

Ruddy LELOUCHE* et Stephane DOUBLAIT**

Proposition pour un modèle multi-agent avec un mécanisme d'adaptation et d'apprentissage assisté par l'humain

I. Introduction

Dans la vie de tous les jours, l'apprentissage et l'adaptation résultent de la répétition d'un cycle entre des faits physiques observables et des attitudes mentales. Les faits observables sont ceux que perçoit un acteur, en général humain ; ce sont les informations et caractéristiques de l'arrière-plan et les comportements d'autres acteurs. Les attitudes mentales résultent de cette perception, et font intervenir des informations dont le degré de vérité est variable, et que nous appellerons selon le cas *connaissance* au sens propre (information vraie), *croyance* (information qui peut être vraie ou fausse selon la justesse de la croyance en question), ou *bluff* (information fausse par définition).

La figure 1 montre comment le cycle s'exécute pour un acteur quelconque, que nous particularisons et appellerons l'*acteur de référence*. Partant d'une donnée observable, l'acteur interprète cette donnée, en faisant éventuellement intervenir les attitudes mentales déjà présentes dans son esprit, traite le tout, ce qui peut le conduire

* Département d'Informatique, UNIVERSITE LAVAL, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4 CANADA.

** BELL ATLANTIC INTERNATIONAL, 1310 North Courthouse Road, 5th floor, Arlington, VA 22209 U.S.A.

à construire de nouvelles attitudes mentales (*apprentissage*) et/ou à abandonner ou à modifier des attitudes mentales existantes (*adaptation*). Ce raisonnement est un processus *analytique*, fondé sur l'interprétation de faits et comportements observables, et visant à générer des attitudes mentales. Plus tard, ou à un moment différent, les attitudes mentales existantes de l'acteur pourront être explicitées au monde extérieur, par la génération de comportements observables par les autres. Dans la cas le plus simple, de tels comportements agissent simplement sur l'environnement en vue de le modifier. Dans des cas plus complexes et plus intéressants, ces comportements visent à faire connaître quelque chose aux autres. Ensuite, selon le but final que cherche à atteindre l'acteur de référence, cette explicitation pourra viser simplement à communiquer avec les autres, ou à les induire en erreur (s'il y a lieu de mettre en œuvre un type quelconque de bluff). Dans tous les cas, la deuxième moitié du cycle traite de l'*adaptation* à l'environnement (dans le sens le plus large) et met en jeu un type de raisonnement *synthétique*, fondé sur l'explicitation des attitudes mentales et visant à générer des comportements et autres faits observables.

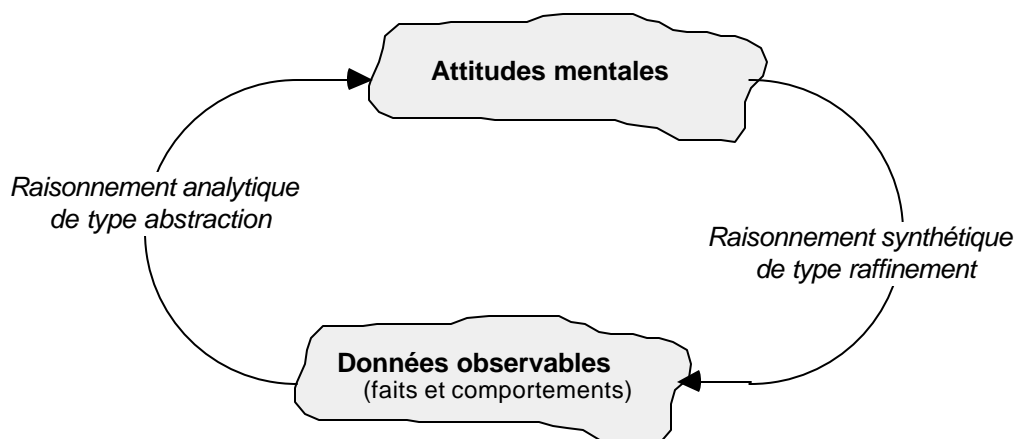


Figure 1. - Le cycle d'apprentissage et d'adaptation.

La section 2 de cet article introduit les pièces sur lesquelles est construit notre modèle, c'est-à-dire les divers éléments et structures de connaissance que nous estimons devoir être présents dans un véritable environnement multi-agent, et qui sont nécessaires pour détailler et éventuellement implanter le cycle de la figure 1. La

section 3 décrit les processus impliqués dans les deux moitiés de ce cycle de raisonnement (flèches de la figure 1) et montre comment il est possible d'utiliser les niveaux d'abstraction pour les modéliser adéquatement. Enfin, dans la section 4, nous tentons de montrer sur une simulation multi-agent (jeu de stratégie à quatre joueurs appelé *Sigma-File*) comment ces processus de raisonnement peuvent être automatisés et raffinés avec l'aide d'un tuteur humain au moyen d'un mécanisme d'apprentissage par instruction.

2. Taxonomie des éléments de connaissance d'un environnement multi-agent

Dans cette section nous explicitons d'abord (en 2.1) ce que nous appelons connaissance, croyance, et bluff, et comment ces diverses informations sont reliées aux attitudes mentales. Nous introduisons ensuite en 2.2 le concept de description statique d'une scène, puis résumons dans le reste de la section (2.3 à 2.6) les divers types d'éléments de connaissance qui caractérisent les environnements multi-agent complexes. Une description complète de cette approche, y compris une formalisation en logique du premier ordre, figure dans (Lelouche et Doublait, 1992) (dans ce texte, le terme "multi-acteur" est utilisé de manière interchangeable avec "multi-agent").

2.1. Connaissances, croyances, et bluff

Nous utilisons le terme générique "information" pour désigner un élément de connaissance qui peut être vrai ou faux. En fait, cette "information" peut être classée en trois types : les connaissances, les croyances, et le bluff. Nous utiliserons le terme *connaissance* pour désigner une information attestée comme vraie — telle qu'on la définit communément, par exemple dans Fetzer (1985) — le terme *croyance* pour désigner une information qui peut être vraie ou fausse (quelle qu'en soit la cause), mais qui est considérée comme vraie par le propriétaire de cette information (un acteur particulier), et le terme *bluff* pour désigner une information fausse intentionnellement introduite comme vraie par un acteur dans la base d'informations d'un autre acteur, ou dans la vue qu'il a de la base d'informations

publique. Cette définition du bluff implique qu'il doit y avoir au moins deux acteurs dans la scène, puisque le bluff nécessite un acteur pour l'introduire et au moins un autre acteur pour le croire (ou ne pas le croire) ; un environnement multi-agent est donc nécessaire à la modélisation du bluff.

Les faits et comportements observables sont évidemment des connaissances. Cependant les attitudes mentales peuvent consister en n'importe lequel des trois types d'informations.

2.2. *Concept de description statique d'une scène*

Dans notre modèle, nous considérons dans un premier temps l'environnement comme une collection de *descriptions statiques* de la scène, telles qu'elles sont décrites dans (Lelouche, 1986). Chaque description consiste en un *arrière-plan* (contexte temporel et géographique) et en un ou plusieurs *acteurs*. Nous utilisons le terme *statique* parce que chaque description statique est vue comme un instantané de la situation ou de la scène, obtenu en gelant temporairement l'arrière-plan et les attitudes mentales des acteurs (connaissances, croyances, et intentions de bluff). Dans un deuxième temps, les transitions d'une description à une autre sont obtenues par l'exécution de comportements d'acteurs, ou de suites planifiées de tels comportements, susceptibles de modifier l'arrière-plan ou les attitudes mentales des acteurs.

Dans notre modèle de description statique, nous distinguons divers types d'informations, comme illustré figure 2. Le reste de cette section décrit chacune de ces catégories d'informations.

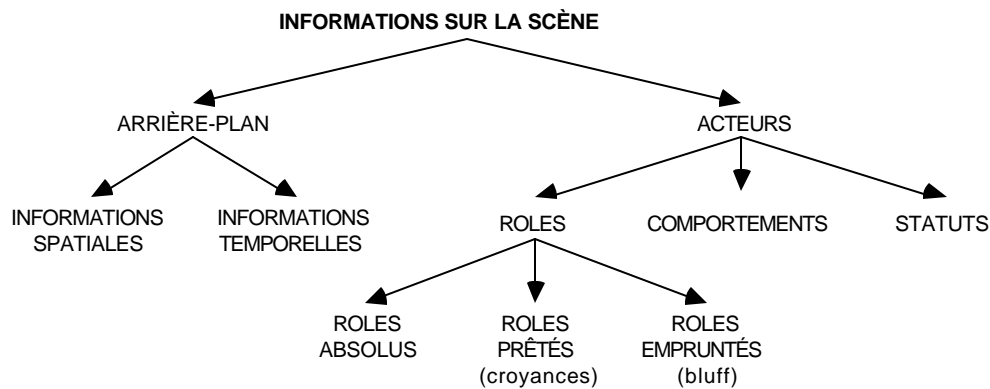


Figure 2. - Catégories d'informations décrivant une scène.

2.3. Informations d'arrière-plan

Les informations d'arrière-plan se divisent en deux groupes : les informations spatiales et les informations temporelles. Les *informations spatiales* décrivent des faits concernant des propriétés spatiales de la scène elle-même, telles que “il y a une table dans la pièce”, “il pleut dehors”, ou “l’espion Ivanov est à Tanger” (dans le jeu Sigma-File). Noter que, dans le dernier exemple, les espions ne sont pas considérés comme des acteurs, mais comme des *objets* de la scène. Les *informations temporelles* décrivent des faits concernant des propriétés temporelles de la scène elle-même, telles que “c’est le matin” ou “le numéro de tour de jeu est 17”.

L’arrière-plan consiste donc en toutes les informations non reliées aux acteurs ; telle est effectivement sa définition réelle et complète. Mais dans cet article, nous supposons en outre qu’il est *stable dans le temps et accessible à tous les acteurs*. De telles suppositions ne sont pas nécessairement vraies en général. Par exemple, il pourrait y avoir de la pluie maintenant, mais du soleil plus tard ou demain. De même, je peux ne pas connaître la taille d’une pièce si je ne l’ai jamais vue et si personne ne me l’a décrite. Qui plus est, je pourrais croire qu’il y a une table dans cette pièce si quelqu’un me l’a dit, que cela soit vrai ou pas. Ainsi, les possibilités de croyances et même de bluff concernant l’arrière-plan existent dans la vie réelle.

Toutefois, dans cet article, nous traitons essentiellement les informations concernant les acteurs, parce que ce sont les plus

intéressantes, mais aussi les plus difficiles à modéliser adéquatement. C'est pourquoi, afin de simplifier notre discussion, nous supposons que toutes les informations concernant l'arrière-plan sont observables et certaines. En effet, lorsqu'il est pertinent de les inclure, les possibilités de croyances et de bluff concernant l'arrière-plan peuvent être facilement extrapolées à partir de notre discussion, limitée aux cas où les croyances et le bluff ne concernent que les acteurs (qui peuvent d'ailleurs être l'acteur de référence lui-même ou d'autres acteurs).

2.4. Statuts et comportements des acteurs

Contrairement à l'arrière-plan de l'environnement, les acteurs sont capables de prendre des décisions, et la mise en pratique de telles décisions peut conduire à des modifications de l'environnement. Les informations concernant les acteurs se divisent en trois catégories : les *statuts*, les *comportements*, et les *rôles*. Nous nous intéressons ici aux deux premières catégories, qui sont les plus simples, tandis que les rôles sont présentés en 2.5.

2.4.1. Statuts des acteurs

Chaque acteur est défini par un ensemble de statuts qui permettent de le décrire, soit dans la situation courante soit de manière permanente, indépendamment des autres acteurs, mais éventuellement en fonction de l'arrière-plan. Des exemples de statuts sont : "Jean est un homme" (statut biologique ou sexuel), "Jean a la rougeole" (statut médical), "Jean est dans la pièce-1" (statut géographique), "Jean est médecin" (statut social), "le joueur CIA a un solde courant de \$2500" (statut financier dans le jeu Sigma-File), ou "le joueur KGB doit jouer au prochain tour" (statut de jeu).

