

Une méthode d'acquisition de connaissances contextuelles reposant sur une résolution de problèmes partagée entre un expert humain et un apprenant artificiel

Sophie Billet-Coat

Citer ce document / Cite this document :

Billet-Coat Sophie. Une méthode d'acquisition de connaissances contextuelles reposant sur une résolution de problèmes partagée entre un expert humain et un apprenant artificiel. In: Sciences et techniques éducatives, volume 2 n°3, 1995. pp. 287-305;

doi : <https://doi.org/10.3406/stice.1995.1208>

https://www.persee.fr/doc/stice_1265-1338_1995_num_2_3_1208

Fichier pdf généré le 04/05/2018

Résumé

L'objectif de cet article est de caractériser l'interaction dans une nouvelle méthode d'acquisition de connaissances, dédiée à une expertise particulière dite "acquise par conditionnement". Une telle expertise correspond à un savoir-faire réactionnel de l'expert, rarement pris en compte dans les Tuteurs Intelligents où elle apparaît comme un complément des connaissances encyclopédiques. Les connaissances qui la composent sont contextuelles, c'est-à-dire qu'elles dépendent de la situation des problèmes. L'interaction directe entre l'expert et le système d'acquisition est la clé de la méthode fondée sur la reproduction d'un enseignement humain par l'action. Le principe consiste à provoquer un dialogue de négociation entre un agent enseignant humain et un agent apprenant artificiel à propos de la résolution d'un problème. Cette négociation est à l'origine de l'évolution des connaissances de l'apprenant qui s'effectue ainsi de manière incrémentale. La modélisation de l'interaction repose sur l'organisation fonctionnelle et structurelle des messages échangés. L'approche est actuellement en cours de validation dans un système expert de translittération de textes hiéroglyphiques égyptiens.

Abstract

This paper presents a new knowledge acquisition method dedicated to a particular expertise corresponding to the reactive know-how of an expert. Such an expertise complements encyclopaedic knowledge but is rarely taken into account in Intelligent Tutoring Systems. The knowledge that composes it depends on problem situations and is therefore contextual. The acquisition process reproduces a human apprenticeship by doing. The knowledge is built gradually by the way of a negotiation dialogue between the human expert and the artificial learner about a problem solving process. The interaction model relies on a functional and structural organization of exchanged messages. This model is used to identify and to structure the functionalities of the acquisition system Sapiens dedicated to the transliteration of Egyptian hieroglyphic texts.

Une méthode d'acquisition de connaissances contextuelles reposant sur une résolution de problèmes partagée entre un expert humain et un apprenant artificiel

Sophie Billet-Coat

LIRMM

UMR 9928 - Université Montpellier II/CNRS

161, rue Ada, 34392 Montpellier cedex 5

RÉSUMÉ. L'objectif de cet article est de caractériser l'interaction dans une nouvelle méthode d'acquisition de connaissances, dédiée à une expertise particulière dite "acquise par conditionnement". Une telle expertise correspond à un savoir-faire réactionnel de l'expert, rarement pris en compte dans les Tuteurs Intelligents où elle apparaît comme un complément des connaissances encyclopédiques. Les connaissances qui la composent sont contextuelles, c'est-à-dire qu'elles dépendent de la situation des problèmes. L'interaction directe entre l'expert et le système d'acquisition est la clé de la méthode fondée sur la reproduction d'un enseignement humain par l'action. Le principe consiste à provoquer un dialogue de négociation entre un agent enseignant humain et un agent apprenant artificiel à propos de la résolution d'un problème. Cette négociation est à l'origine de l'évolution des connaissances de l'apprenant qui s'effectue ainsi de manière incrémentale. La modélisation de l'interaction repose sur l'organisation fonctionnelle et structurelle des messages échangés. L'approche est actuellement en cours de validation dans un système expert de translittération de textes hiéroglyphiques égyptiens.

ABSTRACT. This paper presents a new knowledge acquisition method dedicated to a particular expertise corresponding to the reactive know-how of an expert. Such an expertise complements encyclopaedic knowledge but is rarely taken into account in Intelligent Tutoring Systems. The knowledge that composes it depends on problem situations and is therefore contextual. The acquisition process reproduces a human apprenticeship by doing. The knowledge is built gradually by the way of a negotiation dialogue between the human expert and the artificial learner about a problem solving process. The interaction model relies on a functional and structural organization of exchanged messages. This model is used to identify and to structure the functionalities of the acquisition system Sapiens dedicated to the transliteration of Egyptian hieroglyphic texts.

Sciences et techniques éducatives. Volume 2 - n° 3/1995, pages 287 à 305

MOTS-CLÉS : tuteur intelligent, acquisition de connaissances, coopération, interaction, contexte, dialogue.

KEY WORDS : intelligent tutoring system, knowledge acquisition, man-machine cooperation, contextual knowledge, dialogue.

1. Introduction

Les connaissances d'un Tuteur Intelligent sont généralement de trois types : les connaissances du domaine d'enseignement, les connaissances pédagogiques et les connaissances sur les conceptions de l'apprenant qui permettent de construire le modèle de l'apprenant. Notre propos se situe au niveau des connaissances du domaine.

Parmi les connaissances du domaine, nous nous intéressons plus particulièrement aux connaissances acquises par conditionnement [Prince 92], c'est-à-dire celles qui sont issues de l'expérience de nombreuses situations analogues. Elles permettent aux experts d'agir de manière réactionnelle et constituent un savoir-faire directement applicable dans une situation donnée. Cette expertise est généralement personnelle. Elle est rarement communiquée, même oralement.

