléments qui la constituent sont du même ordre? Comment peut-on définir son influence? Et ainsi de suite. L'analyse du texte devrait permettre l'ébauche d'éléments de solution puisqu'il est un discours, bien qu'intuitif, sur des attentes spécifiques. Tous les éléments caractérisant l'attente devraient potentiellement s'y retrouver.

Si on poursuit l'analyse du texte, on peut noter que les deux joueurs continuent leurs commentaires en abordant exactement le même thème, ce qui révèle son importance: le thème du passé. Leur premier point de référence découle directement de leur expérience passée. C'est en fonction de cet ensemble d'expériences que des prédictions (des attentes cognitives) vont graduellement se mettre en place.

La suite des commentaires le démontre. Le joueur britannique extrait de son expérience de jeu avec cet adversaire une configuration hypothétique du placement des pièces adverses en début de partie ("Don has always placed one HQ, one HWY WP, and..."), et il prend pour acquis qu'il fera face exactement à cette configuration encore cette fois-ci ("I see no reasons to expect something different...").

Quant au joueur allemand, le début de son commentaire est encore plus révélateur. D'abord, lorsqu'il dit "my opponent is a veteran player...", il fait déjà des présuppositions sur ce qui peut survenir au cours de la partie (c'est une attente cognitive). Dans le passé, il s'est fait battre à ce jeu par son adversaire; donc il estime qu'il doit être prudent (première conséquence de l'attente, elle impose une attitude). On peut

même envisager que cette attitude accorde un avantage à l'adversaire puisque le fait que le joueur allemand prenne pour acquis la supériorité de son adversaire va influencer la mise en place de ses pièces et, ultérieurement, son propre jeu. C'est une attente qui s'est graduellement construite en fonction des expériences passées, c'est à dire des parties jouées contre ce même adversaire.

Mais elle n'est pas que négative. Au contraire! Elle va venir provoquer chez lui des modifications, de tactique ou de stratégie, dans le but d'augmenter sa performance, comme en témoigne la suite du commentaire où il écrit: "The last time we played I allowed him to neutralize my artillery cheaply... Alan is a firm believer in this tactic, so I must constantly be on guard against". C'est une attente, fonction de l'expérience passée qui va provoquer une modification de tactique pour éviter que la situation ne se reproduise ("By placing my 2-7-5 in area 10... I assure myself... It is doubtful whether he will attempt to block my artillery against this setup; and if he does, it should be to my advantage because...").

Il ressort des commentaires ci-dessus qu'une des caractéristiques essentielles de l'attente cognitive est son lien privilégié qu'elle entretient avec l'expérience passée du sujet. Elle n'est pas l'expérience en tant que telle, mais elle en résulte. Elle émerge, au besoin, de l'ensemble des expériences comme pour venir créer une continuité entre celle-ci et les événements éventuels qui bientôt en feront partie.

Mais, l'expérience d'un sujet, c'est un univers sémantique extrêmement vaste et diversifié qui se compose d'éléments disparates d'origine tant perceptuelle, cognitive que méta-cognitive. Alors, qu'en est-il de

l'attente? Comment vient-elle se greffer sur cette incroyable diversité?

Puisqu'il a été établi qu'elle possède des liens avec cette diversité cognitive appelée expérience, il est légitime et indispensable d'essayer de déterminer à quel niveau ces liens s'établissent. Ainsi, dans l'exemple précédent, on peut qualifier l'attente exprimée par le joueur allemand comme étant très globale. Elle portait sur l'évaluation de la performance de son adversaire: c'est un vétéran qui me bat fréquemment; ce qui implique qu'il est meilleur que moi à ce jeu. C'est une attente très générale qui porte sur la globalité de l'expérience vécue avec ce partenaire, la partie en tant que telle n'étant qu'un nouvel élément qui viendra se greffer à cette expérience spécifique.

Mais, par contre, les attentes ne se situent pas toujours à un tel niveau de globalité. Lorsque le joueur anglais remarque que "The Anti-Tank Guns are used as deterrents" il crée une attente de niveau très local en attribuant une fonction spécifique à un objet précis, dans un contexte très particulier. Cette attente locale est aussi construite à partir des expériences antérieures: le joueur a développé une tactique d'utilisation de cette arme, dans ce jeu particulier, qui consiste à s'en servir exclusivement comme menace. L'attente, dans ce cas-ci, c'est une fonction spécifique attribuée à l'arme. On peut dire qu'elle est locale par rapport au concept d'arme Anti-Char, qui englobe cette attente spécifique, car il inclut, entre autres choses, toutes les diverses possibilités d'utilisation de l'arme.

Mais dans le contexte de ce jeu, le joueur anglais accorde à cette arme un attribut tactique particulier (i.-e. l'arme anti-char aura un rôle préventif) qui découle d'une position plus globale par rapport au

jeu: c'est le niveau de la stratégie. Celle choisie par le joueur anglais vise à réduire les mouvements des blindés ennemis dans les zones 28 et 29. Pour l'appliquer il choisit au niveau tactique d'attribuer un rôle particulier à l'arme anti-char: s'en servir comme d'une menace. S'il modifie sa stratégie, il aura éventuellement à modifier sa décision par rapport au rôle dévolu à l'arme anti-char afin de l'adapter aux nouvelles exigences stratégiques. Mais l'inverse est aussi vrai. S'il décide en cours de partie de modifier sa tactique en déplaçant l'arme anti-char pour attaquer une pièce ennemie, il devra également réévaluer sa stratégie, par exemple attribuer à un véhicule blindé, ou encore à un champ de mines, le rôle anciennement dévolu à l'arme anti-char, car le mouvement des blindés ennemis dans les zones 28 et 29 est maintenant possible, ce qui peut avoir des conséquences catastrophiques sur le résultat de la partie.

Ces exemples font ressortir un autre aspect important des attentes cognitives qui concerne la nature des liens entre les attentes et l'expérience: c'est le *statut de globalité* de l'attente. Elles peuvent être très générales et porter, par exemple, sur des attitudes relatives aux décisions stratégiques, ou encore elles peuvent être très locales et porter sur un sens précis d'un concept particulier, par exemple l'utilisation tactique d'une arme. On pourrait cependant insérer, à l'intérieur de cet ensemble, pratiquement une infinité d'éléments qui correspondraient toujours à la notion d'attente telle que pressentie intuitivement. Alors, c'est dire que le statut de globalité d'une attente ne dépend pas de ce sur quoi elle porte, mais plutôt du niveau de signification sur lequel elle se greffe, ce qui présuppose une organisation

hiérarchique des relations de sens. Une attente n'est locale que par un référent plus global. C'est le cas de la tactique par rapport à la stratégie. Mais cette stratégie, globale par rapport à la tactique, est aussi locale par rapport à un niveau méta-stratégique.

Pourtant, à chaque niveau on peut identifier des attentes spécifiques à celui-ci. Or, selon le niveau où l'attente se situe, elle va faire appel à des éléments tout à fait différents au sein de l'ensemble des relations de sens générées par l'expérience. Cet ensemble nous l'appellerons bassin sémantique. Les liens entre l'attente et ce bassin sémantique s'établissent donc selon le niveau de globalité de l'attente qui est relatif à un contexte signifiant qui l'englobe.

C'est donc en fonction du contexte signifiant dans lequel l'attente s'insère que l'on pourra déterminer son statut de globalité qui, comme nous venons de le dire, est indépendant de la nature de l'attente cognitive. Cette constatation apparaît comme centrale, et c'est sur cette base que seront développés, au chapitre 3, les primitifs qui permettront de décrire et de caractériser la structure computationnelle (dans le sens d'organisation de l'information) des attentes cognitives puis, au chapitre 4, ceux qui permettront de psychologiser ces structures computationnelles. Essentiellement, quatre caractérisations seront proposées pour décrire l'attente cognitive, caractérisations à partir desquelles pourront être spécifiés premièrement le niveau de globalité sur lequel porte l'attente, et deuxièmement la façon dont l'attente exercera son activité à ce niveau de globalité.

A première vue, il semble difficile d'apporter une définition satisfaisante de la notion d'attente cognitive ou même de préciser des critè-

res qui pourraient permettre de classer ou catégoriser des types d'attentes. Cependant, puisque les exemples abordés permettent d'en faire ressortir certains traits tels leur statut de globalité et le lien qui existe entre l'attente et l'expérience passée, c'est autour d'eux que devra s'articuler l'effort de définition et d'identification des critères nécessaires pour circonscrire rigoureusement cette notion d'attente. Mais, outre les deux critères déjà énoncés, est-il possible d'en extraire d'autres à partir des commentaires présentés ci-haut? Oui, si on les analyse attentivement, une troisième notion d'importance peut en effet être extraite: leur capacité prédictive.

Considérons le premier paragraphe des commentaires, où le joueur anglais postule un placement précis des pièces adverses, lorsqu'il dit: "In the past, Don has always placed one HQ.. in Areas 19 and 29, I see no reason to expect anything different this game". Au fil des parties, il a pu isoler chez son adversaire un patron de comportement stratégique et tactique relativement stable. Par expérience il va apprendre, intérioriser ce plan pour ensuite l'utiliser au besoin. Le comportement anticipé de l'adversaire, une fois intériorisé, devient attente cognitive. Celle-ci va à son tour influencer les processus mentaux en les orientant d'une certaine façon. Dans le cas de notre exemple, la directionnalité imposée est représentée par le placement précis de certaines pièces ("Head Quarters", "Heavy Weapon" et trois 4-6-6 placés en 19 et 29). L'attente modèle les procédures cognitives en les inscrivant dans un certain cadre à l'intérieur duquel elles *doivent* s'exercer.

On peut donc concevoir l'attente cognitive comme une certaine forme, une représentation mentale, qui serait la résultante d'expériences anté-

rieures. C'est par cette forme (l'explicitation de celle-ci constituant le but de notre recherche) que le façonnement constant des mécanismes cognitifs est rendu possible. Cette forme devient en quelque sorte une procédure d'assimilation, mais aussi d'accommodation par les transformations survenant suite à la réfutation d'attentes, qui, premièrement, donne au système cognitif l'opportunité d'évoluer et de se transformer en fonction du passé et, deuxièmement, qui y introduit en plus une possibilité d'appréhension du futur par projection conceptuelle.

Cette *capacité de prédiction* est la troisième caractéristique essentielle des attentes. La prédiction, dont le produit constitue en soi une attente par la mise en place d'un contexte (un *cadre conceptuel*) signifiant, va permettre au système cognitif de continuer à exercer son activité sur des événements hypothétiques, susceptibles de se produire. L'attente introduit dans le système l'occasion d'expérimenter des événements fictifs, dont le statut de réalité peut être vu comme problématique par rapport aux expériences d'interaction avec le réel, mais desquels l'organisme peut dériver *formellement* autant d'informations qu'à partir de ces dernières. Le système possède ainsi une capacité de détachement, de construction et d'extrapolation de la réalité qu'il ne pourrait avoir autrement. Ces expériences de second niveau seront à leur tour génératrices d'attentes, de formes, qui, elles aussi, pourront déterminer de nouveaux cadres conceptuels, et ainsi de suite. L'exploration de ces devenirs potentiels est un atout incontestable car il permet de dériver des connaissances, directement utilisables, d'univers et de situations hypothétiques. Par exemple, la réflexion sur un problème de

jeu de simulation pourra m'aider à développer de nouvelles tactiques sans que j'ai eu à affronter ce problème en situation réelle de jeu. Ce qui est avantageux car cette procédure permet une réduction du nombre d'erreurs, ce qui augmente d'autant la performance du joueur.

On peut donc dire d'un organisme, doté d'un tel système de connaissance, qu'il pourrait apprendre sans pour autant avoir expérimenté de façon concrète; ce qui va dans le sens d'une plus grande adaptabilité de l'organisme biologique car un fonctionnement réflexif de ce type permet de transposer le risque de réfutation à un niveau où la survie physique de l'organisme n'est plus directement mise en cause.

Par exemple, pour revenir aux commentaires ci-haut, le joueur allemand nous présente un tel cas d'expérimentation de second niveau. Dans le premier paragraphe de son intervention, il mentionne la neutralisation rapide de son artillerie et il peut en identifier parfaitement la cause. La tactique en question n'est pas présentée, mais lorsque le joueur écrit "Alan is a firm believer in this tactic..." il nous offre en terme d'attente ce dont nous avons besoin pour poursuivre notre propos. Le joueur connaît la tactique adverse, et qui plus est, il prédit que son adversaire va persister à l'utiliser; c'est la prédiction, fonction d'une attente, qui met en place un nouveau cadre conceptuel (la spécification d'une situation de jeu précise) à partir duquel l'analyse peut se poursuivre. La suite des commentaires ("by placing my 2-7-5... I assure myself... it is doubtful... and if he does... it should be to my advantage") l'illustre bien.

D'abord un recours à l'expérience pour mettre en place un cadre conceptuel de référence, une attente: neutralisation rapide de l'artillerie

dans la dernière partie. Puis, sur la base de celle-ci, une prédiction: le comportement adverse ne changera pas. Celle-ci installe un cadre conceptuel contraignant ("by placing my 2-7-5... I assure myself...") mais spéculatif ("it is doubtful..."), à l'intérieur duquel il va extrapoler ("and if he does... it should...") et analyser la situation possible. Il met en place un état de jeu de second niveau ("by placing my 2-7-5"...) où il peut jouer, explorer les possibilités et préparer des contre-mesures, et même y développer de nouvelles attentes... permettant de nouvelles prédictions... génératrices de nouvelles attentes.

Cet univers ludique conceptuel ne se matérialisera peut être jamais si l'adversaire ne se comporte pas comme prévu, mais l'analyse qui aura résulté du passage dans cet univers mettra en place de nouvelles attentes qui pourront alors exercer leur rôle en situation réelle de jeu. Le joueur aura donc appris d'expériences qui n'auront jamais été, et la performance qu'il pourra espérer obtenir à partir de telles expériences sera entièrement déterminée par la qualité de la prédiction dont elles sont tributaires.

Cette conception de l'apprentissage n'est certes pas classique par rapport à celle que l'on retrouve en psychologie de l'apprentissage. Elle s'est graduellement imposée puisqu'elle est la conséquence directe de la conception du rôle computationnel (présenté au chapitre 3) dévolu aux attentes cognitives. Cette potentialité d'apprentissage de second niveau sera discutée plus en détail en fonction du lien qu'elle présente avec les attentes:

En résumé, cette section a cerné la nature de l'attente cognitive. Le paradigme des jeux de simulation a été utilisé pour dériver, à partir de

commentaires sur une situation particulière d'attentes, d'abord une définition intuitive, puis trois caractéristiques permettant de la raffiner davantage. Cependant, circonscrire de cette façon la notion d'attente cognitive n'implique pas que le problème des attentes dans leur rapport avec la cognition soit résolu. La section suivante a justement pour but de faire ressortir le problème qu'implique la conception de la notion d'attente cognitive selon les caractérisations qui viennent d'être présentées ici. Plus spécifiquement, il s'agit d'identifier la nature des rapports possibles entre ces diverses caractérisations des attentes dans le but d'intégrer l'attente cognitive dans une vision plus globale: celle de la mécanique cognitive.

1.2 Conclusion

L'attente cognitive telle que présentée pose problème pour un psychologue intéressé par une réflexion sur les processus cognitifs. Le problème de recherche se situe à un double niveau inscrit dans la problématique générale *Structure-Fonction*. D'abord, puisque l'attente cognitive a été définie comme une forme par laquelle s'impose un contexte influençant la situation cognitive, il faut pousser la spécification de cette forme au-delà des trois caractéristiques essentielles introduites. C'est le problème de la proposition d'une structure aux objets cognitifs c'est à dire les représentations. Mais, puisque l'attente est également conçue comme ayant un rôle dans la dynamique cognitive, c'est dire qu'il faudra proposer également des *procédures* pour spécifier cette fonction. Or, comme celles-ci auront à faire porter leurs actions sur des objets cognitifs différents alors cela implique qu'il faudra également s'adresser à la question de la structure de ces procédures à cause de son interaction avec les différents objets cognitifs; tout comme les procédures seront tributaires de la structure de l'attente en tant que telle.

Donc le problème peut s'énoncer ainsi: il s'agit d'identifier la nature et le rôle de l'attente cognitive. Pour ce faire il faudra proposer un concept intégrateur, solutionnant à la fois la question de la structure et de la fonction de l'attente, qui deviendra une véritable *conjecture* des attentés dans le fonctionnement cognitif. C'est le modèle computationnel, développé au chapitre 3.

Cette conjecture est basée essentiellement sur l'idée que l'attente est porteuse de prédiction. Elle possède et offre au système cognitif

une possibilité de voyage dans le temps, d'ouverture vers l'avenir. Mais l'attente n'est pas un troisième oeil ou un sixième sens. Elle demeure inscrite dans le domaine du réel cognitif et de sa logique. L'attente n'est pas imagination ou spéculation gratuite. Elle est un mécanisme de connaissance qui, conséquemment à la position épistémologique présentée au chapitre suivant, doit nécessairement être *formalisable*. Il donne à un système cognitif la possibilité de se développer, de se projeter dans le futur en fonction du *passif temporel* de l'organisme connaissant. Le passif temporel, c'est essentiellement l'expérience antérieure de l'organisme. Ce terme est introduit pour qualifier spécifiquement la portion de l'expérience qui va causer des attentes cognitives dans une situation particulière.

Mais justement, qui dit attente dit attendre. Alors, que faire si l'invité ne se présente pas? Que faire si la prédiction ne se réalise pas? Par exemple, dans le premier paragraphe des commentaires du joueur britannique, il nous dit "I see no reason to expect anything different", mais malheureusement il ne nous dit rien de ce qu'il fera "If something different happens".

L'idée à retenir n'est pas que cette question soit insoluble. De fait, dans certaines circonstances elle peut se résoudre facilement. Ainsi l'allemand remarque: "it is doubtful whether he will attempt to block my artillery against this setup; and if he does, it should be to my advantage because...". Donc dans certains cas, la réponse à cette question est claire, mais dans d'autres elle ne l'est pas car elle n'existe tout simplement pas, soit qu'elle n'ait pas été prédite (prévue) ou soit qu'elle n'ait pas été prévisible:

Nous reconnaissons immédiatement ici un problème soulevé par notre réflexion sur les attentes cognitives, problème que non seulement nous n'avons pas attaqué, mais sur lequel nous avons décidé de ne pas nous pencher. Nous convenons que l'attente cognitive est une *prédiction*, c'est à dire l'émission d'une *conjecture*, qui sera ouverte à la *réfutation*. Mais, qui dit réfutation dit inadéquation possible de la conjecture, d'où survient la nécessité soit de la modifier ou soit d'en émettre une nouvelle. Nous avons décidé, pour le moment, d'écarter le problème de la genèse d'une conjecture de rechange dont la solution est le rêve à la fois de la psychologie cognitive et de l'épistémologie.

Cependant, comme nous l'exposerons au chapitre 3, nous avons élaboré un ensemble de règles de transformations qui, sans fournir la réponse absolue à la formulation d'une nouvelle conjecture suite à une réfutation, permettent tout de même d'apporter les correctifs nécessaires pour réduire localement la *dissonance* susceptible de se produire au sein d'un système particulier de connaissance lorsque, dans le cas le plus simple, une ou des attentes sont contredites (réfutées), ou encore lorsque, dans le cas le plus complexe, des éléments contradictoires sont partie prenante d'une même attente, ou encore réfutés.

En résumé, l'analyse du texte présenté a permis de faire ressortir les trois caractéristiques essentielles, communes et intrinsèques aux attentes cognitives.

Premièrement, les attentes portent sur des objets cognitifs particuliers, mais le *statut de globalité* d'une attente est indépendant de l'objet sur lequel elle porte. L'attente, comme on vient de le voir, est en quelque sorte un processus d'inférence de sens, que celui-ci soit

dérivé directement du passif temporel de l'organisme (par exemple, l'expérience du déjà-vu, de connaître cette face-là...), ou encore construit, prédit à partir ou en fonction de celui-ci. D'une certaine façon, on accorde à l'attente la connotation d'un *empan attentionnel* (comme nous le verrons subséquemment). Par exemple, le fait que le joueur allemand se préoccupe davantage du placement de l'arme anti-char que du placement des blindés ou de l'infanterie ennemie illustre bien cet aspect de *polarisation attentionnelle* que peut provoquer une attente. La dernière partie, où son artillerie avait été rapidement éliminée au début du jeu, le laissant sans défense contre les blindés ennemis et causant sa défaite, a laissé des traces. Une attente spécifique s'impose de façon prioritaire en début de partie: éviter de sacrifier l'arme anti-char. Le statut de globalité de l'attente est directement fonction de cette envergure attentionnelle, car si l'attente est plutôt de niveau local, il y a lieu de penser que le traitement cognitif s'effectuera à ce niveau. Par contre, si l'attente est davantage globale, par exemple elle porte sur la stratégie du joueur adverse plutôt que sur sa tactique particulière d'utilisation des blindés, alors les conséquences se reflètent non seulement au niveau plus global de la stratégie à adopter, mais encore, du fait de la sélection de cette stratégie particulière, jusqu'au niveau des décisions tactiques que cette nouvelle attente nous force à envisager.

Mais, tout objet cognitif est nécessairement cadré dans un certain empan attentionnel pouvant évoluer sur l'axe temporel. Il peut ainsi recouvrir le moment présent, ou encore s'étendre pour inclure le passif temporel, ou bien se projeter dans le futur via ses mécanismes conjectu-

raux. Cette question de l'évolution de l'empan attentionnel a donné lieu à l'introduction d'une autre caractérisation de l'attente: le *lien privilégié* qu'elle possède avec le *passif temporel* de l'organisme connaissant; la potentialité de projection dans le futur ayant favorisé l'introduction de la troisième caractéristique attribuée à l'attente. De plus elle dérive directement du lien avec le *passif temporel* car un système connaissant, pour optimiser formellement ses chances de réussite (et donc à la limite pour des raisons de survie dans le cas d'un système connaissant biologisé), se doit de maximiser le potentiel de ce *passif temporel* par son *extension conjecturale dans l'avenir*: l'espèce la plus apte à ce faire étant la plus apte à survivre.

A partir de là, il est possible de présenter une nouvelle définition de la notion d'attente cognitive, définition qui sera raffinée et opérationnalisée sous forme de procédures computationnelles lors de versions subséquentes. Pour l'instant, l'attente cognitive sera définie comme:

DEFINITION No. 2: La mise en place au sein d'un système de connaissance, à un moment et à un niveau de globalité définis, d'un *cadre conceptuel* porteur d'une part de significations spécifiques par rapport au niveau de référence et d'autre part, de prédictions par rapport à des niveaux relationnels.

Oui, mais qu'est ce qu'une expérience, un *passif temporel*? Est-ce que les *passifs temporels* sont tous de même type, de même nature? Sont-ils tous susceptibles de générer ou de provoquer des attentes? Quelle est la substance différenciatrice entre expérience, connaissance et attente cognitive? Le *passif temporel* devient-il une attente, ou si plutôt l'attente possède un statut différent, extrapolé, de celui de l'expérience?

Si tel est le cas, alors comment catégoriser ou qualifier cette différence de statut? Comment l'attente se met-elle en place dans le système cognitif? Est-elle-toujours présente? Est-elle générée au besoin? Si oui, comment? Par quoi? Pourquoi? Est-ce que l'attente cognitive se limite au système supérieur de connaissance? Que serait une attente cognitive motrice ou perceptuelle? Que serait un système cognitif sans attentes cognitives? Pourrait-il être, se développer, connaître?

Toutes ces questions sont indissolublement liées, la réponse à l'une entraînant une cascade de questions se répercutant sur l'autre. Comme le but de cette première section était d'introduire la problématique générale de cette thèse et le paradigme duquel une élaboration intuitive de l'attente cognitive a émergé, il n'apparaît pas pertinent de donner ici les réponses aux interrogations soulevées ci-haut avant que soit présentée une discussion approfondie sur la manière retenue pour investiguer le problème, à savoir une approche scientifique *théorique* et *computationalnelle*.

2 EPISTEMOLOGIE ET FORMALISME

2.0 Le cadre épistémologique: Karl R. Popper

Le problème des attentes cognitives peut être abordé de diverses façons. Par exemple, bien que le chapitre précédent privilégiait une approche intuitive, certains éléments de connaissance pertinents ont tout de même été isolés. Cependant les limites d'une telle approche se trouvent dans la nature des explications qui en sont dérivées. Celles-ci, bien que pouvant très bien servir de guides pour une étude plus poussée, sont généralement vagues et ambiguës. Leur manque de rigueur en étend la portée explicative à un ensemble de phénomènes souvent trop vaste, ou même n'ayant plus aucun rapport avec la problématique d'origine. Par exemple, on pourrait qualifier tout phénomène mental à la fois par son lien avec l'expérience passée d'un organisme et par son niveau de globalité sans pour autant qu'il soit une attente cognitive. Ceci ne signifie pas que les éléments identifiés par un tel type d'approche ne soient pas appropriés: ainsi, la capacité prédictive des attentes, identifiée intuitivement au chapitre 1, apparaît comme essentielle. Si les explications dérivées d'une connaissance de sens commun sont insatisfaisantes, la question est donc: comment faire pour les qualifier non seulement davantage, mais de façon encore plus convaincante par rapport au problème qui nous intéresse? La réponse est évidente: il faut adopter une approche scientifique.

Le recours à une démarche logique est ce qui distingue le raisonne-

ment scientifique du raisonnement non-scientifique. De plus celle-ci s'est vue contrainte, depuis Francis Bacon et Claude Bernard, par une démarche méthodologique rigoureuse: la méthode expérimentale. Cette méthode consiste, en partant des faits révélés par l'observation et l'expérience, à élaborer des *hypothèses* explicatives puis, ultérieurement, à les soumettre à l'épreuve par le biais de l'expérimentation afin de s'assurer de leur validité.

On appelle *induction* le processus logique consistant à partir d'*énoncés singuliers* (les faits constatés par l'observation et/ou l'expérience) pour arriver à des *énoncés universels* (les hypothèses). Puisqu'il est sous-jacent à la méthode scientifique traditionnelle on peut donc la qualifier de *méthode inductive*. C'est le recours à l'utilisation de cette méthode qui a, depuis Bacon, constitué le critère de démarcation entre ce qui est scientifique et ce qui ne l'est pas.

Or, David Hume a fait la démonstration que l'induction constitue en quelque sorte un piège car elle mène à des incohérences logiques que Popper (1972, p.25) résume en ces termes:

"L'oeuvre de Hume devrait avoir montré clairement que le principe d'induction peut aisément engendrer des incohérences qu'on ne peut éviter - si cela est possible - que difficilement. Car le principe d'induction doit être lui-même un énoncé universel. Si nous tentons de considérer sa vérité comme connue par expérience, nous verrons ressurgir des problèmes exactement semblables à ceux pour la solution desquels ce principe a été introduit. Pour le justifier, nous devrions pratiquer des inférences inductives et pour justifier ces dernières nous devrions assumer un principe d'induction d'un ordre supérieur et ainsi de suite. La tentative visant à fonder le principe d'induction sur l'expérience échoue donc puisque celle-ci doit conduire à une régression à l'infini."

Ces arguments légitiment la décision prise dans le cadre de ce tra-

vail, à savoir le recours à une *démarche théorique* pour aborder l'étude du problème des attentes cognitives. En effet, puisque l'impossibilité que la méthode inductive traditionnelle puisse conduire à la formulation d'hypothèses (énoncés universels) est logiquement démontré, et, de plus, comme dans tous les cas la véracité de tels énoncés ne peut être démontrée, alors il est indispensable de proposer un schème de remplacement à la méthode empirique. Celui qui a été retenu est celui proposé par Popper, qui reconnaît le *problème* auquel s'intéresse le chercheur comme l'origine de la démarche scientifique. Celle-ci va consister subséquemment à proposer des *conjectures* relatives au problème dans le but de les soumettre au test à la seule fin de pouvoir les réfuter. Ainsi le *problème de l'induction* comme recours méthodologique se voit contourner car s'il est logiquement impossible de *confirmer* la véracité d'énoncés il est logiquement possible de les *infirmer*. La démarche scientifique se voit donc proposer un nouveau mode, de conjecture et de réfutation, et ce critère de la *falsifiabilité* des conjectures devient en quelque sorte le critère de démarcation entre ce qui est connaissance scientifique et ce qui ne l'est pas.

Le recours à l'expérience se voit donc encadrer par un tout nouveau contexte, où il devient l'élément de contrôle susceptible de rejeter une conjecture, faisant par le fait même progresser la connaissance de manière certaine. Logiquement, puisqu'il est impossible de prouver la véracité d'une théorie, la connaissance scientifique ne peut progresser que par le recours à la réfutation qui va permettre d'éliminer, de façon logiquement certaine, les conjectures incapables de rendre compte des faits observés. Du rejet de cette conjecture jaillira un nouveau problè-

me qui va, à son tour, provoquer l'émission d'une nouvelle conjecture susceptible d'être réfutée, et ainsi de suite; "the growth of knowledge proceeds from old problems to new problems, by means of conjecture and refutation." (Popper, 1963, p. 258):

Cet accent sur la nécessité du recours à la réfutation pour faire progresser la connaissance scientifique n'est pas nouveau. Claude Bernard en parlait en ces termes en 1865:

"De là il résulte que, lorsque dans la science nous avons émis une idée ou une théorie, nous ne devons pas avoir pour but de la conserver en cherchant tout ce qui peut l'appuyer et en écartant tout ce qui peut l'infirmier. Nous devons, au contraire, examiner avec le plus grand soin les faits qui semblent la renverser, parce que le progrès réel consiste toujours à changer une théorie ancienne qui renferme moins de faits contre une nouvelle qui en renferme davantage." (p.74)

Ces observations sont passées pratiquement inaperçues aux yeux des chercheurs, mais il est vrai que même chez Bernard elles ne constituaient certes pas le fondement de sa doctrine, comme c'est le cas chez Popper.

Cependant, pour une conjecture, pouvoir se prêter à la réfutation ne signifie pas être réfutée mais plutôt s'exprimer sous une forme claire et non-ambiguë permettant de tirer des déductions qui, elles, pourront être testées. L'expression même de la conjecture devient alors un critère de scientificité si on accepte la falsifiabilité comme critère de démarcation de la connaissance scientifique. De là est dérivé l'intérêt de recourir à un langage formalisé pour l'expression des conjectures. Ainsi, la physique fait appel aux mathématiques comme recours formel; et, en ce qui a trait à la présente recherche, la théorie des automates

(Turing, 1936), et plus spécifiquement les langages informatiques qui en sont dérivés, constituera le recours formel d'expression de la conjecture. La présentation de ce formalisme, de même que des éléments pertinents qui en sont dérivés, se fera dans la section suivante.

En résumé, cette thèse se veut d'allégeance popperienne en ceci qu'elle va s'attarder davantage à présenter une *conjecture*, sous la forme d'un modèle computationnel (présenté au chapitre 3), portant sur les attentes cognitives, c'est à dire le problème duquel elle a émergé, plutôt qu'un *corpus empirique*. Ceci ne signifie cependant pas que le recours aux faits (dont l'importance a d'ailleurs été soulignée au chapitre précédent) ait été négligé, mais plutôt que l'effort principal de recherche a porté sur l'élaboration de la conjecture (le modèle computationnel) et non pas sur celle de la base de faits.

Cependant, en continuité de la logique popperienne, une expérience critique des éléments du modèle computationnel sera présentée comme conclusion à la thèse (section 4.3).