2.4.2. Comportements des acteurs

Les comportements traduisent des actions qu'un acteur peut accomplir pour modifier la scène. Il s'agit d'une information statique en ce sens qu'elle correspond à un acte physique effectif *maintenant*. Cependant, il pourrait être utilisé *plus tard* pour déclencher chez les acteurs de nouvelles attitudes mentales. Des exemples de comportements sont "Bob est assis", "Robert porte un parapluie", "Jean embrasse Marie", or "le joueur CIA déplace l'espion Ivanov de Tanger à Paris".

Comme pour les statuts, certains comportements impliquent nécessairement un autre acteur ou d'autres acteurs (par exemple embrasser ou enseigner), tandis que d'autres pourraient aussi bien se produire dans un environnement mono-agent (position, habillement, mouvements, etc.). La différence entre un statut et un

comportement, lorsque d'autres acteurs sont impliqués, est que l'exécution du comportement implique la *présence physique* d'acteur(s) spécifique(s) (destinataires du comportement), tandis que le statut implique seulement l'*existence* de tels acteurs.

2.5. Rôles des acteurs

Parmi les informations décrivant les acteurs, les rôles constituent la catégorie la plus complexe et méritent donc d'être traités en détail. Un rôle définit des relations possibles entre l'acteur de référence et un (ou plusieurs) de ses protagonistes effectifs. En suivant (Lelouche, 1986), nous distinguons trois types de rôles : les rôles absolus, les rôles prêtés et les rôles empruntés.

2.5.1. Rôles absolus

Les rôles absolus sont les plus évidents. Ils modèlent différents types de relations entre les acteurs (par exemple sociale, psychologique, relationnelle, ou affective). Des exemples de rôles absolus sont "Jean aime Marie" (rôle affectif que Jean sait être vrai), "le joueur CIA coopère avec le joueur IS" (rôle relationnel qu'au moins le joueur CIA sait être vrai), ou "Jean est le patron de Marie" (rôles social et relationnel connus à la fois de Jean et de Marie).

Un statut décrit l'acteur de référence indépendamment des autres acteurs de la scène (même s'il implique l'existence d'autres acteurs), tandis qu'un rôle absolu le décrit par rapport à un ou d'autres acteur(s) *spécifique(s)*. Là réside la différence principale entre les deux. Ainsi "Jean est un professeur" est un statut (social permanent) parce qu'il ne dépend pas d'acteur(s) avec qui Jean est en relation à un moment quelconque, mais "Jean est le professeur de Marie" est un rôle absolu, spécifiquement dirigé à un acteur particulier. Toutefois, la présence physique de Marie n'est pas nécessaire pour que ce rôle existe, comme elle le serait dans le cas d'un comportement.

2.5.2. Croyances et rôles prêtés

Une croyance désigne une information qui fait partie de l'univers d'un acteur, que cette information soit vraie ou non, mais que cet acteur estime être vraie. Par exemple, je peux croire qu'il y a une chaise dans une pièce que je ne connais pas (qu'il y en ait une ou pas) ou qu'il pleuvra demain (quel que soit le temps qu'il fera effectivement). De telles croyances concernent l'arrière-plan de l'environnement.

Évidemment, il existe aussi des croyances qui concernent les (d'autres) acteurs. Pour introduire cette notion particulière, nous définissons le concept de rôle prêté : nous disons qu'un rôle est *prêté* par un acteur X à un acteur Y lorsqu'il représente la perception (possiblement incertaine) qu'a X d'un rôle ou d'un statut de Y. Par exemple, si Jean pense que Marie l'aime, "Marie aime Jean" désigne un rôle prêté par Jean à Marie, qui peut coïncider ou non avec un des rôles absolus de Marie.

Ainsi, les croyances peuvent concerner soit l'arrière-plan soit d'autres acteurs. Comme dans cet article, nous intéressant principalement aux derniers, nous supposons (comme nous l'avons déjà indiqué) que toute information concernant l'arrière-plan est accessible à tous et à toutes (bien que ce ne soit pas généralement le cas dans la vie réelle), il s'ensuit qu'*il n'existe pas de croyance concernant l'arrière-plan*, mais seulement des certitudes (connaissances).

Comme une croyance est par nature incertaine, il peut être commode de lui associer un certain *niveau de confiance*. Celui-ci peut alors être *quantitatif*, en utilisant des coefficients numériques tels que les facteurs de certitude (Lenat et Guha, 1990), ou purement *qualitatif*, en utilisant des adjectifs flous. Par exemple, "Bill est le professeur de Jean" pourrait être déduit avec une confiance de 60%, ou qualitativement avec une confiance "raisonnable".

2.5.3. *Bluff et rôles empruntés*

Comme pour les croyances, nous avons vu que le *bluff* peut aussi concerner l'environnement, mais nous écartons ce cas ici.

Donc, pour introduire la notion de bluff concernant les acteurs, nous définissons le concept de rôle emprunté : nous disons qu'un rôle est *emprunté* par un acteur X envers un acteur Y lorsqu'il véhicule une information qui est en général fausse, mais que X veut faire croire à Y comme vraie. L'objet d'un rôle emprunté peut être (et est souvent) en contradiction avec un comportement, un statut ou un rôle absolu de l'acteur sur qui porte le rôle emprunté. Par exemple, si Bill n'aime que Jeanne (rôle absolu), Bill peut vouloir faire croire, soit à Marie, soit à quelqu'un d'autre, qu'il aime Marie (rôle emprunté de Bill concernant Marie), ou encore Pierre peut vouloir faire croire à Jeanne que Bill aime Marie (rôle emprunté de Pierre vis-à-vis de Jeanne et concernant Bill).

2.5.4. *Récurtivité des rôles*

Pour modéliser adéquatement et de manière expressive les rôles prêtés et empruntés, nous adoptons le *solipsisme cognitif récursif* (*recursive cognitive solipsism*, terme philosophique introduit par Wilks (1985) en intelligence artificielle à propos des croyances), c'est-à-dire que nous modélisons de manière récursive tous les rôles de l'acteur de référence (ou d'un acteur particulier quelconque) : ses rôles absolus et ses croyances, mais aussi ses intentions de bluff. Nous autorisons donc un niveau d'imbrication arbitraire des rôles, de manière à pouvoir représenter des expressions complexes telles que "Jean soupçonne que Marie veut faire croire à Bill que Jeanne est médecin". Barnden (1989) mentionne que les chercheurs "escamotent" souvent le problème du traitement détaillé des attitudes imbriquées (par exemple croyance à propos d'une croyance ou d'un statut) en concentrant d'abord leur attention sur le sous-problème des attitudes non imbriquées, et en étendant ensuite leur approche de manière simple pour traiter les attitudes imbriquées. Cependant, il remarque également qu'un large éventail de schémas de représentation des attitudes se heurtent à un profond et subtil problème lorsqu'on les applique à des attitudes imbriquées. Nous sommes complètement d'accord avec Barnden sur ce point, et avons décidé dès le départ de prendre en compte les attitudes imbriquées dans notre formalisme. Quoi qu'il en soit, la raison essentielle de notre approche est que les rôles prêtés et empruntés,

attitudes fondamentalement imbriquées, ne peuvent jamais s'exprimer de manière non imbriquée.

En fait, le niveau terminal (le plus profond) d'un rôle récursif (c'est-à-dire prêté ou emprunté) est nécessairement un rôle absolu, un statut, ou un comportement, et ne peut jamais être une information concernant l'arrière-plan. La raison en est que les rôles prêtés ne modélisent qu'un sous-ensemble des croyances possibles d'un acteur, à savoir les *croyances concernant d'autres acteurs*, et sont incapables de modéliser des croyances concernant l'arrière-plan, comme "Jean croit qu'il y a une table dans la pièce". De même, les rôles empruntés ne peuvent modéliser que le *bluff concernant des acteurs* (y compris soi-même), et ne peuvent donc pas modéliser des intentions de bluff comme "Jean veut faire croire à Bill qu'il y a une table derrière lui" (bluff concernant l'arrière-plan). Cela est lié à la définition même des rôles prêtés et empruntés : un acteur ne peut prêter un rôle qu'à *un autre acteur ou à d'autres acteurs*, et ne peut emprunter un rôle que *vis-à-vis d'un autre (ou d'autres) acteur(s)*. Par exemple, un acteur ne peut pas prêter à un de ses protagonistes le rôle correspondant à la présence ou à l'absence d'une table dans une pièce ! (mais il peut lui prêter le rôle d'être un médecin, qui est un statut). Si ces résultats peuvent sembler étranges, c'est parce que nous n'utilisons pas d'expression verbale particulière pour exprimer des rôles. En effet, nous avons naturellement tendance à exprimer des rôles prêtés et empruntés au moyen d'expressions comme "... croit que..." ou "... pense que..." (pour les rôles prêtés), et "... veut faire croire à ... que..." ou "... fait semblant que..." (pour les rôles empruntés). Nous conserverons de telles expressions par souci de clarté, parce que l'utilisation d'expressions telles que "... prête à... le rôle de...", bien que plus précise, alourdirait la langue naturelle.

2.6. Plans comme suites de comportements

S'il désire expliciter une attitude mentale, l'acteur de référence doit manifester quelque forme de comportement, qui peut être plus ou moins élaboré, mais qui doit être visible, c'est-à-dire observable par les autres acteurs. Nous supposons que l'attitude mentale à

expliciter conduit en bout de course à quelque forme de *but* à atteindre, comme nous le montrons de manière plus précise dans la section 3. Des buts possibles sont, sans que cette liste soit limitative : modifier quelque chose dans l'arrière-plan, mettre en évidence un rôle absolu (par exemple relationnel ou psychologique), ou transférer dans l'état d'esprit de quelqu'un d'autre une croyance, qui peut d'ailleurs correspondre (p. ex. informer ou convaincre) ou non (bluffer) à quelque chose de vrai. La manière d'atteindre un tel but dépend de sa complexité, et les chances qu'il soit effectivement atteint dépendent aussi du fait qu'il s'agit de connaissance vraie, de croyance, ou de bluff.

Dans tous les cas, nous supposons que c'est au moyen d'un certain comportement que l'acteur de référence tente de se rapprocher du but projeté. Comme ce comportement peut être plus ou moins élaboré, nous supposons aussi que, dans les cas les plus complexes, il consiste en une suite structurée de comportements élémentaires. L'élaboration d'une telle suite peut être très difficile. En effet, induire une connaissance fautive dans l'esprit de quelqu'un d'autre demande en général plus de temps et une suite de comportements plus complexe que "simplement" agir sur l'arrière-plan "passif"¹. En général, on peut supposer qu'une telle suite résulte d'une stratégie, ou d'une tactique, qui guide l'acteur de référence. Afin d'utiliser un terme aussi neutre que possible et de nous conformer à une terminologie largement acceptée (bien qu'elle soit très souvent utilisée dans d'autres domaines), nous appellerons *plan* cette structure, et activité de *planification* l'activité prenant place entre l'apparition du but à atteindre et l'exécution du plan. Comme nous l'avons déjà fait dans (Doublait et Lelouche, 1989), nous appellerons *mise en œuvre du plan* le processus de planification par lequel le plan est transformé en la suite retenue de comportements élémentaires. Nous détaillons maintenant ce processus.

¹ Agir sur l'arrière-plan peut aussi demander une longue suite de comportements élémentaires, mais l'effet de ces comportements est plus facilement prévisible que si le but consiste à faire croire à quelqu'un quelque chose de faux.

3. Modélisation de l'abstraction et de l'adaptation dans le processus de prise de décision

Nous étudions ici plus en détail le processus de prise de décision introduit dans la section 1. Nous supposons que, pour s'adapter à des modifications récentes de l'environnement, l'acteur de référence doit prendre des décisions à des points discrets de l'échelle des temps. Ce processus est commandé par des buts à long terme² implicites que tout acteur doit atteindre dans son existence (par exemple survivre, exercer une certaine profession, ou gagner la partie dans le contexte d'un jeu, etc.). Ces buts peuvent être (par exemple gagner la partie) ou non (par exemple survivre dans la plupart des situations) en conflit avec des buts poursuivis par d'autres acteurs de la scène.