Ces connaissances sont complémentaires des connaissances encyclopédiques, extraites des interviews d'experts ou de documents, qui font l'objet de consensus d'une communauté d'experts. Elles s'acquièrent par l'expérience. L'ensemble des situations qu'un expert a déjà rencontrées est plus ou moins consciemment structuré dans sa mémoire. En phase de résolution d'un nouveau problème, tout se passe comme s'il n'avait que des connaissances partielles adaptées à la situation courante. Ces connaissances sont valides et utilisables dans un nombre restreint de situations dont l'ensemble des caractéristiques est appelé contexte. Les connaissances acquises par conditionnement sont généralement moins nombreuses que les connaissances encyclopédiques mais elles sont d'un grand intérêt pour les systèmes tuteurs intelligents. Peu de systèmes prennent en compte ces connaissances [Futtersak 92]. L'originalité de notre approche est d'acquérir ces connaissances par interaction entre l'expert humain et l'apprenant artificiel.

En enseignement, ces connaissances sont transmises par une interaction très étroite entre l'enseignant et l'élève, le plus souvent au travers de travaux pratiques. C'est cette situation que nous voulons reproduire dans le processus d'acquisition des connaissances.

La méthode préconisée prend le relais des méthodes d'acquisition actuelles fondées sur les modèles [Aussenac 92] lors de la validation et de la maintenance, car c'est au cours de cette phase que les connaissances contextuelles peuvent être acquises. La méthode repose sur le principe de la reproduction en machine d'un enseignement humain par l'action, c'est-à-dire un enseignement situé dans le cadre d'une résolution de problèmes. Le système d'acquisition est vu comme un apprenant artificiel et l'expert comme un enseignant.

Nous illustrerons cette méthode à travers la translittération de textes hiéroglyphiques égyptiens.

Après avoir présenté le domaine d'application, nous caractériserons dans le §3 l'acquisition des connaissances contextuelles. Le §4 met en évidence les caractéristiques de l'interaction dans un enseignement humain par l'action et montre en quoi un tel enseignement est adapté à l'acquisition de connaissances contextuelles. Le §5 recense les fonctionnalités d'un système d'acquisition adoptant une telle méthode. Nous proposons dans le §6 une modélisation de l'interaction entre l'enseignant et l'apprenant fondée sur une organisation structurelle et fonctionnelle des messages. Le §7 présente chaque type de message mis en évidence dans la modélisation de l'interaction ; ils sont illustrés par un exemple extrait du domaine d'application. Enfin, nous décrivons succinctement l'implémentation dans le §8. En conclusion, nous présentons les premiers résultats obtenus ainsi que l'évolution future du système.

2. La translittération de textes hiéroglyphiques

L'écriture égyptienne ancienne pharaonique [Gardiner 82] consiste en la juxtaposition de signes figuratifs, qui peuvent avoir différentes valeurs. On distingue ainsi :

- les idéogrammes : ils représentent un mot complet, c'est-à-dire à la fois sa prononciation et son sens ;
- les phonogrammes : ils décrivent seulement des sons (phonèmes), simples ou composés ;
- les déterminatifs : ils précisent le contexte sémantique d'un mot afin de lever des ambiguïtés éventuelles.

Ce moyen d'écriture a été élaboré progressivement vers la fin du quatrième millénaire avant J.C. Les idéogrammes furent les premiers symboles graphiques utilisés, le moyen d'écriture le plus simple étant de reproduire par un dessin ce qui devait être signifié. Cependant, il devint très vite important de pouvoir désigner des éléments plus complexes tels que des sentiments ou des abstractions, lesquels ne pouvaient être représentés par un dessin. Puisque les idéogrammes étaient prononcés, ils pouvaient aussi bien devenir des phonogrammes dans un système dans lequel le signe perdait sa signification initiale mais conservait sa prononciation. Ainsi, les signes qui n'étaient jusqu'alors que des idéogrammes pouvaient être assemblés de manière à reproduire tout son associé à un mot. Mais les égyptiens ne purent résoudre ainsi tous les problèmes d'écriture. Il subsistait beaucoup de mots homophones. C'est alors que furent introduits les déterminatifs, afin d'identifier la catégorie sémantique d'un mot. Par exemple, le nom d'un individu est suivi (ou déterminé par) d'un signe représentant un homme (ou une femme), les mots signifiant une action de force sont déterminés par un signe représentant un bras armé. Ces signes ne doivent pas être prononcés. Enfin, pour éliminer toute ambiguïté, ils utilisèrent parfois des phonogrammes supplémentaires pour aider la lecture d'un phonogramme complexe. Ces rappels phonétiques, également non prononcés, reprennent généralement la valeur phonétique du dernier son du phonogramme précédent.

Dès lors, un même signe peut correspondre aussi bien à un idéogramme, un déterminatif ou un phonogramme. Mais, dans un mot, un signe n'a qu'une seule interprétation. Un mot situé dans une phrase est composé au minimum des signes nécessaires à son identification. Enfin, dans un texte, les signes sont juxtaposés sans aucune césure entre les mots et les phrases. Le sens d'écriture peut être horizontal ou vertical, de gauche à droite ou de droite à gauche. Il est indiqué par l'orientation des êtres vivants : la lecture s'effectue en leur faisant face. Dans les exemples énoncés au cours de l'article, la lecture se fera de gauche à droite.

Le vocabulaire, qui correspond à la manière d'écrire un mot, est assez flexible, en ce sens qu'un mot peut contenir des informations plus ou moins superflues (comme les compléments phonétiques et certains déterminatifs). En outre, un même son peut être reproduit par plusieurs combinaisons de phonogrammes. Ainsi, même si des habitudes se sont créées, l'orthographe n'est pas figée. En revanche, la grammaire est assez rigide, très élaborée, et contient beaucoup d'exceptions. Les recueils de grammaire sont donc également très volumineux.

