

Denis JACQUET\*, Anne NICOLLE\*\*, Marc ANDRÈS\*\*

## **De la métaphore à la co-construction, coopération intelligence artificielle/psychologie pour la conception d'une expérimentation commune**

L'objet principal du projet Comperobot est la construction d'une machine capable d'un dialogue effectif avec un enfant. Le second, plus fondamental, est de proposer un modèle de l'activité dialogique qui prenne en compte plusieurs aspects : interaction, introspection, apprentissage. L'analyse, la description et les résultats d'une première expérimentation interdisciplinaire sont exposés dans cet article.

*Mots-clés* : dialogue homme-machine, interaction, modèles du dialogue.

**From metaphor to co-construction, the common design of an experiment in artificial intelligence and cognitive psychology.** The goal of the Comperobot project is the construction of a machine which is able to maintain an effective dialogue with a child. The second one, more fundamental, is to propose a model of the dialogic activity through several dimensions : interaction, introspection, learning. The analysis, the design and the results of a primary interdisciplinary experiment are described in this paper.

*Key Words* : human-machine dialogue, interaction, models of dialogue.

---

\* Laboratoire de Psychologie Cognitive et Pathologique (GR2 "Modélisation du fonctionnement cognitif et langagier") et Maison de la Recherche en Sciences Humaines, Pôle "Modélisation en sciences cognitives". Université de Caen , F-14032 Caen Cedex.

\*\* Groupe de Recherche en Informatique, Image et Instrumentation de Caen, GREYC-CNRS URA 1526, et Maison de la Recherche en Sciences Humaines, Pôle "Modélisation en sciences cognitives". Université de Caen, F14032 Caen Cedex.

## **INTRODUCTION**

Les échanges entre Psychologie et Intelligence Artificielle sont relativement fréquents depuis vingt à trente ans. Ces échanges ont été principalement illustrés, d'une part, par des emprunts réciproques de concepts et de modèles (pour une synthèse : Bonnet et al., 1986), et d'autre part, par des coopérations en termes d'expertise en particulier dans le domaine des EIAO et des systèmes experts (Aussenac, 1989 ; Baron et al., 1993). Mais il est moins fréquent de trouver des travaux qui articulent les deux disciplines dans des projets communs, avec la définition d'objets d'étude, la mise en oeuvre d'expérimentations communes et jusqu'à des modélisations compatibles, comme nous l'avons fait dans le projet Compèrobot. Ce projet a pour objectif de faire fonctionner une interaction langagière entre un individu et une machine dans une situation de production de consignes portant sur une construction de nature spatiale. Pourquoi choisir le dialogue comme objet d'étude commun ? Le dialogue est un état premier de l'activité langagière, si on le compare à l'écrit bien sûr, mais aussi à d'autres formes de langage oral, comme raconter une histoire ou faire un discours. D'un point de vue développemental l'activité dialogique s'inscrit dans la continuité des interactions précoces (Bruner, 1983) basées sur le geste (les marionnettes) et le jeu (coucou, me voilà). Il est donc intéressant, dans une perspective de cognition située, de commencer à étudier le langage par le dialogue, en pensant que les autres formes d'activité langagière se construisent sur celle-là. Jean Vivier a montré que le dialogue est la source même du savoir dialoguer (Vivier, 1993), et ce caractère d'amorce réflexive est un argument supplémentaire pour l'étudier en premier, aussi bien en psychologie du développement que pour une équipe d'intelligence artificielle centrée sur le problème des représentations réflexives et de l'amorce des machines intelligentes (Nicolle, 1994). Vivier a montré aussi qu'il n'y a pas de dialogue sans enjeu pour le sujet, sans modification du sujet, et cette analyse peut être au coeur d'un projet de dialogue homme/machine dans le paradigme de la cognition située.

### **1. POSITION DU PROBLEME**

Le rôle central du dialogue dans l'acquisition du langage en fait un objet privilégié pour une étude expérimentale du langage ; le dialogue en langue naturelle entre une personne et une machine est au centre de notre projet, avec la conception et l'étude d'une machine capable de construire par le dialogue une co-référence avec son interlocuteur, et par là même d'apprendre. Dans ce projet de recherche interdisciplinaire,

notre méthode de travail commune est d'observer l'activité langagière, d'en faire des modèles effectifs et de concevoir des machines qui aient une activité langagière, puis d'observer ce qui se passe dans des expériences avec ces machines afin de mieux comprendre le langage et faire ainsi évoluer les modèles. L'interaction interdisciplinaire est alors un dialogue de construction d'objets — hypothèses, modèles, expériences, grilles d'analyse — et un dialogue portant sur l'analyse des corpus et des résultats expérimentaux avec des approches différentes et complémentaires (Nicolle et Vivier, 1996). La réalisation d'un tel dialogue verbal entre humains et machines constitue une source de réflexion interdisciplinaire sur le langage à partir des analogies et des métaphores qui auront rendu possible cette simulation, et par l'observation des différences qui subsistent entre le comportement langagier de l'humain et de la machine. L'analyse de ces différences doit prendre en compte ou anticiper les évolutions des systèmes afin de ne pas être conduite avec des représentations ou des modèles caducs.

### **1.1. Le dialogue homme/machine peut être étudié en psychologie selon trois axes de recherche majeurs**

- Le premier axe est centré sur des problèmes psychologiques posés par les nouvelles formes de communication, qui placent les ordinateurs comme partenaires des humains dans des dialogues plus ou moins coopératifs. La perspective ici peut être soit ergonomique, soit plus psychologique : dans le premier cas, l'attention est portée sur l'amélioration de la convivialité des interfaces, dans le second cas, il s'agit plutôt de mieux comprendre les effets de ce partenaire particulier, la machine, sur l'interaction et sur les sujets. Le dialogue homme/machine est considéré ici comme objet d'étude en tant que tel pour la psychologie.

- Le deuxième axe relève de la recherche fondamentale en psychologie. Il s'agit d'utiliser les possibilités offertes (ou à venir) des systèmes de dialogue homme/machine pour l'élaboration de nouvelles situations expérimentales. Le but est de résoudre les problèmes posés par les situations de dialogue utilisant un compère dont les variations comportementales sont difficilement contrôlables. Ceci suppose la modélisation du comportement du compère et de la situation dans laquelle il joue un rôle. L'enjeu est d'obtenir des situations expérimentales dans lesquelles le contrôle effectif de l'un des pôles de l'interaction est possible.

- Le dernier axe de recherche, qui est sans doute celui sur lequel les travaux sont les plus avancés (Bonnet *et al.*, 1986 ; Le Ny, 1993), est la

validation informatique de modèles psychologiques. La majorité des travaux relevant de cet axe sont centrés sur des tâches de résolution de problème ou d'apprentissage de procédures. Cette validation passe par l'implantation en machine de modèles psychologiques, par des algorithmes ou par des bases de règles. L'expérimentation est fondamentale pour vérifier la concordance entre le résultat obtenu par la machine et celui des sujets.

Dans le projet Compèrobot, pour ce qui concerne la psychologie, il s'agit non seulement d'utiliser le dialogue homme/machine d'un point de vue méthodologique, pour permettre le contrôle de l'un des pôles de l'interaction, mais aussi d'étudier d'un point de vue psychologique ce dialogue homme/machine pour lui-même. Ce faisant, il devient indispensable de confronter le point de vue psychologique avec celui des chercheurs en Intelligence Artificielle qui sont des partenaires indispensables pour la mise en place d'une telle interaction. Ceci nous a conduit à engager des travaux qui articulent les deux disciplines depuis la définition d'objets d'étude jusqu'à des modélisations compatibles, en passant par des expérimentations communes.

### **1.2. Le dialogue homme/machine est un point central des recherches en intelligence artificielle depuis les débuts de cette discipline dans les années 60**

Si l'intérêt des informaticiens pour le dialogue homme/machine a commencé avec les premières machines, le premier dialogue vraiment intéressant est SHRDLU (Winograd, 1972). Les situations de référence du dialogue sont connues sous le nom de « monde des blocs » et comportent une table sur laquelle sont placés des blocs d'un jeu de construction manipulés par un robot. Or, ces situations sont définies par une liste de formules, sans relation de dépendance causale avec une situation réelle. Les règles de raisonnement s'appliquent à une représentation de la situation qui est un objet formel. Par exemple :

((SUR TABLE BLOC1) (SUR BLOC1 BLOC2) (SUR TABLE BLOC3) (ROBOT TIENS BLOC4))

Lorsqu'un problème est ainsi résolu à partir d'une représentation qui n'est pas en relation de dépendance causale avec la situation représentée, rien d'imprévu ne peut arriver et le modèle ne peut donc pas être invalidé par l'expérience, ni de ce fait évoluer. Seule notre interprétation crée la référence à des situations réelles, mais il y a toujours de la place sur la table, les blocs ne peuvent pas tomber ni se casser et le robot ne peut pas faire autre chose que de poser le bloc sur la table ou sur un autre bloc. Rien ne se passe qui puisse être regardé d'un autre point de vue que celui qui a été prévu au départ. Et si TABLE

ou BLOC évoquent pour nous quelque chose, il n'en est pas de même pour la machine. Pour elle, ce sont des symboles substituables qui ne réfèrent à rien, pas des signes.