Nous divisons le processus de prise de décision en les deux phases consécutives indiquées figure 1, et que nous appellerons l'analyse et la résolution. Pendant la *phase d'analyse*, l'acteur de référence doit générer ses attitudes mentales ou les modifier à partir de son interprétation de données récemment observées (informations d'arrière-plan ou statuts et comportements observables des acteurs, y compris lui-même) et de ses attitudes mentales existantes. Pendant la *phase de résolution*, l'acteur de référence doit utiliser ces attitudes mentales pour les expliciter en des comportements observables, guidé par des buts et en suivant des plans visant à atteindre ces buts.

En 3.1 nous examinons les caractéristiques des diverses hiérarchies d'abstraction et de raffinement qui accueillent les informations utilisées au cours du processus de prise de décision. Ensuite nous montrons en 3.2, en l'illustrant par un exemple, comment des transitions entre ces hiérarchies permettent d'inférer

² L'échéance d'un but est toujours relativement longue par rapport à l'enchaînement de situations qui nous intéresse et que nous tentons de décrire.

de nouvelles informations et d'assurer la continuité du processus mental.

3.1. Niveaux d'abstraction dans le processus de prise de décision

Nous examinons maintenant comment nous utilisons le concept clé de l'abstraction pour organiser les informations au cours des deux phases du processus de prise de décision indiqué figure 1.

Les attitudes mentales et les comportements existent à différents niveaux d'abstraction. Différents acteurs peuvent atteindre des niveaux d'abstraction différents, selon la complexité de l'environnement et ses capacités d'abstraction propres. Lenat, Hayes-Roth et Klahr considèrent déjà en 1979 que la connaissance existe à différents niveaux de détail et d'abstraction, et que l'utilisation du niveau adéquat améliore significativement l'expressivité et l'efficacité du raisonnement. Plus récemment, Malec (1989) renchérit en estimant que l'organisation à plusieurs niveaux des modules de traitement de la connaissance permet de simplifier les procédures qui en résultent.

Comme la portée de notre article est très générale, nous donnons à "abstraction" un sens très large, dans lequel "plus abstrait" peut signifier tout ou partie de "plus général", "moins détaillé", "moins concret", et par suite souvent "plus subjectif" et/ou "plus incertain". Le dénominateur commun de tous ces types d'abstraction est toujours que, si l'on augmente le niveau d'abstraction d'une caractéristique ou d'une propriété, l'ensemble des cas ayant cette caractéristique ou satisfaisant cette propriété augmente également. Noter que le contraire n'est pas nécessairement vrai ; par exemple, changer "rouge" en "rouge ou bleu" laisse le niveau d'abstraction inchangé (c'est simplement le domaine de valeurs qui change), tandis que changer "rouge" en "qui tire sur le rouge" ou "à dominante rouge" (selon le type d'objets concernés et le type d'inférences à effectuer) augmente effectivement le niveau d'abstraction.

3.1.1. Ressemblances et différences entre les phases d'analyse et de résolution

Dans notre cas, la nature des processus d'analyse (de données observables à des attitudes mentales de niveau potentiellement élevé) fait qu'ils se caractérisent par des niveaux d'abstraction croissants ; au contraire, les processus de résolution (des attitudes mentales de haut niveau à des actions observables) sont caractérisés par des niveaux d'abstraction décroissants.

Les deux phases diffèrent quant à la vérité des informations mises en œuvre. En effet, les processus d'analyse génèrent des informations qui sont soit vraies (*connaissances*) soit incertaines (*croyances*). À l'opposé, les processus de résolution conduisent à des informations qui sont soit vraies (*connaissances*), soit intentionnellement fausses (*intentions de bluff*).

Enfin, les deux phases diffèrent quant aux instants auxquels font référence les informations traitées. Si le processus de décision s'écoule de l'instant T_0 à l'instant T_1 , toute information inférée pendant la phase d'analyse caractérise l'environnement tel qu'il était à des instants précédant T_0 . Au contraire, les informations construites pendant la phase de résolution caractérisent des actions que l'acteur de référence devra accomplir après la fin du processus de prise de décision, donc après T_1 .

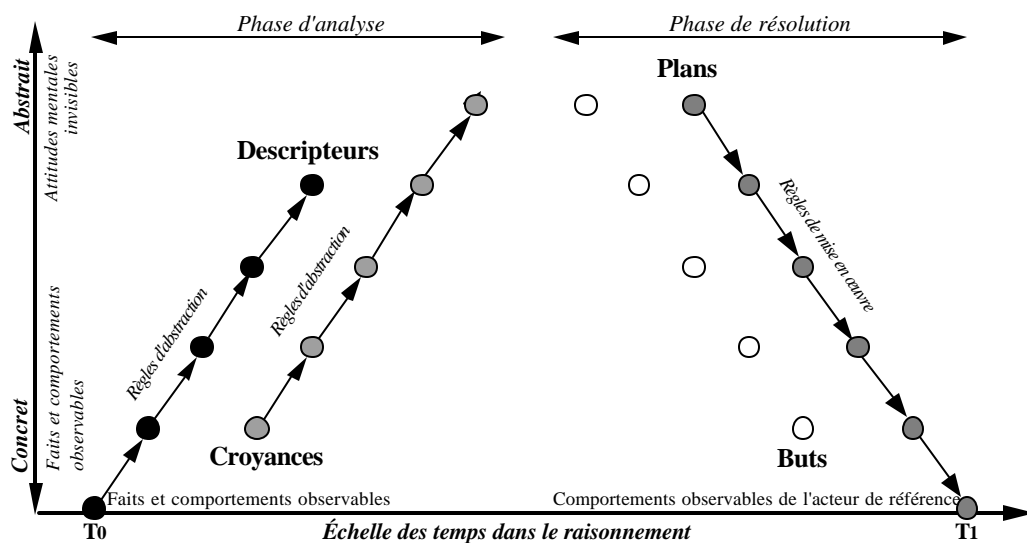


Figure 3. - Hiérarchies d'abstraction dans le processus de prise de décision.

La figure 3 illustre les dimensions d'abstraction, de véracité et de chronologie au cours d'un cycle de prise de décision. Il existe deux hiérarchies d'abstraction dans chaque phase: les *descripteurs* et les *croyances* dans la phase d'analyse, les *buts* et les *plans* dans la phase de résolution. Nous expliquons ces termes dans les sous-sections suivantes. Les descripteurs et les croyances de haut niveau se déduisent respectivement de descripteurs et de croyances de bas niveau au moyen de *règles d'abstraction* ascendantes, tandis que les plans de bas niveau et les comportements se déduisent de plans de haut niveau au moyen de *règles de mise en œuvre* descendantes. Il n'existe pas de règles de transition entre les buts de différents niveaux d'abstraction, parce que les buts sont simplement des points d'entrée dans la hiérarchie des plans (voir 3.1.4).

3.1.2. Hiérarchie des descripteurs

Les descripteurs font référence à des informations certaines, plus ou moins abstraites, et plus ou moins subjectives. Ils se déduisent des seuls faits et comportements observables, et peuvent s'exprimer en niveaux d'abstraction croissants. Par exemple, "le numéro de tour de jeu est 5" est un fait observable, tandis que "le jeu est en phase d'ouverture" est un descripteur plus abstrait déduit de ce fait. C'est bien d'un descripteur qu'il s'agit, puisque

l'information correspondante est certaine, même si elle est plus abstraite et plus subjective (la notion d'ouverture peut différer d'un joueur à l'autre) que le fait observable initial d'où elle est issue (les faits et comportements observables sont objectifs par nature). Il n'y a pas de maximum théorique aux niveaux d'abstraction des descripteurs ; un tel maximum, s'il existe, dépend de l'application.

DESCRIPTEURS	<i>concernant l'acteur de référence</i>	<i>concernant les autres acteurs</i>	<i>concernant l'arrière-plan</i>
<i>Info. d'arrière-plan</i>	—	—	Toutes
<i>Comportements</i>	Tous	Observables seulement	—
<i>Statuts</i>	Tous	Observables seulement	—
<i>Rôles absolus</i>	Tous	Observables seulement	—
<i>Rôles prêtés</i>	∅	∅	—
<i>Rôles empruntés</i>	∅	∅	—

Figure 4. - Éléments de connaissance de la hiérarchie des descripteurs.

Dans la figure 4 nous montrons, parmi les éléments de connaissance définis dans la section 2, lesquels peuvent figurer dans la hiérarchie des descripteurs. Les descripteurs peuvent s'appliquer à l'arrière-plan, de même qu'à l'acteur de référence ou aux autres acteurs. Rappelons que l'acteur de référence est celui qui développe mentalement les hiérarchies que nous définissons ici pour modéliser ses attitudes et comportements : il a par nature une connaissance complète et certaine de soi, tandis que la connaissance qu'il a des autres acteurs est partielle et éventuellement incertaine.

Comme par définition l'acteur de référence connaît tout de lui-même, tous les comportements, statuts, et rôles absolus de l'acteur de référence sont modélisables dans la hiérarchie des descripteurs, à divers niveaux d'abstraction. Cependant, seuls les comportements, statuts, et rôles absolus *observables* des autres acteurs sont modélisables par des descripteurs, à divers niveaux d'abstraction. Ce qui est observable des autres acteurs comprend typiquement la

plupart des comportements (par exemple “courir”), quelques statuts (par exemple les statuts physiques), et un nombre limité de rôles absolus, puisque les rôles représentent souvent des relations mentales, donc invisibles, entre les acteurs (par exemple rôles affectifs ou psychologiques). Par définition, les rôles prêtés ne peuvent pas être modélisés par des descripteurs puisqu’ils sont incertains. A fortiori, les rôles empruntés ne peuvent pas être modélisés par des descripteurs puisqu’ils correspondent à des intentions de l’acteur et ne font même pas partie de la phase d’analyse.

Notre hypothèse sur l’arrière-plan (voir 2.3) implique que tout ce qui le concerne est observable et peut donc être modélisé par des descripteurs appropriés à divers niveaux d’abstraction.

3.1.3. Hiérarchie des croyances

Les croyances font référence à des informations incertaines (c’est-à-dire soit vraies soit fausses). Elles peuvent aussi s’exprimer à différents niveaux d’abstraction. Par exemple, “il y a peu de biscuits dans la boîte” est plus abstrait que “il y a trois biscuits dans la boîte”. Les deux propositions traduisent des croyances (avec éventuellement des niveaux de confiance associés différents), en supposant par exemple que le contenu de la boîte est inconnu mais peut être estimé par son poids. Par définition, aucune croyance n’est certaine et observable, ce qui explique que la hiérarchie des croyances dans la figure 3 commence à un niveau d’abstraction plus grand que la hiérarchie des descripteurs. Comme pour les descripteurs, il n’y a pas de maximum théorique aux niveaux d’abstraction des croyances.

CROYANCES	<i>concernant l'acteur de référence</i>	<i>concernant les autres acteurs</i>	<i>concernant l'arrière-plan</i>
<i>Info. d'arrière-plan</i>	—	—	∅ (notre hypothèse)
<i>Comportements</i>	∅	Tous (par les rôles prêtés)	—
<i>Statuts</i>	∅	Tous (par les rôles prêtés)	—
<i>Rôles absolus</i>	∅	Tous (par les rôles prêtés)	—
<i>Rôles prêtés</i>	∅	Tous (par les rôles prêtés récursifs)	—
<i>Rôles empruntés</i>	∅	Tous (par les rôles prêtés récursifs)	—

Figure 5. - Éléments de connaissance de la hiérarchie des croyances.

Le lecteur aura remarqué que, dans la figure 3, la hiérarchie des croyances est à droite de celle des descripteurs, donc postérieure. Cela se justifie par le fait que les croyances sont déduites des descripteurs (elles apparaissent donc plus tard dans le processus de décision) et non l'inverse, comme nous l'expliquons plus en détail en 3.2. Pour la même raison (et cela est également illustré figure 3), les croyances atteignent typiquement des niveaux d'abstraction plus élevés que les descripteurs.