2.1 L'Intelligence Artificielle

C'est la démarche théorique qui est retenue comme voie d'exploration du problème des attentes cognitives. Or, telle que présentée dans la section précédente, la méthode adoptée impose la contrainte du recours à un formalisme pour permettre l'expression de la conjecture d'une façon explicite et non ambiguë. Le problème des attentes cognitives s'inscrivant dans la problématique plus générale de la gestion de l'information au sein de réseaux de connaissance, la théorie des automates (Turing, 1936) a été retenue comme recours formel.

Basée sur des constructions logico-mathématiques, cette théorie traite des procédures de décision par des machines, ou automates abstraits (ex. la machine de Turing). Dans ce contexte, l'information est envisagée comme étant la résultante de processus computationnels (c'est à dire de systèmes de prises de décision). C'est dans ce sens qu'il faut comprendre l'utilisation du concept d'information dans le modèle dont cette thèse fait l'objet. Conséquemment à la prise de position formelle, où la connaissance est envisagée comme résultant de processus de calcul, chaque élément du modèle devra donc s'exprimer sous forme de procédures effectives de décision. De plus, un formalisme particulier est dérivé de ce recours formel: il s'agit des langages informatiques (en l'occurrence les langages LISP et PROLOG) qui vont servir, premièrement, à exprimer les composantes du modèle computationnel en termes clairs et précis et, deuxièmement, à rendre possible leur simulation sur ordinateur.

Il devient ainsi légitime de proposer un ensemble de procédures computationnelles pour décrire une façon plausible de représenter la con-

naissance, ce qui constitue la première étape dans l'élaboration d'un modèle explicatif des attentes cognitives. Mais puisque les premiers éléments issus de la réflexion intuitive sur les attentes cognitives ont conduit à isoler comme caractéristique le lien privilégié qu'elles entretiennent avec l'expérience (le passif temporel), il est indispensable de définir ce lien pour continuer à progresser dans l'exploration du problème. Or, pour ce faire, il faut d'abord s'adresser à la question de la spécification de la nature de l'expérience: c'est la question de la représentation de la connaissance (qui sera développée dans la sous-section suivante).

Par la suite, disposant d'outils conceptuels qui permettront de solutionner cette question, à savoir les réseaux sémantiques et les "frames", il sera tout aussi légitime, pour la seconde étape, de proposer des procédures computationnelles qui permettront de spécifier la nature de l'attente cognitive ainsi que son rôle dans la dynamique des processus cognitifs, ce qui constitue la problématique de cette thèse.

Puisque le modèle particulier repose sur des constructions théoriques permettant l'expression informatique de façons possibles de représenter l'information, nous examinerons dans la prochaine section l'apport de l'Intelligence Artificielle au problème de la représentation de la connaissance.

2.1.1 La représentation de la connaissance

Dès le début des années 1960 plusieurs chercheurs ont commencé à faire des tentatives d'utilisation des ordinateurs pour simuler des processus cognitifs complexes comme le langage (Deese, 1965), la mémoire (Quillian, 1968) ou encore la résolution de problème (Newell et Simon, 1972). Bien que prometteuses ces tentatives ont rapidement mis en lumière un problème fondamental: comment caractériser les modalités de connaissance qui permettent à l'humain une telle performance?

Une solution à ce problème devant forcément être apportée avant d'élaborer et simuler des modèles plausibles et performants, il prit graduellement de plus en plus d'importance dans le développement de la discipline. Eventuellement cela amena l'élaboration de deux types concepts informatiques, ou heuristiques de représentation, permettant de représenter la connaissance au sein d'ordinateurs: les réseaux sémantiques (Quillian, 1968) et les "frames" (Minsky, 1975).

Ces efforts de spécification d'heuristiques de représentation ont provoqué une réflexion plus générale quant à la nature de la connaissance qui a longtemps fait objet de débat dans le domaine de l'Intelligence Artificielle: il s'agit de la détermination de la nature déclarative ou procédurale de la connaissance. Essentiellement il est possible de caractériser la connaissance en fonction de deux modes: d'une part le mode déclaratif, c'est à dire *connaître quelque chose* ("knowing what"), ce qui réfère davantage à une description de l'objet à connaître, et d'autre part le mode procédural, c'est à dire *connaître comment, en faisant quelque chose* ("knowing how"), ce qui réfère davantage aux procédures

d'utilisation de la connaissance. Ces deux positions forment les pôles d'un continuum où les deux extrêmes sont d'un côté la représentation déclarative et de l'autre la représentation procédurale, et où théoriquement un ensemble de positions intermédiaires potentielles peut s'insérer entre ces deux pôles. L'intérêt de ces distinctions ne signifie pas que dans son essence l'acte de connaître doit être considéré comme un continuum d'actions qualitativement différentes, mais plutôt qu'il est possible de le décomposer en différentes sous-catégories, pour les besoins de son implantation informatique, qui ont conduit à l'élaboration d'heuristiques de simulation différents. En fait, bien qu'historiquement les systèmes proposés reposaient sur l'un ou l'autre type, les systèmes actuels (systèmes experts, ainsi que le modèle présenté ici) sont des hybrides où les deux modes coexistent et interagissent.

Globalement les positions peuvent se résumer de la façon suivante. Les procéduralistes affirment que la connaissance s'exprime essentiellement sous la forme *savoir comment* ("know how"), le cerveau étant envisagé comme une entité dotée de procédures, de programmes, où est encastree sa connaissance (Hewitt, Bishop et Steiger, 1973). La connaissance qu'un organisme possède au sujet des propriétés du monde extérieur coexiste donc de façon intrinsèque avec son ensemble de programmes interagissant avec la réalité extérieure. L'avantage d'un tel système de représentation de la connaissance vient du fait qu'on sait, lorsqu'une procédure particulière est utilisée, quelle est la nature de cette procédure et quel résultat elle va produire dans son interaction avec l'ensemble du système, c'est à dire les autres procédures.

De l'autre côté les déclarationnistes ne croient pas que la connais-

sance soit liée aux procédures nécessaires pour son utilisation, mais ils la conçoivent plutôt comme reposant sur deux bases: un ensemble minimum de règles, nécessaires pour manipuler toutes sortes de connaissance, et un ensemble potentiellement illimité de faits spécifiques, décrivant certains domaines particuliers de connaissance. Celle-ci est alors envisagée comme une interaction résultant de l'application de lois globales sur des données spécifiques dans le but de faire des déductions.

Les avantages de la représentation déclarative proviennent du fait que si la base de la connaissance est un ensemble de faits indépendants (bien qu'il soit possible de les unir les uns aux autres), alors celle-ci peut être modifiée simplement par l'addition de données nouvelles, l'implication de chaque déclaration reposant uniquement dans son contenu logique et leur organisation cohérente découlant des propriétés de la structure qui les supporte.

A l'opposé, les représentations procédurales dérivent leur sens de la façon dont elles sont utilisées, c'est à dire leurs conditions d'utilisation: à quel moment sont-elles évoquées, avec quelles procédures interagissent-elles? C'est l'interaction poussé à sa limite où il devient difficile de changer ou d'ajouter quoique ce soit, les changements se répercutant sur plusieurs niveaux. Les modèles s'appuyant sur ce type de concepts sont généralement relativement puissants, mais ce gain de puissance s'effectue au détriment de leur généralité. Ils demeurent liés à un contexte restreint en dehors duquel leur performance est nulle, d'où l'intérêt de combiner les deux types alliant ainsi la puissance de la représentation procédurale à la généralité potentielle offerte par la

représentation déclarative.

Bien que très présente il y a quelques années, cette problématique s'est graduellement estompée car elle relevait davantage de contraintes technologiques que théoriques. En effet, il est possible de démontrer formellement l'équivalence computationnelle entre les deux modes de représentation. Ainsi, tout ce qui peut être énoncé de façon déclarative peut également être généré de façon procédurale. Les limites de l'une ou l'autre approche sont davantage spécifiques à des problèmes particuliers. Dans certains cas, le recours à la représentation déclarative est plus avantageux, dans d'autres non.

Dans les années 1960, cette question du choix du type de représentation avait son importance du fait des outils informatiques mis à la disposition des chercheurs. Ainsi, la plupart des langages informatiques de l'époque (LISP, FORTRAN, COBOL et BASIC par exemple) étaient et sont encore des langages procéduraux. C'est à dire que pour résoudre un problème, il faut spécifier à l'ordinateur la manière, la procédure, par laquelle il va arriver à une solution. Techniquement, il était avantageux de recourir à la représentation procédurale du fait que les outils de simulation étaient également conçus selon ce mode. Par contre, certaines tâches devenaient pratiquement impossibles à réaliser à cause de la complexité impliquée par la conception des procédures. Par exemple, à quelles procédures faudrait-il recourir pour représenter un arc-en-ciel?

Ces préoccupations, bien que leur impact ait été peu important au niveau du problème de la connaissance, ont eu toutefois un impact technique intéressant. Ainsi, les nouveaux langages de programmation comme PROLOG, un langage déclaratif, ou encore les langages de programmation

orientés sur des objets ("objects oriented languages") comme SMALLTALK sont des dérivés directs des préoccupations sur la problématique procédural versus déclaratif. Cette préoccupation n'est pas seulement d'intérêt historique. Elle explique également en partie la nature des heuristiques de représentation que les chercheurs ont proposés (sous-sections 2.1.2 et 2.1.3), de même que les solutions particulières adoptées dans l'élaboration des systèmes experts modernes ainsi que certains choix sur lesquels repose le modèle computationnel des attentes cognitives.

Il est opportun de souligner maintenant la position sous-jacente à l'élaboration de notre conjecture sur les attentes cognitives qui a rapport à cette problématique. Sans nier les natures spécifiques de la représentation déclarative et procédurale, la problématique cognitive spécifique à cette thèse se place au-dessus de l'ensemble déclaratif-procédural. La cognition est plus que la somme des deux types de représentation et donc le mode de représentation n'est pas un critère démarquant la cognition. Ce critère, ce sera plutôt l'attente. S'il y a cognition, alors il y a attente; s'il y a attente, alors il y a cognition.

Afin d'identifier la structure de l'attente, qui est une représentation mentale, regardons maintenant les structures proposées comme support aux représentations par les chercheurs en Intelligence Artificielle.

2.1.2 Les réseaux sémantiques

Tel que présenté ci-haut, l'examen de la problématique relative aux modalités de connaissance a conduit les chercheurs en Intelligence Artificielle à définir des heuristiques computationnels permettant la simulation de manières possibles de représenter la connaissance. Les réseaux sémantiques peuvent être considérés comme l'élément computationnel principal dérivé de la représentation déclarative.

La théorie des réseaux sémantiques s'est surtout articulée autour de recherches relatives aux processus mémoriels et linguistiques. On peut définir un réseau sémantique comme un ensemble d'associations entre des symboles où chaque association est clairement différenciée par l'apposition d'une étiquette la caractérisant. Cette notion d'un lien, d'un pointeur unissant un symbole particulier à l'ensemble des symboles, apparaît pour la première fois dans les travaux de Quillian (1968) et Raphael (cité dans Minsky, 1968) et n'est pas sans rappeler les traits de langage informatique tel LISP, où la caractéristique majeure est probablement la possibilité d'associer des propriétés (subséquentement dérivables) à des éléments atomiques du langage.

Cette possibilité d'association des réseaux sémantiques en fait des candidats préférentiels pour la représentation sémantique car un réseau sémantique combine en un seul mécanisme la facilité du stockage d'information factuelle dans le réseau à la flexibilité offerte par des connexions associatives, qui permettent que certains éléments d'information soient accessibles à partir de certains autres. Ils produisent une représentation qui, en vertu de la manière dont elle structure les faits,

fournit automatiquement les connexions associatives appropriées.

Un réseau sémantique représente un ensemble d'objets ou *noeuds* ("nœuds") reliés entre eux par des liens ("links"). La figure 2 illustre un réseau sémantique utilisé dans des travaux sur la mémoire (Collins & Quillian, 1969) et permet d'identifier des objets, par exemple "Bird", "Animal", ou encore "Wings", ainsi que les liens qui les relient, c'est à dire les flèches. Les noeuds peuvent être des objets physiques ("birds") ou des objets conceptuels ("fly", "move") ou encore des propriétés d'objets ("descriptor") comme par exemple "yellow" qui est une propriété additionnelle qualifiant l'objet "canary". Les liens représentent les relations entre ces objets, et ils peuvent être n'importe quel type de relation. Les liens les plus courants sont les liens d'existence (liens "est-un" ou "is-a links"), et d'appartenance (liens "a-un" ou "has-a links").

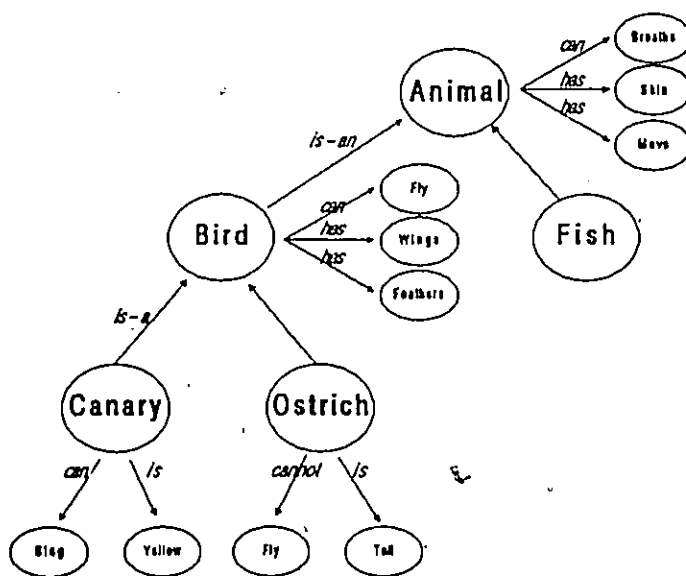



Figure 2: l'illustration de ce réseau sémantique est une adaptation d'un réseau utilisé par Quillian (1968).

La nature des liens et leur spécification revient essentiellement au chercheur. C'est ainsi que l'on verra varier en quantité, autant qu'en diversité, la nature des liens, et donc des réseaux sémantiques, selon les différents chercheurs et leurs domaines de recherche.

Dans les travaux basés sur ce concept (réseau sémantique) nous verrons varier le nombre et le type de connexions implantées au sein du réseau selon le problème particulier auquel chaque modèle va s'adresser. Ainsi, Quillian (1968), dont les travaux portent sur la mémoire sémantique, identifie cinq types d'associations possibles entre deux sortes de symboles: les "types nodes" qui représentent des concepts, et les "tokens nodes" qui représentent les contenus particuliers, le sens local, que prendra un symbole selon le bassin sémantique spécifique dans lequel on l'insérera. Il deviendra possible en élaborant un univers selon cette structure de l'inscrire dans un bassin sémantique au sein duquel des inférences pourront s'établir entre des concepts, inférences génératrices de sens. D'ailleurs, cette particularité du recours à des univers sémantiques englobants, et générateurs de sens, a été retenue dans l'élaboration du modèle computationnel. C'est elle qui va donner naissance au concept *des Univers Relationnels* (voir chapitre 3).

Depuis les travaux de Quillian, plusieurs autres modèles ont été développés, mais ils reposent essentiellement sur les mêmes concepts. Par exemple, Anderson et Bower (1973) ont élaboré un modèle de la mémoire associative basé lui aussi sur le réseau sémantique. Cependant dans leur cas, l'information sémantique est représentée par la configuration des liens associatifs plutôt que par les pointeurs à des mots ou des



concepts. Les liens dénoteront par exemple l'appartenance à une classe ou des notions standard de la linguistique computationnelle comme sujet, prédicat ou objet...

Suite à l'utilisation de plus en plus fréquente des réseaux sémantiques, et face à la prolifération de la nature et du nombre des liens constituant ces réseaux, un effort s'est fait pour uniformiser cette diversité. C'est l'apparition de la triade *Objet-Attribut-Valeur* (O-A-V). Celle-ci va avoir pour effet d'uniformiser les liens dans un réseau sémantique: ils seront tous du même type. Chaque noeud pourra posséder un ou des attributs, qui pourront prendre telle ou telle valeur. Le lien entre l'objet et son attribut est en fait un lien d'appartenance (lien "a-un"), celui entre l'attribut et sa valeur un lien d'existence (lien "est-un"). Par exemple, on va dire d'un char d'assaut qu'il a un canon, comme attribut (char "a-un" canon), et que celui-ci, dépendant du tank, est un canon de 88mm ou encore de 105mm (canon "est-un" 88mm).

L'étape suivante dans l'évolution de l'utilisation des réseaux sémantiques se fait dans la direction de la dynamisation de la notion de réseaux. Avant 1976, les réseaux sémantiques proposés étaient monolithiques et statiques, puis J.R. Anderson (1976) propose une extension de sa théorie initiale (J. R. Anderson et Bower, 1973) dans laquelle il introduit une nouvelle utilisation des réseaux: ils deviennent modulaires et interactifs. Le réseau n'est plus globalement activé. Seules certaines portions du réseau seront activées au besoin, la dynamique entre ces sous-réseaux étant gérée par des règles de production qui s'inscrivent dans les liens associatifs. Ainsi, selon l'extension de l'application d'une règle de production, le réseau sémantique s'étendra pour inclure

de plus en plus de sous-réseaux.

La particularité de cette conception tient essentiellement au fait que pour la première fois on assiste à l'utilisation conjointe de la représentation déclarative (le réseau sémantique décrivant un univers symbolique) et de la représentation procédurale (les règles de production qui vont gérer l'activation et l'extension du réseau). De la combinaison de ces deux types de constructions théoriques viendra la possibilité d'aborder les problèmes relatifs à la connaissance de façon plus unifiée, et par le fait même, la plausibilité de tels heuristiques représentationnels (réseau sémantique) comme modèles théoriques de processus psychologiques va en augmentant. C'est le début des systèmes experts³ où l'utilisation conjointe d'un réseau sémantique contenant des faits (déclarations) peut être interrogé, grâce à l'adjonction de règles, et où des déductions peuvent s'effectuer à partir des faits. Un réseau sémantique ainsi constitué n'est pas un simple assemblage de faits, car il incorpore des mécanismes (les règles de production) qui permettent certains raisonnements.

³ Même si l'effort de recherche en Intelligence Artificielle se concentre depuis quelques années sur le développement de systèmes experts, sous l'influence des pressions économiques du marché des logiciels, nous en écarterons ici la discussion car les réseaux sémantiques et les "frames" sont les outils essentiels que la discipline offre à la solution de notre problème.

2.1.3 Les "frames"

Parallèlement aux recherches sur les réseaux sémantiques, une autre ligne de pensée se développait, à la même époque, ayant toujours pour but la mise au point d'heuristiques de représentation. Tirant son origine de la proposition par Minsky (1975) de sa théorie des "frames"⁴, cette nouvelle approche a surtout donnée naissance à des travaux axés sur la représentation procédurale (bien que son évolution historique se soit faite dans le même sens que les travaux sur les réseaux sémantiques, c'est à dire l'intégration dans un même système des deux modes de représentation).

Minsky propose sa théorie comme un mécanisme pour représenter la connaissance dans un ordinateur conventionnel, et comme une explication plausible de la façon dont les cerveaux biologiques entreposent la connaissance. Celle-ci peut se résumer comme suit:

"When one encounters a new situation... one selects from memory a substantial structure called a "frame". This is a remembered framework to be adapted to fit reality by changing details as necessary. A "frame" is a data structure for representing a stereotyped situation... 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."

(Minsky, 1975, p. 212)

Un "frame" est une structure de représentation qui, appliquée sur un

⁴ Les chercheurs en Europe, surtout en France, ont adopté le terme "prototype" comme équivalent du terme "frame". Cependant, le terme américain ("frame") sera utilisé tout au long du travail parce qu'il évoque immédiatement, pour les chercheurs nord-américains, le concept proposé par Minsky, ce qui n'est pas le cas de "prototype".

champ particulier, contient l'information nécessaire pour décrire un objet dans ce champ particulier. Par exemple, dans le champ des jeux de simulation, un "frame" va exister pour chaque concept impliqué dans le jeu. La figure 3 illustre un "frame" hypothétique qui pourrait décrire un tank de la Seconde Guerre.

TANK	
Descripteurs	Valeurs
Type	Pzkpfw VI Tiger II
Blindage	160 mm.
Armement principal	canon de 88 mm.
secondaire	mitrailleuse de 34 mm.
Moteur	Maybach (580 h.p)
Equipage	5 hommes
Commandant	???
Identification	10 ^e leme Panzer SS
Mission	???
Tactique	Gudertan

Figure 3: Exemple d'un "frame" hypothétique représentant un blindé de la Seconde Guerre mondiale. Le "frame" type pourrait servir pour représenter un blindé britannique ou soviétique selon le contenu des différents descripteurs ("slots") c'est à dire blindage, armement ou moteur. Ces descripteurs ne sont pas une liste exhaustive des caractéristiques d'un blindé, mais servent plutôt à titre d'exemple uniquement.

Un "frame" produit une description de l'objet ou de l'action en question, description établie à partir d'une structure invariante⁵ commune pour tous les cas considérés dans un domaine de connaissance, et à laquelle se rattache certains éléments correspondants à la situation particulière. En quelque sorte un "frame" est un objet prototypique descripteur de tous les objets particuliers qu'il peut potentiellement recouvrir.

"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."

(Minsky, 1975, p. 212)

La description résultant d'un "frame" est donc établie en fonction d'un nombre limité de descripteurs. Nous appellerons descripteurs *indispensables* les descripteurs fixes ("top levels") qui constituent le concept décrit par le "frame", et descripteurs *optionnels* les descripteurs de bas niveau ("slots"), représentant des conditions particulières de ce concept, selon leur nombre. Dans la figure 3, les descripteurs indispensables seraient le type, le blindage, l'armement, le moteur et l'équipage car ces descripteurs sont porteurs de toute l'information nécessaire et indispensable pour qualifier l'objet, c'est à dire le tank

⁵ D'où l'intérêt pour la traduction de "frame" par prototype.

en question⁶. Les descripteurs optionnels (commandant, mission, identification etc.) viennent quant à eux particulariser davantage le "PzKpfw" VI défini par les descripteurs de premier niveau ("top levels").

De plus, le "frame", et c'est là une de ses particularités principales, peut contenir des informations additionnelles indiquant les relations entre les descripteurs d'un "frame" et ceux d'autres "frames". Le "frame" ne peut donc pas être considéré comme une simple description d'un objet ou d'une situation car il comprend en plus des procédures pour gérer l'utilisation de cet objet. En ce sens, le "frame" se rapproche davantage de la représentation mentale car il se détache, en partie, de la distinction entre la connaissance déclarative et procédurale en les intégrant dans une même structure de sorte que ni l'une ni l'autre n'a un rôle prépondérant, si ce n'est celui imposé par la nature même de la représentation évoquée.

Les propriétés des "frames" qui en font des candidats valables pour traiter la représentation découlent des types d'information que contient un "frame"; certaines nous indiquent comment considérer un ensemble d'observations en vue d'établir une correspondance entre celles-ci et les mécanismes de description (la structure) du "frame"; d'autres nous permettent de prédire des caractéristiques de la description générée, par le "frame"... Globalement ces informations se répartissent en trois catégories: les informations de structure, les informations de prédiction et les informations de transformation.

Les informations de structure permettent d'établir une correspondance

⁶ Il est évident que cet exemple est une simplification. En réalité une foule de descripteurs indispensables devrait s'ajouter pour décrire parfaitement l'objet en question, comme par exemple le type de chenille et de roulement, les angles caractéristiques des plaques de blindage etc.

entre les propriétés d'un objet et un "frame". La structure de celui-ci impose une organisation contraignante, et invariante, aux primitifs de descriptions d'un univers. Cet ordre forme les lois internes du "frame" par lesquelles une description des objets d'un univers peut s'édifier.

Les informations de prédiction dépendent quant à elles en partie des informations de structure. Celles qui sont reliées à la structure permettent une prédiction directe de caractéristiques inhérentes à l'objet. Les autres prédictions potentielles découlent d'un processus de computation à partir des éléments disponibles, ces prédictions étant rendues possibles par l'utilisation d'un système procédural. Si certains des éléments prédits ne sont pas présents au sein du "frame", alors il y aura conflit. Il faudra dans un tel cas soit sélectionner un nouveau "frame", soit transformer certains descripteurs pour ajuster le "frame" à la situation particulière. C'est le rôle du troisième type d'informations: les informations de transformations.

Elles aussi essentiellement procédurales, les informations de transformation permettent de maintenir la description globale (le "frame" sélectionné) en y apportant des modifications locales sans qu'il soit nécessaire de redéfinir le "frame" tout entier. Ces transformations ~~devront se faire au niveau des descripteurs optionnels car transformer des descripteurs indispensables revient à créer un nouveau "frame".~~

Considérant l'ordre hiérarchique imposé aux primitifs de description qui forment la structure du "frame" (descripteur nécessaire ou optionnel), les transformations deviendront de plus en plus difficiles à effectuer selon le niveau où elles doivent s'appliquer. A un certain point critique il sera impossible de transformer le "frame". Il faudra alors

procéder soit à la sélection d'un nouveau "frame" plus approprié, déjà existant, ou à la création d'un nouveau "frame" par modification des descripteurs indispensables.

Il y a donc une distinction essentielle qui s'établit entre les informations inhérentes à un "frame" qui décrit un objet (ses éléments et leurs interrelations) et celles qui manipulent le "frame" en réponse à des changements dans l'univers représenté. Les premières reposent davantage sur la représentation déclarative et sont relativement statiques. Les autres, relevant de la représentation procédurale, se préoccupent surtout des relations entre les différents "frames" et elles peuvent être considérées comme relevant davantage des propriétés générales du domaine de connaissance décrit plutôt que comme des propriétés de l'objet individuel. Par exemple, les procédures régissant l'utilisation *tactique* d'un tank (voir figure 3) relèvent davantage de la science militaire que de l'objet en question. Ainsi, Rommel pouvait utiliser tactiquement ses Panzer IV d'une certaine façon, Guderian ou Von Rundstedt d'une autre; la procédure d'utilisation du tank dépend donc d'un autre ordre d'organisation. A la limite on peut dire que la façon de conduire le blindé est une particularité de l'objet, mais en partie seulement (celle concernant la disposition des commandes, des leviers de conduite, ou même de la tenue de route). Tout le reste relève plutôt de l'utilisateur que du véhicule.

La proposition des "frames" comme élément de représentation est un pas en avant par rapport au réseau sémantique car Minsky proposait dans son système de combiner les avantages de la représentation déclarative et de la représentation procédurale.

Nous assisterons alors dans les travaux basés sur les "frames" à de nombreuses modifications par rapport au système original. Ces modifications porteront à la fois sur le nombre de descripteurs associés aux "frames", sur la nature des procédures de gérance des "frames" etc... Certains travaux seront essentiellement des construits procéduraux (Wingograd, 1974), d'autres essentiellement déclaratifs, le nombre de procédures implantées dans un "frame" étant très restreint.

La tendance moderne, qui prévaut dans les systèmes experts ainsi que dans le modèle présenté au chapitre suivant, est de réunir les deux heuristiques présentés ci-haut (le réseau sémantique et le "frame") en un seul pour solutionner un problème. Cette combinaison peut se faire de plusieurs façons, les différentes méthodes reflétant davantage des préoccupations d'ordre informatique plutôt que des restrictions conceptuelles.

Par exemple, pour ce qui est du modèle computationnel (présenté au chapitre 3) cette fusion s'est opérée de la façon suivante: en un premier temps on retire aux "frames" les éléments procéduraux qui en faisaient partie, selon le modèle original de Minsky (les "frames" deviennent alors des ensembles déclaratifs décrivant un concept); en un second temps, on organise l'ensemble des "frames" ainsi constitué en un réseau sémantique qui lui décrira l'univers représentationnel; finalement, on dotera l'ensemble (réseau sémantique de "frames") de capacités dynamiques d'interaction par l'adjonction au système de procédures globales lui permettant de se transformer, de s'adapter aux contraintes qui lui seront présentées.

Le concept de "frame" demeure toutefois central dans notre probléma-

tique puisque comme l'ensemble procédural doit lui aussi être implanté, donc qu'il faut l'inscrire dans une structure de représentation, le choix du "frame" s'est imposé aussi à ce niveau. Pour le modèle computationnel, tout sera exprimé sous forme de "frames". Cette question (qui sera étiquetée comme celle de *l'homogénéité structurelle*) reflète surtout des préoccupations au niveau de l'économie computationnelle, c'est à dire réduction du nombre de structures, des procédures de gestion de l'information dans le système et diminution considérable du nombre d'opérations, donc gain net à plusieurs niveaux.

Sans être une revue exhaustive sur ce qu'est l'Intelligence Artificielle, cette section a tout de même permis d'isoler et de discuter des outils formels (les concepts de réseaux sémantiques et de "frames") qui seront nécessaires à l'expression de la conjecture introduite dans le prochain chapitre.

Les "frames" seront utilisés comme structure pour définir les objets manipulés par le modèle. Chaque "frame" pourra comprendre quatre niveaux d'organisation dont deux, la caractérisation secondaire et la caractérisation quaternaire, seront définis comme l'inscription de la notion d'attente cognitive au sein des représentations.

Le traitement des informations ("frames") par le modèle établira entre celles-ci des relations de sens permettant de les organiser en réseaux sémantiques hiérarchiquement structurés: ce sont les *univers relationnels*.

3 LE MODELE COMPUTATIONNEL

3.0 La tâche

Dans le présent chapitre nous élaborerons un modèle d'un système, computationnellement efficace, capable de gérer la dynamique de connaissance mise en jeu par les attentes cognitives, en limitant notre réflexion aux aspects computationnels impliqués⁷. Pour ce faire, nous dérivons de notre paradigme d'observation une tâche cognitive très spécifique à laquelle un joueur se voit confronter en situation de jeu. Cette tâche est celle de se représenter la surface de jeu, c'est à dire une carte géographique. Le but visé dans ce chapitre est d'arriver à décrire un ensemble de procédures computationnelles capable d'une telle performance: c'est le modèle computationnel. Il est l'expression conjecturale la plus achevée du problème des attentes cognitives.

A cette fin, donnons-nous comme objectif la simulation d'un organisme dont le but, à partir de la carte présentée à la figure 4, serait de générer des représentations de cet espace géographique, donc d'arriver à le connaître, en s'y déplaçant de case en case.

Notre problème peut s'énoncer ainsi: (1) de quelle structure représentationnelle faudra-t-il le doter pour qu'il puisse accomplir cette tâche, (2) comment l'information devra-t-elle être organisée à l'intérieur de cette structure, et (3) quelles sont les procédures computationnelles qui devront être développées pour permettre à l'organisme

⁷ Les aspects psychologiques seront quant à eux discutés au chapitre 4 en fonction du modèle computationnel.

d'accomplir cette tâche?

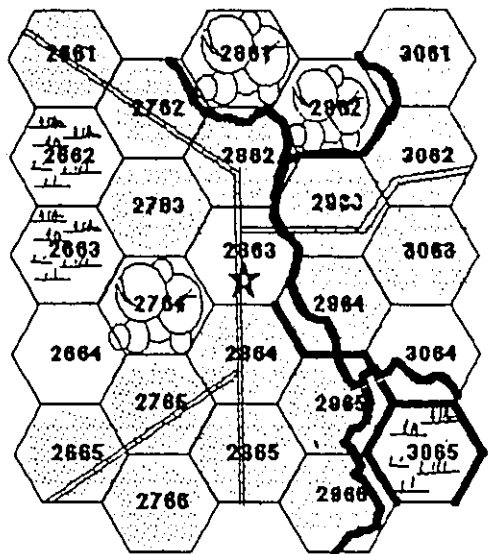


Figure 4: cette figure est une reproduction simplifiée de la carte géographique du jeu Vietnam publié chez Victory Game (1985). Elle représente l'univers géographique simulé pour les besoins de la discussion sur le modèle computationnel.