La translittération constitue dans la traduction une étape nécessaire. Il s'agit d'une transcription du texte en caractères alphabétiques, séparant les mots et mettant en évidence la structure grammaticale du texte. Elle correspond à une traduction littérale et nécessite donc toutes les connaissances nécessaires à la traduction. Cependant, elle élude la complexité de l'interprétation pour reproduire en français le sens le plus proche du texte. La translittération pose un problème original, celui de la construction de mots. Il ne peut être assimilé au problème de la traduction automatique de langues qui correspond au passage de la translittération à la traduction.

Nous avons vu qu'il ne s'agissait pas de reproduire, dans la base de connaissances du domaine à enseigner, les volumes de grammaire et les dictionnaires correspondant à une expertise encyclopédique mais plutôt de décrire des connaissances plus pratiques, contextuelles, établies de manière empirique par l'expert, qui permettraient la translittération de textes hiéroglyphiques. Ces connaissances, qui retracent l'expérience que peut avoir un expert dans le domaine, sont émises de manière laconique et fragmentaire par les enseignants, plus souvent axés sur les règles de grammaire.

Nous proposons une approche de la translittération qui tente de se dégager le plus possible des connaissances encyclopédiques pour laisser apparaître les connaissances acquises par conditionnement. Ainsi, le lexique est limité aux mots grammaticaux, (articles, pronoms...) généralement très courts et difficilement identifiables en tant que mots. De même, la théorie grammaticale est simplifiée. Pour pallier ce manque de connaissances théoriques, la notion de contexte est nécessaire. Le contexte est établi à partir des caractéristiques du document portant le texte (matériau, iconographie, etc.) puis complété par les caractéristiques structurelles du texte au fur et à mesure de la translittération. Le principe a été élaboré en collaboration avec deux égyptologues. Nous sommes conscients qu'une telle approche, ignorant le sens du texte, ne peut permettre de lever toutes les ambiguïtés de la translittération. L'intérêt est de mettre en évidence le lien entre le contexte et la structure du texte, des phrases et des mots, et d'étudier les limites d'une telle approche.

3. L'acquisition de connaissances contextuelles

Les méthodes d'acquisition actuelles comme KADS [Wielinga 93] [Schreiber 94] sont en fait des méthodes de modélisation qui ne gèrent pas l'implémentation et la maintenance des systèmes. Or, au cours de ces étapes, de nouvelles connaissances - en particulier contextuelles - peuvent émerger lors de l'utilisation du système. C'est pourquoi nous proposons une méthode dans laquelle l'acquisition de connaissances est réalisée au cours de l'interaction entre l'expert et le système dans un cadre de résolution de problèmes. L'intégration des connaissances contextuelles est réalisée à l'aide de schémas d'acquisition et de révision, construits à partir de deux types de modèles empruntés au modèle d'expertise de KADS : la structure de tâches du noyau de résolution et la structure d'inférence des méthodes primitives associées. Cet aspect d'intégration des connaissances ne sera pas développé dans cet article.

La méthode consiste à reproduire en machine un enseignement humain par l'action, c'est-à-dire un enseignement dirigé par la résolution de problèmes. L'apprentissage est conduit par l'expert qui se positionne en tant qu'enseignant par rapport au système d'acquisition lui-même apprenant.

Pour reproduire un enseignement humain par l'action dans un système informatique, nous allons d'abord en examiner les caractéristiques.

4. L'enseignement humain par l'action

Dans un enseignement par l'action, l'enseignant et l'apprenant travaillent ensemble à la résolution d'un problème d'application du domaine d'enseignement. La confrontation des deux solutions, celle de l'apprenant et celle de l'enseignant, génère un dialogue dont le but est l'enrichissement ou la révision des connaissances de l'apprenant.

Le scénario d'un enseignement humain par l'action est le suivant : l'enseignant soumet un problème à l'apprenant. L'apprenant tente de le résoudre. S'il n'y parvient pas, une aide lui est fournie, à sa demande ou par une intervention spontanée de l'enseignant. Ce processus question - réponse peut durer tout au long de la résolution. Lorsque l'apprenant possède une solution, il la communique à l'enseignant. A ce stade, un processus de négociation se déroule à propos du résultat et des moyens mis en oeuvre pour le produire. Cette négociation est constituée d'échanges qui sont des justifications de l'apprenant et des critiques de l'enseignant. Les justifications de l'apprenant permettent à l'enseignant de diagnostiquer des lacunes ou des connaissances erronées, les critiques de l'enseignant constituent un moyen de correction direct "en situation". Cependant, lorsque les critiques ne sont pas suffisantes, l'enseignant procède à une remise à niveau générale.

L'enseignement par l'action combine deux formes de base de l'apprentissage humain : l'apprentissage par la découverte en situation et l'apprentissage par l'instruction qui consiste à recevoir une connaissance formulée par un tiers [Richard 90]. Au cours d'une session d'enseignement par l'action, l'apprenant construit de nouvelles connaissances auxquelles l'enseignant n'a accès qu'au moment où l'apprenant les utilise au cours d'une résolution de problème et s'il veut bien les

mentionner explicitement dans ses justifications. En outre, l'apprenant reçoit un apprentissage par instruction lorsque l'enseignant répond à ses requêtes, critique ses justifications et opère spontanément une remise à niveau.

Un tel enseignement par l'action est adapté à l'acquisition de connaissances contextuelles pour trois raisons apparentes : d'une part l'expert a les moyens d'explicitier ses connaissances réactionnelles et peut alors instruire l'apprenant ; d'autre part, l'apprenant structure directement les connaissances acquises selon les situations dans lesquelles elles sont apparues et peut effectuer par la suite un raisonnement analogique ou inductif à partir des problèmes déjà résolus ; enfin, la validation des connaissances est complètement intégrée à la phase d'acquisition.