Dans la figure 5, nous indiquons quels éléments de connaissance peuvent figurer dans la hiérarchie des croyances. Toutes les informations concernant l'acteur de référence sont certaines par nature, et ne peuvent donc pas être modélisées dans la hiérarchie des croyances. De même, toutes les informations concernant l'arrière-plan sont certaines (notre hypothèse), et ne peuvent donc pas non plus être modélisées dans la hiérarchie des croyances.

Comme les rôles prêtés définissent toutes les croyances d'un acteur concernant un autre acteur, ils peuvent certainement tous être

modélisés dans la hiérarchie des croyances, à divers niveaux d'abstraction. Dans les cas les plus simples, l'argument objet d'un rôle prêté peut être un comportement, un statut, ou un rôle absolu (exemples : “je l'imagine assise, belle, et affectueuse”). Cependant, comme les rôles prêtés sont récursifs (voir 2.5.4), l'argument objet peut également être un rôle emprunté ou un autre rôle prêté (exemples : “je pense qu'elle veut m'impressionner et qu'elle me croit riche”). Nous définissons le niveau d'abstraction d'un rôle prêté comme le niveau d'abstraction de son argument objet plus un. Cette définition tient compte du fait intuitif que la récursivité augmente le niveau d'abstraction (et de complexité) : plus la récursivité est importante, plus l'abstraction l'est aussi.

3.1.4. Hiérarchie des buts

Un but est un état à atteindre par l'acteur de référence afin de s'adapter à des modifications (éventuellement récentes) de son environnement. Les buts sont certains et vrais, bien que leur atteinte effective ne puisse être vérifiée que dans le futur (c'est-à-dire après la fin du processus de décision). Les buts peuvent également s'exprimer à divers niveaux d'abstraction. Par exemple, “se trouver dans moins d'une semaine où on fait du cinéma” est plus abstrait que “se trouver dans cinq jours aux studios MGM à Hollywood”. Comme ces exemples le montrent, les considérations temporelles font intrinsèquement partie des buts (de manière implicite ou explicite) sous la forme d'une durée ou d'une date spécifique maximale à laquelle l'état-but doit être atteint.

Bien que les buts puissent être définis à différents niveaux d'abstraction, nous nions l'existence de transitions entre les différents niveaux de la hiérarchie des buts, ce qui explique l'absence de flèches dans la figure 3 pour cette hiérarchie. La raison en est qu'un but désigne un *état à atteindre dans le futur* : d'une part on ne peut décomposer un but en sous-but(s) d'abstraction moindre, d'autre part de tels sous-buts n'atteindraient jamais le niveau 0 des observables puisqu'un but ne peut pas être observé. Cependant, les plans permettant d'atteindre ces buts (voir 3.1.5) peuvent être observés en bout de course, lorsqu'ils atteignent le

niveau des actions exécutables (niveau 0 de la hiérarchie des plans). En fait, les buts sont simplement des points d'entrée dans la hiérarchie des plans (voir 3.2).

L'acteur de référence peut se fixer un but ne visant qu'à tromper d'autres acteurs, ce qui équivaut aux *intentions de bluff* définies dans la section 2. Par exemple, "(l'état à atteindre est) Jean croit que je suis une vedette de cinéma" est un état caractérisant un faux statut de moi (l'acteur de référence) en vue de le faire admettre pour vrai par un autre acteur, ici Jean.

BUTS	<i>concernant l'acteur de référence</i>	<i>concernant les autres acteurs</i>	<i>concernant l'arrière-plan</i>
<i>Info. d'arrière-plan</i>	—	—	∅ (notre hypothèse)
<i>Comportements</i>	Oui, si atteignable	Oui, si observable et raisonnablement atteignable	—
<i>Statuts</i>	Oui, si atteignable	Oui, si observable et raisonnablement atteignable	—
<i>Rôles absolus</i>	Oui, si atteignable	Oui, si observable et raisonnablement atteignable	—
<i>Rôles prêtés</i>	(voir figure 7)	(voir figure 7)	—
<i>Rôles empruntés</i>	(voir figure 7)	(voir figure 7)	—

Figure 6. - Éléments de connaissance de la hiérarchie des buts.

La figure 6 indique les éléments de connaissance modélisables dans la hiérarchie des buts.

Comme les buts représentent des états de l'univers (de l'acteur de référence) à atteindre, tous les éléments de connaissance pouvant être modélisés par des descripteurs peuvent aussi être modélisés par des buts, pour autant que les états ainsi décrits soient raisonnablement atteignables. Comme nous l'avons vu en 3.1.2 et dans la figure 4, cela inclut les comportements, les statuts, et les

rôles absolus, décrivant l'acteur de référence ou les autres acteurs. Des exemples de buts n'impliquant que l'acteur de référence sont : "Je veux être pompier" (statut social), "Je veux me protéger de la pluie" (comportement abstrait), "Je veux être le mari de Marie" (rôle absolu relationnel et affectif). Un but impliquant un autre acteur pourrait être : "Je veux que mon fils soit avocat" (statut social).

De plus, comme un état de l'univers (de l'acteur de référence) peut inclure des croyances et des intentions de bluff, c'est-à-dire dans notre cas des rôles prêtés et empruntés, ceux-là peuvent aussi être des buts (au moins partiels). Toutefois, de tels rôles ne peuvent pas être montrés figure 6 comme ils l'ont été figures 4 et 5, parce que les buts peuvent aussi impliquer les univers des autres acteurs, et pas seulement celui de l'acteur de référence. Si nous voulons modéliser adéquatement un but comprenant des rôles prêtés ou empruntés, nous devons donc distinguer le propriétaire du rôle (c'est-à-dire l'univers dont ce rôle fait partie) et l'acteur concerné par ce rôle (c'est-à-dire qui en est le destinataire). C'est ce que fait la figure 7. Elle montre clairement que je ne peux pas avoir pour but de croire quelque chose (rôle qui serait prêté par l'acteur de référence) ou de me faire croire quelque chose (rôle emprunté par un autre acteur mais qui serait dirigé à l'acteur de référence). Cependant, il m'est certainement possible d'avoir pour but de *faire admettre* quelque chose à quelqu'un (rôle prêté par un autre ou d'autres, qu'il me faudra donc convaincre). Surtout, je peux avoir pour but d'*agir* (ou de convaincre un complice d'agir) *de manière* à amener une personne à croire quelque chose (de vrai si je veux simplement convaincre la personne, ou de faux si je désire en outre la tromper). Ce dernier cas est l'élément nouveau et intéressant apporté par les buts : *les rôles empruntés* (de l'acteur de référence ou d'autres acteurs) *ne peuvent figurer que dans la phase de résolution*, et (ce qui est encore plus important) *nécessairement en tant que buts*, à différents niveaux d'abstraction. Comme pour les rôles prêtés, nous pouvons définir le niveau d'abstraction d'un rôle emprunté comme le niveau d'abstraction de son argument objet plus un.

<i>ELEMENTS DE BUT DE L'ACTEUR DE REFERENCE</i>	<i>par l'acteur de référence</i>		<i>par un autre acteur</i>	
	<i>vis-à-vis de l'acteur de référence</i>	<i>vis-à-vis d'autres acteurs</i>	<i>vis-à-vis de l'acteur de référence</i>	<i>vis-à-vis d'autres acteurs</i>
<i>Rôle prêté</i>	NON (absurde)		OUI (par conviction)	
<i>Rôle emprunté</i>	NON ³	OUI, tous	NON ⁴	OUI (par conviction)

Figure 7. - Rôles prêtés et empruntés en tant que buts.

3.1.5. Hiérarchie des plans

Les plans représentent des actions plus ou moins abstraites qui, enchaînées dans le bon ordre, peuvent permettre d'atteindre un but particulier. Les plans peuvent se décomposer récursivement en des sous-plans de niveaux d'abstraction plus faibles, jusqu'à ce que ces sous-plans ne puissent plus être raffinés. Lorsqu'un sous-plan atteint sa limite de raffinement, il se réduit à une action exécutable, et donc observable par toute la communauté des acteurs s'il s'agit d'une action publique. Le processus de raffinement d'un plan en sous-plans de niveaux plus faibles s'appelle la *mise en œuvre* du plan. Un but peut être atteint par l'exécution de différents plans possibles. Nous dirons qu'un plan est de niveau d'abstraction N lorsqu'il permet d'atteindre un but de même niveau d'abstraction N .

En fait, un plan peut se représenter par un arbre, comme indiqué par l'exemple partiel de la figure 8. Chaque niveau de l'arbre

³ Des études psychologiques mentionnent des cas où l'acteur de référence "désire se leurrer lui-même" pour des raisons profondes qui explique(raie)nt un comportement apparemment incohérent ou illogique. Mais de tels "buts" ne sont pas le résultat d'une activité de raisonnement consciente visant à atteindre un certain état de l'univers, et par conséquent ne sont pas des buts dans le sens de cet article.

⁴ Des considérations semblables s'appliquent aux cas où l'acteur de référence "désire que quelqu'un d'autre le leurre".

correspond à un niveau d'abstraction, dont les nœuds sont ordonnés de manière à respecter la séquence du plan. Les feuilles représentent des actions élémentaires (niveau d'abstraction 0), tandis que les nœuds intermédiaires représentent des sous-plans nécessitant un raffinement supplémentaire (explicité par le sous-arbre ayant ce nœud pour racine).

Comme un plan est au départ une action abstraite et en fin de mise en œuvre une suite structurée d'actions concrètes, il ne peut pas contenir d'informations d'arrière-plan, de statuts, ni de rôles, mais seulement des actions, donc des comportements. De plus, comme un plan permet d'atteindre un but de l'acteur de référence, il ne peut contenir que des comportements que l'acteur de référence envisage d'exécuter. En d'autres termes, *la hiérarchie des plans ne contient que des comportements de l'acteur de référence (c'est-à-dire exécutables par l'acteur de référence), à différents niveaux d'abstraction.*

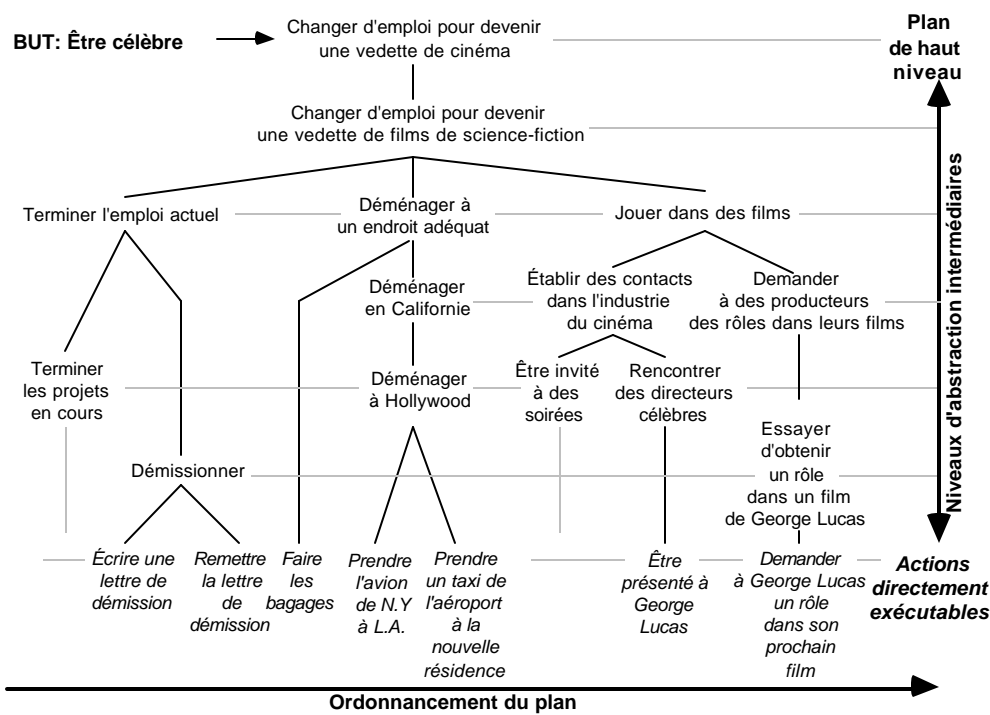


Figure 8. - Représentation arborescente d'un plan de haut niveau.