Pour accomplir ce travail divers outils informatiques ont été sélectionnés dès le départ. Tout d'abord, puisque les procédures computationnelles qui seront proposées traitent et manipulent essentiellement des données alpha-numériques, le langage informatique LISP a été retenu puisque c'est justement à ce niveau que réside sa puissance. De plus, comme l'organisme aura à construire et gérer des représentations, celles-ci seront exprimées sous forme de "frames" (Minsky, 1975) pour les raisons qui ont déjà été invoquées au chapitre 2. Chaque "frame" sera simulé comme un ensemble de listes de propriétés du type:

Identificateur du frame ----	propriété 1 ----	valeur
	propriété 2 ----	valeur
	""	""
	propriété N ----	valeur

Un "frame" sera donc un ensemble de listes, chacune étant une liste de type:

(propriété X ----- valeur Y)

L'organisme simulé générera des "frames" en tirant parti de la fonction "putprop" qui permet, en LISP, de construire des listes de propriétés. Nous aurons à spécifier dans chaque cas le nom d'un frame pour pouvoir, au besoin, soit y ajouter des propriétés (par exemple: (putprop 'Frame-X 'Nouvelle-Propriété 'Valeur)), ou soit modifier la valeur d'une propriété existante (par exemple: (putprop 'Frame-X 'Propriété-Y 'Nouvelle-Valeur)).

La création et la gestion des "frames" est donc facilitée, au plan computationnel, grâce aux particularités du langage informatique retenu. Ces deux éléments (le choix du langage LISP, et celui des "frames" comme candidats préférentiels pour la simulation de représentations) sont les deux seuls prérequis nécessaires à partir desquels peut se mettre en place l'ensemble de procédures dont sera doté l'organisme.

Cependant, comme celui-ci aura à développer sa connaissance par l'exploration d'un univers en s'y déplaçant de case en case, il faut donc nécessairement simuler cet univers. Or, quel est-il exactement cet univers? Imaginons un jeu de simulation posé sur une table. La surface de

jeu est d'environ deux mètres carrés. Sur celle-ci est imprimée une matrice hexagonale définissant des cases qui servent à régulariser le mouvement des pièces en partitionnant la surface de jeu en portions égales. Un ou plusieurs symboles, qui représentent chacun un élément géographique, sont imprimés à l'intérieur de chacune des cases. De plus, chaque case est dotée d'un numéro qui sert à l'identifier.

La carte présentée en figure 4 a été simulée sous forme d'une liste de 25 éléments dont chacun représente une case hexagonale, et où l'origine (élément 0) se situe en haut à gauche (case 2661). Cette liste est en quelque sorte une description abstraite de l'univers puisque le rapport d'hexagonalité entre les cases n'est pas explicitement contenu dans la simulation si ce n'est par le biais d'une procédure (la fonction VOISINAGE) qui calcule au besoin pour chaque cellule le numéro des six cellules adjacentes. Le contenu symbolique de chacune de ces cases, une liste d'éléments alpha-numériques comme par exemple (2864, "Cultivated", "Grassland", "Road") est ensuite inscrite comme valeur de chaque élément matriciel de sorte que l'évaluation de l'expression (univers 5) retourne la liste alpha-numérique associée à la cellule 5 de la matrice "univers".⁸ Une version informatisée de la carte géographique est ainsi constituée.

Cependant l'accès de l'organisme à cette carte sera restreint à une seule case à chaque moment et à la seule condition que lui-même soit présent dans cette case, ce qui est un corollaire de la définition de la tâche qui lui est imposée (arriver à connaître l'univers géographique en

⁸ Ces termes font référence à la légende de la carte (voir figure 5). Dorénavant la traduction française de chaque symbole sera utilisée. Par exemple, "cultivated" deviendra agricole, "marsh"-marais, "grassland" - prairie, etc.

s'y *déplaçant* de case en case, donc une seule case à la fois). De plus, son accès sera limité au fait qu'il pourra seulement aller lire le contenu symbolique d'une case, et non le modifier.

Ces conditions minimales de simulation étant en place, il est maintenant possible de se tourner vers l'organisme et la tâche qui l'attend.

3.1 Le modèle

MOMENT 0:

vide absolu, noirceur totale: connaissance nulle! Dotons l'organisme d'un système qui va lui permettre d'examiner, de lire, le contenu de la case où il se situe, c'est à dire la nature du lieu qu'il occupe. Appelons système perceptuel ce système d'interface avec l'univers qu'il cherche à connaître, et mettons le en action...

MOMENT 1:

son action peut s'exprimer sous la forme d'une association computationnelle entre un symbole quelconque (ce qu'en LISP on appelle un atome), par exemple percept, et le résultat de l'évaluation de l'expression (univers X), ce qui s'exprime en LISP de la façon suivante:

```
(setq percept (univers X)).
```

La valeur de l'atome percept, c'est à dire le produit du fonctionnement du système perceptuel, devient alors la liste alpha-numérique des symboles de la case concernée. Quel est pour l'organisme le résultat de cette action? Des représentations internes, constructions nées du fonctionnement du système perceptuel dans son interaction avec l'univers: la mise à la disposition de l'organisme d'une liste symbolique en *relation de description* avec l'univers simulé. Mais que peut-il faire avec cet ensemble de symboles? Dans l'état actuel, peu de choses si ce n'est d'arriver, en passant dans chaque case, à reproduire exactement le contenu de l'univers simulé. Or, ce n'est visiblement pas le but recherché

qui est plutôt de viser à ce que l'organisme développe une connaissance de cet univers. Par exemple, de savoir que le contenu symbolique de la case 2864 est "agricolè" n'a que peu de rapport avec la connaissance du fait que la région entourant la capitale du VietNam est essentiellement rurale. Une telle connaissance inclut une foule d'informations comme la supposition qu'il s'agit d'une zone relativement plane, probablement bien irriguée et ainsi de suite.

Si le but de l'organisme n'est pas de calquer la somme des informations disponibles (l'univers simulé), le problème concerne alors la spécification d'une manière possible de traiter ces informations pour les rendre davantage signifiantes en leur donnant de nouveaux attributs.

Nous proposons pour cela de complexifier la structure de l'organisme, c'est à dire de la doter de procédures supplémentaires qui pourront permettre de pousser plus loin le traitement des informations disponibles. Donnons-lui un nouveau système dont le fonctionnement permettrait cette extension du travail d'analyse de l'information, et appelons-le système cognitif. Il aura pour but, premièrement, de s'accaparer de l'information générée par le système perceptuel puis, deuxièmement, de la qualifier davantage afin d'en faire un objet qualitativement différent du percept et dont la relation avec l'univers simulé ne tiendra plus uniquement de la description de celui-ci.

Le problème spécifique auquel ce chapitre s'adresse, étant donné la nature de la tâche de connaissance sélectionnée ainsi que la façon choisie pour aborder ce problème, est d'arriver à spécifier l'organisation, en termes de structure et de fonction, du système cognitif de l'organisme.

Pour cela, et c'est le travail qui sera effectué dans les prochaines sections et sous-sections, il faudra proposer des procédures qui permettront:

1) de structurer les informations sous une forme qui rende possible la conception des procédures nécessaires et qui de plus minimise l'effort computationnel requis pour leur simulation: c'est la *règle de structuration*;

2) de mettre en place des réseaux signifiants grâce auxquels l'analyse qualitative de l'information pourra s'achever en accédant au besoin à ces réseaux: il s'agit de l'élaboration de *réseaux ou d'univers relationnels*;

3) utiliser les informations disponibles afin de s'éloigner du niveau plus local de la description d'une case. Il s'agit d'un mécanisme qui va permettre à l'organisme d'élaborer des conjectures par rapport à son environnement: c'est la *règle de prédiction*;

4) de transformer l'ensemble des connaissances mis en place par l'organisme en fonction du résultat des tentatives de réfutation des conjectures émises: ce sont les *règles de transformation*.

La procédure de structuration est fondamentale dans le développement du modèle computationnel car, en plus d'être l'unité structurale de base du système, elle est un énoncé théorique sur l'*organisation computationnelle de l'information* au sein d'une représentation. C'est l'incorporation au sein du modèle computationnel du choix des "frames" comme construits théoriques adéquats pour la simulation de représentations. Ainsi la procédure de structuration (la fonction FRAME en LISP) va générer des "frames", chacun devenant une "représentation" d'une portion de l'uni-

vers simulé. De plus, chaque "frame" va refléter dans sa structure même l'effet de l'inclusion dans le système cognitif des procédures et règles qui le composent, comme nous le verrons.

La prochaine sous-section (3.1.1) va permettre de commencer à spécifier les éléments constitutifs de cette structure. Cette spécification se verra raffiner davantage par l'introduction de caractérisations supplémentaires. C'est le but des sous-sections (3.1.2, 3.1.3 et 3.1.4).

3.1.1 La caractérisation primaire

A chaque moment, le produit des systèmes perceptuel et cognitif lors du fonctionnement du modèle, c'est à dire l'organisme dans sa démarche de genèse de connaissance, sera dans tous les cas un "frame". Donc, au MOMENT 1, FRAME-1, identifié ainsi par correspondance avec le moment d'où il origine, a été créé par l'action du système cognitif. Mais de quoi ce système disposait-il pour construire un "frame"? De rien, sinon de l'information rendue disponible par l'action du système perceptuel. C'est donc à partir de la valeur du "percept" que doit débiter l'élaboration d'un "frame". Le système cognitif va le créer en le caractérisant par le résultat de l'évaluation du "percept": la liste symbolique qui lui est associée.

Ce processus de caractérisation, puisque c'est par celui-ci qu'un "frame" sera spécifiquement défini, est dit *processus de caractérisation primaire*. Essentiellement, cette caractérisation primaire correspond à ce que Minsky appelait les "top levels descriptors", c'est à dire les descripteurs indispensables à la caractérisation de l'objet. Tout "frame", dans le contexte du modèle, sera identifié par le biais de sa caractérisation primaire de sorte qu'une modification de la caractérisation primaire, *de quelque façon que ce soit*, même à son plus infime niveau, équivaut à définir un nouveau "frame", tout comme c'est le cas pour les "top levels" dans le modèle de Minsky. La caractérisation primaire peut donc se définir de la façon suivante:

Caractérisation primaire: caractérisation d'un "frame" qui contient tous les éléments nécessaires indispensables pour l'identification spécifique de ce que le "frame" représente.

Donc, au MOMENT 1, FRAME-1 aurait pu être défini par la procédure suivante:

(putprop FRAME-1 'PRIMAIRE percept)

Où la fonction "putprop" assigne à FRAME-1, sous l'identificateur PRIMAIRE, la valeur associée à PERCEPT.

Par exemple, si l'organisme avait été au MOMENT 1 dans la case 13 de l'univers simulé, ce qui correspond sur la carte de la figure 4 à la case 2863 (Saigon), FRAME-1 aurait pris la forme suivante:

(FRAME-1
(PRIMAIRE (2863 (Prairie Capitale Route))))

C'est à dire que cette liste symbolique correspond à la représentation graphique suivante:⁹



L'organisme, via son système cognitif, a maintenant un objet à sa disposition. Mais que peut-il en faire de cet objet? En quoi sa connaissance s'est-elle modifiée par la mise en place de cet objet? A ce stade,

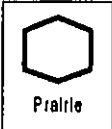
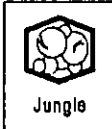
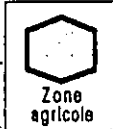

⁹ Dorénavant, tout "frame" sera présenté d'abord sous sa notation "list" (FRAME-X (PRIMAIRE (...)) (...)), puis ensuite selon sa représentation graphique. L'intérêt du recours à cette dernière, même si cela semble pour l'instant "alourdir" le texte, deviendra rapidement évident pour le lecteur.

en peu de choses. Le "frame" tel qu'il existe a peu de signification en dehors de celle d'une description symbolique d'une partie de l'univers. Le "frame" conceptuel n'est pas différent du "frame" perceptuel. Pour amorcer cette différentiation, l'organisme, tout comme le joueur qui aborde le jeu de simulation pour la première fois doit le faire, va devoir recourir à une légende pour interpréter ces différents symboles et les doter, ce faisant, d'une nouvelle signification.

Certains de ces symboles sont évidents pour quelqu'un qui possède l'expérience de la lecture d'une carte. Par exemple, si la figure 4 avait été une reproduction couleur, le bleu aurait vraisemblablement représenté l'eau, et ainsi de suite. Le lecteur aura probablement compris que la ligne grasse serpentant la figure représente une rivière, ou encore que l'étoile indique la présence d'une ville d'importance. Mais que signifie le fond blanc? A-t-il même une signification? Ou encore le patron pointillé? Ou bien le symbole des cases 2863, 2864 et 3065? Ces symboles sont ambigus et pour les comprendre il faut référer à un autre niveau de signification: celui de la légende de la carte.

La figure 5 est une reproduction de celle utilisée dans le jeu concerné. C'est le "terrain chart" où chaque symbole est identifié et où on présente sous chacun un sommaire de ses effets particuliers sur le jeu. Il faut noter que dans la majorité des cas, plusieurs symboles peuvent coexister dans une case. Mais ceux-ci n'ont pas tous le même effet comme le "terrain chart" l'indique. Pour les besoins de la simulation, tout comme pour ceux du jeu en question, il faudra considérer comme symbole prioritaire, ceux caractérisant la case, celui dont l'effet sur le combat est le plus important. Par exemple, on dira de la case 2764 qu'elle

est une case "agricole", même si elle contient partiellement le symbole "prairie". Le symbole "marais" aura préséance sur "agricole" et "prairie", la priorité d'un symbole sur un autre étant illustrée sur la légende en ordre croissant de la gauche vers la droite.

				
	Prairie	Jungle	Zone agricole	Marais
<u>Effet sur le mouvement:</u>				
non-mécanisé:	1	2	1	3
mécanisé:	1	4	4	5
<u>Effet sur le combat:</u>	nil	-1	4	5


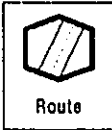


				
	Capitale	Route	Rivière	Arête impassable
<u>Effet sur le mouvement:</u>				
non-mécanisé:	nil	1	+ 3	interdit
mécanisé:	nil	1/2	+ 4	interdit
<u>Effet sur le combat:</u>	- 2	nil	att./0.5	interdit

Figure 5: elle représente une version simplifiée de la légende de la carte géographique utilisée dans le jeu Vietnam. Seuls les éléments pertinents pour les besoins du discours ont été conservés. Les différents modificateurs (chiffres précédés du signe + ou -) doivent être ajoutés ou retranchés au lancer des dés, selon le cas, lors de la résolution des combats. Les indices pour les situations de mouvement représentent le nombre de "points de mouvement" que chaque type de pièce doit "payer" pour entrer dans une de ces cases.

Il faudra alors simuler cette légende, sous forme de "frames" pour que soit assurée la compatibilité entre les différents objets générés par le système cognitif et les procédures computationnelles qui les manipulent, et doter l'organisme de nouvelles procédures pour lui permettre d'y accéder. Chaque symbole présent sur la carte sera représenté

dans le système par un "frame". Cet ensemble de "frames" forme un réseau qui constitue en quelque sorte un bassin sémantique, c'est à dire un univers symbolique auquel l'organisme va se référer pour dériver des significations dans sa genèse de représentations. Ce bassin sémantique, appelons-le *univers de référence*. C'est un réseau de "frames" plus général par rapport à FRAME-1 qui, lui, se situe dans l'univers des représentations que l'organisme tente de constituer. Appelons ce dernier *univers conceptuel*. L'univers de référence, puisqu'il contient des représentations déjà existantes à partir desquelles l'organisme va générer celles de l'univers conceptuel, joue en quelque sorte le rôle d'une mémoire et il est logique de penser, pour des questions d'économie computationnelle, que cet univers de référence s'est instauré en vertu des mêmes procédures que celles que nous tentons d'identifier présentement.

En effet, cette hypothèse sur la genèse de cette mémoire est supportée par quelques arguments de nature computationnelle. D'abord, si on pose la nécessité d'un univers de référence d'où un univers conceptuel, d'un niveau plus local, puise son sens, alors il faut se demander d'où cet univers de référence lui-même a extrait son sens. Répondant à cette question en appliquant le même raisonnement qui, appliqué à l'univers conceptuel, avait conduit à postuler l'existence d'un bassin sémantique plus englobant, il s'ensuit logiquement qu'un univers plus englobant doit aussi exister par rapport à l'univers de référence pour que celui-ci puisse y puiser un sens et ainsi de suite... Donc, on *doit*, pour des questions d'économie computationnelle (le nombre de procédures) et de conception du système (réduction de la complexité), avancer cette hypothèse car elle implique une réduction phénoménale du nombre de procédu-

res qu'il faudra inclure dans le système cognitif; ce qui est un gain en soi car le système sera plus simple de par la réduction du nombre des procédures, ce qui implique également une simplification puisque l'interaction procédurale est gardée à sa plus simple expression.

De plus, poser que les mêmes procédures sont en jeu implique que les objets résultant de l'application de ces procédures devront être similaires puisque leur genèse est identique. On assiste donc non seulement à une réduction du nombre des procédures, mais aussi à une réduction de la variabilité de la structure des objets au sein du système de connaissance. Un double avantage découle de ce principe de l'*homogénéité structurelle* des représentations générées par les procédures du système conceptuel.

Premièrement, l'homogénéité structurelle fait disparaître la nécessité de proposer un interface computationnel qui gèrerait la transportabilité des objets entre les différents univers, interface dont le rôle serait de transformer la représentation issue d'un univers de référence dans une forme acceptable par toutes les procédures peu importe le niveau où elles exercent leur action. Prenons comme exemple le cas de la création d'une caractérisation primaire. C'est le début de la création d'un "frame" dans l'univers conceptuel et, comme discuté antérieurement, le sens de cette caractérisation doit provenir d'un univers englobant, l'univers de référence. Puisque tous les objets seront identiques dans le système, il devient possible d'utiliser un mécanisme de transposition comme procédure de création des primaires: il prendra une copie du "frame" de l'univers de référence et la transférera directement dans un "frame" de l'univers conceptuel comme attribut de caractérisation pri-

maire. Ce mécanisme a l'avantage d'être simple et efficace grâce à l'homogénéité structurelle. En effet, si les objets des deux univers avaient été différents, supposons un réseau sémantique pour un et un ensemble de "frames" pour l'autre, alors les mécanismes de transfert d'objets inter-univers auraient été plus complexes puisqu'ils auraient dû inclure une manière quelconque de les transformer dans un format ou dans l'autre. L'homogénéité structurelle fait que le produit d'une procédure, quelle qu'elle soit, est cristallisé et défini d'une façon computationnellement acceptable pour tous les autres niveaux de traitement. Donc le modèle en tant que tel sera plus simple, le nombre de ses composantes se trouvant réduit par l'élimination du besoin de structures d'interface.

Deuxièmement, du fait que l'objet que les mécanismes de connaissance auront à traiter sera dans tous les cas structuré de façon identique, les variations se retrouveront au niveau des contenus particuliers des éléments structuraux. Il s'ensuit une diminution du nombre des procédures nécessaires au *contrôle* de l'activité du système. Par exemple, il n'y aurait pas lieu de proposer des mécanismes de gestion d'un réseau sémantique et d'un réseau de "frames". C'est un peu comme utiliser le même châssis sur une chaîne de montage dans l'industrie automobile. Alors, tous les sièges seront montés au même endroit sur le châssis; de la même façon, les points d'ancrage des sièges seront conçus de façon homogène, que ce soient des banquettes économiques en tissu ou des sièges baquets en cuir véritable. Même principe pour les transmissions, les moteurs, les différentiels etc.. Procéder autrement, c'est à dire ne pas avoir d'homogénéité structurelle, signifierait la nécessité d'inclure dans la chaîne de montage des structures supplémentaires pour en gérer

le fonctionnement. Ces structures auraient à contrôler l'adaptation des machines-outils à la diversité des objets susceptibles d'être manipulés, et ce, au niveau de chacune des machines. La tâche globale s'en trouverait alors d'autant augmentée, donc ralentie.

Computationnellement, l'homogénéité morphologique est une façon efficace de gérer l'information puisqu'elle nous permet de minimiser les structures de contrôle par une réduction de la diversité au sein du système. Les objets que les différentes procédures auront à traiter ayant la même forme générale, il s'ensuit logiquement que toutes ces fonctions devront être conçues en tenant compte de cette forme. Cette homogénéité morphologique représente, pour un système de gestion d'information, une *réduction globale de la diversité* au sein du système, donc un gain brut au niveau de la puissance computationnelle puisque celle-ci, n'ayant plus à prendre de décisions quant à la reconnaissance des formes présentes dans le système, pourra être exploitée maximalement à un autre niveau d'analyse. De plus, elle nous permet d'apporter une réponse à la question du déclaratif-procédural abordée dans le chapitre précédent puisque, peu importe que l'information soit déclarative ou procédurale, comme le système computationnel lui attribue la même structure, il la traitera comme un objet parmi l'ensemble des objets sans lui accorder de statut différent. Ainsi, des procédures pourront s'exercer soit sur des "frames" déclaratifs ou soit sur des "frames" procéduraux; tout comme des déclarations pourront décrire soit des "frames" déclaratifs ou soit des "frames" procéduraux. L'homogénéité morphologique permet ainsi une standardisation des éléments intrinsèques au modèle.

Le besoin de constituer un univers de référence à ce stade-ci s'impo-

se comme une nécessité computationnelle afin que soit rendue possible l'émergence d'un sens nouveau grâce à la mise en relation des "frames" de différents niveaux. Mais si cet univers de référence est essentiel pour qualifier les "frames" de l'univers conceptuel, cela revient à dire qu'il existe aussi par rapport à cet univers de référence un univers plus englobant, lui aussi formé de "frames", et lui aussi englobé par un univers de référence etc. Au plan computationnel, il est indispensable de poser ce référent afin que les qualifications subséquentes des "frames" soient possibles.

Nous reviendrons plus loin sur l'impact réel de cette cascade d'univers de référence englobants comme caractéristique fondamentale du modèle. Il s'agit de caractérisation de *second niveau* (groupement) dont la nécessité surgit afin de permettre l'ouverture du système.

Mais avant d'entrer dans ce type de caractérisation voyons comment il est possible de poursuivre la spécification du "frame" conceptuel. Bien que la caractérisation primaire constitue un "frame", cet objet peut être caractérisé davantage. Ces caractérisations sont, selon le modèle de Minsky, des descripteurs de bas-niveau ("low levels") déjà identifiés comme optionnels (section 2.1.3). Dans le cas particulier du modèle ces descripteurs sont appelés caractérisations secondaires.

3.1.2 La caractérisation secondaire

A ce stade-ci, FRAME-1 est créé et défini par la valeur de sa caractérisation primaire. Mais cette caractérisation ne dit pas tout. Oui, elle décrit essentiellement le contenu d'une case. Mais le but recherché est de générer un objet de connaissance plus global et plus informatif pour l'organisme qu'une description de la case où il se trouve. Par exemple, bien que la caractérisation primaire soit suffisante pour décrire une case, elle ne donne aucune information sur la nature des cases environnantes, ce qui de toute façon ne changerait rien à la description du contenu de la case 2863 mais qui apporterait toutefois des renseignements intéressants sur FRAME-1 en tant que représentation de cette case. De même, bien que la caractérisation primaire indique que Saigon est une capitale, que les arêtes EST sont bordées d'eau, elle n'indique pas si Saigon est une presque-île ou un port de mer intérieur etc... Ce n'est pas que ces informations ne puissent pas faire partie de la caractérisation primaire, c'est simplement que l'organisme dans sa genèse de l'information au sujet de Saigon, n'ayant accès qu'à une seule case à la fois, ne peut pas dériver ces informations uniquement à partir de celles disponibles.

Ces exemples font donc ressortir l'intérêt d'ajouter des caractérisations additionnelles aux représentations générées par l'organisme en plus de la caractérisation primaire. Appelons ces caractérisations les caractérisations secondaires et définissons les de la manière suivante:

Caractérisation secondaire: informations qui *particularisent* un "frame" mais dont la spécification, à l'opposé de la caractérisation primaire, n'est *ni nécessaire ni indispensable* pour la création d'un "frame" comme l'élément descripteur spécifique d'une représentation.

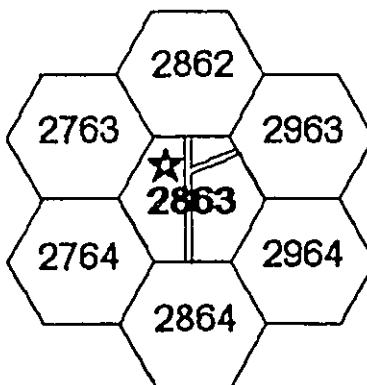
Dans le contexte particulier exposé ici, la caractérisation secondaire portera essentiellement sur les cases adjacentes à la case décrite par la primaire concernée, et sera simulée par le biais d'une liste de propriétés:

(SECONDAIRE (Numéro de la case adjacente - Contenu)).

Ainsi, FRAME-1 devient caractérisé de la façon suivante:

(FRAME-1
 (PRIMAIRE (2863 (Prairie Capitale Route)))
 (SECONDAIRE ((2963 nil)
 (2964 nil)
 (2864 nil)
 (2764 nil)
 (2763 nil)
 (2862 nil))))))

graphiquement:



où le contenu de chaque case est "nil"¹⁰ pour le moment puisqu'il n'a pas encore été spécifié.

Tout frame dans le contexte de notre modèle va donc ainsi posséder un espace structurel: la caractérisation secondaire. Celle-ci, puisqu'elle se constituera en fonction des caractérisations primaires des "frames" adjacents, va alors permettre d'inclure dans un "frame" des *liens*, en terme computationnels des *pointeurs*, entre un "frame" et les "frames" qui lui sont adjacents. C'est par le biais de la caractérisation secondaire que l'ensemble des "frames" générés par l'organisme pourra devenir un *réseau sémantique* au sens où l'entend l'Intelligence Artificielle. Les "frames" ne seront plus des descripteurs isolés et autonomes d'une case particulière, mais deviendront partie d'un ensemble plus global où chaque "frame" possède en lui l'information au sujet de ses liens avec l'ensemble. Ce qui est un avantage car, comme le système ne peut évoquer qu'une représentation à la fois (celle de la case où il se trouve), alors le traitement de l'information est facilité si cette représentation contient, en autant que les caractérisations secondaires aient un contenu spécifique, les informations nécessaires pour orienter implicitement la séquence de sélection des objets cognitifs éventuels, c'est à dire sans que le système ait besoin de la calculer.

Par exemple, supposons que l'organisme essaie de dériver des informations supplémentaires au sujet de la route contenue dans FRAME-1, il pourra le faire facilement:

a) sans avoir à chercher dans l'ensemble de "frames" à sa disposition puisque l'information est disponible au niveau de ses caractérisations

¹⁰ Ce qui est la liste vide () en LISP.

secondaires;

b) donc sans avoir besoin de sélectionner un nouvel objet, cognitif, un nouveau "frame", ce qui représenterait du traitement supplémentaire, d'où économie de temps;

c) et finalement s'il veut poursuivre au delà des "frames" adjacents sa caractérisation de la route il saura explicitement où doit se poursuivre la recherche de cette information et quels "frames" sélectionner, en l'occurrence ceux associés aux cases 2862, 2963 et 2864, la caractérisation secondaire indiquant dans ces cases adjacentes la présence du symbole "Route".

Cependant, contrairement au cas de la caractérisation primaire, *il ne sera pas indispensable*, pour l'utilisation d'un frame particulier par le système cognitif, que tous les *contenus possibles* susceptibles d'exister dans le cadre de la définition d'une caractérisation secondaire soient spécifiés. En termes computationnels, cela revient à spécifier, à réserver un espace au sein d'un "frame", peu importe le contenu que cet espace particulier peut prendre pour ce "frame" particulier à ce moment particulier. Ce contenu peut être nul, auquel cas un espace représentationnel est tout de même défini par l'identification du numéro des cases adjacentes ou, à l'opposé, contenir tout un univers conceptuel, auquel cas il faudra simplement allouer plus d'espace. Mais, peu importe qu'un "frame" se situe dans un de ces deux cas extrêmes ou bien que dans le continuum de positions intermédiaires possibles entre les deux, un point commun mérite d'être souligné: tout "frame", c'est à dire toute représentation, possédera *de par sa structure un potentiel d'ouverture* à des qualifications supplémentaires quelles qu'elles puissent être.

Pour l'organisme, on peut dire que c'est ici que débute la genèse d'un "objet conceptuel". Le "frame" qu'il développe par l'introduction de la caractérisation secondaire se détache graduellement de la simple description symbolique de la case 2663 pour y inclure en plus potentiellement la description symbolique de chacune des cases voisines. Cette possibilité d'inclusion, au sein du "frame", de qualifications supplémentaires est suffisante pour que des mécaniques nouvelles soient développées afin de pouvoir premièrement définir les contenus de la caractérisation secondaire et, deuxièmement, d'en gérer le statut.

La solution triviale est évidemment de faire se déplacer l'organisme dans chacune des cases adjacentes. Ainsi, en entrant dans chacune d'entre elles il aura accès à leurs contenus spécifiques (les différentes valeurs de "percept"), selon les contraintes régissant le fonctionnement du système perceptuel. Il pourra alors, en réinvokant FRAME-1, inscrire dans sa caractérisation secondaire, au numéro de la case concernée, la liste symbolique associée au "percept" ce qui, par exemple, définirait la secondaire 2763 du FRAME-1 comme un terrain "agricole".

Cette démarche de balayage systématique est paradoxale. Elle est à la fois très puissante, car l'organisme en agissant selon cette procédure pourrait s'acquitter parfaitement de sa tâche, et très faible, car la localité de cette stratégie procédurale est un obstacle majeur au développement d'un système de connaissance contraint dans le temps et dans l'espace. Elle pourrait effectivement s'appliquer de façon satisfaisante pour l'exemple présenté ici car la surface couverte par la carte en figure 4 est relativement petite. Mais qu'en est-il si on désirait faire porter le modèle sur une carte plus grande, par exemple les 20 mètres

carrés de "War in Europe", publié chez SPI inc.?

Au-delà d'un certain seuil, le temps dont le système aurait besoin pour accomplir sa tâche deviendrait quasi infini... Or, il y a des contraintes, celles de définir un système ~~compétent~~ compétent dans la tâche qu'il doit accomplir, mais *computationnellement efficace et économique*: c'est précisément le problème qu'il faut solutionner.

Puisque l'organisme, contraint dans le temps, ne peut pas explorer systématiquement tout l'espace car à la limite cela exigerait un temps infini, il lui faudra procéder autrement. La solution parfaite consisterait à trouver une façon lui permettant de se déplacer dans l'espace hors de la dimension temporelle; il pourrait alors connaître tout l'espace. Mais puisqu'il est impossible de dissocier ces contraintes spatio-temporelles, il faut donc concevoir un système qui permette de contourner cette difficulté.