Beaucoup de recherches en intelligence artificielle ont utilisé ainsi les ordinateurs pour faire des expériences de pensée, c'est-à-dire pour voir comment une représentation donnée d'une certaine situation peut amener logiquement à certaines conclusions, notamment dans le troisième axe de recherche en psychologie sur le dialogue homme/machine présenté ci-dessus. À l'inverse, nous cherchons à mettre en place et à étudier des situations où les agents ont une activité qui porte directement sur des choses et des événements et pas seulement sur leurs représentations. Il se passe des choses imprévues dans les expériences Compèrobot, quand un enfant voit des figures bouger sur un écran et parle de la réalité de ce qui se passe là, sur l'écran, où les figures ne «représentent» rien, mais sont là tout simplement pour faire un dessin. Et quand un assemblage de pièces représente «une maison», c'est une représentation sémiotique co-construite entre les deux interlocuteurs et pas une représentation symbolique. Les représentations symboliques sont des descriptions d'une réalité extérieure du point de vue interne de la machine. Au contraire, des représentations sémiotiques, en particulier langagières, ne sont pas internes à un sujet mais existent dans l'inter-subjectivité des participants à une interaction dialogique. Ce ne sont pas des descriptions mais des évocations où la métaphore, la métonymie et l'analogie jouent un rôle essentiel (Brassac et Trognon, 1992).

La plupart des systèmes de dialogue homme/machine actuels sont conçus comme des interfaces avec des logiciels (Sabah, 1988), (Pierrel, 1990). Ils ont un comportement de type stimulus-réponse : la question est filtrée et les éléments spécifiques capturés par les variables servent à construire la réponse. Or, dans un dialogue entre humains, les choses ne sont pas si simples. Si on me pose une question, je peux bien sûr y répondre, mais je peux aussi parler de la question, demander des précisions, ou la déplacer. Je peux aussi dévier la conversation pour éviter de donner une réponse que je ne veux pas donner. Je ne sors pas pour autant de l'interaction dialogique. En outre, la même question à des moments différents ou avec des interlocuteurs différents amène des réponses différentes. En particulier, si une question Q1 a entraîné une réponse R1 et que la question Q1 est posée à nouveau, comme il n'y a jamais de répétitions de sens dans une interaction langagière, il serait non pertinent de faire à nouveau la réponse R1. Celle-ci ayant déjà été donnée, il est clair que l'interlocuteur demande autre chose en répétant sa question. Sans

négliger leur intérêt ergonomique, on peut remarquer que les systèmes actuels de dialogue homme/machine ne font que des simulacres de dialogue, au sens où il n'y a pas de retour de l'activité dialogique sur le sujet parlant, car la machine qui parle et écoute n'est pas modifiée par cette activité. Si on lui dit deux fois la même chose dans deux sessions différentes, elle répondra deux fois la même chose car elle n'a pas de mémoire de ce qui s'est passé sauf à garder une trace complète de la session en cours. Chacun de nous a pu être irrité dans ses interactions avec les machines par des boucles répétitives dont on ne peut sortir que par une interruption. Ce n'est pas une fatalité, c'est seulement parce que nous les avons conçues ainsi, n'ayant pas vu en première analyse la complexité des phénomènes d'interaction langagière. C'est ce type de problèmes que l'étude du dialogue homme/machine peut maintenant faire évoluer. Car les premiers dialogues homme/machine n'ont pas été inutiles : par contraste, ils ont fait progresser l'analyse des dialogues entre humains, ce qui permet de concevoir maintenant une autre génération de dialogues avec les machines, qui prennent appui sur une activité réelle dont le dialogue doit être partie prenante (Trognon et Brassac, 1993).

Étudier des dialogues — en langue naturelle — en utilisant le dialogue enfant/machine dans un projet situé est un moyen de découvrir les propriétés des échanges langagiers pour s'en servir dans des situations variées : interfaces homme/machine bien sûr, mais aussi échanges entre machines. Contrairement aux dialogues en langage de commande, les dialogues en langue naturelle respectent l'autonomie des machines et leur permettent d'évoluer par acquisition de connaissances et de comportements nouveaux. Il ne s'agit pas dans ce projet pour les informaticiens d'être des ingénieurs au service des psychologues, mais il s'agit, pour réaliser les expériences, de faire des hypothèses sur la structure et la forme des processus mentaux, de concevoir des agents informatiques qui fonctionnent conformément à ces hypothèses et d'observer les décalages avec le fonctionnement mental des agents humains placés dans des conditions analogues (Nicolle et Bricon-Souf, 1994). Cette observation permet de construire de nouvelles hypothèses, autorisant la conception de nouveaux agents capables d'une interaction plus riche et ainsi de suite.

## **2. POURQUOI UNE MACHINE DANS DES EXPERIENCES DE PSYCHOLOGIE ?**

L'étude de l'un des pôles d'une interaction est au mieux descriptive si l'autre pôle n'est pas contrôlé (Vivier, 1989) car dans ce cas, on ne peut savoir si le comportement de l'un est dû à une situation dialogique spécifique ou au comportement de l'autre. Pour cette raison, Vivier

recommande la technique du compère qui permet de fixer un des pôles de l'interaction. Cette technique du compère utilisée en psychologie du développement trouve son origine dans des travaux de psychologie sociale (Vivier, 1990). Elle consiste à donner des consignes à l'un des deux interlocuteurs du dialogue de manière à fixer, autant que faire se peut, sa variabilité. Cet interlocuteur, ayant statut de compère, interagit avec le sujet observé par l'expérimentateur en suivant des consignes strictes. L'expérimentation menée en 1990 (figure 1) avec un compère humain a montré que malgré des consignes strictes, le comportement du compère était encore peu fiable, et que l'aide apportée à l'enfant était variable (Vivier, 1992).

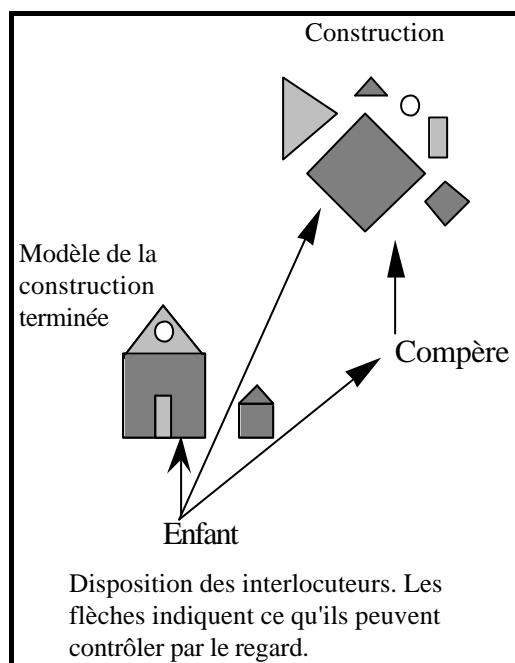


figure 1 : La situation type des interactions dans les dialogues Compèrobot

Une des grandes difficultés de cette technique d'observation est en effet la variation de comportement du compère qui parfois transgresse les consignes. Quand ce pôle de l'interaction n'est plus stable, il devient difficile d'étudier l'autre (celui du sujet). Le projet Compèrobot a comme objectif premier de remplacer ce compère humain, décidément trop variable, par une machine qui serait plus contrôlable par l'expérimentateur (Vivier et Nicolle, 1994). Le projet Compèrobot a donc pour objet l'élaboration d'un logiciel interactif qui dialogue avec un interlocuteur enfant dans une situation expérimentale analogue. Ce logiciel n'a pas à produire de résultat, mais à maintenir une interaction dialogique. En cela, il s'apparente plus à un système d'exploitation ou à

un traitement de textes qu'à un logiciel de résolution de problèmes. Pour que des comparaisons soient possibles, l'interaction doit être définie de la même manière que les agents du dialogue soient humains ou machines. Elle met en position de dialogue deux interlocuteurs : l'un *A* donne des consignes à l'autre *B* qui exécute la tâche demandée par le premier. L'expérimentateur donne les consignes aux deux interlocuteurs avant leur échange. Il demande à *A* de « dire à *B* tout ce qu'il faut que *B* fasse pour qu'une construction modèle soit exécutée ». Il demande à *B* de n'exécuter que les consignes de *A* qui sont suffisamment explicites et de ne pas aider *A* par des reformulations de consignes. La tâche à exécuter est une tâche de sélection et de déplacements d'objets plans sur une table ou sur un écran. La tâche de construction est simple en elle-même si l'on connaît le modèle, elle consiste à déplacer un ensemble de figures géométriques simples (triangles, cercles, carrés et rectangles) de manière à construire un dessin représentant une situation familière aux enfants, par exemple, une maison et un arbre côte à côte. Par contre, la tâche de l'enfant, « dire à autrui pour le faire faire » qui oblige au passage du procédural (exécution) au déclaratif (représentation), ou la tâche que l'enfant attribue au compère « comprendre les consignes pour exécuter des déplacements pour une construction non connue », constituent des tâches beaucoup plus complexes. Ces deux tâches sont des tâches langagières qui demandent aux interactants de construire ensemble une référence commune au monde, c'est-à-dire de s'entendre sur le choix de termes pour désigner des objets, les positions des objets et leurs déplacements, pour donner ou recevoir des consignes de manière plus efficace.