3.2. Transitions entre les hiérarchies d'abstraction

En 3.1, nous avons montré comment on peut définir les descripteurs, les croyances, les buts et les plans à divers niveaux d'abstraction. Nous avons également montré l'existence de *règles de transition intra-hiérarchie*, à savoir les *règles d'abstraction*, pour déduire des descripteurs et des croyances de haut niveau à partir respectivement de descripteurs et de croyances de bas niveau, et les *règles de mise en œuvre* pour raffiner un plan de haut niveau en des sous-plans de plus bas niveau jusqu'à obtention de comportements observables.

Les quatre hiérarchies décrites en 3.1 interagissent aussi l'une avec l'autre par le biais de *règles de transition inter-hiérarchies*. On peut catégoriser ces règles comme suit :

- des *règles de génération et d'adaptation de croyances*, pour effectuer les transitions de la hiérarchie des descripteurs à celle des croyances,
- des *règles de génération de buts*, pour effectuer les transitions des hiérarchies des descripteurs et/ou des croyances à celle des buts,
- des *règles de génération de plans*, pour effectuer les transitions de la hiérarchie des buts à celle des plans.

Ces règles sont nécessaires pour assurer la continuité du processus de prise de décision. Elles permettent l'adaptation et l'évolution des attitudes mentales dans le modèle de l'acteur de référence. Les paragraphes suivants détaillent avec des exemples complets chacune de ces catégories de règles.

3.2.1. Règles de génération et d'adaptation de croyances

Les règles de génération et d'adaptation de croyances déduisent des croyances à partir de descripteurs et éventuellement de faits observables. La déduction d'une seule croyance peut nécessiter

plusieurs descripteurs, et ces descripteurs peuvent se trouver à des niveaux d'abstraction différents, plus haut ou plus bas (mais vraisemblablement plus bas) que la croyance déduite.

La figure 9 illustre quatre cycles de raisonnement consécutifs de l'acteur de référence ("Je" dans l'exemple), traduisant quatre étapes de l'ensemble de la phase d'analyse. Les propositions soulignées correspondent à des informations (au sens large) observées ou déduites au cours de l'étape indiquée.

Dans l'étape 1, l'acteur de référence observe un comportement de l'acteur Jean : "Jean assiste à un cours". De ce comportement élémentaire est ensuite déduit le descripteur "Jean est un étudiant" par une règle d'abstraction.

Dans l'étape 2, l'acteur de référence observe un comportement de l'acteur Bill : "Bill donne un cours". De même, il déduit de ce comportement un autre descripteur abstrait de statut : "Bill est professeur"). Les descripteurs précédents sont toujours présents dans la base de connaissances de l'acteur de référence.

Dans l'étape 3, l'acteur de référence observe un second comportement de Jean : "Jean tape Bill sur l'épaule". De ce comportement élémentaire, une règle d'abstraction déduit ensuite le descripteur de rôle absolu "Jean a des contacts physiques avec Bill". De ce niveau d'abstraction une autre règle déduit un descripteur de rôle absolu psychologique de plus haut niveau "Jean est familier avec Bill". Finalement, à partir des connaissances abstraites "Jean est un étudiant", "Bill est professeur" et "Jean est familier avec Bill", l'acteur de référence déduit la croyance que "Bill est le professeur de Jean", rôle prêté à Bill. Ce rôle prêté a trois arguments: l'acteur de référence (propriétaire du rôle), Bill (acteur à qui est prêté le rôle), et le rôle social absolu qui définit Bill comme le professeur de Jean (objet du rôle prêté). À cause de la définition du niveau d'abstraction des rôles prêtés (voir 3.1.3), "Je crois que Bill est le professeur de Jean" est un cran plus haut que le descripteur potentiel "Bill est le professeur de Jean" (qui est naturellement au même niveau que "Jean est un étudiant" et "Bill est professeur").

Noter que l'expression d'un rôle prêté n'est pas unique, puisque l'acteur de référence croit de manière équivalente que "Jean est un étudiant de Bill".

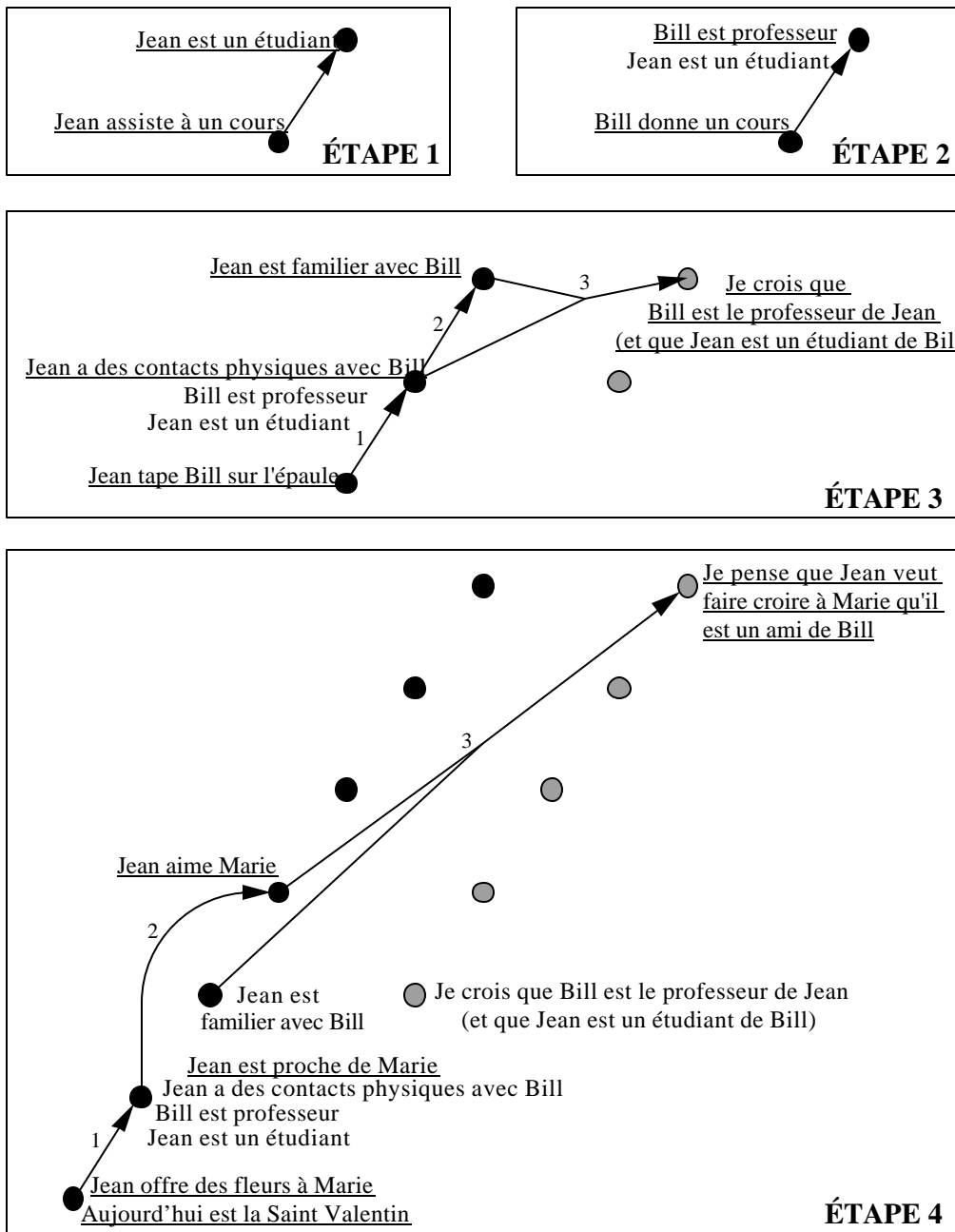


Figure 9. - Règles de génération et d'adaptation de croyances.

À l'étape 4, l'acteur de référence observe un nouveau comportement de Jean : "Jean offre des fleurs à Marie". Il sait aussi que "Aujourd'hui est la Saint Valentin" (information temporelle à connotation culturelle). En s'appuyant sur ces deux éléments de connaissance observables et éventuellement sur d'autres analogues, l'acteur de référence peut abstraire le descripteur de rôle absolu de haut niveau "Jean est proche de Marie". Ensuite, ce descripteur peut être abstrait davantage en "Jean aime Marie" (rôle absolu affectif), qui doit être au même niveau que le descripteur potentiel (non attesté) "Jean est un ami de Bill" (les deux traduisent une relation affective "profonde"), donc est à un plus haut niveau que "Jean est familier avec Bill". Enfin, à partir de ce dernier descripteur et de l'évidence abstraite précédente que "Jean est familier avec Bill" (et vraisemblablement d'autres éléments non détaillés ici), l'acteur de référence peut induire la croyance "Jean veut faire croire à Marie qu'il est un ami de Bill", en supposant qu'il veuille impressionner Marie afin de gagner son cœur.

Cette croyance est un rôle prêté récursif avec trois arguments: l'acteur de référence (propriétaire du rôle), Jean (acteur à qui est prêté le rôle), et le rôle emprunté "Jean veut faire croire à Marie qu'il est un ami de Bill" (objet du rôle prêté). À son tour, ce rôle emprunté a trois arguments: Jean (propriétaire du rôle), Marie (acteur-cible du rôle emprunté), et le rôle absolu exprimant l'amitié de Bill et de Jean (objet du rôle). D'après la définition du niveau d'abstraction d'un rôle prêté (voir 3.1.3) et d'un rôle emprunté (voir 3.1.4), le rôle prêté concluant l'étape 4 doit être quatre crans plus haut que le descripteur "Jean est familier avec Bill"⁵ qui lui a donné naissance.

⁵ En effet, si "Jean est familier avec Bill" est au niveau N , le descripteur potentiel "Jean est un ami de Bill" étant au niveau $N+1$, la croyance potentielle "Marie croit que Jean est un ami de Bill" est au niveau $N+2$, le but ou rôle emprunté potentiel "Jean veut que Marie croie que Jean est un ami de Bill", ou, ce qui revient au même, "Jean veut faire croire à Marie qu'il est un ami de Bill", est au niveau $N+3$, et finalement la croyance "Je pense que Jean veut faire croire à Marie qu'il est un ami de Bill" est au niveau $N+4$.

Comme le montre cet exemple, une même hiérarchie peut comprendre des croyances potentiellement en conflit. En effet, des quatre situations suivantes, une seule est vraie:

- 1° Jean est un étudiant de Bill et n'a aucunement l'intention d'impressionner Marie (et de lui mentir) ;
- 2° Jean est effectivement un étudiant de Bill et veut impressionner Marie ;
- 3° Jean n'est pas un étudiant de Bill mais veut impressionner Marie ;
- 4° Jean n'est pas un étudiant de Bill et ne veut pas non plus impressionner Marie ; le comportement de Jean est alors motivé par des informations toujours inconnues de l'acteur de référence.

Les situations 1° et 3° sont en conflit, tandis que la situation 2° corrobore les croyances de l'acteur de référence et que la situation 4° les dément. Les croyances en conflit sont utiles, car elles permettent des possibilités d'*adaptation* qui peuvent conduire à modifier la base de connaissances de l'acteur de référence afin d'éliminer d'autres conflits de la même nature.

Les règles d'abstraction de croyances, de même que les règles de génération et d'adaptation de croyances, conduisent à des conclusions plus puissantes (ce qui justifie leur existence), mais également moins certaines que leurs prémisses. Cependant, la multiplicité de règles indépendantes conduisant à une même conclusion, et jusqu'à un certain point le nombre de prémisses par règle, peuvent augmenter la certitude de cette conclusion.

3.2.2. Règles de génération de buts

En prenant comme exemple la même histoire d'amour entre Jean et Marie, nous focalisons maintenant notre attention sur la transition entre la phase d'analyse et celle de résolution. Cette transition s'effectue au moyen des règles de génération de buts. Chacune de ces règles utilise des descripteurs et des croyances à divers niveaux d'abstraction pour en déduire un but à un niveau d'abstraction particulier.