Or, l'inclusion de la caractérisation secondaire dans la structure du "frame" porte en elle des éléments de réponse. La caractérisation secondaire est un déterminant structurel d'un "frame". Comme il a été noté, une de ses particularités fondamentales qui la distingue de la caractérisation primaire est le fait qu'elle puisse exister dans un "frame" *sans contenu*. Donc, en soi la caractérisation secondaire sans contenu est une sorte de *prédiction* car elle indique que des informations supplémentaires devront s'instaurer dans la représentation pour la qualifier de façon maximale. Du fait qu'il existe, l'espace représentationnel, la caractérisation secondaire, constitue une attente: le système sachant qu'éventuellement un contenu sera spécifié, c'est l'introduction de la notion d'*attente* dans les procédures du système cognitif de

l'organisme. Une caractérisation secondaire sans contenu est une attente pour l'organisme: il sait que de l'information supplémentaire peut et/ou doit venir. Même si les caractérisations secondaires n'ont pas de contenus spécifiés, leur inscription dans la structure des "frames" indique au système la nécessité du recours à un traitement supplémentaire afin d'arriver à spécifier ces contenus. Sa démarche de connaissance devrait donc consister à satisfaire ce besoin en spécifiant des contenus aux caractérisations secondaires.

Puisqu'il a été convenu que l'exploration systématique des cases adjacentes, bien qu'efficace, ne pourrait satisfaire les exigences computationnelles déjà définies, introduisons une nouvelle procédure par laquelle l'organisme va tenter d'organiser sa connaissance en fonction de l'information qu'il possède déjà. En d'autres termes, définissons une procédure qui permettrait à l'organisme de *prédire* le contenu de ses caractérisations secondaires en fonction de ce qu'il possède comme information au sujet de l'univers. Que possède-t-il à ce stade-ci? FRAME1, objet cognitif formé d'une caractérisation primaire et six caractérisations secondaires où ne sont précisés que les numéros des cases adjacentes suite à l'application de la procédure "voisinage". La règle de prédiction la plus simple qui puisse exister est aussi la plus évidente: il faut prédire que les différents contenus des caractérisations secondaires sont identiques à la caractérisation primaire du "frame" concerné, en l'occurrence FRAME-1.

Cette règle possède l'avantage de la simplicité tout en remplissant le besoin de qualifier davantage l'objet de connaissance. Cependant, en vertu du statut conjectural des contenus prédits, utilisons ces prédic-

tions pour définir un autre type de caractérisation dans la structure du
"frame-type": la caractérisation tertiaire.

3.1.3 La caractérisation tertiaire

Caractérisation tertiaire: caractéristique d'un "frame" qui est une *conjecture portant sur les contenus spécifiques des caractérisations secondaires* de ce "frame", conjecture mise en place par l'action de la procédure de prédiction du système cognitif.

L'introduction de cette caractérisation supplémentaire a des conséquences à divers niveaux pour l'organisme. Tout d'abord, elle institue des qualités différentes quant à la nature des objets de connaissance. Il y a d'un côté ceux qui ont un statut de type *certitude*, ce sont des caractéristiques stables définies par les caractérisations primaires et secondaires et dont les contenus ne peuvent plus changer lorsque spécifiés pour un "frame" particulier; et de l'autre côté ceux qui ont un statut *conjectural*, ce sont des objets instables définis par les caractérisations tertiaires qui, pour un "frame" spécifique, peuvent continuellement changer de contenus. Ces deux types de caractérisations co-existant au sein d'un "frame", elles apportent ainsi des nuances supplémentaires sur la nature des connaissances manipulées par le modèle.

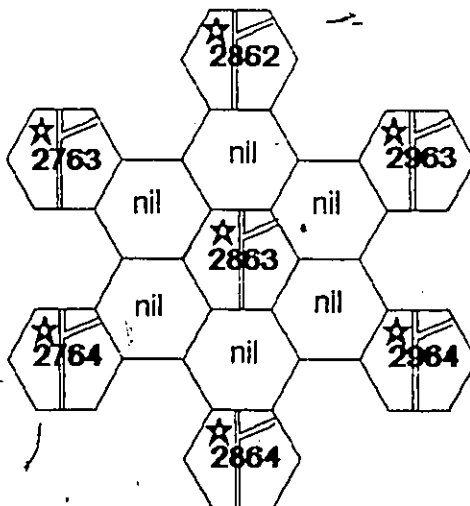
De plus, puisque les caractérisations stables ne sont pas susceptibles d'être modifiées, l'organisme aura donc intérêt à centrer sa démarche de connaissance autour des caractérisations instables dans le but de résoudre ce statut problématique et de leur conférer un statut de certitude. Ce faisant, l'inclusion au sein du modèle de la caractérisation tertiaire devient déterminante car, pour être le plus efficace possible et ainsi maximiser sa démarche de connaissance, l'organisme va devoir adopter une stratégie visant à une stabilisation optimale de ses informations. Ainsi, le choix du déplacement d'une case vers une autre sera

dicté en fonction de cette stratégie, c'est à dire que plutôt que de se déplacer au hasard l'organisme va choisir de se déplacer vers la case qui lui permettra d'obtenir les informations additionnelles réduisant le plus possible le nombre des caractérisations tertiaires.

Ici s'arrête le flux des conséquences que l'on peut déduire au MOMENT 1 de la démarche de l'organisme dans l'univers simulé. L'organisme est toujours dans la case 2863 et, selon les différentes procédures de connaissance qui viennent d'être introduites, la représentation qu'il s'en fait s'exprime par FRAME-1 qui prend maintenant la forme suivante:

```
(FRAME-1
  (PRIMAIRE (2863 (Prairie Capitale Route)))
  (SECONDAIRE ((2963 nil)
               (2964 nil)
               (2864 nil)
               (2764 nil)
               (2763 nil)
               (2862 nil)))
  (TERTIAIRE ((2963 Prairie)
              (2964 Prairie)
              (2864 Prairie)
              (2764 Prairie)
              (2763 Prairie)
              (2862 Prairie))))
```

Graphiquement:



Comme on peut le constater, l'objet cognitif diffère sensiblement d'une description de la case 2863. Il forme maintenant un tout qui comprend:

- a) une description symbolique du contenu de la case 2863;
- b) une description des liens l'unissant avec les cases voisines, donc éventuellement les "frames" qui les décrivent;
- c) des prédictions quant à leurs contenus spécifiques.

L'objet cognitif ainsi constitué représente maintenant une région géographique plutôt qu'une seule case, bien que celle-ci soit en grande partie conjecturale.

Ayant caractérisé au maximum l'objet investigé au MOMENT 1 en fonction des procédures disponibles, l'organisme va devoir maintenant se déplacer vers une autre case. Or, comme il vient d'être spécifié ce déplacement devrait se faire en fonction de la plus grande possibilité de réduction du nombre des caractérisations tertiaires. Cependant, comme dans l'exemple précédent les caractérisations tertiaires ont toutes le même contenu, il n'y a pas lieu pour l'instant d'appliquer cette règle. Aussi le déplacement se fera donc au hasard dans une des six directions possibles.¹¹

Supposons que l'appel à cette fonction donne 5 comme résultat, l'organisme va donc se déplacer vers la case 2763.

¹¹ Dorénavant, lorsqu'il sera fait mention d'un déplacement dans une direction particulière, celui-ci sera identifié selon la convention suivante: la direction "Nord-Est" correspond au chiffre 1, "Sud-Est" à 2, "Sud" à 3, "Sud-Ouest" à 4, "Nord-Ouest" à 5 et "Nord" à 6 et ce, dans le but de faciliter le processus de choix d'une direction au hasard.

MOMENT 2:

arrivée dans la case 2763; mise en action de la procédure perceptuelle, recours à l'univers simulé pour générer un contenu pour "percept":

(2763 agricole Prairie)

Graphiquement:



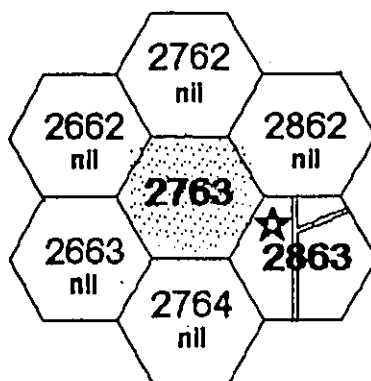
On assiste alors à la mise en action du système cognitif par l'évocation de la fonction FRAME qui crée FRAME-2:

```
(FRAME-2
  (PRIMAIRE      (2763      (Agricole Prairie))))
```

Deuxième tâche: définition des caractérisations secondaires. La case d'où l'organisme vient est la seule qui réponde à la définition de la caractérisation secondaire, FRAME-1 étant le seul objet cognitif défini pour l'instant. Les autres caractérisations secondaires seront constituées par identification des cases adjacentes sans leur préciser de contenus. FRAME-2 devient:

```
(FRAME-2
  (PRIMAIRE      (2763      (Agricole Prairie)))
  (SECONDAIRE    ((2862      nil)
                  (2863      (Prairie Capitale Route))
                  (2764      nil)
                  (2663      nil)
                  (2662      nil)
                  (2762      nil))))
```

Graphiquement :



Donc, si une secondaire peut être identifiée (celle correspondant à la caractérisation primaire de FRAME-1), alors la réciproque découle logiquement à savoir qu'il faut donc introduire une procédure supplémentaire qui va permettre le retour sur les "frames" déjà définis pour en rectifier les informations selon les nouvelles informations dont dispose le système: c'est l'introduction dans le modèle des *règles de transformation* qui répondront à ce besoin.

Règle de transformation No. 1: à chaque déplacement de l'organisme, la caractérisation primaire du "frame" précédent s'inscrira dans le "frame" courant comme caractérisation secondaire, et inversement la caractérisation primaire du "frame" courant devra s'inscrire comme caractérisation secondaire dans le "frame" précédent.

Dans l'exemple présenté, le résultat de l'application de la règle de transformation No. 1 est le suivant: comme la caractérisation primaire de FRAME-2 ne correspond pas à la caractérisation tertiaire de FRAME-1, celui-ci se verra modifié en conséquence par l'élimination de la ter-

tiaire 2763 et la création de la caractérisation secondaire correspondante qui prendra la valeur de la caractérisation primaire du FRAME-2.

FRAME-1 avant la
création de FRAME-2

FRAME-1 après la
création de FRAME-2

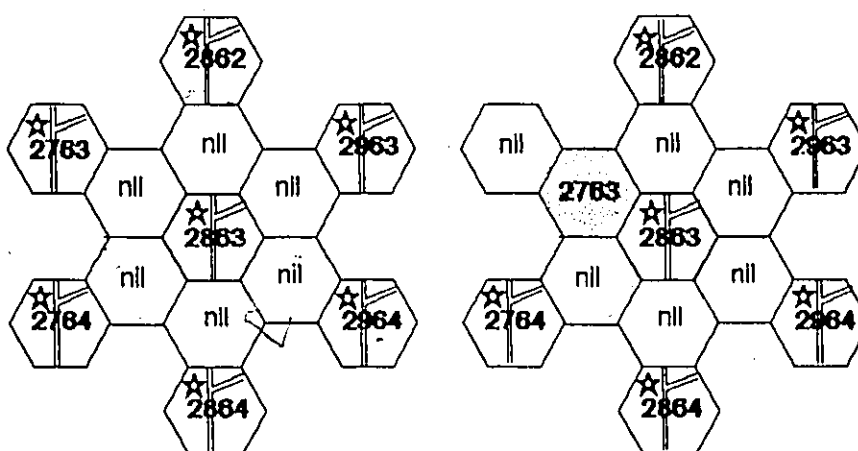


Figure 6: transformation de FRAME-1 suite à la définition de FRAME-2 selon la règle de transformation no.1. Le changement est la transformation de la caractérisation tertiaire 2763 en caractérisation secondaire.

Une fois ces transformations effectuées, le processus de caractérisation de FRAME-2 peut se poursuivre tel que défini précédemment en invoquant la règle de prédiction pour créer les caractérisations tertiaires. Comme on peut le constater en consultant la Figure 6, l'application de la règle de prédiction ne pose pas de problème en ce qui a trait aux cases: 2762, 2662, 2663, car elles n'ont pas de contenus spécifiés, ni à la case 2863 puisque celle-ci est décrite par la secondaire. Cependant, les cases 2862 et 2764 sont problématiques car partagées à la fois par FRAME-1 et par FRAME-2. Et en plus, en vertu de la définition de la

règle de prédiction, les caractérisations tertiaires auront des contenus prédits différents. Il y a donc un conflit dans les prédictions, et celui-ci est insoluble sauf si l'organisme se rend dans chacune de ces cases.

Pour démarquer le statut *conflictuel* de ces caractérisations, créons au sein du "frame-type" une dernière caractérisation. Ses implications seront analysées dans la prochaine sous-section.

3.1.4 La caractérisation quaternaire

Caractérisation quaternaire: caractéristique d'un "frame" qui *identifie un conflit* au niveau des prédictions faites par les caractérisations tertiaires.

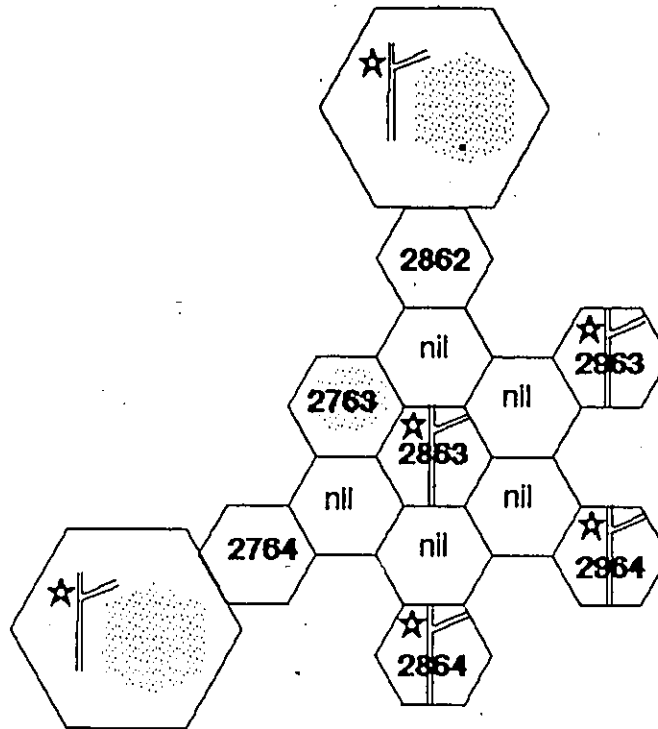
Cette caractérisation quaternaire, c'est une attente computationnelle à son niveau le plus élaboré, et son entrée en scène va nécessairement provoquer l'ajout d'une nouvelle procédure dont le but sera de créer au sein des deux "frames" impliqués les caractérisations quaternaires appropriées en:

- a) comparant les caractérisations tertiaires de ces deux "frames" pour vérifier si dans les deux cas des tertiaires portent sur des cases identiques et si elles ont des contenus différents;
- b) si tel est le cas, il faudra associer ces tertiaires, les éliminer de la liste des caractérisations tertiaires, et créer une caractérisation quaternaire, pour chacun des "frames" concernés, en lui donnant pour contenu la liste des tertiaires associées. Ainsi, après l'application de cette procédure, FRAME-1 aura la structure suivante:

(FRAME-1

(PRIMAIRE	(2863	(Prairie Capitale Route)))
(SECONDAIRE	((2963	nil)
	(2964	nil)
	(2864	nil)
	(2764	nil)
	(2763	(Agricole Prairie))
	(2862	nil)))
(TERTIAIRE	((2963	(Prairie Capitale Route)
	(2964	(Prairie Capitale Route)
	(2864	(Prairie Capitale Route)))
(QUATERNAIRE	((2862	(Prairie Capitale Route)
		(Agricole Prairie))
	(2764	(Prairie Capitale Route)
		(Agricole Prairie))))

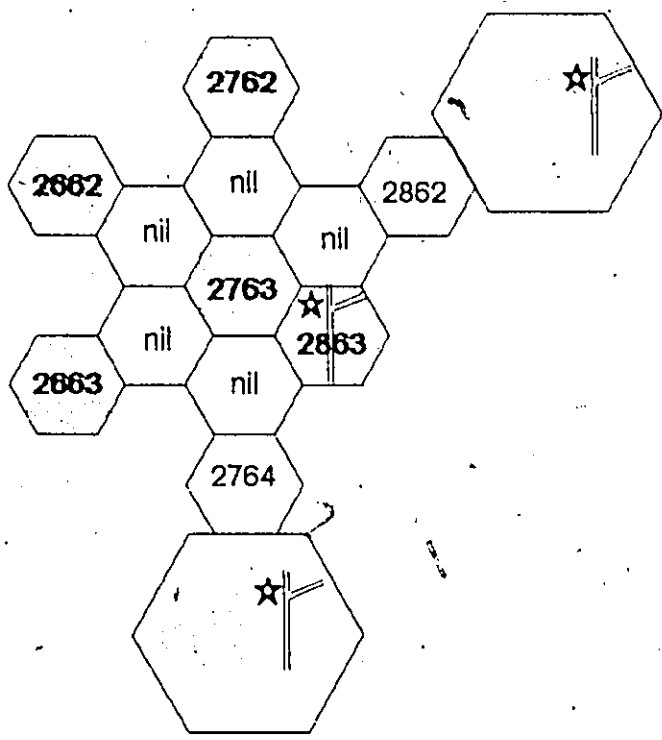
Graphiquement:



Quant à FRAME-2, il sera exprimé ainsi:

(FRAME-2		
(PRIMAIRE	(2763	(Agricole Prairie))
(SECONDAIRE	((2862	nil)
	(2863	(Prairie Capitale Route))
	(2764	nil)
	(2863	nil)
	(2862	nil)
	(2762	nil)))
(TERTIAIRE	((2863	(Agricole Prairie))
	(2862	(Agricole Prairie))
	(2762	(Agricole Prairie))
(QUATERNAIRE	((2862	(Prairie Capitale Route)
	(2762	(Agricole Prairie))
	(2764	(Prairie Capitale Route)
	(2762	(Agricole Prairie)))

Graphiquement :



Cette caractérisation quaternaire est la dernière caractérisation structurelle d'un "frame-type" descripteur d'une représentation qui sera introduite. Son contenu, hautement conjectural, peut en somme être envisagé comme une hypothèse spécifique incluse dans la structure d'une représentation. Elle est une conjecture de second niveau car elle porte sur les caractérisations tertiaires, elles mêmes conjecturales.

La représentation de l'information au sein du "frame-type" tel que décrit se fait donc hiérarchiquement en fonction de deux pôles: d'un côté des caractérisations ayant un statut de certitude, donc dotées d'une certaine stabilité, de l'autre, des caractérisations ayant un

statut conjectural, donc dotées d'une certaine instabilité. En partant de la caractérisation primaire jusqu'à la caractérisation quaternaire, on constate que chaque caractérisation additionnelle apporte davantage d'information pour qualifier l'objet cognitif défini par la primaire, mais le statut conjectural de l'information portée par cette caractérisation va aussi en s'accroissant. Parallèlement, de la caractérisation primaire à la caractérisation quaternaire, l'instabilité s'accroît au sein d'une représentation. Du statut de certitude de la caractérisation primaire au statut de conjectural conflictuel de la caractérisation quaternaire, l'information dont l'organisme dispose s'accroît par le biais d'une certaine *distanciation* d'avec l'objet physique d'origine.

Cette distanciation s'exprime par le biais des caractérisations tertiaires et quaternaires, caractérisations dites instables, et, tel que mentionné, c'est sur celles-ci que l'organisme devra concentrer son analyse. Mais puisque la maximisation de la démarche de connaissance passe par la tentative de réduire le statut d'incertitude des informations disponibles, et puisque la caractérisation quaternaire indique en soi une incertitude par rapport aux caractérisations tertiaires, alors l'organisme devrait d'abord tenter de résoudre le statut problématique de la caractérisation quaternaire pour maximiser sa démarche de connaissance, car résoudre ce statut peut conduire à la résolution du statut des tertiaires. Cela signifie que c'est toujours vers une case décrite par une caractérisation quaternaire que devrait s'effectuer le déplacement de l'organisme, si une telle caractérisation existe.

Ce faisant, les résultats de ces efforts de réfutation des conjectures quaternaires vont entraîner des conséquences sur plusieurs niveaux.

En premier lieu, il faudra, compte tenu de l'information obtenue, apporter des modifications aux "frames" dont les tertiaires sont en cause, ce qui porte nécessairement sur un minimum de deux "frames". Ceci va causer l'addition d'une nouvelle règle de transformation à l'ensemble des procédures qui sera introduite par l'examen de la situation provoquée par le déplacement de l'organisme vers une case étiquetée comme conflictuelle par une quaternaire. L'organisme se déplace en direction 4 vers la case 2764.

MOMENT 3:

arrivée dans la case 2764; mise en action de la procédure perceptuelle, recours à l'univers simulé pour générer un contenu pour "percept":

(2764 jungle)

Prise en charge de "percept" par le système cognitif par évocation de la fonction FRAME qui crée:

(FRAME-3
(PRIMAIRE (2764 (Jungle))))

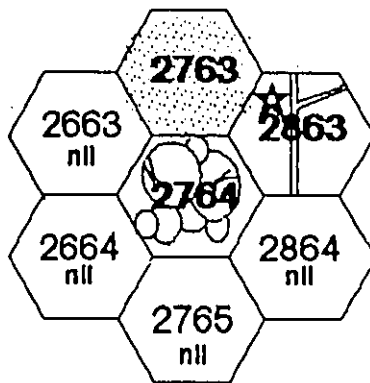
Le recours à la Règle de Transformation No. 1 va permettre la définition des caractérisations secondaires du FRAME-3, de même que les transformations qui seront apportées à FRAME-1 et FRAME-2. Ainsi FRAME-3 devient:

```

(FRAME-3
  (PRIMAIRE ((2764 (Jungle)
                (2763 ("primaire de FRAME-2"))
  (SECONDAIRE (2863 ("primaire de FRAME-1"))
                (2864 nil)
                (2765 nil)
                (2664 nil)
                (2665 nil))))))

```

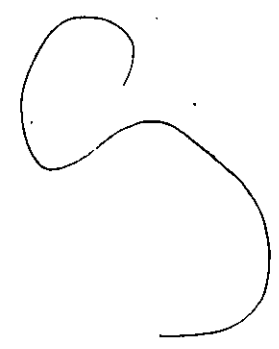
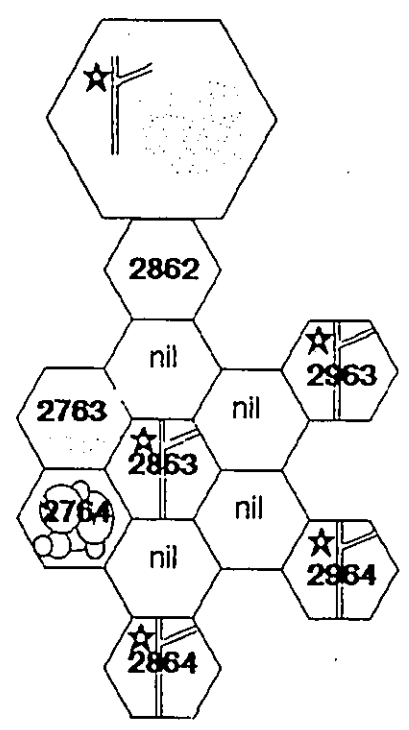
Graphiquement:



Quant aux FRAME-1 et FRAME-2 les transformations vont consister essentiellement à la définition d'une nouvelle secondaire (correspondant à la primaire de FRAME-3) et à la modification conséquente de la tertiaire ou de la quaternaire correspondante. Ils deviennent donc:

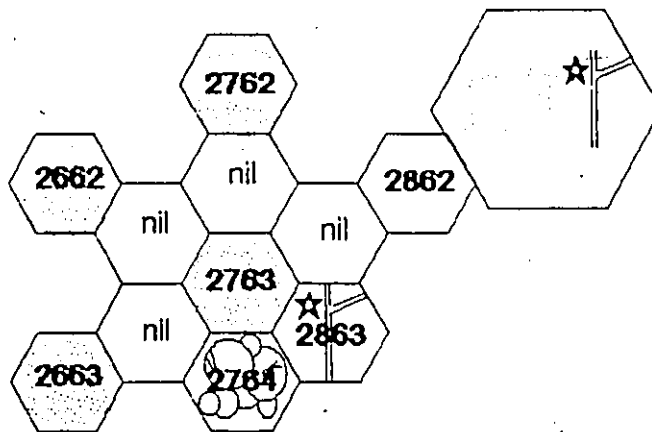
- (FRAME-1
- (PRIMAIRE ((2863 (Prairie Capitale Route)))
- (SECONDAIRE ((2963 nil)
- (2964 nil)
- (2864 nil)
- (2764 ("primaire de FRAME-3")
- (2763 ("primaire de FRAME-2")
- (2862 nil)))
- (TERTIAIRE ((2963 (Prairie Capitale Route)
- (2964 (Prairie Capitale Route)
- (2864 (Prairie Capitale Route)
- (QUATERNAIRE ((2862 (Prairie Capitale Route)
- (Agricole Prairie))))))

Graphiquement:



(FRAME-2		
(PRIMAIRE	((2763	(Agricole Prairie)
(SECONDAIRE	((2862	nil)
	(2863	("primaire de FRAME-1"))
	(2764	("primaire de FRAME-3"))
	(2663	nil)
	(2662	nil)
	(2762	nil))))
(TERTIAIRE	((2663	(Agricole Prairie)
	(2662	(Agricole Prairie)
	(2762	(Agricole Prairie)
(QUATERNAIRE	((2862	(Prairie Capitale Route)
		(Agricole Prairie))))

Graphiquement:



La prochaine étape dans la formation de FRAME-3 consiste en la définition de ses caractérisations tertiaires et quaternaires. Pour cela, il faudra que s'établisse une recherche pour vérifier, pour chaque case dont on veut prédire le contenu, si cette case est contenue dans les "frames" identifiés par les secondaires. Si tel est le cas, alors la case concernée est commune aux deux "frames" et elle deviendra une caractérisation quaternaire si elle était une tertiaire dans le "frame" de comparaison, et des modifications supplémentaires devront prendre place.

Par exemple, pour FRAME-3 il y a quatre cases sur lesquelles peuvent

s'effectuer des prédictions, ce sont les cases 2864, 2765, 2664 et 2663 (les deux autres cases adjacentes correspondent aux secondaires, donc pas de prédictions possibles sur leurs contenus). Considérons la case 2864. Pour tenter de prédire son contenu, il faudra d'abord tenter de savoir si elle appartient à d'autres "frames". Si on examine le contenu de FRAME-1, on s'aperçoit que tel est le cas puisque cette case, est une caractérisation tertiaire de FRAME-1 laquelle prédit un certain contenu, en l'occurrence celui de sa primaire. Il sera donc impossible de créer dans FRAME-3 une tertiaire pour la case 2864 puisqu'une prédiction sur celle-ci existe déjà. La case 2864 devra être décrite par une quaternaire à la fois dans FRAME-3 et dans FRAME-1, ce qui implique un retour sur FRAME-1 pour le modifier.

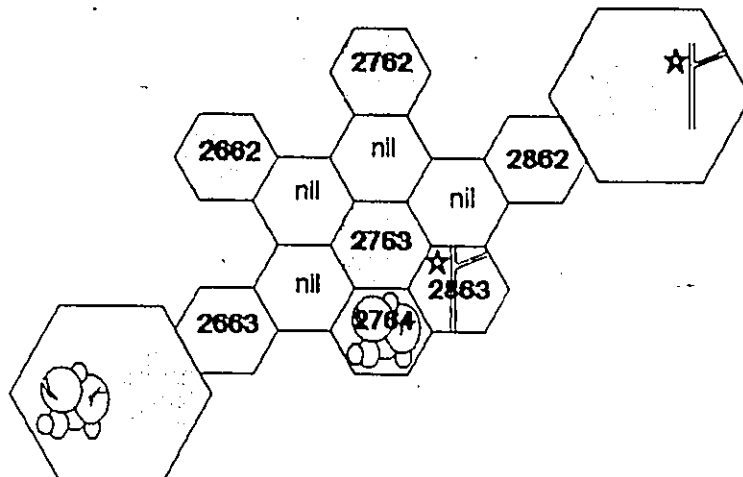
Le même raisonnement s'applique pour la case 2663 qui est contenue dans FRAME-2, il faudra donc appliquer la même procédure. Cependant, pour les cases 2765 et 2664, la recherche de leur appartenance dans les "frames" constitués s'avère négative ce qui indique l'absence de prédiction quant à leurs contenus. Dans un tel cas la règle de prédiction, de constitution des caractérisations tertiaires, peut donc s'appliquer et il n'y aura pas d'autres transformations à effectuer.

Le processus de création de procédures permettant le maintien de la cohérence au sein du système se termine ici avec l'explicitation de ces dernières procédures qui illustrent l'effet tangible d'une réfutation d'une conjecture dans le réseau symbolique et dont l'apparition a été provoquée par le retour de l'organisme dans une case prédite par une caractérisation quaternaire. Tout ce qui est mis à la disposition de l'organisme pour qu'il puisse atteindre le but imposé, c'est à dire

arriver à "connaître" son environnement grâce à la constitution d'un univers symbolique le représentant, a été présenté maintenant. Le réseau symbolique qui résulte de la mise en action de ce système de connaissance sur trois moments consiste en la création des trois "frames" (FRAME-1, FRAME-2 et FRAME-3) dont l'état final est le suivant:

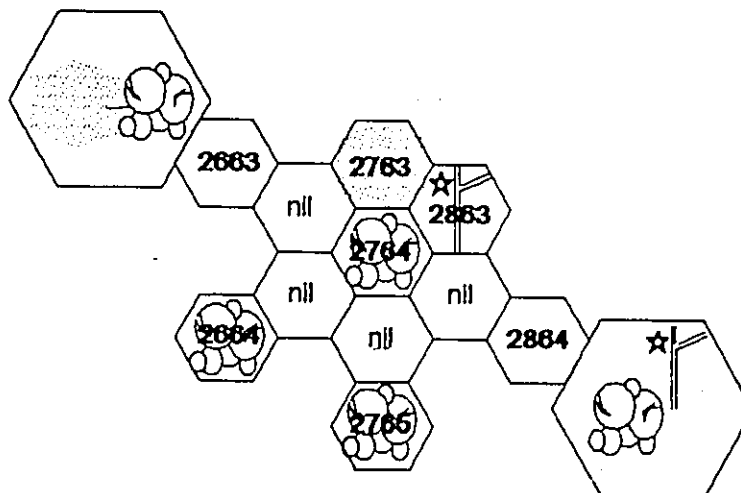
```
(FRAME-1
  (PRIMAIRE ((2863 (Prairie Capitale Route)))
  (SECONDAIRE ((2963 nil)
               (2964 nil)
               (2864 nil)
               (2764 ("primaire de FRAME-3"))
               (2763 ("primaire de FRAME-2"))
               (2862 nil)))
  (TERTIAIRE ((2963 ("primaire de FRAME-1"))
              (2964 ("primaire de FRAME-1"))
  (QUATERNAIRE ((2862 ("primaire de FRAME-2")
                       ("primaire de FRAME-1"))
                 (2864 ("primaire de FRAME-1")
                       ("primaire de FRAME-3"))))))
```


Graphiquement:



```

(FRAME-3
  (PRIMAIRE ((2764 (Jungle))))
  (SECONDAIRE ((2763 ("primaire de FRAME-2"))
                (2863 ("primaire de FRAME-1"))
                (2864 nil)
                (2765 nil)
                (2664 nil)
                (2665 nil)))
  (TERTIAIRE ((2765 ("primaire de FRAME-3"))
               (2664 ("primaire de FRAME-3")))
  (QUATERNAIRE ((2864 ("primaire de FRAME-1")
                       ("primaire de FRAME-3"))
                 (2663 ("primaire de FRAME-2")
                       ("primaire de FRAME-3")))))
  
```



Cette présentation des 3 "frames", où des indices conceptuels remplacent les contenus spécifiques (ceux-ci pourront être déduits à partir de ces pointeurs) met en évidence, par l'accent qu'elle place sur des liens entre des "frames" plutôt qu'entre des contenus, le détachement relatif qui s'instaure graduellement entre le "frame" et son objet causal lors du processus de caractérisation. Il suffit de connaître les points de départ, i.e. les valeurs spécifiques des caractérisations primaires, pour que le système cognitif de l'organisme soit à même de générer des représentations conceptuelles relativement complexes. Ceci revient à dire qu'un système ainsi structuré possède une grande généralité d'action car, si les données de base sont rigoureusement définies, il devrait pouvoir conserver son niveau de performance quelle que soit la nature de l'objet sur lequel il porte, en autant que les relations d'adjacence soient elles aussi rigoureusement identifiées.