### 3. QUELLE MACHINE FAUT-IL CONCEVOIR ?

Cette demande a amené les informaticiens à concevoir une machine jouant le rôle de compère, en transformant quelque peu la situation de l'expérience de 1990 pour aboutir à la définition de l'expérience finale à mettre en place, dans laquelle le compère humain est remplacé par une machine, puis à la spécification d'expérimentations intermédiaires.

Dans l'expérience finale que nous noterons FAE (finale avec écran), les pièces de la construction sont présentées et déplacées sur un écran d'ordinateur et le dialogue entre la machine et l'enfant concerne ce qui se passe à l'écran. Les pièces dessinées sur l'écran sont analogues à celles que l'enfant voit comme composants d'une construction dessinée devant lui sur une feuille de papier, elles ont même forme, même taille et même couleur. Il s'agit pour l'enfant de faire sélectionner et déplacer les pièces qu'il voit sur l'écran pour obtenir une construction analogue



sans utiliser autre chose que la parole (pas de gestes). Le système est dans une situation d'exécutant d'une tâche de construction. Il doit soit exécuter les actions demandées, soit solliciter des précisions à propos des actions demandées sans compléter les énoncés des sujets. Pour réaliser l'expérience par l'intermédiaire de l'écran de l'ordinateur, la machine doit avoir des capacités d'action, pour présenter et déplacer les pièces à l'écran, et des capacités d'interaction, pour interpréter les énoncés de l'enfant et lui répondre. Pour que la machine ait accès à l'état de l'écran par un analogue de la proprioception, il faut mettre en place des mécanismes de retour d'action pour qu'elle sache ce qu'elle y a dessiné en exécutant des ordres de sélection et de déplacement de pièces.

Du point de vue de l'intelligence artificielle, ce dialogue homme/machine dans lequel la machine tient le rôle de compère a trois caractéristiques intéressantes. La première caractéristique est que la machine joue un rôle où les limitations de ses capacités de compréhension ne sont pas un obstacle, puisqu'il suffit qu'elle comprenne ce qui est explicite dans les énoncés de l'enfant et demande des précisions sur ce qu'elle ne comprend pas. La deuxième caractéristique est que les tâches langagières des deux interactants ont un objet précis, la construction d'une figure sur l'écran, perçue par les deux interlocuteurs. La tâche de construction des figures à l'écran est donc un moyen d'étudier comment une machine construit une référence au monde (l'écran de l'ordinateur) avec son interlocuteur. La troisième caractéristique est que le sujet de l'étude — la production de consignes — est en rapport avec les capacités langagières que nous voulons donner aux machines : savoir parler de ce qu'elles font, de ce qu'elles savent et ne savent pas faire, de ce qu'elles connaissent et ne connaissent pas. Contrairement à d'autres projets comme le projet CYC (Lenat et Feigenbaum, 1991), il ne s'agit pas de les faire parler de tout ce dont nous pouvons parler dans les conversations entre humains.

Pour pouvoir parler de la manière de faire quelque chose, il faut s'en détacher, non plus seulement le faire, mais observer qu'on le fait et décrire le processus. Il faut donc en avoir une double représentation : procédurale pour l'action et déclarative pour le dialogue. La description d'une action n'est jamais complète, au sens où la moindre action peut être décrite de manière infinie. Est-ce un argument contre l'automatisation du processus ? Non, car en s'appuyant sur une théorie des actes, la description n'a pas à être complète comme dans une théorie de la vérité. Elle doit être suffisante pour faire la différence avec les actions proches qui pourraient être confondues avec elle, et c'est tout. Il y a mille manières de prendre « le petit carré », mais il est

inutile de les distinguer : ce qu'il faut décrire, c'est une classe d'équivalence entre des actions concrètes — une action type — et pas une action particulière dans ces moindres détails. Par contre, il est important pour Compèrobot de distinguer *prendre* et *tourner*, un *carré* et un *triangle*, un *grand* et un *petit* objet. *Mettre* et *poser* sont sans doute des descriptions de la même action, le *rond* et le *cercle* de la même pièce : dans le contexte de la construction, il n'y a pas à faire la différence, mais bien sûr dans d'autres contextes d'autres différences seront pertinentes. Les deux représentations d'une même action, procédurale et déclarative, doivent être en situation de dépendance causale (Maes, 1987) pour éviter deux choses : les inconsistances du point de vue déclaratif, les lapsus et actes manqués du point de vue procédural. Au cours des expériences Compèrobot, le compère ne doit exécuter que les ordres parfaitement définis, et inciter l'enfant à reformuler les autres en lui montrant les ambiguïtés de ses énoncés (par exemple, si l'enfant dit «prends le carré», le compère va prendre le *petit* carré en sachant que l'enfant souhaite lui voir prendre le *grand*). En anticipant sur les résultats des expériences décrites ci-dessous, notons dès maintenant qu'il ne suffit pas de parler des actions mais aussi des énoncés, pour manifester ce qu'on a compris ou non par exemple ; il faut donc aussi en avoir une représentation déclarative et procédurale : comme les énoncés peuvent parler des énoncés, il n'est pas possible de faire abstraction du caractère de métalangage des langues.

#### 4. UNE EXPERIMENTATION COMMUNE

La machine FAE n'est pas encore construite. Une fois définie cette machine, il faut la réaliser, et comme c'est une tâche difficile, il est souhaitable de définir des objectifs intermédiaires, pour tester des parties du système réalisées, et par là même tester les hypothèses qui les sous-tendent, et pour affiner la conception. Une phase de construction de machines transitoires ou de sous-systèmes de la machine finale s'est mise en place, correspondant à l'amorce de l'amorce de la machine (Nicolle, 1994). La difficulté dans la conception d'un tel système vient du fait que l'artefact n'est pas décomposable. Il faut donc concevoir une machine provisoire qui ait certaines capacités et qui soit une préfiguration de la machine finale FAE, pas une partie de cette machine. La collaboration entre les psychologues du projet et les informaticiens a servi à mettre en place une méthode de conception par expérimentation de machines provisoires pour un système tel que Compèrobot. Cette méthode consiste à construire un sous-système et le valider par une expérience où le compère est un couple humain/machine. Le processus est itératif,

chaque expérience va inclure des fonctions déjà testées de manière à valider la cohérence du tout, en réduisant progressivement l'activité du compère au profit de celle de la machine.

#### 4.1. Mise en place de l'expérience

L'expérimentation que nous présentons maintenant a eu pour objectif de tester une première simulation qui permette d'anticiper sur la conception de la machine en plaçant les enfants dans une situation qui préfigure ce que sera le Compèrobot final. Il s'agit déjà pour eux de donner des consignes à une machine, pour lui faire réaliser une construction, même si la machine ne fait pas encore tout ce qu'on attend d'elle. Pour cela, Marc Andrès a réalisé une partie du système : la présentation et le déplacement des pièces sur l'écran, et un langage de commande de déplacement de pièces qui a certaines caractéristiques d'une langue naturelle. En utilisant ce programme, il a joué le rôle du compère pour un ensemble d'observations où les sujets sont mis en présence de la machine. Cette simulation n'utilise donc pas simplement un humain qui joue le rôle de la machine, comme c'est le cas le plus souvent dans les situations dites *Magicien d'Oz*, mais un humain qui utilise ce qui fonctionne déjà sur machine et qui connaît les limites de la machine. La technique du Magicien d'Oz est utilisée habituellement en informatique, pour constituer des corpus avant la conception d'un système de dialogue ou pour tester des interfaces alors que le logiciel n'est pas écrit. Elle est donc utilisée sans machine ou avec une composante machine qui ne sera pas celle du système de dialogue final. Par exemple, Ozkan décrit une expérience de type Magicien d'Oz dans laquelle le matériel informatique permet au compère (appelé manipulateur) de déplacer des objets avec la souris (Ozkan, 1994). La machine ne prend en charge dans ce cas que l'affichage synchrone des écrans proposés aux deux interactants humains. Notre utilisation de la technique Magicien d'Oz est différente car elle utilise certaines fonctionnalités du logiciel et pas seulement une interface. Elle permet, en plus de la constitution de corpus, la validation de sous-systèmes du système final. Cette technique crée un nouveau type d'interactions et il faut vérifier que l'introduction de la machine ne remet pas en cause fondamentalement le type d'activité mis en place par les sujets-enfants (Jacquet, 1995).

La mise en place des expérimentations communes doit générer des données utilisables par chacune des disciplines et la situation expérimentale doit satisfaire les contraintes imposées par chacune des analyses. En particulier, la définition des propriétés des éléments constituant la construction devait être explicitée pour l'élaboration du

langage de commande permettant à l'opérateur de sélectionner et de déplacer les figures à l'écran. Comme dans la première expérimentation la construction est constituée d'une composition de formes géométriques simples (carré, rectangle, triangle, rond) et afin de ne pas limiter les possibilités du langage de commande à la gestion d'une seule construction, nous avons choisi de définir les objets en fonction de deux types d'attributs : d'une part, leurs propriétés de forme, de taille, et de couleur, et d'autre part, les relations qu'ils entretiennent avec les autres éléments pour une construction donnée. Avec ces informations, le système élabore les commandes qui correspondent à la manipulation de chacun des objets à partir de commandes génériques. Pour toute nouvelle construction, il suffit de spécifier les attributs des objets qui la composent. L'ensemble de ces caractéristiques a été défini en se fondant d'abord sur l'analyse des corpus établis dans une situation ne comprenant pas de machine, mais aussi sur quelques essais réalisés avec des enfants et des adultes pour mettre au point les conditions expérimentales.