Cependant un enseignement humain n'optimise pas forcément les conditions d'apprentissage. Les limites sont liées à la situation didactique [Balacheff 91]. Par exemple, si l'apprenant sait qu'un problème donné a été choisi par l'enseignant dans le but de lui faire acquérir une certaine connaissance, il va utiliser cette connaissance même s'il n'a pas vraiment compris pourquoi. Or, il est nécessaire que l'apprenant soit capable de résoudre des problèmes hors du contexte d'enseignement. Un autre biais qui peut être présent dans l'enseignement humain est lié à un réflexe souvent inconscient de l'apprenant, qui consiste à masquer ses lacunes, gênant ainsi l'évaluation de l'enseignant. Enfin, les jeux rhétoriques des deux interlocuteurs peuvent nuire à la transparence du dialogue. En fait, ces différents biais, dus à la psychologie de l'apprenant, disparaissent de fait lorsque l'apprenant est artificiel.

5. De l'enseignement humain à l'enseignement de la machine

Nous avons vu l'intérêt d'un enseignement par l'action par rapport à l'expertise acquise par conditionnement. Il s'agit maintenant de reproduire cet enseignement en mettant en jeu un expert du domaine en tant qu'enseignant et le système d'acquisition en tant qu'apprenant. Nous examinons d'abord les spécificités liées à l'interaction. Nous présentons ensuite les modes d'apprentissage de l'apprenant artificiel.

5.1. L'interaction entre l'enseignant humain et l'apprenant artificiel

Le scénario retenu est celui de l'enseignement humain théorique défini précédemment. Les différences se situent au niveau du contenu des messages : la limitation langagière de l'apprenant artificiel évite les écarts de sujet et les jeux rhétoriques. L'interaction se limite ainsi aux messages strictement nécessaires à un enseignement par l'action. Nous allons examiner ces messages.

L'expert enseignant initialise une session en posant un problème au système apprenant qui devra proposer une solution. Le problème est choisi en fonction du niveau de connaissances du système apprenant et ce choix fait partie des stratégies didactiques de l'enseignant. Le système apprenant formule des requêtes à l'expert enseignant à propos de la résolution du problème posé. Ces requêtes constituent un moyen pour déceler les lacunes de l'apprenant.

L'expert enseignant répond aux requêtes de l'apprenant par la formulation de connaissances. Afin que ces connaissances soient interprétées par le système, l'enseignant doit, soit connaître l'organisation des connaissances du domaine dans le système, soit introduire les connaissances au travers des structures qui lui sont présentées. L'enseignant se met ainsi à la portée de l'apprenant. Une telle contrainte imposée à l'expert n'est acceptable que si le raisonnement du système est proche de celui de l'expert.

L'expert enseignant instruit également l'apprenant lorsqu'il émet des critiques sur ses justifications. Les justifications produites par le système apprenant doivent être énoncées de manière à faciliter le diagnostic de l'expert sur ses acquis.

Le déroulement du dialogue doit respecter des contraintes d'ordonnement liées à la nature de l'enseignement. La session d'enseignement est initialisée par la soumission d'un problème à l'apprenant. Une succession de question - réponse permet une première phase d'apprentissage par instruction. La construction de la solution nécessite parfois une deuxième phase d'apprentissage par la découverte. La formulation de la solution est suivie d'une série de justification - critique qui a pour but de contrôler les connaissances de l'apprenant artificiel et de réaliser la troisième phase d'apprentissage par instruction.

Examinons maintenant les modes d'apprentissage du système apprenant en se référant aux modes d'apprentissage humain.

5.2. Évolution des connaissances de l'apprenant artificiel

Nous avons vu au §4 les deux modes d'apprentissage de l'apprenant humain, l'instruction et la découverte. Un apprenant artificiel peut également reproduire ces deux modes d'apprentissage :

- l'instruction est réalisée à l'aide de schémas d'acquisition et de révision. La localisation des nouvelles connaissances ainsi que le schéma correspondant sont préalablement déterminés au cours du dialogue. L'enseignant peut vérifier que l'apprentissage s'est déroulé correctement. Actuellement, la vérification de cohérence est assurée par l'expert enseignant afin de lui laisser la maîtrise des connaissances instruites.

- la découverte correspond à l'apprentissage automatique. Le système apprenant accumule des problèmes résolus à partir desquels il construit des bases d'apprentissage. Ces bases d'apprentissage sont utilisées par un mécanisme d'induction qui construit des généralisations correspondant à de nouvelles connaissances. Deux solutions sont possibles : soit l'apprentissage se déroule en parallèle à la tâche de résolution, soit il se déclenche pour répondre à un besoin spécifique en cours de résolution. L'idéal est une approche mixte : un apprentissage automatique se déclenche régulièrement au fur et à mesure de l'introduction de problèmes résolus et alimente en permanence une base de connaissances apprises. Si aucune connaissance de cette base ne permet de résoudre le problème, un apprentissage spécifique est alors réalisé. Dans un premier temps, nous limiterons l'apprentissage à la mise à jour du contexte.

6. Modélisation de l'interaction

Nous proposons une modélisation qui a pour but de structurer et d'explicitier tous les types de messages échangés entre l'expert enseignant et le système apprenant [Billet-Coat 94a]. Une première organisation de l'interaction est réalisée en distinguant trois classes thématiques de dialogue. Nous appelons dialogue un ensemble de messages liés à une même classe thématique. Trois classes thématiques de dialogue peuvent être distinguées : la classe *application* a trait à la résolution d'un problème particulier ; la classe *assimilation* a trait à l'apprentissage et au contrôle des connaissances instruites ; et la classe *validation* permet le contrôle des paramètres de l'apprentissage automatique. Ces trois classes de dialogue représentent l'organisation fonctionnelle de l'interaction car elles rassemblent les dialogues liées à une même fonction au sein du système global : la résolution d'un problème d'application, l'assimilation d'une connaissance instruite et la validation d'une connaissance apprise automatiquement. Nous décrivons d'abord ces trois classes en présentant les messages qui leur appartiennent avant d'en proposer une modélisation.