Un même cycle de raisonnement peut conduire à plusieurs buts. Dans ce cas, il faut déterminer parmi eux le *but actif* unique qui sera sélectionné et ensuite implanté par un plan. Comme cela se produit souvent dans les systèmes à base de règles, diverses stratégies de sélection peuvent être utilisées, par exemple l'association d'un poids à chaque but, ce qui permet aux règles de génération de buts de s'adapter afin de sélectionner le meilleur but possible.

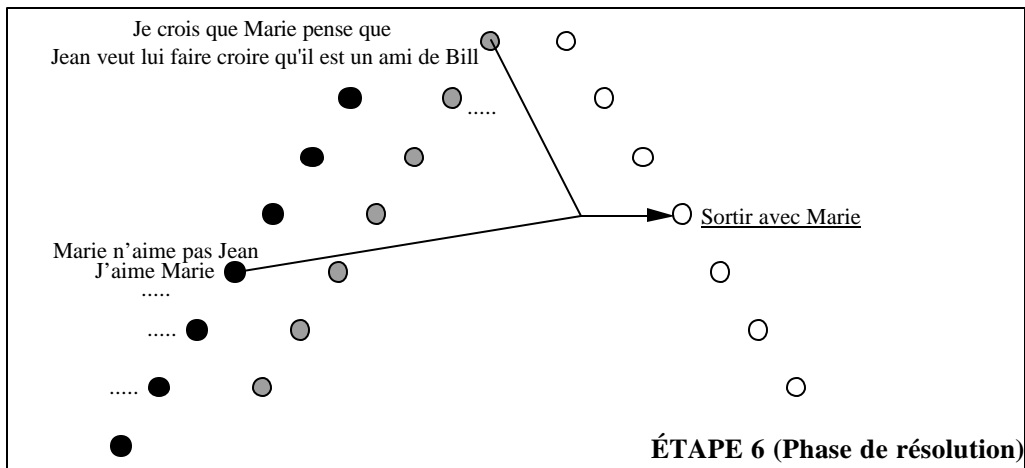
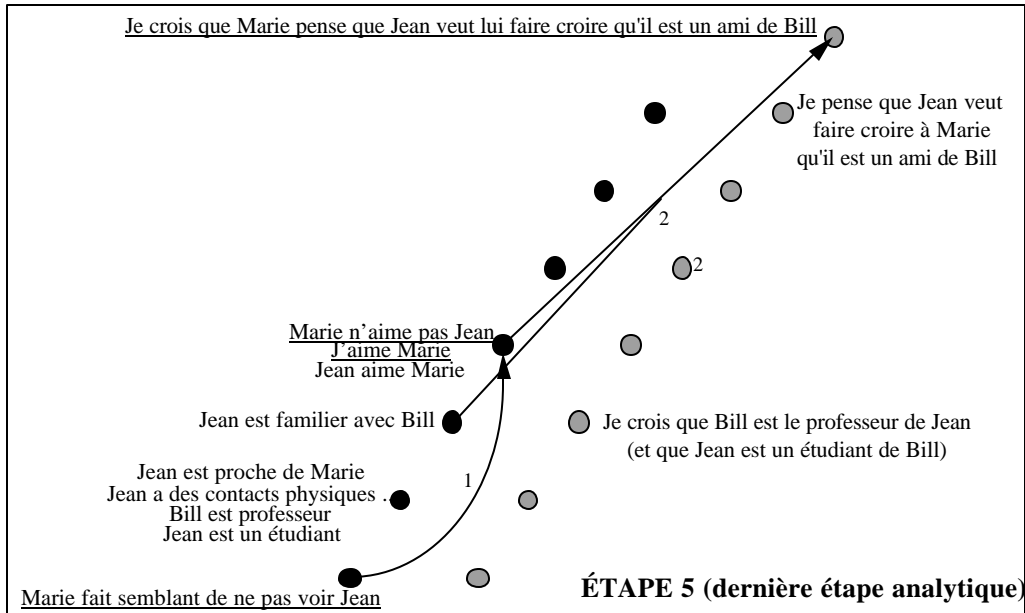


Figure 10. Règles de génération de buts

Dans l'étape 5 (voir figure 10), nous supposons que l'acteur de référence tombe subitement amoureux de Marie et infère donc directement le descripteur "J'aime Marie" (au même niveau d'abstraction que "Jean aime Marie"). Comme il s'agit d'un rôle absolu de l'acteur de référence, il peut être déduit de comportements ou sentiments personnels (non observables), et les règles d'abstraction conduisant à ce descripteur peuvent être omises (alternativement – et cela conduit au même résultat – tout descripteur concernant l'acteur de référence peut être considéré comme un fait observable par cet acteur, et donc être fourni directement dans sa base de connaissance). Simultanément (c'est-à-dire au même instant discret), l'acteur de référence observe le comportement de Marie "Marie fait semblant de ne pas voir Jean". De ce comportement, et sachant déjà qu'aujourd'hui est la Saint Valentin et que Jean vient d'offrir des fleurs à Marie, l'acteur de référence peut inférer le descripteur de haut niveau "Marie n'aime pas Jean", voire "Marie hait Jean" (au même niveau d'abstraction que "J'aime Marie" et "Jean aime Marie"). Il est même disposé à aller plus loin dans son raisonnement et à inférer une croyance de très haut niveau à partir des descripteurs "Marie hait Jean" et "Jean est familier avec Bill", à savoir : "Marie pense que Jean veut lui faire croire qu'il est un ami de Bill", qui est un rôle prêté doublement récursif de l'acteur de référence. En effet, ce rôle prêté a pour propriétaire l'acteur de référence, pour récipiendaire (ou destinataire) Marie, et pour objet un autre rôle prêté; ce rôle prêté par Marie à Jean a pour objet un rôle emprunté ; enfin ce rôle emprunté par Jean vis-à-vis de Marie a pour objet le rôle absolu définissant une relation d'amitié entre Jean et Bill. La croyance inférée à l'étape 5 a un niveau d'abstraction d'un cran plus haut que celle inférée à l'étape 4, conformément à notre définition (voir 3.1.3) du niveau d'abstraction des rôles prêtés (et à notre intuition).

Comme expliqué à la fin de 3.2.1, le niveau de confiance de cette dernière croyance a des chances d'être relativement bas, compte tenu de l'absence d'autres faits la corroborant et de son niveau d'abstraction beaucoup plus haut que ses prémisses. Les croyances à haut niveau de confiance sont typiquement déduites de prémisses dont le niveau est comparable, et préférablement plus élevé.

En supposant que l'étape 5 termine la phase d'analyse, l'acteur de référence entame la phase de résolution. Il doit alors se fixer un but lui permettant de s'adapter à ce nouvel (au moins par les conclusions de la phase d'analyse) environnement. Comme l'acteur de référence sait qu'il aime Marie, et suppose que Marie croit que Jean est un pauvre type qui ne cherche qu'à l'impressionner, il prend confiance en lui et décide de sortir avec elle pour s'adapter à ses nouveaux sentiments et au changement observé de situation. Cela est fait à l'étape 6, et le second diagramme de la figure 10 explicite la règle de génération particulière conduisant au but "sortir avec Marie".

De manière générale, les buts peuvent être déduits de descripteurs, de croyances, ou d'une combinaison des deux (cas de cet exemple). Chacune de ces prémisses peut en outre avoir un niveau d'abstraction quelconque. La raison en est, et il est important de le souligner, qu'il n'existe pas de correspondance possible entre les niveaux d'abstraction de la phase d'analyse (prémises des règles de génération de buts) et ceux de la phase de résolution (conclusions de ces mêmes règles). En effet, il s'agit de deux univers totalement disjoints exprimant des connaissances (informations au sens de 2.1) de nature différente.

3.2.3. Règles de génération de plans

Lorsqu'un but particulier a été sélectionné, il faut choisir un plan dont la réalisation permet de l'atteindre. La planification est une activité complexe, et nous n'en parlerons pas en détail dans cet article (le lecteur intéressé à cet aspect peut se référer à (Schank et Abelson, 1977)). Pour simplifier notre discussion, nous supposons ici avoir accès à un système de planification à base de règles, dans lequel chaque règle de génération de plan a comme prémisses unique un but et comme résultat un ou plusieurs plans de même niveau d'abstraction que ce but (comme indiqué en 3.1.5, un plan de niveau N est un plan permettant de réaliser un but de même niveau N).

La figure 11 illustre le processus par lequel à l'étape 7 le planificateur assigne au but "Sortir avec Marie", sélectionné par l'acteur de référence, un plan de même niveau d'abstraction "Faire quelque chose d'unique pour Marie".

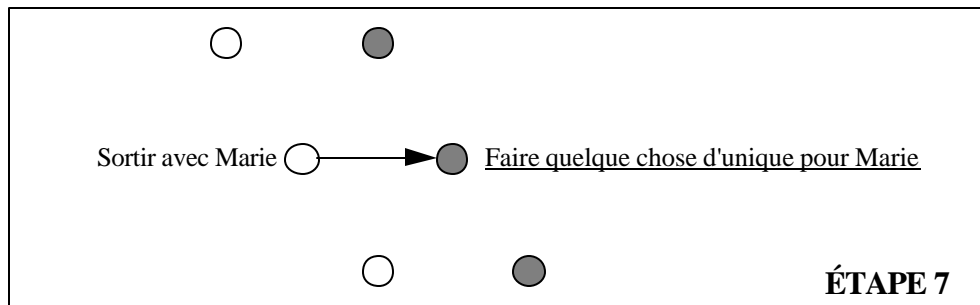


Figure 11. - Règles de génération de plans.

3.2.4. Règles de mise en œuvre des plans

L'étape finale de la phase de résolution consiste à raffiner ce plan de haut niveau par les règles de mise en œuvre et à le décomposer graduellement en une suite d'actions élémentaires (directement exécutables par l'acteur de référence). Par exemple, une suite de sous-plans décomposant ce plan pourrait être 1° chanter la sérénade à la fenêtre de Marie, 2° observer ses réactions, et 3° lui demander de sortir avec moi si sa réaction est favorable. Une suite d'actions décomposant le premier sous-plan serait a) acheter une échelle, b) apprendre une mélodie, c) grimper à la fenêtre de Marie avec l'échelle, et d) lui chanter la mélodie. Le processus de mise en œuvre est discuté plus en détail en 3.1.5.

Si ce plan échouait (après exécution du sous-plan 2°), les réactions de Marie pourraient provoquer des changements dans les attitudes mentales (croyances, buts ou plans) de l'acteur de référence lors d'un cycle de prise de décision subséquent, de manière à pouvoir sélectionner un autre but et/ou plan (apprentissage). À l'inverse, tant que ce plan réussit (ici après exécution des sous-plans 1° et 2°, et éventuellement 3°), et même si un cycle subséquent de prise de décision amenait de nouveaux

résultats suite à la phase d'analyse, l'acteur de référence pourrait décider de conserver le plan actif (si rien n'entache son applicabilité) et d'exécuter directement la suite d'actions planifiée, court-circuitant ainsi toutes les règles de génération de buts et de plans, et réduisant donc d'autant la phase de résolution.

4. Mécanisme assisté par l'humain pour l'apprentissage et l'adaptation interactifs : une étude de cas

Le cycle de raisonnement décrit à la section 3 permet l'*adaptation* grâce à la modification des règles de transition. Toutefois, il est utile d'expliquer comment cette adaptation est réalisée au cours du cycle. De plus, l'*apprentissage* de nouvelles règles est un autre processus cognitif, qui est également nécessaire pour raffiner et corriger le modèle d'univers de l'acteur de référence. La présente section vise à préciser ces questions.

Pour pouvoir expérimenter notre recherche sur le bluff, nous avons pris pour domaine un jeu de stratégie. En effet, les jeux complexes peuvent être des laboratoires idéaux pour étudier des processus cognitifs tels que l'abstraction, l'adaptation et l'apprentissage. En outre, ce jeu offre de nombreuses similitudes avec le modèle multi-agent que nous avons défini, la possibilité de bluff y étant une caractéristique majeure. Nous présentons brièvement ce jeu en 4.1, étudions des approches courantes de résolution des problèmes de raffinement de théories en 4.2, et proposons en 4.3 un mécanisme d'apprentissage assisté par l'humain dans le contexte de ce jeu.