Le langage de commande utilisé pour les expériences est un intermédiaire entre les énoncés en langue naturelle produits par l'enfant et les sélections et déplacements de pièces réalisés par la machine sur l'écran. L'utilisation de ce langage par le compère ne doit pas trop le solliciter afin que le dialogue reste fluide. Il ne doit donc pas y être question de repères normés et de mesures. Or, la machine utilise des dessins des pièces point par point et des coordonnées cartésiennes pour placer les points. La solution retenue consiste à nommer les objets de façon unique et à repérer des positions standard pour les objets, dans leur orientation et par rapport aux autres objets, et à utiliser ces positions standard pour interpréter des ordres comme :

[je prends PC]

[je place GC gauche loin]

[je déplace arbre gauche très-loin].

Les objets, comme PC ou GC, sont décrits par une liste de valeurs de champs et les actions sur les objets, comme prendre, poser et placer, sont réalisées par des méthodes de modification des valeurs des champs de l'objet, qui entraînent des modifications du dessin par réflexe. Les ordres du langage sont interprétés *via* leur description en termes de ce qui change et de ce qui doit rester invariant dans l'action. Ils sont regroupés dans une hiérarchie de spécialisation (figure 2). La compétence actuelle de cette machine allie les deux aspects, figuratif et opératif, d'une compétence spatiale. Ses compétences opératives consistent à dessiner dans l'espace commun, et à déplacer des objets de

l'espace commun. Ses compétences figuratives consistent à reconnaître des objets en fonction de leurs propriétés intrinsèques ou en fonction de leur position par rapport à un autre. Ces deux aspects sont inter-reliés de manière à constituer un tout cohérent.

Ainsi la représentation figurative des relations spatiales est à la base de la représentation des actions de positionnement relatif (connaissance opérative). Les expérimentations sont destinées à mettre le système informatique de présentation et de déplacement des objets à l'épreuve des faits et à tester un certain nombre d'attentes psychologiques : l'introduction de la machine modifie-t-elle la nature des dialogues recueillis, et favorise-t-elle l'apparition de processus d'adaptation spécifiques ? Les corpus obtenus feront l'objet d'une double analyse : à celle des psychologues, sur la nature des corpus recueillis dans une telle situation et sur les conséquences de celle-ci sur les processus d'adaptation développés par les sujets, s'ajoute celle des informaticiens qui cherchent à obtenir, non seulement la validation du logiciel, constituant une étape indispensable à l'élaboration du système envisagé, mais aussi des informations pour modéliser les énoncés sur les objets et leurs déplacements, et pour concevoir l'architecture de la machine suivante.

ARBRE SÉMANTIQUE DES ACTIONS	ÉNONCÉS DU LANGAGE DE COMMANDE
ACTION	
DEPLACER	
TRANSLATION	
TRANSLATION VERTICALE	
TRANS.VERTI.HAUT	[JE DEPLACE <X> HAUT]
TRANS.VERTI.BAS	[JE DEPLACE <X> BAS]
TRANSLATION HORIZONTALE	
TRANS.HORIZ.GAUCHE	[JE DEPLACE <X> GAUCHE]
TRANS.HORIZ.DROITE	[JE DEPLACE <X> DROITE]
ROTATION	
VERS LA GAUCHE	[JE TOURNE <X> GAUCHE]
VERS LA DROITE	[JE TOURNE <X> DROITE]
POSITION TYPE	
POSITIONNEMENT RELATIF	
RELATION VERTICALE	
VERTICAL.SUR	[JE METS <X> SUR <Y>]
SUR.MILIEU	[JE POSE BAS <X> CONTACT HAUT <Y> MILIEU]
SUR(GAUCHE OU DROITE)	
SUR GAUCHE	[JE POSE BAS <X> CONTACT HAUT <Y> GAUCHE]
SUR DROITE	[JE POSE BAS <X> CONTACT HAUT <Y> DROITE]
VERTICAL.SOUS	[JE METS <X> SOUS <Y>]
SOUS.MILIEU	[JE POSE HAUT <X> CONTACT BAS <Y> MILIEU]
SOUS(GAUCHE OU DROITE)	
SOUS GAUCHE	[JE POSE HAUT <X> CONTACT BAS <Y> GAUCHE]
SOUS DROITE	[JE POSE HAUT <X> CONTACT BAS <Y> DROITE]
RELATION HORIZONTALE	
HORIZONTAL.GAUCHE	[JE METS <X> GAUCHE <Y>]
GAUCHE.MILIEU	[JE POSE DROITE <X> CONTACT GAUCHE <Y>
MILIEU]	
GAUCHE(SUR OU SOUS)	
GAUCHE SUR	[JE POSE DROITE <X> CONTACT GAUCHE <Y>
HAUT]	
GAUCHE SOUS	[JE POSE DROITE <X> CONTACT GAUCHE <Y> BAS]
HORIZONTAL.DROITE	[JE METS <X> DROITE <Y>]
DROITE.MILIEU	[JE POSE GAUCHE <X> CONTACT DROITE <Y>
MILIEU]	
DROITE(SUR OU SOUS)	
DROITE SUR	[JE POSE GAUCHE <X> CONTACT DROITE <Y>
HAUT]	
DROITE SOUS	[JE POSE GAUCHE <X> CONTACT DROITE <Y> BAS]
POSITION CENTRALE	[JE METS <X> DANS <Y>]
POSITIONNEMENT /CADRE	
RELATION VERTICALE	
EN HAUT	[JE PLACE <X> HAUT]
EN BAS	[JE PLACE <X> BAS]
RELATION HORIZONTALE	
A GAUCHE	[JE PLACE <X> GAUCHE]
A DROITE	[JE PLACE <X> DROITE]
POSITION CENTRALE	[JE PLACE <X> MILIEU]
SELECTIONNER	[JE PRENDS <X>]
DESELECTIONNER	[JE REPOSE <X>]

*figure 2* : La représentation des actions dans un arbre de prototypes

#### **4.2. Description des situations expérimentales**

L'expérimentation a été définie en tenant compte de la possibilité d'utiliser comme partenaire ce couple homme/machine en jouant sur la présentation de ce couple aux sujets. Nous avons retenu deux conditions expérimentales différentes pour tester les conséquences de l'introduction de la machine sur l'interaction entre les partenaires relativement à l'image que les sujets s'en font. La première met les sujets en relation avec un partenaire humain qui exécute les consignes sur la machine (Compère/Machine). La seconde place les sujets devant la machine, et leur demande d'adresser leurs consignes directement à celle-ci (Magicien d'Oz). Dans ce dernier cas de figure, le compère pilote la machine à l'insu des sujets, ainsi la simulation du Compèrobot se précise, même si l'humain intervient toujours dans l'interaction. En tant que compère, l'humain qui commande la machine connaît le modèle de la construction à réaliser dans les deux cas.

Dans le premier cas (Compère/Machine), les sujets parlent au compère qui exécute les instructions sur ordinateur, les sujets disposant d'un écran de contrôle pour voir l'effet de leurs consignes. Le compère est dans les mêmes conditions de référenciation que dans la situation sans machine testée en 1990. Les sujets sont placés de telle sorte qu'ils voient les deux écrans. Le compère est placé devant les sujets et leur tourne le dos. Malgré la présence de l'humain, ces derniers ne peuvent donc pas utiliser de déictiques gestuels de façon pertinente (Figure 3). Dans un second cas, le compère pilote l'ordinateur depuis la pièce voisine. Le dispositif technique mis en place laisse penser aux sujets que le microphone qu'ils utilisent pour donner les consignes, tout comme le haut-parleur par lequel leur parviennent les interventions du compère, sont reliés à la machine (Figure 4).

Les sujets voient l'écran de la machine sur lequel s'effectue la construction, ainsi qu'un modèle de la construction à faire réaliser sur papier. Ils croient alors parler directement à la machine. Le compère, quant à lui, dispose sur son écran d'une copie de l'écran des sujets qui lui permet de suivre l'évolution de la construction, et d'une ligne de commande lui permettant de taper ses instructions que l'enfant ne voit pas. La population observée est composée de deux groupes. Le premier est composé de 20 enfants, de 8,4 ans d'âge moyen et de niveau scolaire CE2. Le second groupe de sujets est composé de 20 enfants de 10,9 ans d'âge moyen et de niveau scolaire CM2. Chacun des deux groupes comprend 10 garçons et 10 filles. L'ensemble des sujets est issu de la

même école. L'âge des sujets est défini en rapport avec les difficultés rencontrées pour produire des consignes et s'adapter à l'interlocuteur.