En d'autres termes, les fonctions de manipulation symbolique présentées ici pourront parvenir à créer des réseaux sémantiques représentant des cartes géographiques de n'importe quel "wargame" à la seule condition qu'il se joue sur une matrice hexagonale. Les fonctions, élaborées plus haut, ont été développées sur 3 MOMENTS, trois étapes dans l'exploration de l'univers. Il est bien évident que ces trois moments ne sont pas suffisants pour élaborer une connaissance complète de la carte du jeu "Vietnam" qui fait deux mètres carrés. Cependant ils ont été suffisants pour que toutes les conditions critiques aient été explorées, le point crucial ayant été le retour de l'organisme au MOMENT 3 sur une prédiction conflictuelle élaborée antérieurement. C'est la situation où survient le maximum d'impacts sur le réseau de "frames".

Plus l'organisme aura de moments à sa disposition pour explorer l'environnement, plus la connaissance qu'il aura de celui-ci sera complexe mais les procédures nécessaires pour en arriver là seront toujours celles qui viennent d'être introduites. En effet, la situation la plus complexe est celle où l'organisme rencontre des caractérisations quaternaires. Or la règle de transformation nécessaire pour solutionner ce problème a été discutée. Cependant il est donc possible que l'organisme ait à transformer une caractérisation quaternaire en tertiaire, puis, à cause de "frames" déjà définis que ces tertiaires doivent être retransformées en secondaires. Or, la règle de transformation nécessaire a déjà été introduite.

Donc, peu importe la nouvelle situation, le modèle dispose des procédures lui permettant de modifier son réseau de "frames". Cependant, la réaction aux différentes situations va causer des séquences d'application des procédures différentes selon le cas. Par exemple il pourrait être possible de modifier trois caractérisations quaternaires, puis une tertiaire. Ou encore deux tertiaires, puis une quaternaire etc...

Le problème suivant est donc celui du contrôle des transformations à effectuer pour que le modèle reste performant. La prochaine section vise à présenter les éléments permettant de le solutionner.

3.2 Extension du modèle

Par rapport à la problématique dont voulait rendre compte ce chapitre, on peut donc dire qu'une grande partie de la tâche visée a été accomplie. On dispose maintenant d'un modèle computationnel qui est en soi une théorie sur les attentes cognitives. A ce stade-ci, il se compose de deux niveaux d'organisation. Le premier niveau est celui de la structure. D'abord de celle d'un objet cognitif, c'est la notion du "frame-type" avec ses quatre caractérisations par le biais desquelles l'attente cognitive est définie comme un élément intrinsèque d'une représentation, puis de celle des univers sémantiques relationnels, la finalité du modèle visant la création de ces univers formés d'objets cognitifs ("frames").

Le second niveau, c'est celui de l'organisation procédurale c'est à dire de l'ensemble des règles (procédures) qu'il a fallu intégrer pour dynamiser le modèle, lui permettant ainsi de s'acquitter de la tâche qui lui avait été dévolue (résoudre le problème de la connaissance d'une carte géographique). Ces procédures (règle de prédiction et de transformation) étant elle-mêmes des objets cognitifs, elles doivent donc elles aussi s'exprimer en termes de "frames": c'est la question de l'homogénéité morphologique (sous-section 3.1.1).

L'organisme, doté d'un tel système, dispose maintenant des éléments computationnels nécessaires pour gérer de façon adéquate les connaissances qu'il élabore: à savoir une manière de structurer les informations, le "frame-type" tel que constitué par ses caractérisations primaire,

secondaire, tertiaire, et quaternaire, et des règles procédurales pour modifier les "frames" en fonction de l'ajout de nouvelles connaissances au réseau symbolique en devenir.

Cependant, la troisième question soulevée au début du chapitre dans l'énoncé du problème (quelles seraient les procédures computationnelles pouvant maximiser le rendement de l'organisme?) n'est pas encore entièrement résolue. Elle l'est partiellement parce que le modèle computationnel repose sur des éléments développés en fonction de ce critère de maximisation, comme en atteste l'inscription du concept d'attente cognitive au sein de la structure représentationnelle. Pourquoi ne l'est-elle pas complètement? Parce qu'un second ordre de préoccupation n'a pas encore été abordé explicitement: celui de la méta-gestion du modèle, du contrôle de sa dynamique. Cette question forme le troisième niveau d'organisation du modèle computationnel, et cette section vise à présenter les méta-procédures qui le composent.

Celles-ci sont toutes des procédures solutionnant le problème de la gestion du fonctionnement du modèle, mais elles s'adressent à deux aspects de gestion différents. Tout d'abord, si pour mettre en place le réseau conceptuel, par l'intermédiaire des procédures déjà introduites, il est indispensable d'avoir recours à un référent (l'univers de référence), alors, pour solutionner le problème de connaissance au coeur du modèle, il faut logiquement s'adresser aussi à la question de la mise en place et du contrôle de ce bassin sémantique de référence. Des procédures computationnelles seront introduites à cet effet ultérieurement (sous-section 3.2.1).

Ensuite, à un autre niveau d'organisation du système, d'autres con-

traintes, essentiellement computationnelles, surgissent et elles concernent la gestion des différentes procédures. Plus précisément, il faudra s'adresser à l'aspect organisationnel de ces procédures en tant que *globalité* afin de maximiser l'effort de gestion de leurs divers niveaux d'action. Ceci soulève des questions du genre "est-il plus avantageux pour l'organisme d'effectuer tout le travail de création et de transformation des caractérisations d'un *seul* "frame" à la fois?"; ou encore "doit-on d'abord effectuer *toutes* les transformations possibles sur tous les "frames" possibles avant de créer de nouvelles caractérisations?"...

Ces contraintes computationnelles surgissent à un autre niveau d'action du système et ne relèvent pas directement du problème de l'attente cognitive. C'est le niveau du traitement des procédures, niveau différent de celui du traitement des "frames" de l'univers conceptuel, et il a ses restrictions propres. Par exemple, la réfutation d'une caractérisation quaternaire entraîne le retour vers d'autres "frames" afin d'en modifier les caractérisations selon le résultat de la procédure de test qui résulte en une réfutation. Ce qui dans certains cas peut signifier la transformation d'une quaternaire dans ce "frame". Mais la réfutation d'une quaternaire entraîne le retour vers les "frames" identifiés par les secondaires en vertu de la règle de transformation. Or, il se peut que ceux-ci ne soient plus en relation d'adjacence avec le "frame" impliqué au départ, mais malgré tout, la procédure de transformation doit se poursuivre. On entre donc dans un processus de récursion, caractéristique d'un système cognitif, où une procédure s'invoque dans son exécution. Ces récursions, pouvant potentiellement s'étaler sur une *infinité* de paliers, impliquent au niveau computationnel une quantité de travail

considérable, soit par rapport aux opérations à effectuer ou soit par rapport à l'espace computationnel requis ("stacking") pour le stockage d'informations en voie de spécification. D'où la nécessité de proposer des méta-procédures pour contrôler l'action des procédures.

Si les procédures de traitement symbolique sont computationnellement efficaces en soi, leurs modes d'interaction, les limites à l'intérieur desquelles leurs actions doivent porter ainsi que la spécification de l'ampleur des objets qu'ils doivent traiter, posent problème. Par exemple la règle de transformation No. 1 doit-elle s'exercer une seule fois sur un seul "frame" lorsqu'invoquée ou bien sur tous les "frames" qui répondent à ses normes au moment de l'appel? La multiplicité des procédures, couplée à celle des objets sur lesquels elles peuvent porter, crée une telle diversité de possibles qu'il faut forcément pour assurer la cohérence du traitement computationnel *imposer un ordre* à cette diversité potentielle.

Cet aspect plus général auquel on doit s'adresser dans la conception du système proposé représente en quelque sorte l'organisation, le "diagramme logique" du fonctionnement de ce système qui viendra en sorte combler certaines lacunes.

Quelles sont ces lacunes? Dans l'effort de définition du système avec ses diverses composantes, il a fallu introduire des paliers qualitativement différents de connaissance (les trois types d'univers: de référence, conceptuel et actualisable). Cependant, la question de leur mise en place ainsi que la démonstration que le système décrit puisse s'acquitter de cette tâche n'a jamais été faite. Or, comme la nécessité de définir des procédures d'interaction entre les différents éléments de l'uni-

vers conceptuel (les cases de la carte géographique) a été démontrée comme essentielle pour maximiser la démarche de connaissance de l'organisme dans la mise en place du réseau conceptuel (c'est la règle de prédiction qui permet d'inscrire dans la représentation d'une case les liens symboliques, les attendus, qui l'unissent avec ses voisines), il est tout aussi nécessaire d'inclure dans le système des procédures d'interaction entre les divers paliers de connaissance (les univers) ce qui aura pour effet de permettre une démarche de connaissance plus générale, donc plus englobante du système.

Le problème général auquel s'adresse la prochaine partie de ce chapitre concerne la mise au point des stratégies d'interaction et de gestion des procédures du système pour le rendre plus compétent dans la réalisation de sa tâche. Ces stratégies touchent autant la mise en place de chaque univers sémantique que ses interactions avec les univers adjacents. Quant au problème spécifique, il peut s'énoncer ainsi: pour que l'organisme puisse s'acquitter complètement de sa tâche de connaissance, il faudra proposer a) des *procédures de groupement* qui permettront d'extraire de nouvelles connaissances à partir de celles déjà en place dans le réseau conceptuel; et b) des *procédures d'interaction* avec l'univers de référence pour créer ou modifier celui-ci sur la base des connaissances nouvelles résultant des *procédures de groupement*.

Ces deux points représentent l'ouverture vers une généralisation du modèle dont la démarche de connaissance serait axée sur une stratégie d'utilisation des connaissances à un certain niveau pour en dériver des éléments qui permettront de définir un univers sémantique plus général et plus englobant par rapport au niveau d'origine ce qui est propre au

système cognitif.

Comme réponse à ce problème un *schème d'organisation interactionnel* des procédures en jeu est proposé. Il repose sur le concept de l'objet computationnel unique (OCU). Cet objet computationnel unique, c'est un "frame" constitué d'une *fonction* (procédure) et de l'*entité* sur laquelle elle porte. L'OCU n'est pas un objet en soi dans le sens qu'on ne le retrouvera pas défini tel quel à un moment précis au sein du réseau symbolique, comme FRAME-1 par exemple. L'OCU est plutôt un *état de traitement* du système qu'un résultat de traitement. L'OCU c'est le contenu cognitif à un point dans le temps, et il reflète l'évolution dynamique dans le temps du système. Reprenant l'exemple présenté dans la section précédente, on peut alors considérer les différents "frames" (FRAME-1, FRAME-2 ET FRAME-3) comme des objets, résultats de traitement. Les états de traitement, ce sont plutôt les applications des différentes procédures à certains moments.

Ainsi, au MOMENT-1, la règle de transformation No. 1 a été appliquée sur FRAME-1. A ce moment précis dans le fonctionnement du modèle un OCU particulier, un état de traitement particulier, existait: l'application d'une procédure sur un objet. Dans ce cas-ci, la règle de transformation est une procédure qui a pour rôle de modifier les caractérisations tertiaires d'un frame existant (FRAME-1) suite à la création d'un autre frame (FRAME-2), et de créer dans l'ancien "frame" une caractérisation secondaire correspondant au niveau "frame". On peut dire que cette définition de la règle constitue en quelque sorte sa caractérisation primaire. Quant aux caractérisations secondaires, elles vont concerner des caractéristiques qui particularisent davantage la règle. Dans le cas de

la création des "frames", la caractérisation secondaire avait été choisie pour représenter les liens d'adjacence entre les "frames". Ce pourrait aussi être le cas pour caractériser l'OCU, chacun contenant dans sa secondaire l'information au sujet de l'OCU qui le précédait dans le temps (OCU-0), mais ce pourrait aussi être, par exemple, une application spécifique de celle-ci (comme au MOMENT 1) sur des objets spécifiques (FRAME-1 et FRAME-2). Une telle règle aurait pu aussi être un OCU spécifique en s'appliquant au MOMENT 8, sur FRAME12- et FRAME-13 par exemple. Ainsi un OCU particulier exprimé comme un "frame", en vertu du principe d'homogénéité morphologique, pourrait prendre la forme suivante:

```

(OCU-1   (PRIMAIRE   (règle de transformation No. 1))
         (SECONDAIRE ((OCU-0)
                     ((MOMENT 1)(FRAME-1)(FRAME-2))))
         (TERTIAIRE  ((Pri. FRAME-2 = Sec. FRAME-1)
                     (Pri. FRAME-1 = Sec. FRAME-2)
                     (Eliminer tertiaire correspondant
                      à FRAME-2 dans FRAME-1)))
         (QUATERNAIRE ((NIL))))

```

L'OCU est un état de traitement qui correspond dans le cas présent au MOMENT 1 de l'exemple où une procédure (en l'occurrence la règle de transformation No.1) s'applique sur un objet (en l'occurrence FRAME-1 et FRAME-2) avec une prédiction (les transformations qui seront effectuées sur FRAME-1 et FRAME-2) qui correspond à l'application de la caractérisation primaire. Dans le cas considéré la caractérisation quaternaire n'existe pas, mais cela ne signifie pas qu'elle ne puisse pas exister. Il serait ainsi possible de décrire en termes de "frames" toutes les procédures du système, autant celles qui ont déjà été introduites que celles qui vont l'être. L'OCU est donc un "frame" qui décrit un état de traitement du système: toute l'activité qui s'y passe en un seul moment.

Ce concept peut être considéré comme tributaire de celui de l'Objet Visuel Unique dérivé des travaux de Lamontagne (1975) qui, dans le cadre de l'élaboration d'un modèle computationnel de la perception visuelle du mouvement, fut contraint pour des raisons computationnelles de proposer son hypothèse de l'Objet Visuel Unique ("Single Visual Object Scheme (SVOS)").¹²

Ce modèle computationnel de la perception du mouvement est inscrit dans une ligne de pensée gestaltiste où l'activité d'un système perceptuel, en l'occurrence le système visuel, consiste en une procédure computationnelle de groupement à partir d'entités élémentaires ("atomic visual entities" ou "a.v.e."), l'information au niveau des récepteurs rétiniens, jusqu'au percept. Dans cette optique, la question centrale par rapport à la perception du mouvement concerne le niveau de groupement qu'il faudra atteindre avant que le mouvement puisse être détecté. C'est en réponse à cette question que fut proposée l'hypothèse de l'Objet Visuel Unique qui dit essentiellement:

"the system will group a.v.e.'s right up to the level of a SINGLE global visual entity, or VISUAL OBJECT, before motion (for "final representation purposes") is computed, this visual object embracing either many physical objects in the observed scene, or only one, or only a part of one..."

(Lamontagne & Howe 1980, p.110)

Sa caractéristique principale, qui est de mettre l'accent sur l'unicité, est de permettre une gestion computationnelle beaucoup plus efficace puisqu'il n'y aura toujours qu'un seul objet à gérer, peu importe

¹² Sans présenter en détail le SVOS de Lamontagne (Lamontagne 1975), car il faudrait pour cela développer le modèle computationnel sous-jacent dans des limites qui débordent la présente problématique, nous nous efforcerons, dans la mesure du possible, d'y référer afin de faire ressortir la filiation conceptuelle qui existe entre le SVOS et l'OCU.

som ampleur. Ce gain de puissance computationnelle réside dans l'idée même de l'unicité (avoir à gérer un objet plutôt que plusieurs), un peu dans le même sens que dans le cas de l'homogénéité morphologique qui permettait elle aussi une réduction du travail computationnel.

Une des caractéristiques principales du SVOS est décrite dans les termes suivants:

"The main characteristic of the SVOS... is the fact that it imposes no necessary correspondence between visual object and physical object. This means that, at any given moment, the (single) visual object might consist either of the projection of MANY physical objects, or of the projection of A PART of one physical object, or of the projection of one whole single physical object." (ibid., p. 111)

Ce qui s'applique aussi à l'OCU tel qu'il vient d'être mentionné ci-haut. En effet, l'OCU "création" que l'on pourrait par exemple définir comme l'appel de la procédure "frame" (constitution d'un "frame" par définition d'une caractérisation primaire en l'associant à la valeur "percept") pour un ensemble de 10 cases, résulterait à ce moment du traitement à la création de 10 "frames" différents. L'OCU "création" pourrait aussi être défini, comme ce fut le cas tout au long des exemples dans ce chapitre, par l'appel de la procédure définissant UNE primaire (par association avec la valeur "percept") et SIX tertiaires (par prédiction des contenus selon la primaire) pour UN seul "frame" (par exemple FRAME-1), donc une seule case etc.

L'OCU, tout comme le SVOS, présente donc l'avantage d'être relativement simple quant à sa définition et en même temps très souple quant à ses possibilités d'application. Le fait qu'à un moment particulier un seul objet formellement spécifié puisse être traité simplifie d'autant le travail computationnel. C'est donc sur les critères de sélection des

divers OCUs possibles, aux divers moments de traitement, pour choisir l'OCU qui maximisera le travail computationnel qu'il faut se pencher.

Il y a deux façons de s'adresser à cette question. Celles-ci concernent l'évolution de l'Objet Computationnel dans ses relations avec les univers sémantiques, c'est à dire soit *intra-univers* (c'est le cas du *groupement* où différents objets peuvent être sélectionnés et traités au sein du même univers), ou *inter-univers* (c'est le cas de la *transposition*, où l'OCU peut passer d'un univers sémantique à un autre).

La sous section 3.1.2 couvre le cas du groupement, et la sous-section 3.2.2 reprendra quant à elle la discussion sur le cas de la transposition.

3.2.1 Le cas du groupement

L'OCU évolue toujours au sein d'un univers sémantique dit "conceptuel". C'est ce qui définit l'univers conceptuel et c'est d'ailleurs par rapport à lui que se définissent les divers paliers sémantiques. Peu importe où se situe l'OCU, on dira qu'il se trouve dans l'univers conceptuel, qu'il est englobé par un univers de référence, et englobant par rapport à un univers actualisable. L'OCU évolue en fonction des procédures déjà introduites: création de "frames", transformation de ceux-ci etc... Mais il faut présenter ici de nouvelles procédures qui vont lui permettre, toujours en évoluant uniquement dans l'univers conceptuel, de ~~se dilater~~, c'est à dire de *regrouper* plusieurs "frames" pour en faire un seul "frame" (donc un seul objet sur lequel portera la procédure sélectionnée), ou de se *contracter*, c'est à dire de fractionner ou de *dégrouper* un "frame" en plusieurs "frames", son activité portant alors sur *une seule* des entités dégroupées.¹³

Pourquoi grouper? Pour tenter, en accédant à un niveau plus global (par exemple, cinq ou six cases de la carte géographique) d'extraire des caractérisations qui ne seraient pas apparentes, ni même disponibles, à un niveau plus local: la rive gauche du MeKong est un élément géographique impossible à caractériser si on reste au niveau des cases individuelles, tout comme la région agricole de la province de Chuong Thien, ou l'autoroute 4. Pour cela, il faudra que l'organisme fasse porter sa démarche de connaissance sur des "objets", des surfaces géographiques,

¹³ Depuis le début de ce chapitre, tous les OCU ont toujours été présentés dans un état maximal de contraction (un seul "frame" et une seule procédure).

plus vastes. Une fois ces nouveaux objets créés dans l'univers conceptuel, il faut, pour des raisons d'efficacité et de cohérence, permettre que ces nouveaux objets puissent être, *transposés* au niveau de l'univers de référence. L'organisme disposera ainsi d'une possibilité de modifier globalement tout son bassin de connaissances. Le groupement devient alors un processus d'extraction d'éléments de connaissance nouveaux ayant un impact potentiel sur le réseau sémantique de l'univers de référence.

Pour des raisons d'économie, afin de conserver le nombre de procédures au strict minimum nous proposons d'adopter pour la question du groupement les mêmes procédures que celles mises en place jusqu'ici. C'est dire que les "frames" groupés seront construits selon les mêmes types de caractérisation (primaire, secondaire, tertiaire et quaternaire), et que la démarche générale de caractérisation sera la même.

Règle générale, l'organisme devrait tenter de grouper le plus souvent possible en fonction des connaissances nouvelles qui s'ajoutent dans son réseau symbolique. C'est donc dire qu'une nouvelle étape, celle du groupement, doit s'insérer dans la séquence procédurale de connaissance de l'organisme juste avant d'amorcer un déplacement vers une nouvelle case. La démarche procédurale générale devient donc: a) création d'un nouveau "frame"; b) transformation du réseau suite à l'apport de ces nouvelles informations; c) tentative de *groupement*; d) déplacement vers d'autres cases.

L'étape du groupement est en soi une application récursive des procédures déjà définies, puisqu'il a été convenu pour des raisons d'économie computationnelle d'exploiter à son maximum le système déjà constitué avant d'y ajouter de nouveaux éléments, mais qui s'exerce cette fois sur

un ensemble de "frames" plutôt que sur un seul.

Le groupement va s'effectuer sur les contenus symboliques de la caractérisation primaire, c'est à dire celle dont le statut de certitude est le plus élevé. Pour grouper, les symboles de plusieurs caractérisations primaires seront utilisés, ce qui pose la question de la sélection de ceux qui sont propices au groupement. Il y en a deux types: le groupement peut se faire sur la base d'une identité de symboles, ou encore d'une différence de symboles. Le groupement, effectué sur la base d'une identité symbolique va conduire à des caractérisations intéressantes du type "superficie d'une étendue d'eau (est-ce une mare, un lac ou un océan?) ou d'une zone agricole, ou bien d'une plaine". Les groupements faits sur la base d'une similitude symbolique vont générer des nouveaux éléments de connaissances, des nouveaux "frames" au sein du réseau conceptuel en permettant une meilleure représentation des éléments de la carte géographique, et ils auront potentiellement un impact sur l'univers de référence.

Les groupements réalisés sur la base d'une différence symbolique ouvrent la voie à des caractérisations tout à fait nouvelles qui vont à la fois avoir un impact sur la qualité descriptive du réseau conceptuel, mais aussi sur le réseau de référence. Du fait de la diversité des symboles et donc d'une capacité d'interaction beaucoup plus grande que dans le cas de la similitude, il y a lieu de croire que ce type de groupement peut donner lieu à un plus grand nombre de caractérisations nouvelles. Ce faisant son impact au niveau de l'univers de référence pourrait également être plus élevé. Tout comme la caractérisation quaternaire, elle aussi formée d'une diversité symbolique, était porteuse d'une richesse

potentielle plus grande, le groupement en diversité semble lui aussi porteur d'une plus grande richesse. Cet élément fait qu'un critère de performance par rapport au groupement sera de forcer, en premier lieu, la tentative de grouper des symboles différents avant de tenter de grouper des symboles semblables. L'exemple suivant illustre une façon dont le groupement peut générer de nouveaux objets, et de juger de leur impact. Supposons un univers de référence composé de deux "frames" ceux d'EAU et de TERRE ainsi constitués:

(EAU	(PRIMAIRE	(composition chimique: H ₂ O))
	(SECONDAIRE	(solide à 0° C. et moins)
		(liquide entre 0° C. et 100° C.)
		(gazeux au dessus de 100° C.))
	(TERTIAIRE	(nil))
	(QUATERNAIRE	(nil))
(TERRE	(PRIMAIRE	(élément solide))
	(SECONDAIRE	(recouvert de verdure)
		(propice à la culture))
	(TERTIAIRE	(nil))
	(QUATERNAIRE	(nil))

A partir de la figure 7, qui représente une rivière serpentant dans une plaine (donc deux symboles "terre" et "eau"), analysons ce qui peut survenir.

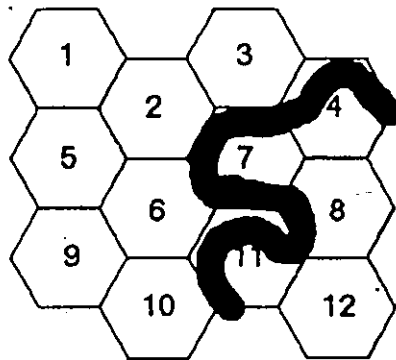


Figure 7: le mini-univers est caractérisé en fait uniquement par de la "terre" traversée par une rivière (la ligne grasse qui y serpente du nord au sud).

L'organisme est situé dans la case 2.

D'abord, création d'un "frame".

```
(FRAME-1 (PRIMAIRE (case2 terre))
          (SECONDAIRE (nil))
          (TERTIAIRE (case1 terre)
                    (case3 terre)
                    (case7 terre)
                    (case6 terre)
                    (case5 terre)
          (QUATERNAIRE (nil)))
```

Puis déplacement vers la case 7, donc création du "frame" correspondant à cette case:

```
(FRAME-2 (PRIMAIRE (case7 eau))
          (SECONDAIRE (case2 FRAME-1))
          (TERTIAIRE (case4 eau)
                    (case8 eau)
                    (case11 eau))
          (QUATERNAIRE (case3 ((terre)(eau)))
                       (case6 ((terre)(eau))))
```

et transformation subséquente de FRAME-1, qui devient:

```
(FRAME-1 (PRIMAIRE (case2 terre))
          (SECONDAIRE (case7 FRAME-2))
          (TERTIAIRE (case1 terre)
                    (case5 terre)
          (QUATERNAIRE (case3 ((terre)(eau)))
                       (case6 ((terre)(eau))))
```

Puisque deux "frames" existent maintenant dans le réseau conceptuel, et que ces deux "frames" ont des symboles différents comme contenu de leur caractérisation primaire, il est possible d'essayer de grouper.

(GROUPE-1 (PRIMAIRE (Cases2-7 (terre-eau))))

Un nouveau symbole résultant du groupement émerge comme caractérisation primaire du "frame" groupé: c'est l'union symbolique "terre-eau" et il devient possible d'en souligner l'unicité en lui apposant une nouvelle étiquette par exemple "RIVE". Mais, puisque ce nouveau symbole va pouvoir dorénavant constituer la caractérisation primaire d'un "frame" pour toute case qui contiendra simultanément les symboles "terre" et "eau", et puisque fut posée comme prémisse la dérivation à partir de l'univers de référence du sens de la caractérisation primaire, alors il est possible de généraliser la règle de transformation No. 1 pour laquelle s'applique maintenant non plus sur des cases adjacentes dans l'univers conceptuel, mais entre les univers sémantiques relationnels, en l'occurrence l'univers conceptuel et son univers de référence.

Transformation en groupement: à chaque groupement de l'organisme, la caractérisation primaire du "frame" groupé va s'inscrire comme caractérisation primaire d'un nouveau "frame" dans l'univers de référence, celui-ci héritant des caractérisations respectives des "frames" de l'univers de référence qui le composent, et inversement le "frame" groupé recevra ses caractérisations du nouveau "frame" de l'univers de référence.

Suite à ce premier groupement, l'univers de référence compterait sur un nouveau "frame", le "frame" RIVE ainsi constitué:

(RIVE (PRIMAIRE (espace formé de terre et d'eau))
(SECONDAIRE (("frame" terre)("frame" eau)))

où la primaire décrit le nouveau symbole en question en lui inférant les propriétés correspondant aux deux symboles. Ceux-ci sont identifiés

par la secondaire qui joue encore ici le rôle de pointeur dans le sens qu'elle indique les deux "frames" de l'univers conceptuel qui sont en relation avec le nouveau "frame" "RIVE".

L'inclusion de ce nouveau symbole dans l'univers de référence aura des répercussions ultérieurement. En effet, lorsque l'organisme entrera dans une case où ces deux symboles sont présents, alors il définira le "frame" correspondant à cette case en utilisant le symbole "rive". De même il sera possible de grouper sur le symbole "rive" ce qui amènerait à d'autres caractérisations pouvant permettre de définir d'autres symboles dans l'univers de référence et ainsi de suite...

Ce mouvement et ces possibilités d'interaction entre les univers augmentent d'autant le rendement de l'organisme comme le montre l'exemple. En effet, grâce au groupement, après un seul déplacement l'organisme a déjà à sa disposition trois "frames" (deux "frames" simples et un "frame groupé") et il a de plus ajouté un nouveau symbole dans l'univers de référence ce qui permettra des caractérisations supplémentaires subséquentes dans l'univers conceptuel.

Pour ce faire, il a cependant fallu que l'OCU se déplace vers l'univers de référence pour pouvoir y inclure un nouveau "frame". Nous venons donc de démontrer comment il est possible de sélectionner et d'isoler pour fin de traitement différentes portions de l'univers conceptuel: ce sont les mouvements de *dilatation* et de *contraction* de l'OCU mis en jeu lors du groupement. Mais de plus, le mécanisme du groupement permet des mouvements supplémentaires de l'OCU par le passage de celui-ci d'un univers à un autre.

Ce mouvement est en quelque sorte le second type de mouvement de l'

OCU, le cas de la *transposition* qui permet à l'objet computationnel de passer d'un niveau de globalité à un autre, c'est à dire d'un univers sémantique à un autre. Ce mouvement de transposition est possible dans deux dimensions de globalité: soit vers un univers de référence (accroissement de la globalité), soit vers un univers actualisable (réduction de la globalité).

La sous-section suivante présente le cas de la transposition.

3.2.2 Le cas de la transposition

Le concept *des univers relationnels* apporte un élément de réponse additionnel quant à la façon de concevoir le système. La légende de la carte géographique, l'univers de référence pour l'exemple considéré, constitue un "stimulus environnement" en soi, c'est à dire un univers symbolique pouvant faire l'objet de traitement par le système procédural qui le décrirait alors en termes de "frames" comme l'exemple précédent l'a illustré. De plus, tout comme il est possible d'extraire une signification de l'univers de référence pour définir une caractérisation primaire de l'univers conceptuel (la carte géographique) il est aussi possible de diriger l'action du système de connaissance vers l'univers de référence qui deviendrait alors un univers conceptuel lui aussi constitué en termes de "frames". A l'inverse, il est possible de focaliser sur un élément particulier d'une case, par exemple la route qui est un élément constituant de la caractérisation primaire de FRAME-1, pour en faire un "frame" en tant que tel, réalisant de cette façon un transfert de l'OCU de l'univers conceptuel vers un autre univers, nommé *univers actualisable*, pour lequel l'ancien univers conceptuel fait figure d'univers de référence. Il est donc possible soit de "globaliser" l'OCU en le transposant dans l'univers de référence, ou soit de le "focaliser" davantage en le transposant dans l'univers actualisable: ce sont les mouvements de *transposition* de l'OCU. C'est donc en fonction de la "strate" de l'univers symbolique où se situe l'objet cognitif unique que se définit l'univers dit conceptuel. Mais peu importe la nature symbolique de cet univers conceptuel, il sera toujours d'un côté englobé par un uni-

vers de référence, et de l'autre englobant par rapport à un univers actualisable. La figure 8 illustre les relations sémantiques entre ces différents concepts.