4.1. Le jeu Sigma-File

Notre domaine est *Sigma-File*, jeu de stratégie à quatre joueurs, complètement décrit dans (Parlett, 1977). Le plateau de jeu est un ensemble de villes reliées entre elles par divers chemins. Il y a neuf pièces de jeu : huit espions internationaux indépendants que les joueurs peuvent déplacer de ville en ville, et une mallette secrète convoitée par quatre services de renseignements (KGB, CIS, CIA et IS). Chacun d'eux est situé dans une des villes du plateau

(respectivement Moscou, Pékin, Washington et Londres) et dirigé par l'un des quatre joueurs (voir figure 12). Le but de chaque joueur est d'amener la mallette secrète à sa propre capitale ; les buts des joueurs sont donc en conflit.

Au début de la partie, la mallette secrète se trouve au centre du plateau (Tanger), et chaque joueur dispose d'un solde initial (10000 dollars) qu'il peut utiliser au cours de la partie pour rémunérer un ou plusieurs espions et ainsi essayer de les contrôler.

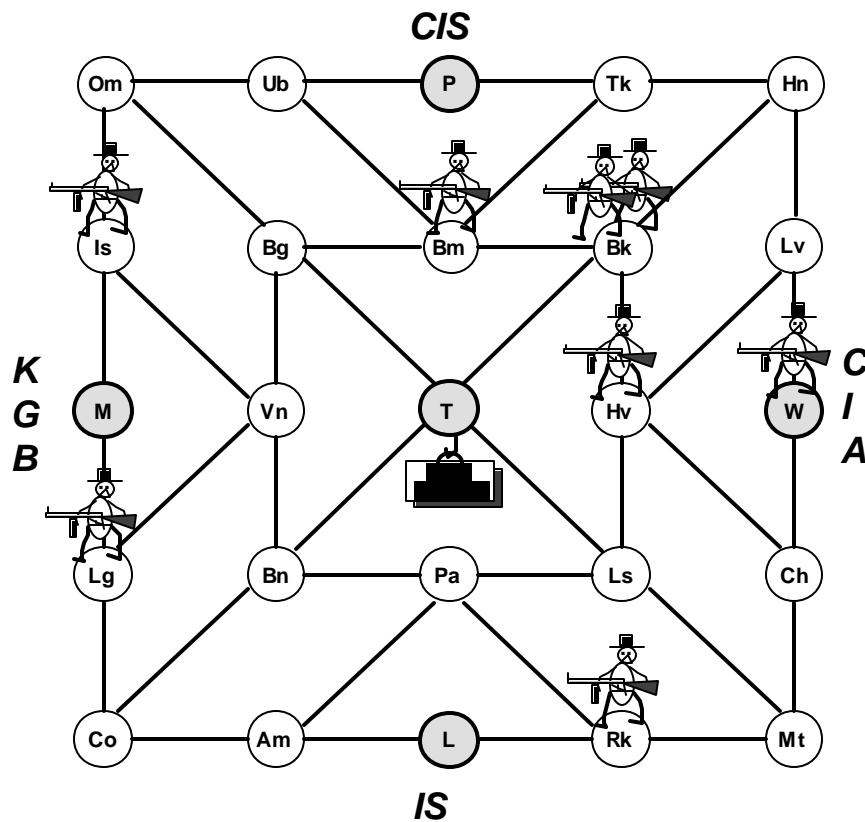


Figure 12. - Plateau de jeu de Sigma-File.

Lorsque c'est à son tour, un joueur a le choix entre trois coups possibles : *déplacer un espion* de sa ville courante à une des villes adjacentes (l'espion peut en outre y transporter la mallette si elle est dans la même ville), *payer un espion* en soustrayant de son solde courant la somme qui lui est allouée (l'identité de l'espion et le montant alloué sont cachés aux autres joueurs), ou faire *assassiner*

un espion par un autre espion qu'il contrôle avec au moins 1000 dollars (ce coût du meurtre est alors soustrait du montant de contrôle du joueur sur l'espion meurtrier). Enfin, comme aucun joueur ne sait exactement qui contrôle quel espion, les déplacements et les meurtres peuvent être *contestés* par n'importe quel adversaire afin d'empêcher leur exécution. En théorie, le joueur ayant le plus fort montant de contrôle sur l'espion concerné gagne la contestation ; cependant le joueur contestataire peut choisir soit de se dévoiler (s'il veut vraiment empêcher le joueur d'exécuter son coup) soit de bluffer ses adversaires (s'il perd délibérément la contestation) ; de même pour le joueur contesté. Un même coup peut être contesté à tour de rôle par plusieurs adversaires. Dans tous les cas, chaque espion demeure loyal envers le joueur qui admet l'avoir payé le plus à tout moment.

4.2. *Quelques paradigmes d'apprentissage pour traiter le raffinement de théories*

On appelle souvent le processus consistant à augmenter et corriger une base de connaissances approchée ou incomplète *raffinement de théorie*, comme l'expliquent Ourston et Mooney (1990) (à ne pas confondre avec le raffinement d'un plan présenté section 3, qui est le processus de décomposition d'un plan de haut niveau en une suite de sous-plans moins abstraits). Une théorie peut se définir en termes d'exemples positifs et négatifs. Une théorie est *correcte* lorsqu'aucun exemple négatif ne peut être démontré ou atteint, et *complète* lorsque tous les exemples positifs peuvent l'être. S'appuyant sur ces propositions, Ourston et Mooney définissent deux types d'incorrection dans une théorie: la sur-généralisation et la sur-spécification. Une théorie incorrecte peut inclure les deux aspects à la fois.

La *sur-généralisation* se produit lorsque des exemples négatifs sont démontrables. Deux types d'erreurs peuvent y conduire : 1° une règle existante est incorrecte, et/ou 2° une règle existante manque de contraintes dans ses prémisses. La solution consiste alors à retirer une ou des règles, à augmenter une ou des contraintes, ou les deux à la fois.

La *sur-spécification* se produit lorsque des exemples positifs sont non démontrables. Deux types d'erreurs peuvent y conduire : 1° une règle (au moins) nécessaire à la démonstration est absente de la théorie, et/ou 2° une règle existante a des prémisses trop contraignantes. La solution consiste alors à ajouter une ou des règles manquantes, à diminuer les contraintes, ou les deux à la fois.

Deux approches typiques abordent le problème du raffinement de théorie : l'apprentissage à base d'explications et les méthodes d'apprentissage empirique. L'apprentissage à base d'explications (ABE, en anglais *explanation-based learning* ou EBL) est une forme d'apprentissage par induction, tandis que l'apprentissage empirique recouvre diverses méthodes, dont l'*apprentissage par instruction* (Michalski *et al.*, 1983). L'ABE est efficace pour détecter des erreurs et focaliser leur correction sur la partie défaillante de la théorie, mais les méthodes empiriques sont habituellement efficaces pour la modification de règles et l'ajout de nouvelles règles. En outre, les méthodes empiriques conduisent souvent à des résultats plus rapides que les méthodes purement inductives.

Le raffinement de théories n'est pas un problème trivial, et la plupart des approches ne traitent que la sur-généralisation (Flann et Dietterich, 1989) ou que la sur-spécification (Wilkins, 1988 ; Ali, 1989). D'autre part, le traitement des fautes multiples dans une théorie est plus complexe que le traitement des erreurs simples, et quelques approches se restreignent à ce dernier cas. Ourston et Mooney (1990) ont développé une approche qui combine l'ABE et les méthodes empiriques pour traiter à la fois la sur-généralisation et la sur-spécification, et traitent aussi les erreurs multiples.

4.3. Apprentissage assisté par l'humain dans Sigma-File

4.3.1. Scénario d'apprentissage

La plupart des environnements véritablement multi-agent, tels que Sigma-File, ont des modèles significativement plus complexes que ceux des micro-mondes utilisés dans les techniques d'ABE. En

effet, les croyances complexes (parfois récursives), les intentions de bluff, et les buts en conflit, imposent presque obligatoirement un type d'apprentissage assisté par l'humain pour pouvoir surveiller adéquatement les connaissances modifiées ou nouvellement acquises. En outre, comme indiqué plus haut, les méthodes empiriques sont habituellement plus efficaces.

C'est pourquoi nous avons adopté un paradigme d'apprentissage par instruction pour automatiser un des joueurs de Sigma-File contre trois adversaires humains (Doublait *et al.*, 1987). Ce joueur automatique (baptisé *JA*) est l'acteur de référence auquel nous nous intéressons et que nous essayons de modéliser. En effet, *JA* est capable d'observer et d'analyser les coups de ses adversaires. Il a un accès total aux informations d'arrière-plan (tour de jeu, position des espions sur le plateau, etc.) comme tous les joueurs, de même qu'une connaissance complète de ses propres statuts (solde courant, enchères sur les espions pour les contestations). Comme il n'a aucune information sur les statuts ou rôles de ses adversaires, il doit construire des croyances à leur sujet. Enfin *JA* est capable de bluffer ses adversaires en simulant (rôles empruntés) de faux statuts ou rôles absolus.

Nous avons volontairement décidé de ne charger dans la base de connaissances de *JA* que des compétences initiales limitées, de manière à ce que notre problème d'apprentissage tombe dans la catégorie des raffinements de théories : au départ *JA* connaît simplement les règles de Sigma-File et les stratégies de base définies dans les manuels. Notre objectif est d'améliorer graduellement ses coups et donc de le faire mieux jouer. Notre intérêt est moins dans les compétences finales de *JA* que dans les progrès qu'il peut accomplir à partir de son niveau initial.

Dans notre approche, *JA* joue contre ses adversaires humains sous la supervision constante d'un tuteur humain, qui a pour tâches d'observer les connaissances déduites par *JA* et de réagir quant à la correction et à la pertinence de ses décisions dans la situation courante. Dès qu'une erreur est détectée dans le cycle de raisonnement de *JA*, l'objectif du tuteur est d'entamer avec lui un

dialogue d'apprentissage et d'adaptation pour isoler et corriger l'erreur. Notre intention est de traiter à la fois la sur-généralisation et la sur-spécification, de même que les erreurs multiples.

<i>Point d'intervention logique</i>	<i>Nécessité d'une intervention du tuteur</i>
<i>Après déclenchement d'une règle d'abstraction de descripteur</i>	Non. Il n'y a pas besoin que le tuteur intervienne après chaque règle d'abstraction de descripteur, puisque par définition ces règles préservent la vérité de l'information. C'est une transition à risque relativement faible.
<i>Après déclenchement d'une règle d'abstraction de croyance</i>	Non. Pour la même raison que ci-dessus, les règles d'abstraction préservent le niveau de confiance, et ces règles sont donc moins critiques que les règles de transition entre hiérarchies.
<i>Après déclenchement d'une règle de génération ou de modification de croyance</i>	Oui. Le risque est plus important ici, à cause de l'incertitude des conclusions de ces règles. Une surveillance attentive du raisonnement est donc nécessaire pour les règles de génération ou de modification de croyance. Le tuteur doit vérifier que toutes les croyances inférées sont acceptables dans le contexte courant, qu'aucune croyance évidente n'est absente, et que les niveaux de confiance associés sont également pertinents.
<i>À la fin de la phase d'analyse</i>	Oui. Il est évidemment nécessaire de récapituler l'analyse de la situation (descripteurs et croyances) pour valider l'ensemble de cette phase avant d'aborder la phase de résolution.
<i>Après déclenchement d'une règle de génération de but</i>	Non. Comme le tuteur intervient après déclenchement de toutes les règles de génération de buts, il est inutile de dupliquer cet effort.
<i>Après déclenchement de toutes les règles de génération de buts</i>	Oui. Le tuteur doit valider l'ensemble des buts inférés pour déterminer si tous sont corrects et si aucun n'est absent. Comme il y a également un processus de sélection impliqué, il doit vérifier le classement des buts pour s'assurer que leurs priorités relatives sont correctes.
<i>Après déclenchement d'une règle de génération de plan</i>	Non. Comme le tuteur intervient après déclenchement de toutes les règles de génération de plans, il est inutile de dupliquer cet effort.
<i>Après déclenchement de toutes les règles de génération de plans</i>	Oui. Le tuteur doit valider l'ensemble des plans inférés pour déterminer si tous sont corrects et si aucun n'est absent. Comme il y a également un processus de sélection impliqué, il doit vérifier le classement des plans pour s'assurer que leurs priorités relatives sont correctes.
<i>Après déclenchement d'une règle de mise en œuvre de plan</i>	Non. Pour des raisons analogues aux règles d'abstraction dans la phase d'analyse, les règles de mise en œuvre sont des transitions à risque faible.
<i>À la fin de la phase de résolution</i>	Oui. Cette intervention finale assure que la décomposition du plan retenu est correcte, et que les prochains coups à jouer sont pertinents vis-à-vis de la situation courante et cohérents avec le but actif et le plan courant.