- **Classe application** : Un dialogue de cette classe initialise une session d'enseignement. L'expert enseignant soumet un problème d'application à l'apprenant. S'il lui manque des connaissances, il génère une requête à l'enseignant. Lorsqu'il a résolu le problème, il communique à l'enseignant une solution ainsi qu'une justification qui permet de détecter des connaissances erronées. Les types de justifications qui peuvent être produites sont associés aux schémas de révision de connaissances. L'enseignant peut demander explicitement à l'apprenant de s'orienter vers telle ou telle justification afin de caractériser plus rapidement les modifications à effectuer. Lorsqu'une connaissance erronée résulte d'un apprentissage automatique, un dialogue de la classe validation est engagé par l'enseignant afin de régler les paramètres d'apprentissage.

- **Classe assimilation** : un dialogue de cette classe succède à un dialogue de la classe application, interrompu par l'enseignant pour réaliser une instruction de connaissances. La révision est réellement prise en compte après vérification par l'enseignant. Le dialogue peut alors revenir à son niveau d'interruption dans la classe application.

- **Classe validation** : un dialogue de cette classe est engagé par l'enseignant lorsqu'il a repéré une connaissance apprise erronée. L'apprenant recherche dans la base d'apprentissage correspondante des justifications qui permettront à l'enseignant de détecter puis de corriger la source d'erreur. Le dialogue revient ensuite à son niveau d'interruption dans la classe application.

Nous devons maintenant expliciter les messages au sein des dialogues de chaque classe. Nous utilisons pour cela le protocole MOSCA. L'objectif initial de ce protocole était de fournir les moyens de contrôler les connaissances d'un agent artificiel en situation d'apprentissage automatique à partir d'exemples [Reitz 92]. Ce protocole utilise la notion de rôle pour faire apparaître les éléments du contrôle des connaissances apprises automatiquement. Le modèle original propose cinq rôles : le maître, l'oracle, la sonde, le client, l'apprenti. Initialement, les rôles n'ont été définis

qu'au travers des types de messages qu'ils émettent et reçoivent. Notre interprétation du modèle s'intéresse d'abord à la définition des rôles à l'intérieur de la situation d'enseignement par l'action avant de préciser les types de messages qui leur correspondent.

Le *client* initialise le dialogue en soumettant un problème à l'apprenti.

L'*apprenti* propose une solution au problème donné. La solution reflète l'état de ses connaissances à cet instant car ses connaissances évoluent au cours de l'enseignement. Il doit être capable de justifier sa résolution pour permettre la détection de ses lacunes.

L'*oracle* alimente les connaissances de l'apprenti afin que celui-ci puisse résoudre le problème posé par le client.

Le *maître* contrôle les connaissances de l'apprenti. Pour cela, il critique la solution apportée par l'apprenti au problème posé par le client ainsi que les justifications qu'il produit.

Le modèle initial [Reitz 92] met en jeu un cinquième rôle, la *sonde*, qui est chargée d'éprouver l'apprenti en lui envoyant des connaissances pouvant être fausses. Nous ne retiendrons pas le rôle de sonde dans notre approche.

Le scénario général du protocole est donc le suivant : le client soumet un problème à l'apprenti. Pour le résoudre, l'apprenti peut émettre des requêtes vers l'oracle afin d'enrichir ses connaissances. L'apprenti fournit la solution et les justifications associées au maître qui, en retour, produit des critiques. La circulation des messages entre les rôles est présentée fig. 1.

Les dialogues des trois classes (thématiques) retenues dans notre approche (application, assimilation, validation) sont modélisés à l'aide de ce protocole. Les rôles conservent leur spécificité dans chaque classe de dialogue. L'apprenti est toujours joué par le système apprenant tandis que le client, l'oracle et le maître sont joués par l'enseignant. La distinction des rôles joués par l'enseignant selon les classes de dialogue nous permet d'associer un comportement du système pour chacune des combinaisons.

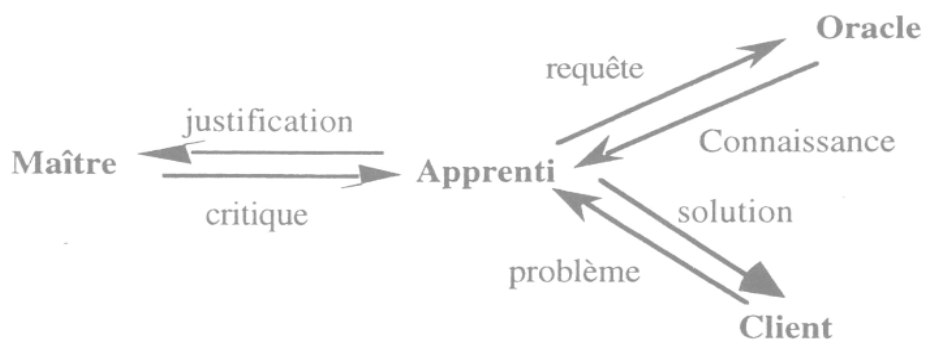


Figure 1. Organisation structurelle d'un dialogue à partir du protocole MOSCA

7. Types de messages

Chaque message échangé entre l'enseignant et l'apprenant est ainsi typé selon les rôles pris par l'un et par l'autre. Un type de message est caractérisé par son rôle émetteur et son rôle récepteur. Nous obtenons six types de messages qui représentent l'organisation structurelle de l'interaction :

- le problème : posé par le client à l'apprenti ;
- la requête : posée par l'apprenti à l'oracle ;
- la connaissance : émises par l'oracle à l'apprenti ;
- la solution : fournie par l'apprenti au client ;
- la justification : donnée par l'apprenti au maître ;
- la critique : émise par le maître à l'apprenti.