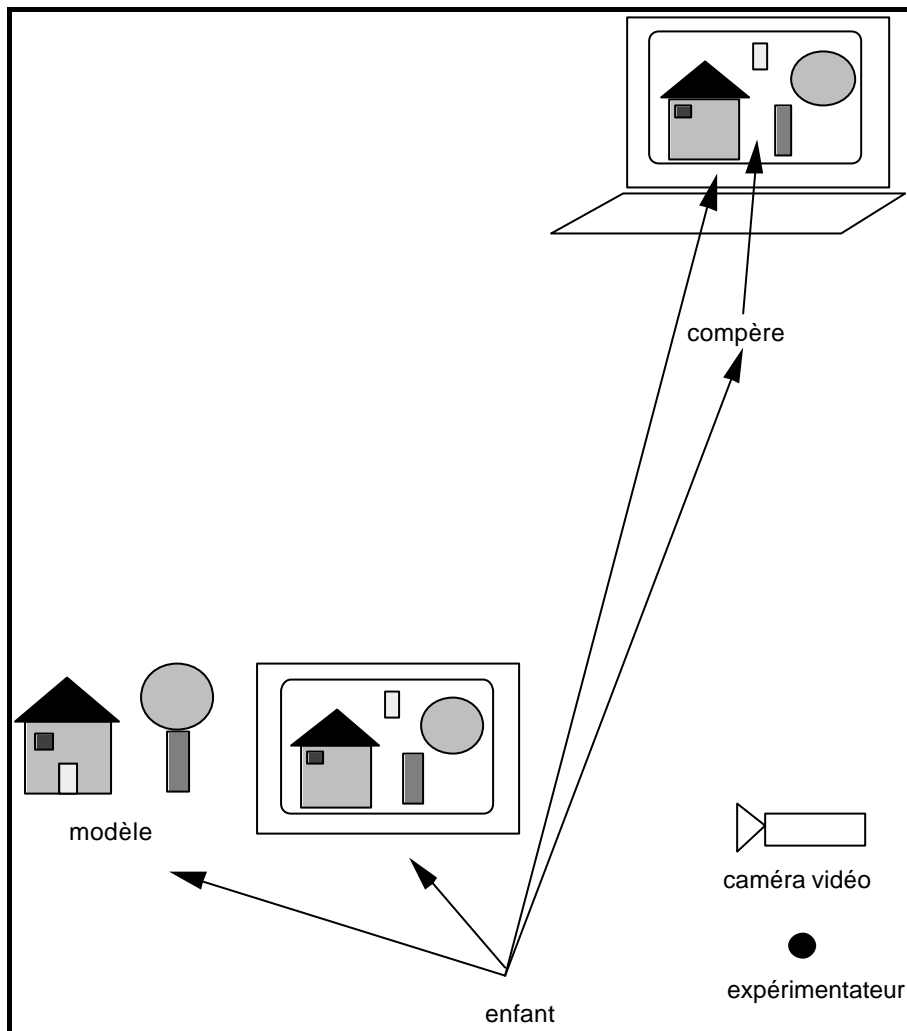


figure 3 : La situation d'interlocution Compère/Machine<sup>1</sup>

Comme dans l'expérimentation sans machine, le compère a comme consigne d'exécuter les instructions quand elles ne sont pas ambiguës, sinon d'inciter les sujets à expliciter leurs consignes. Il lui est demandé de ne pas paraphraser les énoncés des sujets afin de ne pas induire la bonne formulation. Tous les sujets sont observés dans les deux situations expérimentales, la tâche est la même dans les deux situations. L'ordre de passation est Magicien d'Oz puis Compère/Machine pour la

<sup>1</sup> Les flèches indiquent ce que le sujet et le compère peuvent contrôler du regard.



moitié des sujets de chaque groupe, et Compère/Machine puis Magicien d'Oz pour l'autre moitié. L'expérimentateur va chercher les enfants un par un dans leur classe. Il leur explique qu'ils vont participer à une recherche qui porte sur le langage, et que leur contribution aidera à la conception et à l'amélioration d'une machine qui parle. Il leur présente le matériel, et fait constater aux sujets que les éléments dispersés sur l'écran de l'ordinateur correspondent bien à ceux qui composent la construction, enfin, il leur donne la consigne suivante : « *Explique à M. (ou à la machine) tout ce qu'il (elle) faut qu'il (elle) fasse avec les pièces qui sont sur l'écran pour faire la même chose que ce qui est représenté sur ton modèle* ». Le modèle de la construction est présenté à l'enfant sur une feuille de papier, c'est une copie d'écran de la construction à réaliser. Le modèle ne figure pas sur l'écran de la machine afin que les sujets ne supposent pas que le modèle fait partie des connaissances de la machine. La consigne peut être répétée si besoin est.

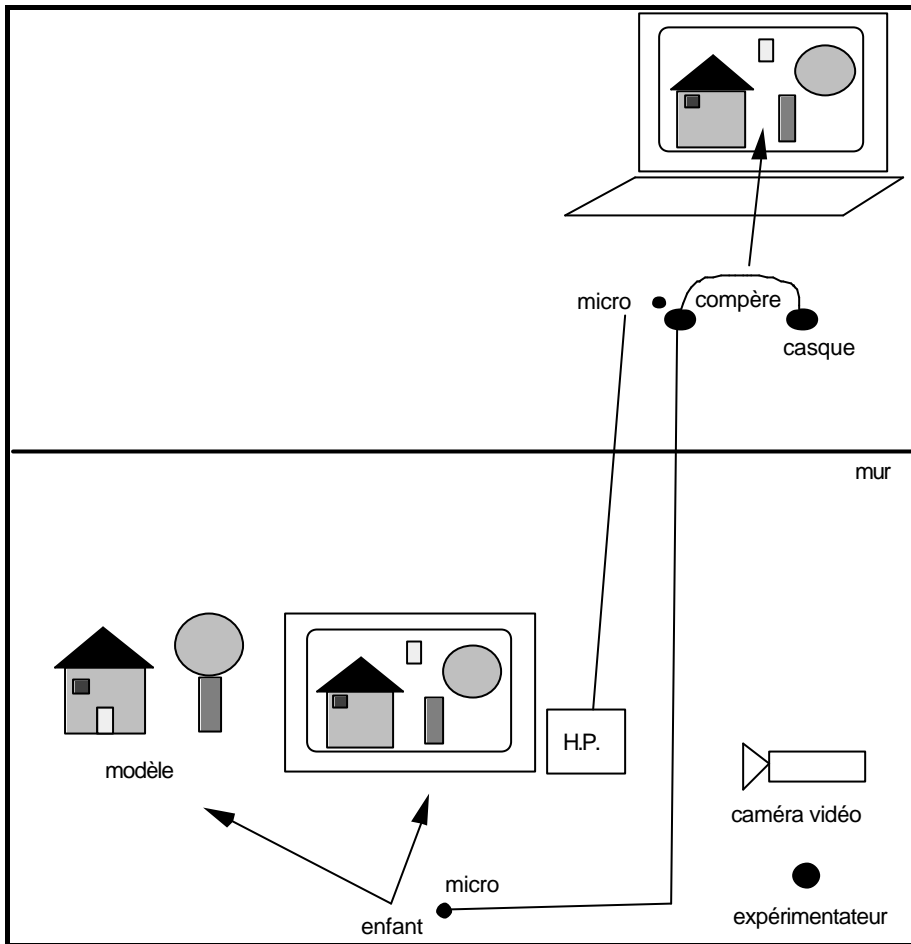


figure 4 : La situation d'interlocution Magicien d'Oz

La construction qui a été utilisée est composée de 6 éléments : un grand carré, un petit carré, un triangle, un grand rectangle, un petit rectangle et un rond. Dans la figure à construire, les carrés, le triangle et le petit rectangle forment une maison, le rond et le grand rectangle forment un arbre à droite de la maison. Les éléments sont définis de telle sorte qu'aucun n'est substituable à un autre dans la construction. Les éléments se distinguent par :

- leur forme géométrique : carré, triangle, rectangle ou rond.
- leur taille : le grand carré, le triangle et le rond s'opposent aux trois autres éléments de plus petite taille, les deux rectangles étant différenciables par leur longueur.
- leur couleur en niveaux de gris : les différences de couleurs sont redondantes par rapport aux différences de taille et/ou de forme.

Les observations ont été enregistrées (audio et vidéo), et l'historique des commandes de déplacement des figures est gardé en mémoire par la machine. Lors du dépouillement des données on peut donc reproduire sur machine les déplacements effectués au cours de chaque observation. Ainsi l'analyse des énoncés des sujets peut se faire en tenant compte très précisément de la nature des déplacements ou des sélections d'objets réalisés par la machine selon la commande du compère.