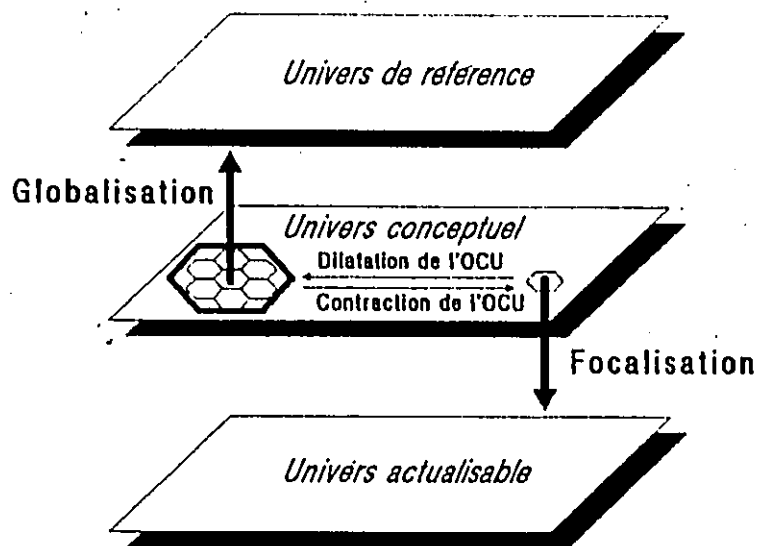


Figure 8: elle illustre les relations entre les différents univers sémantiques relationnels de même que les possibilités de mouvement de l'OCU selon les mécanismes impliqués.

En résumé il est possible pour l'OCU soit de se dilater ou de se contracter, tout en demeurant dans un même univers symbolique (l'univers conceptuel), ou encore de se globaliser par transposition dans l'univers de référence ou de se focaliser par transposition dans un univers actualisable.

Ces divers mouvements de l'OCU vont être gérés computationnellement grâce au recours aux caractérisations des "frames". La gestion de ces

mouvements, en ce qu'elle décide de la nature du contenu cognitif par la sélection d'un OCU particulier, représente l'équivalent d'une mécanique attentionnelle. D'ailleurs, il a déjà été mentionné que les caractérisations secondaires sont l'équivalent de pointeurs attentionnels dans le sens qu'ils peuvent faciliter la recherche d'un parcours optimal lors du traitement de l'information dans le modèle. Mais ces pointeurs ne s'appliquent que pour les situations de dilatation ou de contraction de l'OCU. Quels seraient les équivalents fonctionnels des caractérisations secondaires pour les processus de globalisation ou de focalisation?

Dans les deux cas la caractérisation impliquée est la caractérisation primaire puisque ces mouvements s'articulent sur des symboles en tant que tels plutôt que sur les répartitions de ces symboles au sein d'un espace, comme c'est le cas par exemple lors de l'élaboration de la carte géographique où il suffisait de disposer les symboles en identifiant leurs voisins par le biais des caractérisations secondaires. Puisque le phénomène de focalisation ("zoom-in")¹⁴ se fera nécessairement à partir d'un "frame" de l'univers conceptuel, et puisque celui-ci se définit essentiellement par sa caractérisation primaire, c'est donc du côté de ces contenus symboliques qu'il faudra s'attarder. En d'autres termes, cela signifie que le FRAME-X de l'univers conceptuel (par exemple celui décrivant Saïgon) deviendrait un univers de référence pour l'univers actualisable "Saïgon". Lors de son élaboration, pour constituer par exemple une carte géographique de la ville de Saïgon, il faut

¹⁴ Il doit être clair que si deux types de "zoom-in" existent (le mouvement de contraction de l'OCU au sein de l'univers conceptuel et le mouvement de focalisation inter-univers) seul ce dernier est concerné par la discussion relative à l'utilisation de la caractérisation primaire en tant que pointeur attentionnel.

drait recourir à l'univers du FRAME-X afin d'y puiser ainsi les caractérisations nécessaires.

Dans le cas de la globalisation de l'OCU, ce sont les symboles spécifiques de la caractérisation primaire de "frames" issus des processus de groupement qui constituent le ou les pointeurs attentionnels. C'est en quelque sorte le cas inverse de l'exemple précédent où le symbole utilisé dans la primaire pointe en fait vers un bassin sémantique, l'univers de référence, où il prend son sens.

CRITERE No.1: un maximum d'information découle du rejet d'une caractérisation quaternaire (parce qu'elle résout le statut problématique de celle-ci avec comme conséquence le rejet de caractérisations tertiaires instables et leurs transformations en secondaires);

CRITERE No.2: une stratégie axée sur une tentative de résolution du statut problématique des caractérisations instables maximise la démarche de connaissance (parce qu'elle permet le rejet d'une prédiction, sa transformation en secondaire, mais sans qu'il ait fallu se déplacer vers toutes ces cases) et enfin;

CRITERE No.3: le traitement de l'information aurait avantage à se canaliser en fonction des caractérisations secondaires en dernier recours, c'est à dire lorsque placé dans l'impossibilité d'utiliser les critères 1 ou 2 (parce qu'elles sont les pointeurs attentionnels permettant de relier entre eux les différents symboles).

De plus, en vertu des possibilités de groupement, il faut ajouter un autre critère d'efficacité pour la sélection de l'OCU, et il devient le plus important parce qu'il faudra l'appliquer de façon prioritaire:

CRITERE NO. 0: l'organisme devrait tenter de grouper a) sur une différence symbolique et b) sur une similitude symbolique avant d'essayer d'appliquer les CRITERES No. 1, 2 ou 3.

Une organisation méta-procédurale peut s'instaurer sur la base des quatre critères qui viennent d'être présentés. Son rôle sera de gérer l'évolution dynamique de l'OCU lors de la simulation du modèle sur ordinateur. C'est en quelque sorte le diagramme logique de la simulation, mais elle représente aussi l'optimisation fonctionnelle de la dynamique d'action spécifique du modèle computationnel. C'est la stratégie cognitive particulière qui sera sélectionnée et qui orientera le traitement cognitif spécifique pour la résolution d'un problème particulier de connaissance. La spécification de celle-ci est tributaire de la spécification computationnelle des procédures de groupement. A ce stade-ci de la recherche, ne disposant pas des heuristiques computationnels de groupement tel que mentionné ci-haut, il est donc impossible de présenter une simulation informatisée complète du modèle computationnel. Seuls les éléments formant le langage qui a été mis au point pour parler de l'attente cognitive (présenté dans la section 3.1) ont fait objet d'une simulation sur ordinateur.

Dans l'état actuel du modèle computationnel, il ne peut pas y avoir de stratégie globale identique pour tout type de problème cognitif; celle-ci devra plutôt faire objet de réflexion selon la tâche à laquelle on désire qu'il s'adresse. Mais nous disposons maintenant d'une conjecture par rapport à notre problème de départ.

Cette conjecture repose en partie sur un heuristique de description de la représentation de la connaissance: c'est le "frame" en tant qu'objet cognitif avec ses quatre types de caractérisations. C'est par le recours à une telle structure, à ce langage formel particulier, qu'il a été possible d'organiser la réflexion sur le problème des attentes co-

gnitives dans les processus de connaissance en les plaçant au coeur même de la représentation cognitive.

Disposant maintenant d'un modèle théorique computationnel des attentes cognitives, il est possible de transférer la problématique au niveau du discours psychologique pour comparer les propositions théoriques computationnelles aux propositions théoriques offertes par la psychologie quant aux attentes cognitives. Cette psychologisation de la conjecture se fera par une discussion approfondie des théories de Tolman sur l'apprentissage animal et de Leon Festinger sur la dissonance cognitive.

Après avoir tiré ces parallèles entre les deux univers, des hypothèses spécifiques seront présentées, de même qu'une expérience susceptible de les réfuter, ce qui est dans la continuité logique de ce que la vision popperienne impose comme contrainte à l'effort scientifique de nature théorique.

4 IMPLICATIONS PSYCHOLOGIQUES

4.0 Introduction

Le modèle computationnel présenté au chapitre précédent est le fondement sur lequel s'érige la réflexion sur les attentes cognitives. A ce point, il a émergé d'un discours formel sur les contraintes computationnelles découlant d'une tentative de conception d'un modèle d'un processus de connaissance, et il est devenu l'élément de solution du problème computationnel impliqué par ce processus de connaissance.

Dans ce contexte l'attente a été définie formellement comme *l'élément structural d'une représentation*, dont la nature est essentiellement prédite sur la base des expériences précédentes, qui a pour rôle de maximiser la démarche de connaissance qu'implique la genèse de représentations. Tout en étant en harmonie avec les contraintes computationnelles dont elle origine, cette conception de l'attente computationnelle est en plus conforme aux principes épistémologiques, présentés au chapitre 2, où la dynamique popperienne de conjecture et réfutation fut proposée comme recours logique pour maximiser la démarche de la connaissance dite scientifique.

Ce souci de conformité aux principes épistémologiques a concentré l'effort de recherche vers la mise au point de ce contexte théorique, computationnellement formalisé et épistémologiquement contraint. S'appuyant sur le modèle computationnel, il faut maintenant s'interroger sur la direction que doit prendre le présent travail. Le point de départ, c'est la conjecture sur les attentes cognitives dont le modèle computa-

tionnel représente la particularisation la plus achevée. Or, si l'effort principal du présent travail a porté surtout sur la mise au point de cette conjecture, le transfert de la question au plan psychologique a toujours été, et demeure, le but ultime de l'effort de la présente recherche.

Ce transfert au plan psychologique est précisément l'objet de ce chapitre mais, puisque pour l'instant nous ne disposons pas d'une expression conjecturale de nature psychologique aussi poussée que celle de nature computationnelle (le modèle), ce transfert sera effectué d'abord par le biais d'une mise en relation entre d'un côté les concepts computationnels et de l'autre ceux qui ont été proposés par la psychologie.

Cette mise en relation entre les deux univers (computationnel et psychologique) est rendue possible par le biais du problème auquel le modèle computationnel s'adresse: celui des attentes cognitives. Pour ce faire, les caractéristiques des attentes computationnelles selon le modèle, c'est à dire les attentes comme structures de la représentation (caractérisation tertiaire et quaternaire) et comme déterminants de la démarche cognitive, seront contrastées avec les divers concepts psychologiques dans le but d'en psychologiser leur contenu, ce qui aura des répercussions sur des concepts tels l'Objet Computationnel Unique et les univers sémantiques relationnels. Alors, il sera possible d'analyser de quelles façons le modèle computationnel proposé répond à des lacunes ou des interrogations provenant du domaine psychologique, de plus, de cette confrontation, surgira l'ébauche d'un *test critique* susceptible de réfuter la conjecture computationnelle.

Essentiellement les attentes seront discutées dans le contexte de

théories psychologiques sur l'apprentissage et la motivation. Plus particulièrement, ce sont les conceptions de Edward C. Tolman et Léon Festinger qui serviront de pivots¹⁵ autour desquels s'articulera l'analyse de la question des attentes cognitives en psychologie.

¹⁵ Ce qui ne signifie pas qu'ils soient les seuls psychologues qui ont traité l'attente cognitive mais plutôt que dans le développement historique du problème ils n'en demeurent pas moins deux figures dominantes.

4.1 Edward C. Tolman

Le discours de la psychologie sur les attentes cognitives se retrouve en grande partie dans l'effort de recherche sur le problème de l'apprentissage¹⁶. Il origine, historiquement, d'une réflexion cherchant à spécifier la nature des déterminants du comportement animal en fonction de leur origine à savoir: interne, ce qui inclut les attentes, ou externe, les stimuli de l'environnement. En considérant globalement ce corpus scientifique, il est clair que pour des raisons épistémologiques la contribution du behaviorisme radical n'a que peu de choses à offrir pour alimenter une réflexion théorique sur les attentes cognitives car le choix épistémologique behavioriste exclut de façon intrinsèque toute référence à des mécanismes cognitifs intérieurs, préférant axer sa problématique sur l'investigation des déterminants comportementaux externes.

Cependant, Edward C. Tolman, malgré le fait que le système qu'il a proposé soit essentiellement behaviorale, et que lui-même se proclamait d'allégeance behavioriste, fut un des premiers chercheurs à introduire le concept d'attente cognitive en psychologie (Tolman, 1932). Sa théorie de l'apprentissage, connue sous le vocable "Tolman's Expectancy Theory", met l'accent sur l'aspect cognitif dans la détermination du comportement. Ceci la démarque nettement des théories behaviorales traditionnelles du type Stimulus-Réponse (S-R), par exemple Thorndike, Hull & Spence ou Skinner, où le postulat de base veut que l'organisme ne possède aucu-

¹⁶ Nous entendons le terme apprentissage dans son sens le plus large, et non pas dans la signification relativement restreinte à laquelle le behaviorisme nous a habitué. Nous voyons l'apprentissage comme un processus général d'acquisition de connaissance recoupant aussi bien la problématique "S-R" que celle de la motivation ou des attitudes. C'est le sens d'un domaine de recherche inscrit dans le courant "cognitivist" qu'il faut donc lui attribuer ici.

ne représentation d'un but au moment de la sélection d'une réponse, les conditions de renforcement n'étant-aucunement présentes dans la connaissance que le sujet a de la situation, mais étant plutôt reflétées dans la force relative des différents liens Stimulus-Réponse.

Tout en adhérant à une description du comportement axée sur le schéma S-R, la solution proposée par le système de Tolman retient l'intentionnalité du comportement comme une de ses constituantes caractéristiques dans le sens que tout comportement émis par un organisme l'est en fonction d'un but, d'une visée quelconque ("goal"). Pour Tolman, l'organisme utilise, dans sa réponse à un stimulus environnemental, sa connaissance préalable des relations *stimulus-réponse-conséquence*, déjà expérimentées, dans le but d'atteindre la satisfaction des besoins actuels ("needs").

Ces ensembles remémorés de connaissances (relations stimulus-réponse-conséquences) sont des attentes cognitives ("expectancies"). De plus, comme, selon Tolman, elles sont utilisées par l'organisme dans le choix d'une réponse à un stimulus elles se conforment ainsi au rôle d'orientation de la démarche de connaissance qui leur est dévolu dans notre modèle computationnel. Le comportement d'un organisme est donc non seulement dirigé vers un but, mais *planifié* à même /les connaissances antérieures de l'organisme en fonction de ce but à atteindre. Pour Tolman, la connaissance de l'environnement joue un rôle central dans la détermination du comportement d'un organisme: elle est utilisée dans le but de planifier des séquences *efficaces* d'action dans l'atteinte d'un but. Il conçoit la connaissance d'un organisme comme s'organisant sous la forme d'une carte cognitive de l'environnement ("cognitive map") plutôt que

comme une simple liste de pairages, locaux à la fois dans le temps et dans l'espace, entre des stimuli et des réponses. Cette organisation particulière de la connaissance, il la caractérise de la façon suivante:

"[The brain] is far more like a map control room than it is like an old-fashioned telephone exchange. The stimuli, which are allowed in, are not connected by just simple one-to-one switches to the outgoing responses. Rather, the incoming impulses are usually worked over and elaborated in the central control room into a *tentative*, cognitivelike map of the environment. And it is this *tentative* map, indicating routes and paths and environmental relationships, which finally determines what responses, *if any*, the animal will finally release."¹⁷

(Tolman, 1948, p.192)

— Ce concept de carte cognitive, Tolman est le premier à l'introduire en psychologie. Depuis, il est constamment utilisé, même si de nos jours on lui préfère celui de *schème* ("schema" ou "schemata") principalement à cause d'une connotation trop spatialisée contenue par l'expression carte cognitive (pour une présentation plus détaillée de ces concepts, voir Neisser, 1976). On attribue généralement à Bartlett (1932) l'introduction du terme "schema" en psychologie, bien que lui-même l'attribue à Head (1920). Quant à Rumelhart (1980), il en fait même remonter l'origine jusqu'à Kant. Globalement, on peut dire que cette idée (carte cognitive et de "schema") est à l'origine de tout le courant de recherche orienté sur la représentation (Minsky, 1975; Schank & Abelson, 1977; Schank & Childers, 1984), que ce soit au niveau des processus mémoriels, comme en témoigne le foisonnement récent des "schema theories" (Ausubel, 1960; Anderson & Bower, 1973; Spiro, 1980a, 1980b; pour une revue exhaustive voir Alba & Hasher, 1983), ou de celui des processus d'orientation (Byrne, 1982; Hintzman, O'Dell & Arndt, 1981; Holyoak & Mah, 1982;

¹⁷ Les italiques ne font pas partie du texte original de Tolman.

Moar & Bower, 1983; Tversky, 1981). En fait, depuis Bartlett et Tolman, c'est l'idée même du schème en tant que structure mentale qui a été reprise comme composante théorique par des chercheurs dans divers domaines. Par exemple on retrouve des propositions axées sur le concept de schèmes même dans des domaines plus près de la neurophysiologie comme la motricité (Schmidt, 1975; 1980).

Notre modèle computationnel se situe lui aussi dans ce courant moderne d'abord parce qu'il repose essentiellement sur la notion de "frames" mais aussi, au niveau plus global de la conception du modèle, parce qu'il se situe dans la ligne de pensée qui a, d'après Neisser (1976), amené la proposition du concept:

"...the view that action is ... guided by expectancies that in turn are altered by consequences. Such a defense would have to begin by citing a great deal of history. A generation ago, the primary dispute between "stimulus-response" and "cognitive" theories of animal learning was about whether behavior was controlled by reinforcement or expectancy." (p. 53)

Or, ce débat c'est justement Tolman qui l'a amorcé par la proposition de sa théorie et du concept de carte cognitive. On peut associer ce concept directement à celui de la mémoire puisque nécessairement lorsqu'on parle de carte cognitive on présuppose que *quelque chose*, un élément quelconque, a été emmagasiné ou intériorisé par l'organisme. Pour Tolman, cet élément c'est une attente ("expectancy") qui est décrite comme la relation associative entre trois éléments. Premièrement, une perception qui est le facteur évocateur de l'attente ("elicitor" ou S_1); deuxièmement, un acte qui doit être posé en réponse à cette perception ("response" ou R_1); et troisièmement, l'élément conçu comme étant le but

("expectandum" ou S_2). Cette association, formalisée sous la forme $S_1-R_1-S_2$ (MacCorquodale & Meehl 1953, 1954)¹⁸, est pour Tolman la définition d'une attente. On pourrait en donner l'exemple suivant: si ce bouton (S_1) est pressé (R_1), alors je m'attends à entendre résonner la sonnette (S_2) de la porte d'entrée.

C'est l'association ($S_1R_1S_2$) entre ces trois éléments distincts qui constitue l'attente. Cette association est apprise. L'attente qui en résulte est évoquée à la vue du stimulus (le bouton de la sonnette), mais elle ne sera *activée* que si " S_2 " est fixé comme but du comportement. Le statut d'existence d'une attente est donc, pour Tolman, complètement indépendant de son état d'activation dans le sens qu'elle existe en dehors du comportement actualisé. Le stimulus est une chose, la réponse une autre. Mais le *choix* d'une réponse spécifique à un stimulus spécifique se fait en fonction de l'attente, anticipation d'un but.

Le concept de carte cognitive est en quelque sorte un précurseur du concept d'univers conceptuel car ils ont plusieurs points en commun. D'abord, leur origine: ces deux formes d'organisation cognitive émergent toutes deux d'actes perceptuels ("incoming impulses") qui vont ultérieurement s'organiser en une représentation construite de l'environnement. Il est en effet clair dans les écrits de Tolman ("the incoming impulses are *worked over* and *elaborated*... into a tentative, cognitive-like map...") que ce n'est pas le percept en soi qui est l'élément constitutif de la carte cognitive mais plutôt un élément pré-conceptuel construit à partir du percept par un traitement quelconque, ce qui est

¹⁸ La notation $S_1-R_1-S_2$ est utilisée pour représenter la séquence comportementale; l'attente ("expectancy") sera représentée par la notation suivante ($S_1R_1S_2$) selon les conventions utilisées par MacCorquodale & Meehl (1953, 1954)

le cas également de notre univers conceptuel bien que le traitement postulé par Tolman soit dans notre cas spécifié par une procédure d'inférence de signification d'un niveau supérieur (l'univers de référence).

Il existe certaines similitudes entre les conceptions de Tolman (le concept de carte cognitive) et celle des univers sémantiques relationnels, mais l'absence de spécifications des procédures que Tolman postule, de même que l'absence de spécifications des structures générées par celles-ci, rendent difficile la comparaison. Résolument cognitiviste, le modèle computationnel met davantage l'accent sur les constructions cognitives comme point de départ à l'ébauche d'une théorie des attentes cognitives. Résolument behavioriste, Tolman met davantage l'accent sur les conditions exogènes (stimuli) et les réponses comportementales de l'organisme, de sorte qu'il va s'attarder surtout à l'investigation des types de relations possibles, entre le stimulus et la réponse, susceptibles de générer des attentes plutôt qu'à une théorisation exhaustive sur leur rôle dans la mise en place de connaissance. En étudiant les déterminants du comportement, il a identifié le problème des attentes. La réponse qu'il y a apporté est essentiellement de nature behaviorale dans le sens qu'il place le déterminant de l'attente (S_1) en dehors de l'organisme, ce faisant il est possible de restreindre la notion d'attente cognitive à celle de l'interprétation du stimulus.

Envisagée de cette façon, l'attente chez Tolman devient un cas particulier du concept d'attente computationnelle proposé dans le cadre de notre modèle computationnel, et ceci provient des choix épistémologiques à partir desquels les deux modèles se sont développés. Tolman a attribué à l'environnement la part prédominante dans la détermination du compor-

tement car le choix épistémologique réaliste qui est sous-jacent à la position behavioriste l'autorise à lui accorder un statut d'objectivité, donc de mesure, de contrôle etc.

A l'opposé, le choix d'une position épistémologique interactionniste légitime la décision d'accorder la priorité à l'organisme dans la détermination du comportement, via ses procédures de prises de décision, puisque dans un tel système la notion même d'environnement, alors donc de celle de stimulus, est davantage un concept relevant de la nature particulière des procédures de prises de décision impliquées que d'un statut réel d'objectivité de l'environnement. Le comportement d'un organisme est alors déterminé par ce qui résulte de l'action de procédures internes de prise de décision, peu importe l'origine, endogène ou exogène, des facteurs précipitants.

Cela ne revient pas à nier la possibilité d'existence de stimuli externes comme déterminants du comportement, mais plutôt à leur attribuer une certaine relativité (l'analyse et la qualification que l'organisme en fera). Cette procédure d'attribution qualitative du stimulus rejoint Tolman dans sa conception de l'attente cognitive où un stimulus ("elicitor") est mis en relation avec un but *anticipé* (l'"expectandum"), mais s'en éloigne parce que chez Tolman la définition d'un stimulus se restreint à celle d'une propriété de l'environnement, ce qui exclut automatiquement tout élément intérieur.

Donc se trouve également exclue la possibilité d'associations où une attente ($S_1 R_1 S_2$) peut devenir le stimulus (S'_1) pour une nouvelle attente ($S'_1 R'_1 S'_2$), et ainsi de suite.

Par le fait même, disparaît également la possibilité d'instauration

d'univers sémantiques de référence hiérarchisés, c'est à dire de niveaux de signification desquels puiser les informations nécessaires pour constituer des facteurs internes déclencheurs potentiels du comportement, car la carte cognitive s'auto-suffit sémantiquement: les relations sémantiques étant toujours puisées à même le milieu plutôt que d'univers de signification intérieurs.

Mais revenons maintenant au modèle computationnel pour pousser davantage les comparaisons possibles entre l'attente computationnelle et l'"expectancy" de Tolman ($S_1 R_1 S_2$). Puisqu'il a été argumenté que celle-ci est un cas particulier de celle-là, nous tenterons, en un premier temps, d'utiliser la formulation de MacCorquodale & Meehl (1953, 1954) des attentes chez Tolman pour décrire l'attente computationnelle. En un second temps, l'analyse se poursuivra par la discussion de certains postulats de Tolman relatifs aux attentes ("expectancies") tels la *généralisation du stimulus*, l'*inférence* et l'*inférence généralisée* en vue de leur trouver des correspondances dans les concepts dérivés de notre univers computationnel.

4.1.1 "Expectancies" et attentes computationnelles

Parmi les termes de la triade (S_1 , R_1 et S_2) introduite par Tolman, c'est surtout la nature du déclencheur (S_1) qui a fait jusqu'ici objet d'analyse. On retrouve dans les deux modèles un élément causal externe: le stimulus pour Tolman et, pour le modèle computationnel, une liste alpha-numérique d'éléments dérivés de la matrice univers, liste associée au symbole percept. Cependant, dans le cas du modèle computationnel, l'apparition du percept provoque la mise en action d'une procédure dont le résultat sera la création d'un objet cognitif (un "frame") en vertu d'un processus de dérivation de signification (caractérisation primaire) d'un univers représentationnel interne (univers de référence).

Or, comme cette caractérisation est aussi une représentation, il n'y a aucune objection logique à ce qu'elle puisse posséder des caractérisations tertiaires ou quaternaires qui ont déjà été définies comme celles constituant les attentes. Donc le percept, élément déclenchant, se distingue du stimulus en ce qu'il peut lui-même se constituer d'attentes, d'associations apprises du type *stimulus-réponse-anticipation d'une conséquence* au sens où l'entend Tolman, ce qui ne saurait être le cas pour le stimulus tel que conçu dans le système de Tolman.

Pour qu'il y ait adéquation parfaite entre la notion de stimulus et celle de percept il faudrait que ce dernier n'ait été caractérisé qu'à sa plus simple expression, c'est à dire uniquement par une caractérisation primaire. Ce que Tolman entend par stimulus est donc un cas particulier de ce que le modèle computationnel recouvre sous le vocable percept.

Mais quelle que soit la nature particulière du stimulus ou du percept, ils ont tous deux en commun la propriété de provoquer une réaction de l'organisme. C'est ce que Tolman identifie comme la réponse (R_1). Mais qu'est ce que la réponse si on se réfère au modèle computationnel? Si la réponse pour Tolman est ce qui survient chez l'organisme après l'apparition du stimulus, alors on peut dire que la réponse pour le modèle computationnel sera ce qui arrive après la qualification du percept (le processus de création d'un "frame" dans l'univers conceptuel), c'est à dire la série de transformations qui survient selon la nature du nouveau "frame" en fonction à la fois de l'état du système (le réseau sémantique de l'univers conceptuel) et des réfutations des caractérisations tertiaires ou quaternaires susceptibles d'être provoquées.

Bien que chez Tolman la réponse ait davantage une connotation de geste moteur, il n'y a aucun inconvénient majeur à élargir la portée du concept à toute action de l'organisme, quelle que soit sa nature, en autant qu'elle maintienne son statut réactionnel conditionné par l'apparition d'un déclencheur. Par exemple, pour l'organisme simulé du chapitre précédent, on retrouvera dans cette catégorie toutes les règles de transformation de même que la règle de prédiction et de déplacement, car chacune de celles-ci peut être interprétée comme une réponse car elles s'exercent toujours en réaction à l'entrée d'un nouveau "frame".

Quant au troisième terme de la triade, l'"expectandum" (S_2), Tolman le décrit comme quelque chose qui est perçu comme le but de l'"expectancy". C'est en quelque sorte sa raison d'être, le pourquoi de l'attente. C'est l'atteinte éventuelle de ce but qui sera le facteur motivationnel du comportement. Cet expectandum, il n'a pas vraiment de place dans le

cas du modèle computationnel si on se réfère à l'organisme simulé par exemple. En effet, l'aspect motivationnel ("goal seeking") était relativement absent lors de la présentation du modèle et ce, du fait de la tâche visée. La simulation de l'organisme en déplacement dans un univers géographique visait davantage à faire ressortir les contraintes computationnelles en vue de maximiser cet effort de mise en place de connaissance. Cependant, si on attribue à l'organisme ce but de maximisation de sa démarche de connaissance alors on constate que l'effort de création des caractérisations tertiaires et quaternaires (les attentes computationnelles) devient en quelque sorte le moyen privilégié par lequel ce but peut être atteint. Or, la procédure de création des caractérisations tertiaires et quaternaires, c'est la règle de prédiction. Donc l'"expectandum", au sens où l'entend Tolman, relève du domaine de la règle de prédiction pour ce qui est du modèle computationnel. L'"expectandum" est relié à celle-ci dans le sens que c'est en fonction de l'"expectandum" que devra s'articuler la *nature* et le *comment* de la prédiction, donc la constitution de caractérisations tertiaires et quaternaires spécifiques.

Nous touchons ici le point majeur de divergence entre l'"expectancy" et l'attente. L'"expectancy" est une *association apprise* et intériorisée entre des éléments environnementaux auxquels on confère un statut de causalité. L'attente computationnelle est une *prédiction* d'éléments potentiellement signifiants basée sur la connaissance antérieure d'un organisme. Alors que l'"expectancy" possède davantage le statut d'un ensemble d'événements mémorisés à partir duquel on peut tirer des éléments signifiants, l'attente computationnelle est davantage une *procédure active* de dérivation de sens, donc de genèse de connaissance, en ceci

qu'elle *produit* du sens. Tout élément de connaissance ("frame") dans un tel système peut être considéré comme une "expectancy" au sens où Tolman l'entend, l'ensemble des "frames" (univers conceptuel) devenant ainsi une carte cognitive particulière. Concevoir, comme le fait Tolman, l'activité d'un organisme uniquement en fonction de comportements orientés ("goal seeking behavior") polarise trop l'explication du comportement. D'où la place au sein du modèle computationnel de l'"expectancy" de Tolman comme un cas particulier d'attente, parce que faisant partie d'une classe restreinte de comportements ("goal seeking"). D'où aussi l'absence de la nécessité absolue d'un but ("expectandum") dans le concept computationnel de l'attente. L'attente est un but en soi à savoir: la genèse d'un contenu conjectural qui viendra assurer la maximisation de la démarche de connaissance.

Mais cette attente computationnelle est *construite* de façon dynamique par le système cognitif par le biais de la règle de prédiction, *et modifiée* selon l'état courant du système en fonction des règles de transformations, ce qui la distingue de l'"expectancy" où le sujet assume un rôle passif par rapport à la mise en place de l'attente, sauf en ce qui a trait à la réponse qui sera élicitée par le stimulus déclencheur. Cette caractéristique de l'attente comme processus dynamique est d'ailleurs relevée dans des recherches sur la mémoire. Ainsi, comme mis en évidence par Spiro (1977, 1980a et 1980b), le processus de reconstruction mémoriel est plus sujet à générer des distortions dans le schéma remémoré si des connaissances additionnelles sont contradictoires par rapport à celui-ci. Dans un tel cas, le schéma encodé contiendra des informations provenant des deux sources d'information, donc contradictoi-

res, ce qui fait que le rappel mémoriel va contenir des informations nouvelles, non présentes dans la situation originale. Ceci signale le fait qu'un processus actif a joué pour générer ces informations: c'est le processus de caractérisation quaternaire. Selon Tolman, la répétition de la séquence Stimulus-Réponse-Conséquence provoque chez le sujet des modifications qui en facilitent l'apprentissage. C'est le processus de mémorisation ("mnemonization") qui fait que chaque occurrence de la séquence $S_1-R_1-S_2$ résulte en une augmentation de la force de l'attente ($S_1R_1S_2$). Chez Tolman, ce processus est le postulat de base pour expliquer l'acquisition de la connaissance (attente) chez un organisme, le taux d'acquisition ("rate of growth") étant (1) directement proportionnel à l'attrait qu'exerce l'"expectandum" et (2) limité par la probabilité (P) avec laquelle l'"expectandum" suit S_1-R_1 .