Le contenu des types de messages diffère d'une classe de dialogue à l'autre. Nous les présentons maintenant individuellement en donnant un exemple pris au cours d'une même session d'enseignement de translittération de textes hiéroglyphiques. Le récapitulatif de cette session est donné par la suite afin de présenter le scénario hypothétique d'une session d'enseignement.

7.1. Classe application

a. Client -> Apprenti : problème

Le client est chargé d'initialiser la session d'enseignement et donc un dialogue de la classe application en soumettant un problème à l'apprenti . Le choix des exercices et problèmes exprime une partie des stratégies tutorielles de l'enseignant.

Exemple :

"Translittère le texte :



b. Apprenti -> oracle : requête

Si l'apprenti n'est pas capable de résoudre le problème, soit il déclenche un dialogue de la classe assimilation afin d'apprendre les connaissances nécessaires à la résolution de ce problème, soit il émet une requête vers l'oracle, joué par l'expert-enseignant. La requête de l'apprenti vers l'oracle concerne :

- un complément d'information sur le problème, c'est-à-dire la valeur d'un élément du contexte non communiquée par l'oracle,
- une demande de solution lorsqu'une erreur s'est produite dans le système et qu'il ne peut calculer la solution.

Exemple : "*Quel est le contexte temporel du texte*" ?

c. Oracle -> Apprenti : apport de connaissances

Il s'agit ici de répondre à la requête précédente, c'est-à-dire soit de compléter la valeur de l'élément contextuel demandée si elle est connue, soit de donner la solution du problème.

Exemple : *"Le temps est ici le perfectif"*

d. Apprenti -> client : solution


La solution est le résultat du problème posé par le client calculé par l'apprenti.



Exemple : *"Voici la translittération du texte posé : gm n.f ss"*

e. Apprenti -> maître : justification

Après avoir fourni une solution au client, l'apprenti justifie son résultat auprès du maître. Les justifications produites sont associées aux schémas d'acquisition et de révision du système, que nous détaillerons pas ici. Les justifications ayant trait au contexte sont émises en premier car elles sont associées au schéma de révision de connaissances le plus simple à effectuer. Les justifications ayant trait aux méthodes d'exécution de but sont ensuite énoncées jusqu'à la méthode erronée détectée par le maître dans ses critiques. Le maître peut également *shunter* l'ordre établi des justifications en indiquant directement le but qui n'a pas été réalisé correctement.

Exemple :

" est la marque du perfectif car le contexte temporel est le perfectif "
puis, après une critique appropriée du maître :


"la valeur phonétique de  n'est pas strictement incluse dans la valeur phonétique de  "

Les justifications s'arrêtent car le maître a indiqué que la méthode erronée a été identifiée.

f. Maître -> apprenti : critique

La critique est utilisée pour indiquer si la solution produite par l'apprenti est correcte, mais également pour détecter une connaissance erronée. Lorsque la solution est correcte, la session est terminée. Lorsqu'une erreur est localisée, le maître déclenche un nouveau dialogue de la classe assimilation ou bien un dialogue de la classe validation selon le type d'erreur.

Dans notre exemple, la première justification de l'apprenti était correcte. Une justification ciblée est alors demandée à l'apprenti dans la première critique. La deuxième critique indique le passage à un dialogue de la classe assimilation :

"Pourquoi n'as-tu pas détecté un rappel phonétique dans le groupe  | ?"

puis, à la dernière justification de l'apprenti :

"méthode erronée. Passons à un dialogue d'assimilation"


7.2. Classe assimilation

Les dialogues de cette classe correspondent à la modification par l'enseignant des connaissances du système. Il s'agit de procéder à la révision de connaissances proprement dite.

a. Client -> apprenti : problème

Ce message d'initialisation rappelle le sous-problème à l'origine de la révision de connaissance. Le client est ici l'enseignant qui a décidé de procéder à l'acquisition ou la révision.

Exemple :

"Problème dans la translittération du texte  | "

b. Oracle -> Apprenti : apport de connaissances

Il s'agit ici du coeur de la révision de connaissances. La méthode étant identifiée, l'oracle joué par l'enseignant modifie en direct le ou les éléments qu'il désire modifier à l'aide du schéma correspondant. Nous donnons en exemple l'équivalent d'un schéma de révision en langage naturel :

"Si la valeur d'un signe est incluse ou égale à la valeur du signe suivant et à condition que les signes soient différents, il est rappel phonétique"

c. Apprenti -> client : solution



La solution est le résultat du sous-problème précédent produit par l'apprenant jouant le rôle d'apprenti. Cette solution est donnée après la prise en compte de la modification. Exemple :

"La translittération du texte est s"

d. Apprenti -> maître : justification

L'apprenti fournit ici une justification de cette solution liée à l'application de la méthode nouvellement modifiée. Dans notre exemple, comme la modification porte sur la méthode de rappel phonétique, la justification mentionne les deux signes impliqués dans le rappel phonétique qui a maintenant été trouvé.

Exemple :

"  est rappel phonétique de  "

e. Maître -> apprenti : critique

L'enseignant a la possibilité de revenir sur la modification précédemment effectuée si la solution montre qu'elle n'est pas satisfaisante. Il énonce dans cette critique un message de confirmation ou d'infirmité de la modification.

7.3. Classe validation

Cette classe de dialogue est associée au contrôle des connaissances apprises. Elle constitue également une aide au système d'apprentissage. Une différence majeure avec le système d'apprentissage coopératif APT [Nédellec 93] vient du fait qu'il ne s'agit pas tant de compléter un réseau existant de manière à couvrir le plus grand nombre d'exemples, mais de produire des connaissances discrètes à partir d'un ensemble restreint d'exemples.

a. Client -> apprenti : problème

Le problème posé correspond ici au sous-problème dont la réponse est la connaissance apprise erronée. Il peut s'agir par exemple de la mise à jour automatique du contexte temporel :

"Quelle est le contexte temporel ?"

b. Oracle -> Apprenti : apport de connaissances

En jouant le rôle d'oracle, l'enseignant procède à la modification de la valeur du paramètre d'apprentissage correspondant au type de problème énoncé précédemment.

c. Apprenti -> client : solution

La solution calculée par l'apprenti correspond alors à la solution du problème précédent, après un nouvel apprentissage tenant compte des paramètres réajustés. A chaque nouvelle intervention de l'oracle, c'est-à-dire après chaque nouvelle paramétrisation du système d'apprentissage, une nouvelle solution est calculée.