### **4.3. Les résultats**

Du point de vue des informaticiens, la validation a été satisfaisante puisque les expérimentations ont pu se dérouler dans de bonnes conditions à plusieurs reprises, devant un public nombreux et varié. Les corpus sont un matériau précieux pour étudier le langage des enfants et leurs réactions devant la machine et il est à noter qu'ils sont beaucoup plus libres que les adultes devant ce nouvel interlocuteur car ils ont moins de préjugés de départ sur la manière dont la machine va ou ne va pas les comprendre. L'enregistrement simultané des dialogues et des commandes que Marc Andrès a tapées sur la machine est aussi une source de réflexions sur la décision dans le dialogue. Les commandes reflètent les décisions qui ont été prises mieux que les actions elles mêmes car elles sont une forme déclarative des actions. Les corpus ayant été enregistrés, le compère humain peut revoir ce qu'il a fait et tenter de reconstruire les mécanismes de décision dialogique qu'il a mis en œuvre. Il observe ce qu'a dit l'enfant et ce qu'il a fait ou dit en réponse et essaie d'imaginer comment une machine pourrait avoir un comportement analogue. Cette méthode se substitue avantageusement aux méthodes proposées habituellement en IA pour recueillir l'expertise, auto-observation ou verbalisation pendant la tâche, qui perturbent le déroulement normal de cette tâche. Il est à noter que la reconstruction de la démarche du compère n'a pas besoin d'être exacte, puisqu'il ne s'agit pas de modéliser le compère mais d'en faire un analogue machine. La reconstruction doit seulement être plausible et donner de bons résultats. On peut donc se mettre à plusieurs pour observer ce qui a été fait et imaginer comment la machine pourrait le faire. Le fait d'avoir un grand nombre de corpus évite de se poser des questions sur ce qui pourrait arriver : la méthode de travail consiste à étudier des situations d'interaction qui ont eu lieu, pas à en imaginer d'autres, et à se limiter à ce qui a été fait dans cette situation, sans introduire aucune autre possibilité. Les expériences ultérieures se chargeront d'introduire les variations souhaitables. Il ne s'agit pas d'un travail de cumul de toutes les interactions qui ont eu lieu mais d'un

travail de généralisation qui porte sur les types des objets en jeu et pas sur les variations des occurrences. Cette généralisation s'appuie sur la grille d'analyse des énoncés présentée dans l'article de Vivier. De cette étude ont résulté un modèle de la décision basée sur l'intention, vue comme activité mémoire (Andrès, 1995) et la définition d'une architecture logicielle de machine interactive présentée ci-dessous, dont l'implantation est en cours.

Du point de vue des psychologues, les résultats des analyses des corpus obtenus ont permis de proposer un modèle des conduites d'adaptation des enfants à l'interlocuteur Compèrobot en l'état de son élaboration (Jacquet, 1995). Les processus d'adaptation du discours des sujets à un interlocuteur perçu comme un homme et à un interlocuteur perçu comme une machine ont été comparés. Quelles que soient les possibilités d'interagir dont sera doté l'ultime Compèrobot, l'artifice est inévitable et il importe d'en préciser la spécificité.

En premier lieu, l'introduction de la machine dans les situations d'observation produit une différence avec la situation de référence au niveau de la temporalité propre au dialogue, car une alternance stricte des tours de parole doit être respectée par les sujets. Il est à noter que la situation utilisée permet de disposer d'un moyen de séparer les actions et les énoncés du compère, ceci aidant à repérer la nature des références prises en compte par les sujets (actions ou énoncés du partenaire). Dans la situation de référenciation analogue qui ne comprenait pas de machine, l'une des difficultés rencontrées dans l'analyse des corpus recueillis était l'ambiguïté des références des énoncés des sujets. S'agissait-il de l'action du partenaire ou de son discours ou encore des deux à la fois ? La simultanéité des actions et des énoncés ne permettait pas de trancher de façon décisive alors que la non simultanéité due à l'introduction de la machine, loin d'être un handicap, a eu cet avantage.

En second lieu, la représentation que les sujets ont du partenaire constitue un élément déterminant pour l'explication de leurs conduites d'adaptation. Les sujets s'opposent selon qu'ils utilisent des procédures de personnalisation stables ou instables pour s'adresser au partenaire. En d'autres termes, les sujets rencontrent ou non des difficultés pour s'adresser au partenaire. Il faut noter que ces difficultés se manifestent quelle que soit la situation d'interaction.

Un usage stable d'un pronom personnel ou d'une forme impersonnelle indiquerait que les sujets ont une représentation de leur partenaire stable elle aussi. Dans ce cas, il semble possible de mettre

les procédures utilisées en rapport avec des représentations susceptibles de les guider.

1) L'utilisation du pronom « *vous* » est caractéristique des sujets qui s'adressent au compère en tant que partenaire humain. En situation compère-machine, la machine est un support pour la réalisation de la construction, mais c'est bien à l'humain que ces sujets s'adressent tout en tenant compte des contraintes liées à la réalisation de la tâche sur machine (par exemple, le strict respect des tours de parole). En situation Magicien d'Oz, l'utilisation du pronom « *vous* » indique que le sujet parle à un humain qu'il a deviné au-delà de la machine.

2) Le pronom « *on* » est utilisé par des sujets qui semblent instaurer un rapport collaboratif avec le compère ou la machine. Il s'agit pour les sujets de s'allier avec un partenaire réel ou virtuel pour réaliser une tâche précise. Cette interprétation ne doit pas masquer le caractère indéfini que peut prendre ce pronom. Dans ce cas, son utilisation serait la marque d'une incertitude quant à la nature exacte du partenaire dans la situation Magicien d'Oz. Ce sont plutôt des sujets de 11 ans qui utilisent cette procédure de façon stable.

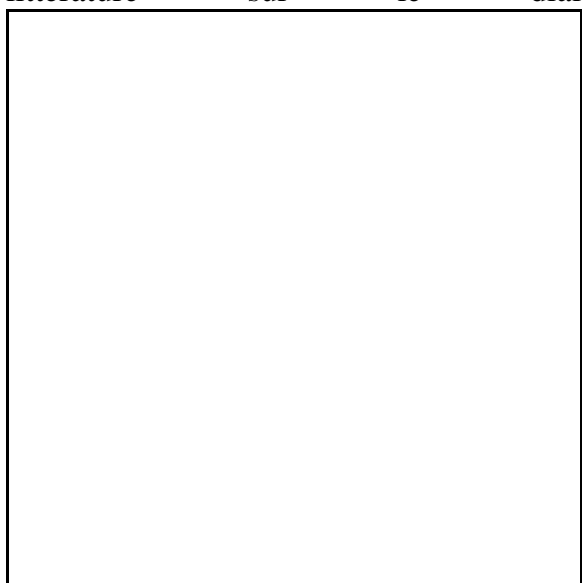
3) Par l'utilisation du « *tu* » dans la situation Compère-Machine, les sujets s'adressent clairement au compère humain. Dans la situation Magicien d'Oz, les sujets font « comme si » il s'agissait d'un humain, et font fonctionner cette illusion. Il faut noter, ici, que les sujets les plus stables sont des sujets de 8 ans pour lesquels le jeu symbolique, bien que déclinant, représente un mode de fonctionnement encore opérant (Piaget, 1936).

4) La procédure impersonnelle la plus fréquente est l'utilisation de « falloir + verbe » (exemple : *le carré y faut le descendre*). Cette procédure est sans doute la plus délicate à interpréter. Faut-il y voir l'expression d'une représentation floue du partenaire ou, plus vraisemblablement, une stratégie de renforcement des consignes par l'utilisation du modal « *falloir* » associé à des formes verbales infinitives ?

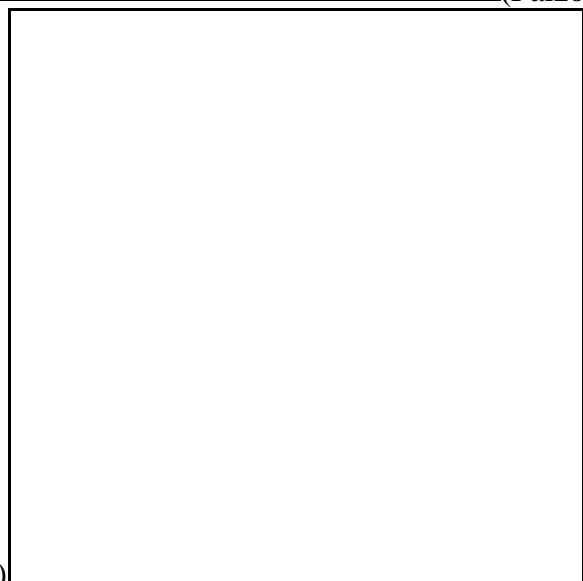
5) L'utilisation du pronom « *je* » est très marginale. Il s'agit d'un sujet de 11 ans qui s'adresse au partenaire, dans les deux situations, en utilisant une forme du type « *je voudrais ...* ». Cette procédure maintient le partenaire — humain ou machine — dans un rôle d'exécutant un peu mécanique des intentions du sujet.