Encore une fois, les divergences épistémologiques ressortent. L'"expectancy" s'acquiert selon l'occurrence des répétitions de manipulations (réponses) déclenchées par des conditions environnementales (stimuli), alors que l'attente computationnelle s'élabore dynamiquement sur la base des connaissances qu'un organisme possède, en fonction des procédures computationnelles déjà spécifiées. Il n'est pas question ici de nier la possibilité qu'un tel ensemble de connaissances puisse se constituer en vertu du processus de mémorisation ("mnemonization") postulé par Tolman, il est plutôt question de faire d'un tel réseau le centre d'origine¹⁹ d'une attente cognitive, sans égard à la façon dont il a pu se constituer.

¹⁹ Le terme centre d'origine doit être compris selon la signification particulière que lui accorde l'écologie, c'est à dire le lieu à partir duquel une espèce se propage.

Si ce processus de mémorisation est l'élément privilégié d'acquisition de connaissance pour Tolman, celui-ci propose tout de même d'autres mécanismes qui auront pour effet de modifier la carte cognitive, c'est à dire le réseau de connaissance de l'organisme. Ces mécanismes, à savoir les processus de *généralisation du stimulus* ("primary-stimulus generalization"), d'*inférence* ("inference") et d'*inférence généralisée* ("generalized inference") font ressortir de nouvelles différences entre les attentes computationnelles et l'"expectancy", et permettent de plus des comparaisons entre des mécanismes cognitifs (les postulats de Tolman) et des procédures computationnelles, et c'est là le but de la prochaine sous-section (4.1.1). Par le biais de ces comparaisons, le modèle computationnel acquiert une saveur qui permet de l'envisager comme modèle psychologique des mécanismes cognitifs.

4.1.2 Postulats et procédures computationnelles

La présente section ne vise pas à une analyse exhaustive de chaque postulat, parmi la douzaine de postulats présentés de façon détaillée par MacCorquodale & Meehl (1953, 1954), mais plutôt à faire un lien entre ceux-ci et les procédures computationnelles en vue d'une confrontation avec les résultats empiriques suscités par les travaux de Tolman.

Parmi cet ensemble de postulats, les plus pertinents pour le propos visé ici sont ceux qui ont le plus contribué à faire connaître la théorie comme l'"expectancy theory". Ils sont au nombre de trois (généralisation, inférence et inférence généralisée); les autres postulats quant à eux se rapportent davantage à l'aspect motivationnel puisqu'ils traitent de l'influence des besoins ("needs"), des niveaux de satisfaction ("valence") etc. L'analyse des aspects motivationnels impliqués par le modèle computationnel se fera à la section 4.2.3.

Le postulat de la généralisation du stimulus ("primary-stimulus generalization") est un processus par lequel de nouvelles attentes peuvent se mettre en place sans que n'ait lieu la séquence environnementale $S_1-R_1-S_2$. Cette généralisation survient lorsqu'une attente ($S_1-R_1-S_2$) possède une certaine force²⁰; alors d'autres attentes ($S'_1-R_1-S_2$) peuvent se voir créer ou encore voir leur force augmenter selon la similitude de l'éliciteur (S'_1) et du stimulus (S_1). C'est le cas également pour le modèle computationnel, où, par exemple, une attente tertiaire pour le "frame" BLINDE, telle <<des blindés attaqués (R_1) dans la jungle (S_1) sont défa-

²⁰ Chaque occurrence de la séquence $S_1-R_1-S_2$ augmentant proportionnellement la "force" de l'attente.

vorisés en défense (S_2)», peut se voir généralisée sous la forme «des blindés attaqués (R_1) dans la forêt (S'_1) sont défavorisés en défense (S_2)» ou encore «des blindés attaqués (R_1) dans un terrain boisé (S''_1) sont défavorisés en défense (S_2)» si les "frames" "jungle" (S_1), "forêt" (S'_1) et "terrain boisé" (S''_1) possèdent certains liens sémantiques les unissant au sein du réseau. Dans un tel cas, l'attente généralisée se verra inscrire dans le "frame" BLINDE de l'univers de référence selon l'action de la règle de transformation No. 1.

L'attrait du recours à un modèle computationnel formalisé est ici évident. En effet, alors que traditionnellement dans un contexte béhavioriste on doit dériver les gradients de similarité entre différents stimuli de la pratique empirique par diverses mesures avant qu'on puisse se prononcer sur la possibilité et l'étendue de la généralisation d'un stimulus, le recours au modèle computationnel permettra une telle prédiction simplement par l'analyse du réseau sémantique en cause, la nature et la projection arborescente des liens sémantiques entre les objets formant l'assise de la capacité de prédiction. Etant donné deux objets S_1 et S'_1 (deux "frames") alors (1) la nature du lien sémantique entre eux permettra de se prononcer sur la possibilité qu'il y ait généralisation du stimulus et (2) la projection arborescente permettra de se prononcer sur l'étendue possible, donc le nombre d'objets, sur laquelle la généralisation pourrait potentiellement se répercuter.

Les mécanismes d'inférence et d'inférence généralisée sont à l'"expectandum" (S_2) ce que la "généralisation" est au stimulus. L'inférence se produit lorsque pour une attente donnée ($S_{P_1} R S_2$), la contiguité entre l'"expectandum" (S_2) et un événement à valence positive (S^*) donne lieu à

une nouvelle attente ($S_1R_1S^*$). Par exemple, l'attente est la suivante: un blindé attaque (R_1) une pièce d'infanterie sur un terrain X (S_1) et gagne son combat (S_2). En effectuant le jeu prévu par l'attente le joueur gagne non seulement le combat mais aussi le droit d'avancer sur le terrain qu'occupait l'adversaire (S^*). Alors une nouvelle attente ($S_1R_1S^*$) sera créée: un blindé qui attaquera (R_1) une pièce d'infanterie sur un terrain X (S_1) gagnera son combat (S_2) et le terrain X' (S^*).

Le cas de l'inférence généralisée est quant à lui une combinaison du processus d'inférence et du processus de généralisation du stimulus. Ce troisième processus permet une généralisation (d'où son lien avec le processus de généralisation du stimulus) de l'inférence et non plus du stimulus. C'est à dire que l'inférence, dont la nouvelle attente qui en résulte, pourra se généraliser à tous les stimuli qui sont susceptibles de faire objet de généralisation du stimulus. Dans l'exemple précédent, c'est le cas où on pourrait généraliser l'attente inférée ($S_1R_1S^*$) à différents terrains X, X' etc.

Ce qui ressort, comme point le plus important, de l'examen de ces processus c'est le fait que, sur la base de sa définition de l'"expectancy", Tolman commence à construire un système par apposition de nouveaux processus où l'"expectancy" possède un effet proactif sur la sélection des réponses ultérieures susceptibles d'être émises par l'organisme, ce qui le démarque de plus en plus du mouvement behavioriste. Alors qu'au début il soutenait simplement que l'organisme était capable de se représenter un but comportemental ("goal behavior"), son système a évolué vers un cognitivisme de plus en plus poussé, comme l'illustrent tout particulièrement les processus d'inférence.

4.1.3 Le renforcement partiel

Les propositions théoriques de Tolman, qui divergeaient passablement de la théorie behaviorale traditionnelle en proposant qu'un animal puisse acquérir une représentation interne d'un but, ont généré une multitude de tentatives expérimentales visant à les mettre à l'épreuve. Si on peut répertorier ces expériences en plusieurs grands domaines comme par exemple les expérimentations tentant de mettre en lumière chez l'animal la possibilité d'anticipation de la récompense ("reward expectancy") (Tinklepaugh, 1928; Cowles & Nissen, 1937; Amsel, 1958; 1959), ou encore celles concernant la controverse "place-learning vs. response learning" (Tolman, Ritchie & Kalish 1946; 1947; Blodgett & McCutchan, 1947; 1948), ces grands domaines d'investigation ne présentent pas tous autant d'intérêt par rapport au propos développé ici.

Par exemple, comme le but visé n'est pas de démontrer la validité du concept de carte cognitive, les données expérimentales s'y rapportant seront systématiquement écartées du présent discours au profit de celles dont le but visait à faire ressortir les caractéristiques des "expectancies" dans les mécanismes d'apprentissage: notamment l'apprentissage en situation probabiliste.

Dès 1935, cette question surgit dans la problématique de Tolman. Celui-ci (Tolman & Brunswick, 1935) développait le concept d'attente probabiliste ("probabilistic expectation") en argumentant que la diversité des stimuli de l'environnement était telle que l'organisme, pour des fins adaptatives, devait pouvoir conserver une certaine souplesse quant à ses réactions envers cette diversité de stimuli. Le concept de

l'apprentissage d'attente probabiliste s'appuie sur la notion de confirmation de l'"expectancy": à savoir qu'une "expectancy" est confirmée, et acquiert de la force, chaque fois que S_2 suit S_1-R_1 . Dans le cas contraire, l'"expectancy" est dite non-confirmée ("disconfirmed"). Chaque confirmation va faire augmenter le niveau de probabilité de l'"expectancy", et chaque non-confirmation le fera diminuer. Il devient alors possible, dans le système de Tolman; qu'une "expectancy" indique sa propre probabilité d'occurrence, c'est à dire la probabilité que dans une situation donnée (S_1) un certain "expectandum" (S_2) ait X% de chance d'apparaître étant donnée une action de l'organisme (R_1). Prenons par exemple la situation d'un rat dans une boîte de Skinner où les appuis sur le levier de conditionnement sont renforcés par la présentation de nourriture. Alors, si le renforcement est continu (100% des essais) on dira que l'"expectancy" a une probabilité d'apparition de 100% dans une telle situation, c'est à dire que l'animal, placé devant l'ensemble des stimuli, s'attendra toujours à ce que l'"expectancy" ($S_1R_1S_2$) s'actualise. Par contre, dans une situation où 70% des essais seront renforcés, alors on dira de l'attente qu'elle est probable à 70%, et ainsi de suite.

Cette "expectancy" probabiliste correspond à l'attente computationnelle quaternaire car on peut la considérer comme portant un conflit dans ses prédictions (si l'"expectancy" indique une certaine probabilité d'actualisation, 70% par exemple, elle indique par le fait même sa probabilité de non-actualisation), ce qui correspond à la définition d'une caractérisation quaternaire. Ce n'est donc définitivement pas au même type de probabilités que les deux concepts s'adressent. Pour Tolman, l'attente porte une notion probabiliste, fonction d'une description des

événements externes, alors que l'attente computationnelle porte sur des possibilités symboliques, fonction de procédures internes de prédiction basées sur des relations sémantiques inter-conceptuelles. Cependant, puisque Tolman en parle comme d'une nécessité adaptative en fonction de la complexité de l'environnement, ce qui est aussi pertinent et nécessaire dans le cas du modèle computationnel aux prises avec une complexité symbolique tout aussi grande, le recours aux arguments ayant conduit à l'élaboration du concept de l'attente quaternaire devrait permettre, tout en demeurant conforme avec le discours de Tolman sur l'apprentissage probabiliste, de récupérer et expliquer un phénomène qui s'est avéré problématique pour les tenants des théories du renforcement: celui de l'extinction de la réponse conditionnée.

Classiquement l'extinction est définie comme étant la disparition d'une réponse conditionnée suite à l'arrêt du renforcement. Or, les évidences expérimentales (Humphreys, 1939; Estes & Straughan, 1954) démontrent que l'extinction survient beaucoup plus difficilement dans les situations de renforcement partiel (par exemple une situation où pendant la phase d'acquisition seulement 50% de réponses ont été renforcées) que dans les cas où toutes les réponses étaient renforcées. Le paradigme expérimental du renforcement partiel a fait l'objet de nombreux travaux principalement à cause de ses répercussions sur la nature théorique du concept de renforcement, et donc à la limite sur l'assise théorique de la psychologie behavioriste. Parmi ceux-ci, citons les travaux d'Amsel (1958, 1962), de Capaldi (1967) et Capaldi et Capaldi (1970) où de nouveaux concepts théoriques ont été avancés dans le but de concilier ces résultats problématiques réfutant les positions traditionnelles.

Plus encore, les travaux de Rescorla et Wagner (1972) illustrent doublement notre propos. D'abord, ils mettent en évidence par une série d'expérimentations dans des situations de conditionnement classique l'incapacité de l'explication behavioriste de rendre compte de phénomènes comme le renforcement partiel ou l'incapacité de stimuli composés de provoquer un conditionnement classique. A un autre niveau, ces travaux légitiment l'effort théorique de la mise au point d'un langage computationnel pour traiter la question de l'attente cognitive en psychologie. En effet, ils font le constat de l'échec behavioriste lorsqu'ils écrivent:

"The central notion suggested here can also be phrased in somewhat more cognitive terms. One version might read: organisms only learn when events violate their expectations. Certain expectations are build up about the events following a stimulus complex; expectations initiated by that complex and its component stimuli are then only modified when consequent events disagree with the composite expectation." (p.75)

Le langage behavioriste (stimulus, renforcement, etc...) ne suffit plus pour expliquer le comportement, ce qui légitime donc l'effort de recherche visant le développement d'un nouveau langage pour traiter de ces phénomènes: c'est ce que fait cette thèse. Malheureusement, les auteurs, de par leur épistémologie, ont choisi de canaliser leurs efforts ultérieurs de recherche vers la sophistication du paradigme expérimental plutôt que de se tourner vers l'effort théorique. Résultat: la problématique pourtant centrale qu'ils avaient mis à jour n'a plus, chez eux, évolué au rythme des attentes qu'elle avait suscitée.

Si on revient au problème du renforcement partiel on rencontre le

même malaise car ce phénomène est paradoxal dans le cadre des théories S-R du renforcement puisqu'il est difficile d'expliquer comment une réponse partiellement renforcée puisse acquérir plus de force qu'une réponse dont chaque occurrence est renforcée (pour une revue des expériences d'extinction en situation de renforcement partiel, voir Robbins, 1971).

Or, on peut tenter d'expliquer ce phénomène en recourant au modèle computationnel. Dans une situation de conditionnement, une fois le conditionnement établi, le modèle computationnel stipule que le comportement sera dirigé par l'OCU correspondant à la situation. Alors, une situation où une réponse serait renforcée partiellement (par exemple: renforcement dans 50% des cas) devrait provoquer, dans le cas du modèle computationnel, la création d'une attente quaternaire car il s'agit d'une situation où 2 prédictions, 2 attentes conflictuelles, co-existent au sein d'un "frame" descripteur de la situation: (1) la nourriture apparaît après l'appui sur un levier et (2) la nourriture n'apparaît pas après l'appui sur un levier. Or, comme il a déjà été démontré, pour maximiser sa démarche de connaissance un organisme devrait d'abord tenter de réfuter les attentes quaternaires. Or, une fois conditionné, c'est à dire ayant appris à poser un certain comportement dans une certaine situation, ce qui en terme du modèle computationnel revient à la création d'un "frame" qui possédera une attente quaternaire dans une situation de renforcement partiel, le modèle prédit que la prochaine étape dans la démarche de connaissance de l'organisme sera de tenter de réfuter son attente quaternaire. Pour cela, il va se comporter en fonction du "frame", l'objet computationnel, descripteur de la situation. Donc, pour

tenter de réfuter son attente quaternaire, il va continuer d'émettre la réponse conditionnée, d'où résistance à l'extinction.

Dans le cas contraire (renforcement pour toutes les réponses) le "frame" descripteur de la situation ne contient que des caractérisations primaire et secondaire, la caractérisation tertiaire (la prédiction de la venue du renforcement), présente lors de la phase d'acquisition du conditionnement, ayant été transformée en caractérisation secondaire par suite des confirmations répétées. Donc, placé dans une situation où les renforcements cessent, le "frame" en question n'est plus adéquat, alors le comportement (réponse conditionnée) disparaîtrait plus rapidement car les procédures computationnelles en cause (transformations) vont chercher à définir un nouvel objet computationnel. Ce faisant, l'OCU, régissant le comportement, ne correspond plus au "frame" de renforcement qui rendait possible l'émission de la réponse conditionnée, d'où extinction.

La question du rôle des attentes est mise en lumière par cet exemple, qui permet aussi de contraster attentes computationnelles et "expectancies". Si on reprend le langage computationnel pour parler de l'"expectancy" en termes de "frames", alors on constate que pour celle-ci le "frame" descripteur de la situation de conditionnement ne comporte plus que des caractérisations primaire et secondaire car l'"expectancy", selon Tolman, est une association apprise à laquelle l'animal a recours pour guider son comportement. Puisqu'elle ne comporte pas de procédure active de prédiction elle ne peut pas posséder de caractérisations tertiaires. Essentiellement les caractérisations, que l'on retrouve dans le cas de l'"expectancy", identifient (a) le lieu physique, l'environnement

de conditionnement: c'est le stimulus (S_1); (b) la réponse comportementale qui fait objet du protocole de conditionnement: c'est la réponse (R_1); et (c) une certaine finalité, l'apparition du renforçateur: c'est l'expectandum (S_2).

Pour ce qui est des attentes computationnelles, elles peuvent être de deux types: tertiaire ou quaternaire. L'attente tertiaire peut constituer un cas d'"expectancy" en vertu de l'argumentation déjà présentée, ce qui ne s'applique pas à l'attente quaternaire parce qu'elle est d'essence conflictuelle, donc elle ne peut pas représenter ce que Tolman identifie comme l'"expectancy". Cet aspect conflictuel, mis en évidence lors des expérimentations en situation d'apprentissage probabiliste l'a d'ailleurs conduit à élargir la notion d'"expectancy" par la création du concept de "*provisional expectancy*".

Pour Tolman, un sujet, placé dans une situation de résolution de problème, va activement essayer diverses hypothèses quant à la nature des liens $S-R-S^*$ dans l'environnement de sorte que, même si les relations environnementales ($S-R-S^*$) ne sont ni connues, ni parfaitement structurées, le comportement du sujet sera quant à lui systématique parce que fondé sur ces hypothèses. Ces hypothèses, ce sont les "provisional expectancies". Il donne à ce concept le statut d'*hypothèse* émise par l'animal en tentative de résolution de problème, ce qui en fait correspond au rôle attribué aux attentes computationnelles tertiaire et quaternaire. De plus, ces "provisional expectancies" peuvent être formées de "probabilistic expectations" de sorte qu'on retrouve chez Tolman l'équivalent psychologique des attentes computationnelles quaternaires.

Cette façon d'envisager le comportement d'un organisme en situation

d'apprentissage (l'essai systématique de différentes hypothèses), a d'abord été mise en évidence chez le rat par Krechevsky (1932a), puis chez l'homme par Restle (1962), mais surtout Levine (1970).

Donc, même si au départ, la démarche de Tolman était essentiellement comportementale, son système a graduellement évolué vers un cognitivisme de plus en plus poussé. Bien que le modèle proposé par Tolman n'ait pas généré une foule de travaux ou d'expériences, il a tout de même ouvert la voie vers une approche théorique du comportement beaucoup plus axée sur les mécanismes internes de connaissance plutôt que sur une stricte description S-R.

Amorcée avec Tolman, et accentuée en particulier lors des 25 dernières années, la tendance moderne dans l'explication scientifique du comportement s'est polarisée autour des mécanismes internes de contrôle au détriment des facteurs environnementaux. La psychologie comportementale a perdu énormément de son influence au profit de l'approche cognitive, et on peut prétendre que le développement, depuis la Seconde Guerre mondiale, de l'ordinateur, qui a pour la première fois fourni un formalisme permettant d'énoncer et de simuler des conjectures par rapport à ces mécanismes internes, a joué un rôle déterminant.

Cependant, même si le modèle de Tolman présente de grandes similitudes par rapport à celui du présent travail, il reste tout de même une différence fondamentale: la caractérisation quaternaire. Chez Tolman, il n'y a pas d'accent placé sur la notion d'"expectancy" conflictuelle, sinon dans le cas de l'"expectancy" probabiliste comme on l'a souligné, alors que ce concept est central dans la conception du modèle computationnel. Pour développer davantage cet aspect, nous nous tournerons

maintenant vers un tout autre secteur de la psychologie, celui de la psychologie sociale, où, tout en partageant le postulat cognitiviste par rapport à la détermination du comportement, on peut trouver des travaux axés directement sur cette problématique relative à l'importance des objets conflictuels.

4.2 Léon Festinger

Si le paradigme du renforcement partiel a permis d'identifier une situation où des objets problématiques ont un effet sur le comportement, il n'en reste pas moins que cela se fait indirectement parce que, placé dans le cadre d'analyse behavioriste, le discours ne porte pas spécifiquement sur des *objets cognitifs problématiques*. Or, pendant ce temps, dans un champ d'application différent, Léon Festinger (1957) proposait sa théorie de la dissonance cognitive comme explication, chez l'humain, des changements d'attitude. Désireux de la soumettre à l'épreuve et d'en généraliser la portée explicative au plus grand nombre de phénomènes possibles, il entreprit une série d'expérimentations dans le cadre du paradigme du renforcement partiel (Lawrence & Festinger, 1962) ce qui présentait le double avantage de mettre d'abord en évidence chez l'animal le concept de dissonance, puis de juger sa pertinence comme élément prédictif du comportement, y compris le comportement animal.

Ces expériences ont mis en doute l'hypothèse de la discrimination (Humphreys, 1939)²¹ comme solution au problème posé par le paradigme du renforcement partiel, Festinger proposant comme remplacement le concept de dissonance. Cependant, malgré l'intérêt présenté par le concept de dissonance dans son explication du problème du renforcement partiel, il n'en reste pas moins qu'aucune mécanique (procédure) n'a jusqu'à ce jour été proposée pour formaliser le concept, si ce n'est que dans la présentation des principes généraux de fonctionnement. En cela, le modèle

²¹ Hypothèse qui expliquait la résistance du comportement à l'extinction par le fait que l'animal, en situation de renforcement partiel, avait de la difficulté à discriminer entre les essais d'acquisition et les essais d'extinction, d'où émission persistante du comportement.

computationnel va beaucoup plus loin et il sera possible d'argumenter dans cette section que la dissonance est un cas particulier recouvert par ce modèle. En effet, si la dissonance a été définie par Festinger (1957) comme "an antecedent condition which leads to activity oriented toward dissonance reduction" parce que "the existence of dissonance, being psychologically uncomfortable, will motivate the person to try to reduce the dissonance and achieve consonance" (p. 3) rien n'indique comment il peut être possible de réduire l'état de dissonance, ni même *comment* et *pourquoi* elle a pu se mettre en place...

Si Festinger postule que l'organisme va faire tout en son pouvoir afin de réduire la dissonance, et qu'il accorde autant d'importance à ce concept et à son impact sur les processus décisionnels, alors on pourrait être en droit de s'attendre à voir expliciter le *pourquoi* et le rôle de ce concept dans la mécanique cognitive. Certains pourraient argumenter qu'un organisme bien adapté ne devrait pas expérimenter d'état de dissonance dans le sens qu'il pourrait l'anticiper et l'éviter avant qu'il n'apparaisse. La dissonance deviendrait alors dans un tel contexte un critère de mésadaptation. Pourtant, puisque la dissonance est définie par Festinger comme étant la motivation sous-jacente, la force qui fait changer le comportement dans le sens d'une plus grande intégration de la diversité des cognitions, alors on peut tout aussi bien prétendre que la dissonance est au contraire signe d'adaptation. Tout comme on pourrait argumenter au niveau de l'évolution biologique que le processus de sélection naturelle est un processus de réduction de dissonance. Mais, dans ce contexte, si on veut comprendre ce qu'est la sélection naturelle, c'est davantage aux procédures de sélection qu'il faudrait réfléchir

plutôt qu'aux conditions physiques de l'environnement puisqu'elles sont spécifiques à chaque prise de décision particulière. Tenter de faire l'inventaire de toutes les conditions environnementales possibles dans le but de comprendre ce qu'est la sélection naturelle est tout aussi vain que de tester toutes les situations potentiellement évocatrices de dissonance dans le but d'isoler les mécanismes qui la sous-tendent: c'est le piège inductionniste.

On retrouve encore ici le problème fondamental de la connaissance qui se résout par le recours à l'épistémologie poppérienne de la façon suivante: si la dynamique émission de conjecture - tentative de réfutation est la base de l'évolution du processus de connaissance ("the growth of knowledge proceeds from old problems to new problems, by means of conjecture and refutation." (Popper, 1963, p.258), alors on peut prétendre que la théorie de la dissonance cognitive, puisqu'elle stipule que la motivation psychologique au comportement vise à éliminer l'élément cognitif qui cause l'état de dissonance (ce qui peut être envisagé comme l'effort de réfutation au sens poppérien), traite de la forme psychologisée de l'épistémologie poppérienne, la sélection naturelle en étant quant à elle sa forme biologisée. Toute réfutation peut donc être envisagée comme une dissonance puisqu'elle résulte en l'apparition simultanée de deux objets cognitifs contradictoires: l'objet prédit par la conjecture, et le fait révélé par l'expérience. Cependant, tous les objets cognitifs dissonants ne seront pas nécessairement réfutation. Ils pourront l'être en fonction du *processus* d'où ils originent.

La théorie de la dissonance cognitive décrit ce qu'est un état de dissonance, discute des façons dont elle peut être réduite, d'où elle

origine etc. Bref, le concept de dissonance est présenté par Festinger comme un aspect déterminant de la dynamique cognitive. Cependant, ces discussions ne sont jamais supportées par des mécanismes explicatifs, si ce n'est que d'une façon vague et ambiguë comme dans l'extrait suivant par exemple:

"it is clear that in order to eliminate a dissonance completely, some cognitive element must be changed. It is also clear that it is not always possible. But even if it is impossible to eliminate a dissonance, it is possible to reduce the total--magnitude of dissonance by adding new cognitive elements." (1957, p.21).

Ce manque de rigueur formelle est une des causes principales qui explique la diminution de l'intérêt vis-à-vis de la théorie. Le manque de rigueur dans la définition des concepts ainsi que dans la spécification de leurs interactions fait en sorte que cette théorie a une capacité prédictive assez faible, mais qu'en plus elle puisse récupérer pratiquement tous les phénomènes a posteriori. Ce manque de rigueur formelle la place dans une situation d'*irréfutabilité* qui rend difficile son recours à titre d'explication scientifique du fonctionnement cognitif.

Or, le modèle computationnel pourrait venir combler ces lacunes. En effet, celui-ci étant épistémologiquement contraint et formalisé, la théorie de la dissonance cognitive y trouve un espace conceptuel propice à une certaine reformulation. La section suivante se propose (1) d'examiner certaines interrogations relatives à la théorie de la dissonance et (2) de démontrer comment le modèle computationnel est en mesure d'y répondre.

4.2.1 Les problèmes de la dissonance cognitive

Pour qu'il soit possible d'établir un parallèle entre les deux conjectures, la théorie de la dissonance cognitive et le modèle computationnel, il doit nécessairement y avoir un point de convergence commun entre celles-ci. Cette jonction conceptuelle peut se faire sur la base de l'identité des concepts qui les sous-tendent. Il importe donc, avant d'entreprendre l'examen exhaustif des problèmes associés à la théorie de la dissonance cognitive, d'établir clairement un point de jonction entre d'un côté le concept de dissonance et de l'autre celui d'attente computationnelle. Si Festinger dit du premier "Two elements are dissonant if, for one reason or another, they do not fit together" (1957, p.12) et qu'il définit cette relation plus formellement de la manière suivante "*These two elements are in dissonant relation if, considering these two element alone, the obverse of one element would follow from the other*", alors on peut avancer que l'état de dissonance entre deux éléments est recouvert, dans le cas du modèle computationnel, par ce qui a été défini comme la *caractérisation quaternaire* d'une attente, c'est à dire: la caractéristique d'un "frame" qui *identifie un conflit* au niveau des prédictions faites par les caractérisations tertiaires. L'état de dissonance, c'est une caractérisation quaternaire. Partant de là, poussons les comparaisons.

Il est certain, à nos yeux, qu'une définition comme celle apportée par Festinger "These elements refer to what has been called cognition, that is the things a person knows about himself, about his behavior, about his surroundings" (ibid., p. 9) est inacceptable car, du fait de

son manque de rigueur, elle donne lieu à beaucoup trop de questions et cause trop de difficultés. Entre autres: qu'est ce qu'un "element"? Par exemple, la connaissance de son environnement est en grande partie de nature perceptuelle. Doit-on inclure les percepts dans ce que Festinger appelle cognition. Si oui, ceux-ci peuvent-ils être source de dissonance, et dans un tel cas est-il possible qu'ils soient en relation de dissonance avec des concepts? Oui ou non? Si oui, comment? Si non, pourquoi? Ce point est pourtant crucial puisqu'il est à l'origine de tout l'édifice théorique de Festinger. Il convient donc de l'explorer plus en profondeur et pour ce faire il faut en examiner deux aspects.

Premièrement, lorsqu'il prétend que la question de la détermination spécifique de la nature d'un élément, par exemple "when is "an element of cognition" *one* element, or a group of elements?" (ibid, p. 9), est une question à laquelle il est impossible de répondre, alors qu'elle est en fait une question centrale, mais que cela n'a pas d'importance car "this unanswered question does not present a problem in connection with measurement." (ibid., p. 9), alors Festinger touche le problème de l'irréfutabilité de son explication. Le manque de rigueur dans les définitions et les procédures proposées fait que son explication peut recouvrir un trop grand nombre de phénomènes cognitifs. Par exemple, doit-on considérer un état dissonant, comme une émotion de joie lorsqu'il pleut, et un autre résultant d'incohérence logique dans des déductions comme des objets ayant un statut différent? Si oui, pourquoi? Si non, comment? Ceci illustre bien un problème de la recherche en psychologie où souvent un maximum d'efforts est dévolu à la mise au point d'un contexte empirique rigoureux au détriment du contexte théorique qui reste flou, sinon

carrément absent, ce qui aura pour effet de réduire considérablement la capacité prédictive des construits proposés. Si, en psychologie cognitive, on comprend et contrôle rigoureusement bien ce qu'est la phase de l'expérimentation en recherche, on ne peut cependant pas en dire autant pour ce qui est de la phase d'élaboration théorique, ce qui fait qu'on se retrouve alors avec (1) soit des évidences expérimentales très précises et très contraignantes, mais dont le niveau de globalité est tel qu'il est difficile d'en tirer des généralisations (ce qui correspond au piège logique posé par l'induction), ou (2) soit avec des explications globales (la dissonance cognitive par exemple) dont la portée recouvre de nombreux phénomènes, mais où le manque de rigueur et de formalisme de ces explications diminue leur portée prédictive. Ce phénomène a d'ailleurs été qualifié en ces termes :

"Experimental psychology has a disastrous history with respect to its relevance." (Morton, 1981)

Deuxièmement, lorsque Festinger soulève le problème de la mise en place des éléments de cognition ("how are they formed and what determines their content" (ibid., p. 9)) et qu'il y apporte pour seule réponse "we want to emphasize the single most important determinant of the content of these element, namely, *reality*.", alors on voit immédiatement les limites d'application de la dissonance comme Festinger le souligne lui-même: "In many instances, however, it becomes quite a problem to decide a priori whether or not two elements are irrelevant." C'est pourtant là un point fondamental car sinon il est impossible de parler de dissonance. De plus, bien qu'il laisse sous-entendre que cette seconde

question soit également insoluble, les convictions épistémologiques qui sous tendent ce travail font en sorte que non seulement elles imposent à la démarche de recherche la *nécessité* d'y répondre, mais qu'en plus elles nous incitent à croire que c'est à travers l'étude de la *mise en place* de ces éléments qu'il sera possible de répondre à la première question, celle de la détermination de la nature spécifique des différents éléments.