Exemple : *"Le contexte temps est le perfectif"*

d. Apprenti -> maître : justification

La justification contient la valeur du paramètre d'apprentissage qui a permis le calcul de la solution.

e. Maître -> apprenti : critique

La critique permet de confirmer ou d'infirmer la valeur du paramètre d'apprentissage. En cas d'infirmité, l'oracle doit intervenir à nouveau pour modifier la valeur.

Remarque : la requête, de l'apprenti vers l'oracle, n'existe pas dans les classes assimilation et validation.

7.4. Récapitulatif : un exemple de scénario

[début de la session]

[premier dialogue : classe application]

Enseignant :	"Translittère la phrase :		<i>problème</i>
Apprenant :	"Quel est le contexte temporel ?"		<i>requête</i>
Enseignant :	"Le texte est au perfectif"		<i>apport de connaissance</i>
Apprenant :	"La solution est gm.n.f ss "		<i>solution</i>
	"  est la marque du perfectif car le contexte temporel est le perfectif"		<i>justification</i>
Enseignant :	"Pourquoi n'as-tu pas détecté un rappel phonétique dans le groupe  ?"		<i>critique</i>
Apprenant :	"La valeur phonétique de  n'est pas strictement incluse dans la valeur phonétique de  "		<i>justification</i>
Enseignant :	"Méthode erronée. Passons à un dialogue d'assimilation"		<i>critique</i>
 [deuxième dialogue : classe assimilation]			
Enseignant :	"Problème dans la translittération  ?"		<i>problème</i>
Enseignant :	Si la valeur du signe précédent est incluse ou égale à la valeur du signe suivant et si les signes sont différents, il est rappel phonétique"		<i>apport de connaissances</i>
Apprenant :	"La translittération du texte est s"		<i>solution</i>
Apprenant :	"  est rappel phonétique de  "		<i>justification</i>
Enseignant :	"C'est bien, revenons au premier dialogue, classe application"		<i>critique</i>

[Retour au premier dialogue : classe application]

Apprenant : "La solution est **gm.n.f s**" *solution*

"car  est bien une extension phonétique de  " *justification*

Enseignant : "C'est juste" *critique*

[fin de session]

L'ordonnancement des messages dans les différentes classes est représenté ci-dessous sous forme de graphe. La fig. 2 présente l'ordonnancement des types de messages dans la classe de dialogue application et la fig. 3 présente l'ordonnancement des messages dans les classes de dialogue assimilation et validation.

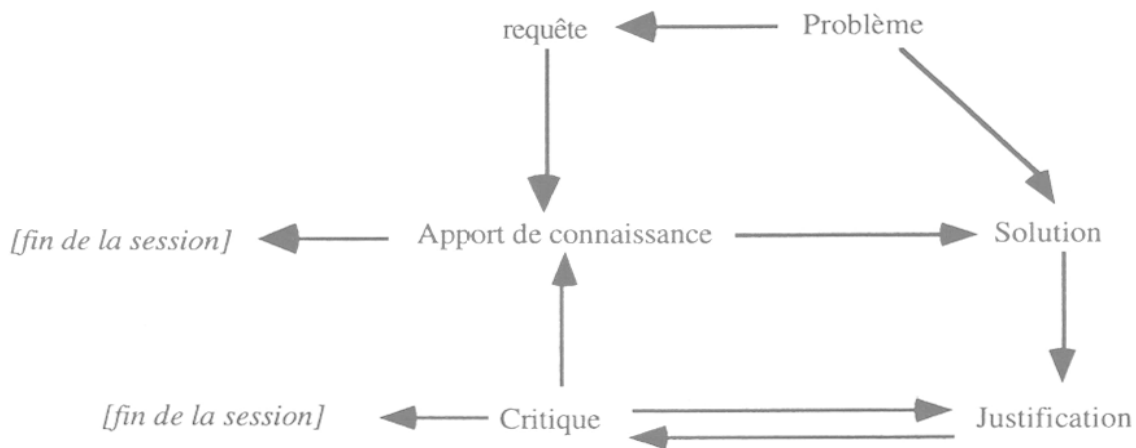


Figure 2. Graphe de contrôle des messages dans la classe application

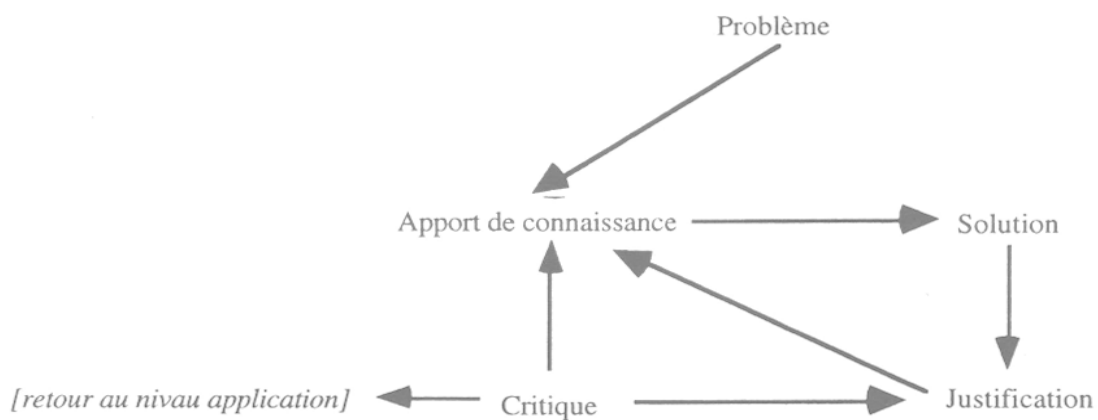


Figure 3. Graphe de contrôle des messages dans les classes assimilation ou validation