En revanche, l'instabilité dans l'usage de différents pronoms ou formes impersonnelles serait un indicateur d'une difficulté rencontrée par les sujets concernés pour stabiliser une représentation du

partenaire. Il est intéressant de rappeler que ces phénomènes se produisent aussi bien avec le compère de la situation Compère/Machine qu'avec la « machine » de la situation Magicien d'Oz. L'un des apports essentiels de cette étude est de différencier le comportement des sujets de 8 et 11 ans de celui des adultes tel qu'il est rapporté dans la littérature sur le dialogue homme/machine



(Falzon, 1989 ; Morel, 1988-



1989). Ces travaux portant sur l'analyse de dialogues oraux adulte-machine en situation Magicien d'Oz signalent l'absence de personnalisation du partenaire machine par les sujets adultes. Nos analyses montrent qu'il en est tout autrement en ce qui concerne les sujets enfants. Les procédures de personnalisation utilisées par les sujets de 8 et 11 ans se caractérisent non seulement par leur diversité, mais aussi par leur degré de stabilité. D'un point de vue

développemental il faut noter que ce sont des sujets de 11 ans qui présentent la plus grande stabilité dans l'utilisation des procédures impersonnelles en situation Magicien d'Oz. Un essai réalisé avec 9 sujets adultes dans les conditions de la situation Magicien d'Oz utilisée avec les sujets enfants (même tâche, même construction, même compère) montre que 7 sujets adultes sur 9 utilisent des procédures impersonnelles pour s'adresser à la « machine ». Les deux autres sujets adultes qui utilisent les pronoms « *vous* » et « *tu* » sont les seuls à avoir « démasqué » le compère. Ces éléments nous conduisent à faire l'hypothèse d'un rapport entre le niveau de développement des sujets et le type de représentation qu'ils construisent dans une interaction avec une machine. Pour les sujets de 8 ans, il semble que la représentation qu'ils se font du partenaire machine n'est pas très différente de celle qu'ils se font du partenaire humain. Chez les 11 ans, la représentation du partenaire est encore relativement variable d'un sujet à l'autre et/ou fluctuante d'une situation à l'autre. Cependant, comme nous venons de le signaler, certains sujets de 11 ans présentent des procédures de personnalisation stables identiques à celles des adultes en situation Magicien d'Oz. De plus, les données confirment que les procédures de stimulation et d'aide produites par le partenaire exécutant favorisent l'évolution des compétences de production de consignes orales.

Ces résultats permettent non seulement de confirmer l'intérêt de la situation étudiée pour l'analyse de la production de consignes orales, mais aussi de faire du dialogue homme/machine en langue naturel un objet pertinent pour la psychologie du développement parce qu'il met le sujet dans des situations nouvelles mais assez proches de celles dont il a l'habitude.

## 5. DE L'EXPERIMENTATION A LA MODELISATION

Les résultats des analyses psychologique et informatique menées sur les corpus issus de l'expérimentation que nous venons de présenter, ont amené à l'élaboration d'un modèle de la machine Compèrobot plus complet, qui servira de base à des expériences ultérieures. Ce modèle tient compte des contraintes de fonctionnement imposées par les deux disciplines en interaction et révélées par l'expérimentation.

Ce modèle de la décision dialogique construit à partir de ces expériences repose sur un contrôle à trois niveaux : le rôle, la stratégie et la tactique. Le contrôle de plus haut niveau, le rôle, est représentatif du comportement général de la machine vis-à-vis de la tâche à réaliser par le dialogue. Il est fixé par l'expérimentateur et il gère le contenu prédicatif des énoncés. Le niveau du rôle influe sur le niveau stratégique en posant des contraintes et en définissant l'intérêt des stratégies possibles. Le niveau stratégique fixe les grandes lignes du contrôle et gère l'aspect dialogal, c'est-à-dire l'ouverture et la fermeture du dialogue et l'alternance des tours de parole. Il influe sur le niveau tactique en posant des contraintes et en fixant l'intérêt des tactiques possibles. Le niveau tactique prend les décisions d'action dans le cadre des contraintes fixées par les niveaux supérieurs en tenant compte de la représentation de l'interlocuteur. Il gère l'aspect dialogique (Vernant, 1994). Les trois niveaux de contrôle font fonctionner une boucle perception — délibération — action selon une théorie intentionnelle de l'action. Le principe d'action intentionnelle pour une machine (Andrès, 1995) est défini comme un objectif de réduction des différences entre les représentations des acteurs du dialogue dans la mémoire de l'acteur machine, à partir d'un modèle de la communication comme transfert (Coursil, 1993).

La machine Compèrobot est en interaction avec l'expérimentateur [1]<sup>2</sup>. Ce dernier définit, au travers d'un système de paramétrage [2] un état de l'expérience [4]. L'état de l'expérience consiste à fixer la définition du dessin à construire, la position initiale du dessin et le profil de comportement que la machine doit adopter. Pour l'instant, ce comportement est choisi parmi les deux profils suivants : le profil *compère* comporte toutes les contraintes demandées au compère (ne jamais reformuler les consignes du sujet et ne pas induire trop facilement des actions ou des formulations de consigne), le profil *tuteur* peut aider le sujet en lui proposant des énonciations plus cohérentes des consignes ou en choisissant une disposition des figures

---

<sup>2</sup> Les numéros mis entre crochets font référence à la figure 5.



qui s'approche du dessin à construire. Le sujet de l'expérience est mis dans une situation expérimentale analogue à celle que nous avons décrite plus haut. Les consignes données par le sujet modifient l'état de la situation dialogique [9] constituée de trois composantes qui sont : l'état de la construction courante [9.1], l'état de la référence courante [9.2], l'état de la représentation du sujet [9.3]. L'état de la référence courante est constitué du résultat des calculs de référence correspondant à l'énoncé en cours et à l'image des références précédentes. L'état de la construction correspond aux positions des figures, aux relations spatiales et aux figures composées reconnues par le système. L'état de la représentation du sujet permet d'identifier le type de sujet présent (par exemple : âge et niveau de compétence). Le système de décision dialogique est composé de trois étages qui agissent dans trois temporalités différentes au cours du dialogue. Ces trois étages sont l'état du comportement [5], l'état de la stratégie [6] et l'état de la tactique, appelé tentative [7]. L'état du comportement est défini une fois pour toute avant l'interaction enfant-machine par l'expérimentateur pour une série d'observations. L'état de la stratégie peut être modifié plusieurs fois au cours du dialogue par l'état du comportement en fonction de la manière dont l'interaction se déroule [5]. Le niveau stratégique tient compte de la représentation du sujet [9.3]. La stratégie courante [6] définit la liste des tactiques [6'] qui peuvent être utilisées dans la phase courante de dialogue. Lorsqu'une tactique est choisie, elle élabore une tentative d'action (réponse ou modification de l'écran) [7] en fonction du contexte d'énonciation. Cette tentative élabore une réponse [8] qui modifie l'état courant entre les deux interlocuteurs (machine et sujet). Le fonctionnement le plus fréquent du mécanisme de décision est la boucle [3] [9] [6'] [7] [8]. Cette boucle fonctionne tant que la stratégie courante n'est pas remise en cause.

Le caractère non clos des modélisations mises en oeuvre, contrairement à la modélisation par des algorithmes, permet de déboucher sur des modèles mieux adaptés à la psychologie du développement car incorporant l'évolution dans leur principe. La métaphore du développement et de l'apprentissage pour les machines peut être la source de nouvelles collaborations en conception et en validation d'expérimentations communes.