En résumé, il y a essentiellement deux questions auxquelles il faut s'adresser: 1) la question de la détermination spécifique de ce qu'est "an element of cognition"; et 2) la question de leur mise en place.

Le modèle computationnel devrait permettre, en recourant à ses constructions formelles, de solutionner ces questions. Ensuite, il serait possible d'intégrer les concepts élaborés par Festinger dans le fonctionnement procédural du modèle computationnel.

4.2.2 Le recours au modèle computationnel

En établissant une équivalence entre l'état de dissonance et la caractérisation quaternaire d'un "frame", des éléments de réponse à la première question se sont déjà mis en place. En effet, poser que la dissonance est une caractérisation quaternaire implique de facto une certaine qualification quant à la nature des éléments dissonants. Celle-ci découle de la définition de la caractérisation quaternaire, et de son inscription dans une structure (le "frame") qui stipule à la fois sa nature et ses relations avec l'ensemble de la structure.

Définir la dissonance par le biais de la caractérisation computationnelle permet d'apporter à ce concept de nouveaux attributs découlant du modèle computationnel. Ces attributs identifient la nature des éléments dissonants comme étant des prédictions contradictoires au sein d'un objet cognitif, par ailleurs rigoureusement défini. Ce faisant, cette définition stipule l'origine de la dissonance, les caractérisations tertiaires, et précise explicitement le processus par lequel la dissonance a pu se mettre en place, en l'occurrence la règle de prédiction.

Catégoriser la dissonance de cette façon permet de répondre aux questions soulevées par Festinger ("when is "an element of cognition" one element, or a group of elements?") (1957, p. 9) en appliquant la Logique du modèle computationnel. C'est le recours aux univers sémantiques relationnels, où un *objet* ("frame") de l'univers de référence devient un élément (caractérisation primaire) d'un objet de l'univers conceptuel, élément qui peut devenir lui-même objet de référence pour un univers

actualisable (voir figure 8).

C'est donc à la spécification de la dynamique des divers mouvements de l'Objet Computationnel Unique dans une situation particulière que s'adresse le second problème: celui de la mise en place des éléments cognitifs pouvant causer dissonance. Spécifier cette dynamique, c'est préciser par quels mécanismes (procédures de groupement, transposition, dilatation et contraction de l'OCU) le *réseau sémantique spécifique*, descripteur d'une situation cognitive particulière, s'est élaboré. Or, ce n'est que par le recours à cet univers sémantique qu'il est possible d'identifier les relations inscrites dans le réseau sémantique entre des éléments cognitifs, relations potentiellement dissonantes selon que des éléments cognitifs sont sémantiquement reliés ou non. Alors que Festinger affirmait l'impossibilité de la décision a priori de l'identification des éléments pouvant potentiellement être placés en relation de dissonance, ce problème disparaît grâce au recours à notre modèle computationnel. L'étude de la *genèse* d'un réseau de signification, par l'identification des éléments particuliers et de leurs interactions avec l'ensemble de la structure, va permettre d'identifier ceux des éléments qui sont en relation de dissonance, et de prédire les circonstances par lesquelles d'autres éléments peuvent le devenir.

Cependant, comme la dissonance a d'une part été définie comme résultant de l'effet de la règle de prédiction, et puisque d'autre part cette règle a été développée dans le modèle computationnel comme étant la projection d'une similitude sémantique d'un "frame" sur ceux qui lui sont "adjacents", c'est à dire directement liés à lui ("tokens" and "nodes" voir section 2.1.2 sur les réseaux sémantiques) dans le réseau,

sans médiation par "frames" intermédiaires, on peut maintenant définir la dissonance cognitive comme étant l'incapacité de relier sémantiquement deux "frames" au niveau d'un univers de référence. Par exemple, supposons un univers de référence constitué exactement comme le réseau sémantique de la figure 3 (p. 43), alors on pourra établir comme élément dissonant l'objet cognitif "canary-fish" ou encore celui "fish-fly" car il n'y a pas de liens sémantiques directs entre ces concepts. Cependant, cela ne signifie pas qu'il ne puisse pas y en avoir mais plutôt que de tels liens n'existent pas au moment où les deux concepts se trouvent réunis dans le même objet cognitif.

Or, selon le modèle computationnel, il n'existe qu'une seule façon par laquelle une telle liaison sémantique puisse globalement se réaliser: c'est le recours à la procédure de *groupement* qui permet, suite à l'introduction au niveau conceptuel de nouveaux éléments, un retour de l'OCU vers l'univers de référence en vue d'en modifier ses relations sémantiques. Ce faisant, l'inférence de ces nouvelles relations au niveau de l'univers conceptuel devrait avoir comme effet la disparition des dissonances locales grâce à un processus de réinterprétation sémantique.

Ce recours à la notion d'univers sémantique va permettre, en plus de régler le problème de l'identification des relations de dissonance a priori, de prédire comment ces états de dissonance peuvent se résoudre. Ainsi, comme Festinger attribue à la réalité un rôle causal (c'est le point d'origine des éléments de cognition) examinons des façons susceptibles de réduire l'état de dissonance. Puisque celle-ci se produit toujours entre deux éléments de cognition, alors la dissonance pourra être réduite soit en changeant un élément, ou en changeant l'autre, ou

encore en ajoutant, à la paire dissonante, un nouvel élément qui aura pour effet de réduire la dissonance. Selon les relations particulières de dissonance, ces éléments pourraient être un comportement, un sentiment, un aspect de l'environnement, etc. Or, s'il est toujours possible, étant donné deux éléments particuliers, d'identifier quels sont les facteurs susceptibles de modification en vue d'une réduction de dissonance, Festinger, et c'est là le reproche fondamental à sa théorie, est *incapable de prédire comment* va s'effectuer cette réduction de dissonance. Etant donné une situation particulière, il lui faudra observer comment les sujets arrivent ou n'arrivent pas à réduire la dissonance. C'est *a posteriori* qu'il sera capable de parler du processus de réduction de dissonance et de dire: voilà, dans cette situation le sujet a ajouté ce nouvel élément; ou encore: ici c'est évident, le sujet a réduit la dissonance en changeant son comportement etc.

Mais, par contre, le recours au modèle computationnel devrait permettre d'avancer des prédictions sur les façons dont la dissonance pourrait être résolue. En effet, l'examen du réseau sémantique permettrait 1) tel qu'exposé ci-haut, d'identifier la nature de la dissonance par l'examen de relations entre les "frames" conflictuels et 2) de prédire de quelle façon cette dissonance pourrait se résoudre selon un argument computationnel d'économie de traitement: la dissonance cognitive *se réduira toujours dans la direction indiquée par le plus petit nombre de transformations qu'il faudra effectuer pour la réduire.*

Ce qui est une hypothèse extrêmement rigoureuse grâce au recours au modèle computationnel où les règles de transformations sont formelles, et où on peut compter le nombre de transformations. Elle permettra donc

d'émettre des prédictions claires et non ambiguës sur les mécanismes cognitifs du sujet, en autant que l'on connaisse la genèse de cette situation.

Donc, en résumé, on voit que le modèle computationnel pourrait contribuer de façon intéressante à formaliser la théorie de la dissonance cognitive, augmentant ainsi sa pertinence par l'élimination de lacunes, principalement au niveau de l'ambiguïté des concepts et de son incapacité prédictive.

4.2.3 La dissonance cognitive: nouvelle approche

Si le transfert de concepts formels du modèle computationnel vers la théorie de Festinger peut s'effectuer aisément du fait de la généralité du modèle, la réciproque, c'est à dire l'inscription de la formulation de Festinger au sein du modèle en tant qu'élément de motivation, pose des problèmes tels qu'il faille envisager une certaine reformulation de la théorie de la dissonance cognitive dans son aspect de motivation au comportement.

L'inscription, dans la section précédente, de la dissonance dans le contexte computationnel a de sérieuses répercussions sur la théorie. Alors qu'elle était proposée comme un état motivationnel qui guide le comportement dans la direction générale de réduction de la dissonance, "Cognitive dissonance is a general "motivational state" that occurs when there is some prior motive associated with the cognitions that are dissonant" (Festinger, 1957), elle devient dans notre contexte la finalité, le but du comportement plutôt que son point de départ. En cela notre position rejoint certaines critiques rapportées par d'autres auteurs.

"Dissonance theory, we have seen, is in part a theory of *postdecision* behavior, and it is the process of the decision to behave in a way that frustrate motive satisfaction that links motivation to the resolution of inconsistencies. In any one of the experiments mentioned, the simple existence of inconsistency has not been shown to be enough to motivate behavior; in each case the person has arrived at a state of dissonance as a consequence of some prior commitment that has consequences for satisfaction of important needs.

This gap between Festinger's theoretical statement and the actual experiments that have been generated by it is reflected in Osgood's (1960, p.349) comment that Festinger's theory fails to give explicit recognition to the need for cognitive elements to be brought into some relation with one another if they are to interact and produce cognitive modification."

(Wicklund, R. A. & Brehm J. W., 1967, p. 257)

Ceci illustre un désaccord certain qui existe au sein du domaine de recherche quant aux visées de la théorie de la dissonance cognitive. Pour Festinger, la motivation du comportement c'est la tentative de réduction de l'état de dissonance; pour d'autres comme Osgood (1960) ou Bem (1967), bien qu'ils adhèrent à l'idée de dissonance cognitive, ce concept ne peut suffire à lui seul comme support à la motivation du comportement.

Que peut-on dire de plus de la dissonance cognitive par rapport à l'aspect motivationnel si on la replace dans le contexte du modèle computationnel? La théorie de Festinger garde-t-elle son sens premier? Sinon quel est ce nouveau sens?

Un point fondamental doit d'abord être souligné: une équivalence a été tracée, dans la section précédente, entre l'état de dissonance, concept clé dont la réduction est à l'origine du comportement selon Festinger, et une caractérisation d'un objet cognitif computationnel: la caractérisation quaternaire. En toute logique, cette équivalence, au niveau de la définition des concepts, nous oblige à inférer aux deux construits les mêmes propriétés. Ainsi, ce qui est vrai de l'attente computationnelle quaternaire doit l'être également de l'état de dissonance, et vice-versa. L'examen de certains de ces transferts de propriétés entre les deux concepts, bien que déjà partiellement entrepris à la section précédente, mérite d'être poussé davantage particulièrement en ce qui a trait aux implications computationnelles et leur impact sur la question de la motivation.

Une des caractéristiques fondamentale de l'attente quaternaire vient

du fait qu'elle *est prédiction*. Ce n'est pas sans raison qu'il en est ainsi, cette nécessité computationnelle (le fait que l'attente doive être prédiction) s'est imposée de facto pour des raisons relatives à la performance des systèmes de connaissance contraints dans l'espace et dans le temps. Bien que Festinger ne traite pas du statut de prédiction de la dissonance cognitive (pour lui elle est un état de fait, une entité expérientielle de l'organisme) il n'y a aucune contre-indication fondamentale à l'effet qu'on lui confère un statut de prédiction. Mais, puisque pour des raisons computationnelles on est forcé de faire cette distinction (c'est le statut privilégié de la caractérisation quaternaire) et puisqu'on est légitimement en droit de croire qu'il puisse être possible d'appliquer la même logique à un concept similaire alors on se doit de tirer, pour la dissonance cognitive, les mêmes conséquences que celles déduites pour la caractérisation quaternaire. Ce faisant, la théorie de la dissonance cognitive prend, dans ces conditions, un tout nouveau sens.

Pour Festinger, la motivation réside dans la tendance que possède un organisme à agir dans le but de réduire l'état de dissonance cognitive. Pour le modèle computationnel, il n'existe pas de concept tel la motivation du comportement de l'organisme. Celui-ci se comporte en fonction des procédures dont il est doté. Mais il a déjà été démontré (1) que pour être performant le modèle computationnel doit nécessairement être *centré sur une procédure d'émission de conjecture*, et (2) qu'en plus sa performance sera d'autant augmentée s'il peut générer des prédictions conflictuelles (caractérisation quaternaire). Ainsi, pour le modèle computationnel, la dissonance cognitive est le recours qui lui permet

d'acquérir un certain niveau de performance vis à vis de son problème de connaissance. Le système doit chercher à créer des dissonances cognitives pour être performant; c'est la motivation intrinsèque au comportement du modèle computationnel. Il y a donc une différence fondamentale entre le rôle théorique dévolu à la motivation dans le système de Festinger par rapport au nôtre. Si pour le premier la motivation réside dans la tentative de réduction de dissonance cognitive, alors, transposé au modèle computationnel, cette conception de la motivation tient à deux des critères computationnels de performance énoncés au chapitre 3:

CRITERE No.1: un maximum d'information découle du rejet d'une caractérisation quaternaire (parce qu'elle résout le statut problématique de celle-ci avec comme conséquence le rejet de caractérisations tertiaires instables et leurs transformations en secondaires);

CRITERE No.2: une stratégie axée sur une tentative de résolution du statut problématique des caractérisations instables maximise la démarche de connaissance (parce qu'elle permet le rejet d'une prédiction, sa transformation en secondaire, mais sans qu'il ait fallu se déplacer vers toutes ces cases) et enfin;

Ces deux critères, si on respecte le parallèle entre la dissonance cognitive et la caractérisation quaternaire, deviennent ainsi un énoncé formel sur la motivation selon Festinger.

Ainsi donc, toujours dans le contexte du modèle computationnel, on est contraint d'envisager l'aspect motivationnel selon deux aspects. Premièrement, il existe une "drive" qui pousse l'organisme à prédire, à anticiper le futur. Cette "drive" est la motivation fondamentale au comportement selon la logique développée ici, et elle impose le concept d'attente cognitive comme le thème central de la problématique cogniti-

ve. Deuxièmement, s'accordant en cela avec Festinger, il existe un autre aspect --à la motivation: la "drive" qui pousse l'organisme à réduire l'état de dissonance dans le système. Cette "drive" elle correspond à l'effort de réfutation de la caractérisation quaternaire. Alors, comme il vient d'être établi que c'est par le recours aux procédures de groupement qu'il est possible de réduire ces états de dissonance, celles-ci deviennent des procédures centrales dans la démarche cognitive, ce qui avait conduit à l'adoption du critère 0 lors de l'élaboration des procédures computationnelles.

CRITERE NO. 0: dès que les conditions pour le groupement sont satisfaites, l'organisme devrait tenter de grouper avant d'essayer d'appliquer les CRITERES No. 1, 2 ou 3.

La théorie de la dissonance cognitive se trouve maintenant placée dans un tout autre contexte. En effet, celle-ci n'est plus la source unique de motivation du comportement comme Festinger le proposait. L'état de dissonance devient une finalité en soi, du fait de l'emphase mis sur l'attente cognitive qui découle d'une nécessité computationnelle d'anticipation des conditions de traitement en fonction d'un souci de performance, c'est à dire la nécessité de prédiction. Cependant, la dissonance n'est pas totalement exclue comme déterminant du comportement. Au contraire, elle occupe une place privilégiée car c'est de l'effort de réduction des états de dissonance que peut surgir de nouveaux concepts, de nouvelles relations de sens. Mais elle est seconde en ceci qu'elle succédera toujours à une procédure de prédiction.

Encore une fois, c'est l'adoption de la position popperienne qui

ressort de cette analyse. Si la notion de conjecture-réfutation a été d'abord acceptée au plan épistémologique, puis s'est subséquemment imposée au plan computationnel en fonction des contraintes découlant de la tâche à accomplir, et puisque l'argumentation au plan psychologique s'appuie en grande partie sur le modèle computationnel, alors il n'est pas surprenant d'assister à un transfert de cette problématique au niveau psychologique.

4.3 Conclusion

Ce transfert, au plan psychologique, c'est la *conséquence de la prise de position épistémologique*; il a permis, à partir du modèle computationnel, de faire des déductions qui ont un impact au niveau des concepts psychologiques. Mais cet impact a des répercussions profondes car il provoque la mise en place de contextes expérimentaux potentiellement capables de réfuter certains éléments du modèle computationnel, ce qui est conséquent avec la position épistémologique popperienne adoptée dans ce travail.

Cette visée empirique est la motivation sous-jacente à l'examen de certains concepts dérivés de la psychologie, en l'occurrence principalement les travaux de Tolman et Festinger, présentés dans ce chapitre. Cadré dans l'approche dite des "schema theories", le modèle computationnel s'est vu prêter plusieurs des traits caractéristiques de cette approche que Rumelhart et Ortony (1977) résument de la façon suivante:

1. Schemata have variables.
2. Schemata can embed, one within another.
3. Schemata represent knowledge at all levels of abstraction.
4. Schemata represent knowledge rather than definitions.
5. Schemata are active processes.
6. Schemata are recognition devices whose processing is aimed at the evaluation of their goodness of fit to the data being processed."

C'est ce dernier aspect qui nous sera le plus utile pour mettre au point la situation expérimentale porteuse de réfutation potentielle. L'expérience que nous proposons s'inscrit dans une problématique de recherche sur les processus mémoriels, et elle combine des éléments

provenant de divers travaux. Tout d'abord, nous utiliserons comme univers de référence les travaux de Quillian sur la mémoire et les réseaux sémantiques. Utilisant les mêmes réseaux sémantiques, nous proposons de leur attribuer le rôle de contrôle dans le sens que nous acceptons ses résultats expérimentaux comme le niveau de base par rapport au processus de rappel mémoriel ("remembering process"). Ce contexte sera utilisé pour tester une hypothèse par rapport à la théorie de Festinger: la prédiction des recours spécifiques pour réduire la dissonance cognitive.

L'expérience serait la suivante. Utilisant des réseaux sémantiques, par ailleurs déjà soumis au test empirique (ce qui présente l'avantage que les processus cognitifs de recherche dans ces réseaux sont connus et documentés), des sujets seront placés dans des situations de dissonance cognitive en leur présentant des objets non reliés sémantiquement dans le réseau de référence (exemple: un canari nage, un poisson vole etc.) Dans chaque cas le sujet aura à sa disposition la possibilité de changer soit un objet (par exemple le canari) en conservant l'autre, ou inversement, ou soit de changer les deux. Dans chaque cas, il sera possible de prédire exactement de quelle façon le sujet résoudra le problème sur la base de transformations nécessaires à effectuer, le poids et la complexité de celles-ci étant évalué en fonction de la distance sémantique et des types de liens entre ces objets dans le réseau de référence. L'hypothèse, déduction dérivée du modèle computationnel, est que le sujet va *toujours réduire la dissonance en fonction du plus petit nombre de transformations nécessaires*. Cette hypothèse est une conséquence directe de la façon dont est conçu le rôle de l'attente quaternaire dans le modèle computationnel, c'est à dire qu'un maximum d'information dé-

coule du rejet d'une caractérisation quaternaire, mais aussi de la conception des procédures où le modèle cesse de réagir (d'effectuer des transformations) dès que le statut de la caractérisation quaternaire est résolu. L'effort porte alors sur la tentative de réfutation des caractérisations tertiaires qui sont pas définition des objets non-problématiques, donc non dissonants.

Cette expérimentation présente un double avantage. D'abord, elle permet de tester des concepts-clés dans le modèle computationnel: les procédures de contrôle axées sur les transformations à effectuer en cas de réfutation d'une attente quaternaire. Puis, elle permettrait de mettre à l'épreuve le recouplement entre la théorie de la dissonance cognitive de Festinger et le modèle computationnel et où il fut avancé (sous-section 4.2.2) que celui-ci se montrerait plus prédictif.

En conclusion cette discussion sur les concepts psychologiques se rapportant aux attentes cognitives a permis 1) de définir le modèle computationnel comme un cas particulier de "schema theory"; 2) de psychologiser le contenu des caractérisations computationnelles en les comparant avec la notion d'"expectancy" chez Tolman; et 3) de tirer de ce processus de comparaison des déductions permettant a) de rendre compte a posteriori de certains phénomènes psychologiques comme le cas du renforcement partiel ou la dissonance cognitive et b) d'élaborer un contexte expérimental susceptible de réfuter des aspects de la conjecture computationnelle.

De plus, les déductions, amenées du modèle computationnel vers le niveau psychologique, permettent d'apporter des réponses à un problème qui, selon John S. Carroll, est central pour plusieurs domaines de re-

cherche en psychologie: celui de la genèse de l'attente. Il l'exprimait
lui-même dans ces termes:

"Although expectations are considered central to theories of motivation..., decision making..., attitudes..., and causal attributions..., research has typically focused on how expectations are combined and utilized in tasks rather than how expectations are generated." (p.95)

Cette thèse, en plus d'apporter des éléments de solution à la question du "COMMENT", répond de fait à une question que Carroll évite de poser, c'est à dire *POURQUOI* l'attente et qui rejoint le problème exposé par Rescorla et Wagner (1972), à savoir: *POURQUOI* les organismes apprennent-ils seulement lorsque les événements extérieurs violent leurs attentes?

BIBLIOGRAPHIE

- Alba, J. W., & Hasher, L. (1983). Is Memory Schematic? *Psychological Bulletin*, 93, 2, 203-231.
- Allen, C. (1982). Designer's notes Storm over Arnherm. *The General*, Vol 19, No. 1.
- Amsel, A. (1962). Frustrative nonreward in partial reinforcement and discrimination learning. *Psychological Review*, 69, 306-328.
- Amsel, A. (1958). The role of frustrative nonreward in noncontinuous reward situations. *Psychological Bulletin*, 55, 102-119.
- Anderson, J.R. (1976). *Language, memory and thought*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Anderson, J. R. & Bower, G. H. (1973). *Human associative memory*. Washington, D.C.: V. H. Winston.
- Ausubel, D. P. (1960). The use of advance organisers in the learning and retention of meaningful material. *Journal of Educational Psychology*, 51, 267-272.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: A study in experimental and social psychology*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Bem, D. J. (1967). Self-perception: An alternative interpretation of cognitive dissonance phenomena. *Psychological Review*, 74, 183-200.
- Bernard, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris, Garnier-Flammarion.
- Blodgett, H. C. & McCutchan, K. (1948). The relative strength of place and response learning in the T-maze. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 41, 17-24.
- Blodgett, H. C. & McCutchan, K. (1947). Place versus response-learning in the simple T-maze. *Journal of Experimental Psychology*, 37, 412-422.
- Bransford, J. D. & Franks, J. J. (1971). The abstraction of linguistic ideas. *Cognitive Psychology*, 2, 331-350.
- Bundy, A. (1984). Meta-level inference consciousness. In S. Torrance (ed.), *The Mind and the Machine*. Ellis Harwood.
- Byrne, R. W. (1982). Geographical knowledge and orientation. In A. W.

- Ellis (Ed.), *Normality and pathology in cognitive functions*. New York: Academic Press.
- Capaldi, E. J. & Capaldi, E. D. (1970). Magnitude of partial reward, irregular reward schedules, and a 24-hour ITI: A test of several hypotheses. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 72, 203-209.
- Capaldi, E. J. (1967). A sequential hypothesis of instrumental learning. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. Vol. 1. New York: Academic Press.
- Carroll, J. S. (1978). The effect of Imagining an Event on Expectations for the Event: An Interpretation in Terms of the Availability Heuristic. *Journal of Experimental Social Psychology*, 14, 88-96.
- Carvers, C. S. & Scheier, M. F. (1981). *Attention and Self-Regulation: A Control-Theory Approach to Human Behavior*. New York: Springer-Verlag, 1981.
- Carvers, C. S. (1979). A Cybernetic Model of Self-Attention Processes. *Journal of Personality and Social Psychology*, 37, 1251-1281.
- Cowles, J. T. & Nissen, H. W. (1937). Reward expectancy in delayed responses of chimpanzees. *Journal of Comparative Psychology*, 24, 345-358.
- Deese, J. (1965). *The structure of associations in language and thought*. Baltimore: Johns Hopkins.
- Estes, W. K. & Straughan, J. H. (1954). Analysis of a verbal conditioning situation in terms of statistical learning theory. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 225-234.
- Festinger, L. (1957). *A theory of cognitive dissonance*. Stanford, Calif.: Stanford University Press.
- Gardner, H. (1985). *The Mind's New Science, a history of the cognitive revolution*. New York: Basic Books.
- Head, H. (1920). *Studies in neurology*. (2 vols.). London: Frowde.
- Hewitt, C., Bishop, P. & Steiger, R. (1973). A universal modular ACTOR formalism for artificial intelligence. *Proceedings of IJCAI*, 235-245.
- Hintzman, D. L., O'Dell, C. S., & Arndt, D.R. (1981). Orientation in cognitive map. *Cognitive Psychology*, 13, 149-206.
- Holyoak, K. J., & Mah, W. A. (1982). Cognitive reference points in judgments of symbolic magnitude. *Cognitive Psychology*, 14, 328-352.

- Hugo, V. (1862). *Les Misérables*.
- Humphreys, L. G. (1939). Acquisition and extinction of verbal expectations in a situation analogous to conditioning. *Journal of Experimental Psychology*, 25, 294-301.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Henry Holt & Co.
- Krechevsky, I. (1932). "Hypotheses" in rats. *Psychological Review*, 39, 516-532.
- Lamontagne, C. & Howe, J. A. M. (1980). *Towards a Computational Theory of Visual Motion Perception*. Ghent, Bel., Communication and Cognition.
- Lamontagne, C. (1976). *Steps Towards a Computational Theory of Visual Motion Detection: Designing a Working System*. Doctoral Thesis, University of Edinburgh, Edinburgh, U.K.
- Lawrence, D. H., & Festinger, L. (1962). *Deterrents and reinforcement: The psychology of insufficient reward*. Stanford: Stanford Univ. Press. 147-148.
- Levine, M. (1970). Human discrimination learning: The subset sampling assumption. *Psychological Bulletin*, 74, 397-404.
- MacCorquodale, K. & Meehl, P. E. (1954). Edward C. Tolman. In W. K. Estes, S. Koch, K. MacCorquodale, P. E. Meehl, C. G. Mueller, W. N. Schoenfeld, & W. S. Verplank, *Modern Learning Theory*. New York: Appleton-Century-Crofts, 177-266.
- MacCorquodale, K. & Meehl, P. E. (1953). Preliminary suggestions as to a formalization of expectancy theory. *Psychological Review*, 60, 55-63.
- McCulloch, W. S. & Pitts, W. H. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, 115-133.
- Minsky, M. (1975). A framework for representing knowledge. In P. Winston (Ed.), *The psychology of computer vision*. New York: McGraw-Hill.
- Minsky, M. (1968). *Semantic Information Processing*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Moar, I., & Bower, G. H. (1983). Inconsistency in spatial knowledge. *Memory & Cognition*, 11, 107-113.
- Morton, J. (1981). "Will cognition survive?" *Cognition* 10: 227-234.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and reality: Principles and implications*

- of cognitive psychology*. San Francisco: Freeman.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewoods Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc.
- Norman, D. A. & Bobrow, D. G. (1976). On the role of active memory processes in perception and cognition. In C. N. Cofer (Ed.), *The structure of human memory*. San Francisco: Freeman.
- Osgood, C. E. (1960). Cognitive dynamics in the conduct of the human affairs. *Public Opinion Quarterly*, 24, 341-365
- Piaget, Jean (1967). *Biologie et Connaissance*. Gallimard, Paris.
- Popper, K. (1975). *Objective knowledge. An Evolutionary Approach*. First published 1972, reprinted with corrections 1973 & 1975. Oxford: Clarendon Press.
- Popper, K. (1973). *La logique de la découverte scientifique*. Payot, Paris.
- Popper, K. (1963). *Conjectures and Refutation*. Routledge & Kegan Paul, London, U.K.
- Quillian, M. R. (1968). Semantic memory. in *Semantic information processing*, M. Minsky (Ed.), Cambridge Press, Mass.: MIT Press, 227-270.
- Rescorla, R. A. & Wagner, A. R. (1972). A Theory of Pavlovian Conditioning: Variations in the Effectiveness of Reinforcement and Nonreinforcement. In A. H. Black & W. F. Prokasy (Eds.), *Classical Conditioning II: Current Research and Theory*. New York. Appleton-Century-rofts.
- Restle, F. (1962). The selection of strategies in cue learning. *Psychological Review*, 69, 329-343.
- Robbins, D. (1971). Partial reinforcement: A selective review of the alleyway literature since 1960. *Psychological Bulletin*, 76, 415-431.
- Rumelhart, D. E. (1980³). Schemata: The building Blocks of Cognition. In R. J. Spiro, B. C. Bruce & W. F. Brewer (Eds.), *Theoretical Issues in Reading Comprehension*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rumelhart, D. E., & Ortony, A. (1977). The representation of knowledge in memory. In R. C. Anderson, R. J. Spiro, W. E. Montague (Eds.), *Schooling and the acquisition of knowledge*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Schank, R. C., & Childers, P. (1984). *The cognitive computer*. Reading, MA: Addison-Wesley. Chap. 4-8.

- Schank, R. C. & Abelson, R. P. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Schmidt, R. A. (1980). On the Theoretical Status of Time in Motor Program Representations. In G. E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in Motor Behavior*. North-Holland Publishing Company.
- Schmidt, R. A. (1975). A Schema Theory of Discrete Motor Skill Learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- Shannon, C. E. (1938). "A symbolic analysis of relay and switching circuits." Masters's thesis, MIT.; published in *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, 57, 1-11.
- Spiro, R. J. (1980). Accommodative reconstruction in prose recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 84-95. (a)
- Spiro, R. J. (1980). Prior knowledge and story processing: Integration, selection, and variation. *Poetics*, 9, 313-327. (b)
- Tinklepaugh, O. L. (1928). An experimental study of representation factors in monkeys. *Journal of Comparative Psychology*, 8, 197-236.
- Tolman, E. C. (1938). The determiners of behavior at a choice point. *Psychological Review*, 45, 1-41.
- Tolman, E. C. (1932). *Purposive behavior in animals and men*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Tolman, E. C. & Brunswick, E. (1935). The organism and the causal texture of the environment. *Psychological Review*, 42, 43-77.
- Tolman, E. C., Ritchie, B. F. & Kalish, D. (1947). Studies in spatial learning: V. Response learning vs. place learning by the non-correction method. *Journal of Experimental Psychology*, 37, 285-292.
- Tolman, E. C. Ritchie, B. F. & Kalish, D. (1946). Studies in spatial learning: II. Place learning vs. response learning. *Journal of Experimental Psychology*, 36, 221-229.
- Turing, A. M. (1936). On computable numbers with an application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, Series 2, 42, 230-265.
- Tversky, B. (1981). Distortions in memory for maps. *Cognitive Psychology*, 13, 407-433.
- Wicklund, R. A. & Brehm J. W. (1976). *Perspectives on cognitive dissonance*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Wiener, N. (1961). *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine*, 2nd. edition, Cambridge, Mass.: MIT Press.

Winograd, T. (1975). Frame representations and the declarative-procedural controversy. In D. G. Bobrow, & A. M. Collins (Eds.), *Representation and understanding: Studies in cognitive science*. New York: Academic Press.

Winograd, T. (1974). *Five lectures on artificial intelligence*. A.I.-Memo-246, Stanford.