Figure 13. - Points d'intervention du tuteur dans le cycle de raisonnement.
4.3.2. Identification des points d'intervention

La difficulté stratégique est de déterminer les *points d'intervention* possibles du tuteur dans le cycle de raisonnement de *JA*. Idéalement, le tuteur devrait pouvoir interrompre le processus à chaque exécution d'une règle de transition. Toutefois, cela n'est pas pratique dans un environnement d'apprentissage en temps réel comme le nôtre, parce que nous souhaitons que la partie continue (motivation des joueurs humains sollicités). Nous avons donc fixé une fois pour toutes dans le cycle de raisonnement plusieurs endroits où le tuteur est susceptible d'intervenir. Bien que nous ne soyons pas encore en mesure de le vérifier, nous pensons que les résultats obtenus devraient être dans l'ensemble aussi bons qu'avec un mode d'exécution en pas à pas. Le prix à payer pour diminuer le nombre de points d'intervention possibles est l'éventualité, lorsqu'une erreur est détectée, que la cause de l'erreur se trouve bien en arrière dans la chaîne d'inférences effectuée, ce qui nécessiterait alors une activité onéreuse de retour arrière pour reconstituer le cycle de raisonnement, au maximum jusqu'au point d'intervention possible précédent. C'est pourquoi nous essayons néanmoins de garder une distance courte entre deux points d'intervention ; les points d'intervention finalement retenus permettant au tuteur de réagir au comportement de *JA* sont indiquées figure 13.

4.3.3. Nature des interventions du tuteur

À chacun des points d'intervention possibles, le tuteur peut consulter les conclusions auxquelles est parvenu *JA* jusque là, et effectuer une des actions suivantes :

1. *Invalider une conclusion* (cas de sur-généralisation : un exemple négatif a été mis en évidence), c'est-à-dire que a) une règle permettant d'aboutir à cette conclusion est incorrecte et ne devrait pas exister, et/ou b) une règle permettant d'aboutir à cette conclusion devrait contenir dans ses prémisses une contrainte non satisfaite.

2. *Indiquer qu'une conclusion est manquante* (cas de sur-spécification: un exemple positif n'a pas été prouvé), c'est-à-dire que a) il manque une règle de transition permettant d'atteindre cette conclusion, et/ou b) une règle existante possède dans ses prémisses une contrainte inutile non satisfaite.

Lorsqu'un poids est associé aux conclusions possibles à un point d'intervention, comme les croyances (niveau de confiance), les buts (priorité d'un but par rapport aux autres buts candidats), et les plans (priorité d'un plan par rapport aux autres plans candidats), le tuteur devrait aussi pouvoir :

3. *Invalider le poids d'une conclusion* (soit trop faible soit trop fort), c'est-à-dire que a) un poids incorrect est associé à une ou plusieurs prémisses, et/ou b) un poids incorrect est associé à la règle de transition elle-même.

Lorsque *JA* aboutit à une conclusion incorrecte (cas 1) en utilisant plus d'une règle⁶, la cause de l'erreur peut ne pas résider dans la dernière règle exécutée, mais dans une règle précédente de la chaîne d'inférences. Dans ce cas, le tuteur doit effectuer un retour en arrière dans le raisonnement de *JA*, règle par règle en partant de la dernière exécutée, jusqu'à ce qu'il atteigne la règle fautive. De même dans le cas 2, une règle correcte peut ne pas avoir été déclenchée parce qu'une de ses prémisses (en fait satisfaite) n'a pas été déduite par une règle précédente absente ou incorrecte. Une situation semblable peut se produire dans le cas 3, si le poids d'une conclusion est incorrect à cause d'un poids inadéquat attribué à une règle antérieure dans la chaîne d'inférences.

⁶ Dans la suite de règles suivantes: $A \varnothing B$, $B \varnothing C$, et $C \varnothing D$, C et D sont déduits de A en utilisant respectivement deux et trois règles, tandis que B est déduit de A en utilisant une seule règle.

4.3.4. Type de dialogue entre le tuteur et JA

La qualité de l'interaction entre *JA* et son tuteur est critique dans le succès du processus de raffinement de la théorie (du jeu de Sigma-File). Un problème majeur consiste à fournir au tuteur une interface de dialogue simple et concise, mais suffisamment expressive pour lui permettre de transmettre ses réactions à *JA*. Les systèmes d'apprentissage par instruction ont typiquement une interface en langue naturelle restreinte comme dans TEIRESIAS (Davis et Lenat, 1982), ou une interface de type WIMP⁷ comme dans ASK (Gruber et Cohen, 1989). Dans notre travail précédent, nous avons retenu la dernière approche à cause de sa simplicité, de sa concision et de sa convivialité.

5. Conclusion

Les éléments de connaissances devant être modélisés dans un véritable environnement multi-agent incluent non seulement les circonstances spatio-temporelles, mais aussi les caractéristiques (comportements, statuts et rôles), croyances, buts et plans de chacun des acteurs en présence. La modélisation de ces informations nécessite des formalismes capables de représenter des attitudes mentales susceptibles d'être vraies, incertaines ou même intentionnellement fausses dans le cas du bluff. Le bluff est un concept très important inhérent à de nombreux environnements multi-agent, mais qui – et le fait est surprenant – a rarement été modélisé en intelligence artificielle (une exception digne d'être soulignée est le système POKER de Waterman (1970)).

Nous avons proposé dans cet article une formalisation logique de ce type d'informations, qui permet de modéliser des attitudes mentales conceptuellement complexes et récursivement imbriquées. De plus, nous avons étendu notre approche pour montrer comment ces éléments de connaissances peuvent être représentés à divers niveaux d'abstraction, et comment un acteur peut naviguer à travers

⁷ *Windows, Icons, Menus, Pictures* (fenêtres, icônes, menus, et dessins).

ces niveaux pour s'adapter aux modifications de l'environnement. Enfin, nous avons indiqué, en nous appuyant sur un système partiellement implanté à base de règles, comment il est possible de raffiner de tels modèles complexes via un apprentissage assisté par l'humain.

Nous travaillons actuellement à la redéfinition des concepts présentés dans cet article en utilisant une approche orientée objet (o-o) de conception et de modélisation (Rumbaugh *et al.*, 1991). Nous pensons que l'utilisation d'une approche o-o dans la conception d'un système multi-agent facilitera beaucoup son implantation et sa maintenance. En effet, le paradigme o-o offre des mécanismes puissants de représentation et de raisonnement (par exemple l'héritage, l'agrégation et l'encapsulation) pour modéliser les caractéristiques et les attitudes mentales des acteurs. Nous souhaitons aussi montrer comment nos hiérarchies et leurs niveaux d'abstraction peuvent recouvrir les trois composantes fondamentales d'un modèle d'analyse o-o tel que le définissent Rumbaugh et ses collègues, à savoir le modèle objet, le modèle dynamique, et le modèle fonctionnel.

D'un point de vue plus théorique, nous travaillons simultanément à la pleine intégration dans notre modèle multi-agent général des croyances et des intentions de bluff concernant l'arrière-plan.

Ruddy LELOUCHE
Département d'Informatique
Université Laval, Québec, Canada

Stephane DOUBLAIT
Bell Atlantic International
Arlington, VA, États-Unis

Bibliographie

- ALI K. (1989) Augmenting domain theory for explanation-based generalization. *Proceedings of the Sixth National Conference on Machine Learning*, Ithaca, NY, Juin 1989, pp. 40-42.

- BARNDEN J. (1989) Towards a paradigm shift in belief representation methodology. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence* 1, pp. 133-161.
- DAVIS R., LENAT D. (1982) *Knowledge-based systems in artificial intelligence*. New York, NY : McGraw-Hill.
- DOUBLAIT S., LELOUCHE R. (1989) Automatisation du processus de prise de décision tactique dans un environnement de risque et d'incertitude. *Actes de la conférence ICO'89 : Informatique Cognitive des Organisations*, L'Interdisciplinaire Informatique, Lyon, pp. 259-283.
- DOUBLAIT S., LELOUCHE R., JANTA-POLCZYNSKI M. (1987) Vers un système d'apprentissage automatique pour le jeu Sigma-File (Towards an automatic learning system for the Sigma-File game). *Actes du Premier Colloque Québécois en Informatique Cognitive des Organisations*, GIRICO, Montréal, section 2, pp. 37-47.
- FETZER J. (1985) On defining 'knowledge'. *AI Magazine.*, 6, 19 (Spring).
- FLANN N., DIETTERICH T. (1989) A study of explanation-based methods for inductive learning. *Machine Learning*. 4 (2), pp. 187-226.
- GRUBER T., COHEN P. (1989) The design of an automated assistant for acquiring strategic knowledge. *SIGART Newsletter: special issue on knowledge acquisition.*, n°108, pp. 147-150.
- LELOUCHE R., DOUBLAIT S. (1992) Qualitative reasoning with bluff and beliefs in a multi-actor environment. *International Journal of Man-Machine Studies*, 36, Academic Press Limited, pp. 149-165.
- LELOUCHE R. (1986) Quelques aperçus sur la modélisation de la description statique d'une scène (Some issues on modeling a scene static description). *Actes de la seconde conférence internationale d'intelligence artificielle de Marseille : CIAM 86*, pp. 121-139.
- LENAT D., GUHA R. (1990) *Building Large Knowledge-Based Systems* Reading, MA : Addison-Wesley, 372 p.
- LENAT D., HAYES-ROTH F., KLAHR P. (1979) *Cognitive Economy*, Working paper HPP-79-15, Stanford Heuristic Programming Project, Stanford University (Stanford, Calif.), Juin, 46 p.
- MALEC J. (1989) Knowledge elicitation during dynamic scene description. *SIGART Newsletter: Special issue on knowledge acquisition*. n°108, Avril 1989, pp. 162-163.
- MICHALSKI R., CARBONELL J., MITCHELL T. (1983) *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach.. Vol. 1*. Palo Alto (Californie) : Tioga Publ. Corp., 572 p.
- OURSTON D., MOONEY R. (1990) Changing the Rules: A Comprehensive Approach to Theory Refinement. *Proceedings of the Eighth National Conference on Artificial Intelligence, AAAI-90*. Boston (MA), vol. 2, Machine Learning section, pp. 815-820.

- PARLETT D. (1977) *Popular Indoor-Games*. Coles Publishing.
- RUMBAUGH J., BLAHA M., PREMERLANI W, FREDERICK E., LORENSEN W. (1991) *Object-oriented modeling and design*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 500 p.
- SCHANK R., ABELSON R. (1977) *Scripts, Plans, Goals and Understanding*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Assoc.
- WATERMAN D. (1970) Generalization learning techniques for automating the learning of heuristics. *Artificial Intelligence.*, 1, pp. 121-170.
- WILKINS D. (1988) Knowledge base refinement using apprenticeship learning techniques. *Proceedings of the Sixth National Conference on Artificial Intelligence, AAAI-88*. St.-Paul, MN, pp. 646-651.
- WILKS Y. (1985) *Relevance, Points of View and Speech Acts: An Artificial Intelligence View*. Research Report MCCS-85-25, Computing Research Laboratory, New Mexico State University, New Mexico, 24 p.