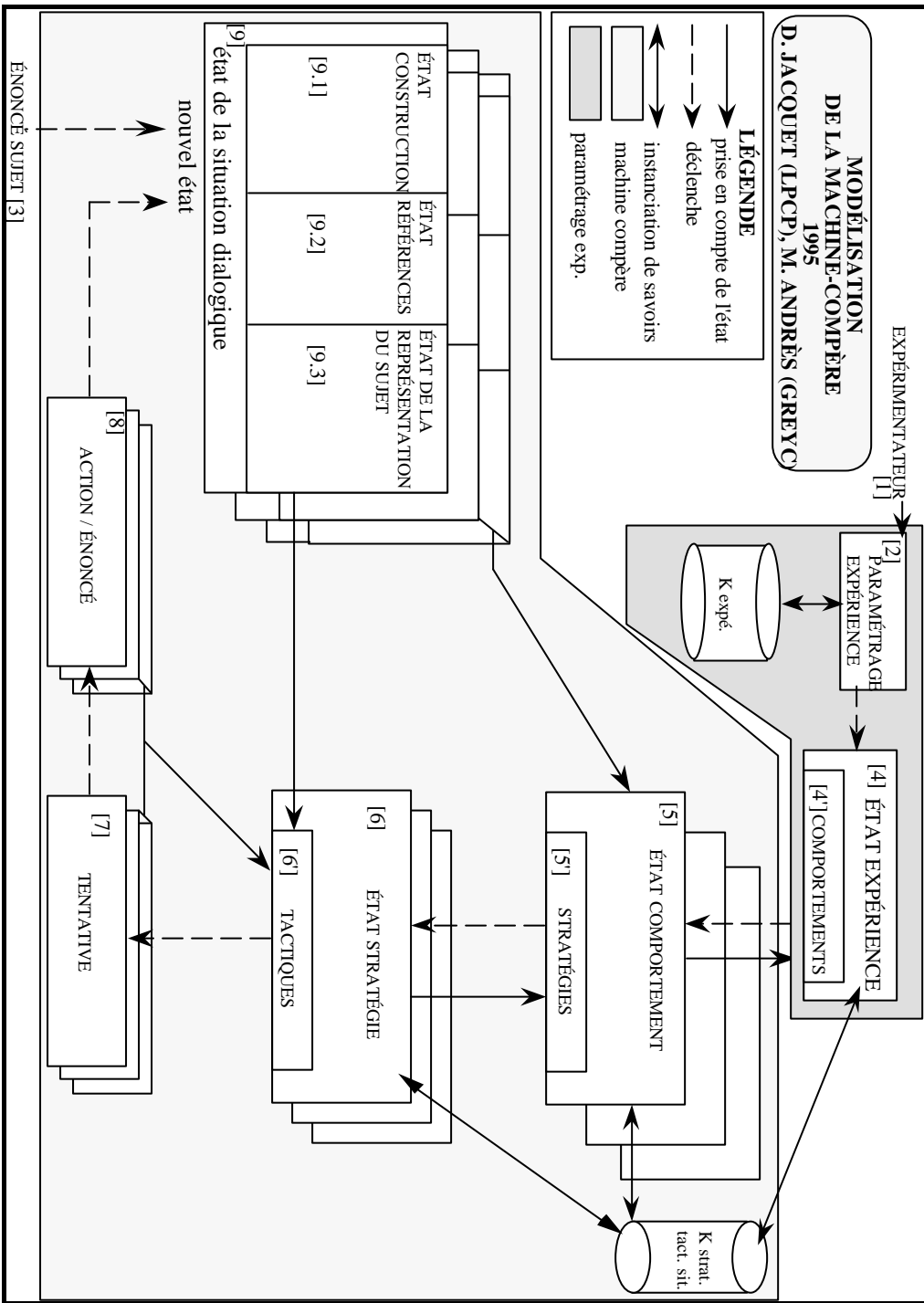


figure 5 : Modèle de l'interlocuteur machine Compèrobot

## CONCLUSION

La référence habituelle à l'informatique en psychologie, a d'abord été la description de boucles de programme qui décrivent des procédures pour simuler les processus mentaux. Plus récemment, des modèles à base de règles ont donné un peu de souplesse aux simulations, en faisant jouer plusieurs niveaux de contrôle : le filtrage qui regarde si une règle s'applique ou non, les préférences qui permettent de choisir la règle la plus intéressante, et quelquefois un troisième niveau permettant de contextualiser les préférences. Ils donnent de bons résultats quand le modèle peut s'exprimer avec un petit nombre de règles mais deviennent très lourds à gérer, aussi bien en temps de calcul pour la machine qu'en termes de compréhension pour les utilisateurs, dès que le nombre de règles devient grand. Les réseaux neuronaux donnent de bons résultats pour simuler des processus perceptifs et des processus d'apprentissage de comportements moteurs, mais ils sont inopérants pour la simulation de processus langagiers. Là encore, s'ils fonctionnent bien quand la taille du réseau est faible, ils peuvent difficilement simuler des modèles de taille importante. Utiliser des modèles d'Intelligence Artificielle distribuée (tableau noir ou systèmes multi-agents), permet de franchir un cap de complexité : certains agents peuvent fonctionner avec des algorithmes, des systèmes de règles ou des réseaux neuronaux qui restent de petite taille. Le processus global est simulé par un grand nombre d'agents qui agissent en parallèle et interagissent pendant leur déroulement. L'IAD amène à concevoir la modélisation au niveau conceptuel, à décrire des modèles d'objets, de processus, et des architectures au lieu de décrire des algorithmes. La collaboration interdisciplinaire est déplacée et prend une autre consistance : il s'agit de décrire des modèles abstraits des processus mentaux, au niveau d'abstraction où ils peuvent être semblables pour l'homme et la machine alors que leurs instantiations concrètes sont forcément très différentes. La discussion sur l'analogie entre les processus n'a plus de pertinence, elle est déplacée en amont sur les modèles. Piaget a jeté les bases de la modélisation du développement de l'enfant en décrivant les évolutions au niveau méta : au niveau des principes explicatifs de ce qui est constaté (Piaget, 1936). Mais ce niveau d'explication est insuffisant pour décrire comment une machine pourrait avoir un comportement analogue, il faut décrire les procédures qui permettent l'évolution à partir d'un noyau de compétences initiales, et les indices de cette évolution dans les énoncés et les actions des sujets. Il faut passer de modèles descriptifs à des modèles effectifs. On retombe ainsi sur le problème de l'amorce, (Pitrat, 1993) qui, de fait, est commun aux deux disciplines, bien que

l'objet sur lequel il porte soit différent. Le mode de travail interdisciplinaire utilisant ce type de modélisation crée un lieu qui permet l'interaction constructive entre les disciplines, sans que les uns prennent la place des autres et sans que les uns soient au service des autres, au travers de la création d'objets communs : modèles, expériences, grilles d'analyse... que chacun utilise à sa manière et qui évoluent de façon riche et pertinente à cause de l'interdisciplinarité qui oblige à tenir compte de plusieurs points de vue. C'est par cette co-construction que chacun prend conscience de la nature et des limites des emprunts interdisciplinaires.

### **Bibliographie**

- Andrès M. (1994) Une représentation des figures et de leurs déplacements dans Compèrobot. *9ème congrès RFIA*.
- Andrès M. (1995) *Étude des stratégies de prise de décision d'une machine dans le contexte d'un dialogue enfant-machine*. Thèse de l'Université de Caen.
- Aussenac N. (1989) *Conception d'une méthodologie et d'un outil d'acquisition de connaissances expertes*. Thèse de l'Université Paul Sabatier, Toulouse.
- Baron M., Gras R. et Nicaud J. F. (éds.) (1993) *Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur*, troisièmes journées EIAO, ENS Cachan. Paris : Eyrolles.
- Bonnet C., Hoc J.M. et Tiberghien G. éds. (1986) *Psychologie, intelligence artificielle et automatique*. Bruxelles : Mardaga.
- Bricon-Souf N. (1992) Contrôle et réflexivité. Communication au colloque d'intelligence artificielle du LAFORIA. *Cahiers du LAIAC n° 92-3* Université de Caen.
- Bruner J.S. (1983) *Le développement de l'enfant. Savoir faire, savoir dire*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Coursil J. (1993) Dialog, the semiology of transfert. *2ème Congrès Européen de Systémique*, Prague.
- Ferber J. (1995) *Les systèmes multi-agents*. Paris : InterÉditions.
- D.B. Lenat et E.A. Feigenbaum (1991) On the thresholds of knowledge. *Artificial Intelligence vol .47 n°1-3* .
- Jacquet D. (1995) *Processus d'adaptation dans un dialogue enfant-machine : utilisation d'une situation de dialogue enfant-machine simulé pour une étude développementale de production de consignes*. Thèse de l'Université de Caen.
- Le Ny J.F. (éd.) (1993) *Intelligence naturelle et intelligence artificielle*. Paris : Presses Universitaires de France.

- Maes et Nardi (éds) (1987) *Meta-level architectures and reflection*. Amsterdam : North-Holland.
- Nicolle A. (1993) Toward a natural language dialogue with machines. *2ème Congrès Européen de Systémique*, Prague.
- Nicolle A. (1994) Conception du logiciel par objets : réification, réflexivité et amorce, *Actes Journée d'étude du GRASCE, « De l'Objet au Système »*, Aix En Provence.
- Nicolle A. et Bricon-Souf N. (1994) Machines et échanges langagiers dans le projet Compèrobot, Colloque *Le dialogique*, Le Mans.
- Ozkan N. (1994) *Analyses communicationnelles de dialogues finalisés*. Thèse Institut de la Communication Parlée. Grenoble.
- Peireira F. C. N. et Grosz B. J. (1993) Introduction. Artificial Intelligence special volume *Natural Language Processing, vol. 63 n° 1-2*, New York : American Elsevier.
- Piaget J. (1936) *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Pierrel Jean-Marie (1990) *Le dialogue oral homme/machine*. Paris : Hermès.
- Pitrat J. (1990) *Métaconnaissance*. Paris : Hermès.
- Sabah G. (1988) *L'intelligence Artificielle et le langage*. Paris : Hermès.
- Trognon A. (1994) Conditions psycho-linguistiques de l'échange parlé, Colloque *Le dialogique*, Le Mans.
- Trognon A. et Brassac C. (1992). L'enchaînement conversationnel. *Cahiers de linguistique française*, 13, 76-108.
- Vernant D. (1994). Dialectique, forme dialogale et dialogique. Colloque *Le dialogique*. Pré-Actes, Le Mans.
- Vivier J. (1989) Ajustement au discours et ambiguïté différentielle : la reformulation chez des enfants de cinq ans en situation de communication téléphonique in Vivier J. (éd.) *Acquisition du langage et développement cognitif : état des recherches*, CUFÉ, Université de Caen.
- Vivier J. (1990) Compèrobot : étude d'un dialogue enfant/machine, in Interaction(s) homme/machine, *Cahiers de Linguistique Sociale* 16, p. 163-180, Bulot Th. et Delamotte E. (éds) GRESCO IRED, Université de Rouen.
- Vivier J. (1992) Explanation strategies for a construction task among 8-year-old subjects, *Cahiers de psychologie cognitive*, 12, n° 4, p. 389-414.
- Vivier J. (1993) When dialog enlarges dialog capacity. *2ème Congrès Européen de Systémique*, Prague.
- Vivier J. et Nicolle A. (1994) Compèrobot, une recherche multidisciplinaire, *Sciences cognitives : façade atlantique*, Bordeaux.
- Winograd T. (1972) *Understanding natural language*. Edinburgh : Academic press.