8 Implémentation

L'architecture multi-agents du système Sapiens, que nous avons développé afin de mettre en oeuvre la méthode proposée, possède deux propriétés principales :

- elle repose sur la décomposition structurelle des objets du domaine. Contrairement aux approches basées sur la structuration des tâches comme Caramel [Sabah 90] ou Talisman [Stefanini 92], cette approche évite de réviser la structure globale du système lorsque les tâches sont modifiées ;
- le nombre d'agents évolue durant le processus de résolution.

La décomposition structurelle d'un texte hiéroglyphique présente naturellement quatre types d'entités : le signe, le mot, la clause et le texte. Le processus de translittération permet d'identifier les signes du texte, construire les mots puis assembler les clauses. A chaque entité, est associée une société d'agents qui possède la structure suivante :

- un agent coordinateur, chargé de créer les agents de base de sa société et de gérer leur travail ;
- des agents de base qui effectuent la résolution du problème. Ces agents communiquent entre eux ainsi qu'avec des agents d'une autre société en vue de transmettre les solutions partielles et les informations nécessaires à la coordination des sociétés. Le nombre d'agents de base dépend du nombre d'entités correspondantes dans le texte en cours de translittération.

La société *texte* déclenche le processus de résolution et rassemble les résultats de la société *clause* afin de transmettre les solutions au module d'interaction. La société *signe* détermine l'interprétation des signes formant le texte. La société *mot* crée les mots à partir de cette interprétation et les évalue. Enfin, la société *clause* participe à l'évaluation des mots et les assemble en clauses qui sont transmises à la société *texte*.

Chaque catégorie d'agents se compose d'une structure de données, de buts et de méthodes permettant de les atteindre. L'objectif du dialogue avec l'expert est de déterminer les connaissances erronées du système, présentes dans les méthodes des agents. Ces méthodes sont alors modifiées dynamiquement par l'expert.



L'interaction est gérée par deux agents :


- un agent "interface" qui contrôle le dialogue et détermine le type d'explication à fournir ;
- un agent "explicateur" chargé, au fur et à mesure de la résolution du problème, de stocker dans la structure de données des agents de résolution les informations nécessaires aux explications, puis de récupérer celles qui sont nécessaires pour construire l'explication.



Cette architecture, décrite dans [Billet-Coat 94b], est implémentée dans le langage de programmation concurrente orienté objet ACTALK [Briot 89] [Briot 94]. La saisie des signes est effectuée par sélection sur un panel proposant l'ensemble des 745 signes classés selon les catégories proposées dans [Gardiner 82]. Ils sont traités sous forme codée selon la norme internationale définie dans [Buurman 86].

9. Conclusion et perspectives

Grâce à la mise en oeuvre de connaissances contextuelles, le système Sapiens permet de mettre en évidence des connaissances sur l'interprétation des signes ainsi que sur la structure des mots et des clauses. Par exemple,

le mot  qui se translittère **mAA** (signifiant voir) pourrait s'écrire . Cependant cette seconde écriture serait ambiguë : le

signe  peut soit être déterminatif du mot **mAA**, soit phonème du mot suivant, **ir** (signifiant faire). Dans la première écriture la présence d'un rappel

phonétique () positionne de fait le signe  à l'intérieur du mot. Le déroulement de cet exemple a ainsi montré comment la modification de l'ordre classique des signes dans un mot pouvait être utilisée pour lever des ambiguïtés. L'introduction d'un plus grand nombre de textes permettra ensuite d'examiner les liens entre le contexte et la structure du texte.

La traduction complète de textes hiéroglyphiques se compose de deux étapes, la translittération et la traduction proprement dite. La translittération utilise deux types de connaissances, les connaissances encyclopédiques et les connaissances contextuelles. Une partie des connaissances encyclopédiques est en cours de développement, par l'élaboration de la version informatique du *Wörterbuch der Ägyptische Sprache* à l'Académie des Sciences de Berlin. Quant à la phase de traduction, celle-ci est actuellement en cours d'étude par S. Rosmorduc [Rosmorduc 94]. A terme, un rapprochement entre ces trois systèmes serait intéressant.

De manière générale, la méthode que nous avons proposée repose sur la modélisation de l'interaction entre un expert, considéré comme un enseignant, et le système, considéré comme un apprenant, dans un cadre de résolution de problèmes. Tous les messages sont positionnés selon un axe fonctionnel représenté par les classes thématiques de dialogue et selon un axe structurel représenté par les types de messages. La caractérisation de ces messages a permis d'identifier et de structurer les fonctionnalités du système d'acquisition en vue de son implémentation. Cette méthode a l'intérêt de mettre en oeuvre un cycle d'acquisition modélisation - implémentation - expérimentation, où l'expert intervient selon un modèle d'interaction explicite.

10. Bibliographie

- [Aussenac 92] AUSSENAC-GILLES N., KRIVINE J.P., SALLANTIN J., *Revue d'intelligence artificielle* (Éditorial), vol.6 n°1-2
- [Balacheff 91] BALACHEFF N., "Contribution de la didactique et de l'épistémologie aux recherches en EIAO", *Actes des XIIIèmes journées francophones sur l'informatique*.

- [Billet-Coat 93] BILLET-COAT S., REITZ P., HÉRIN-AIMÉ D., GUIN D., "Protocole comportemental de l'interaction didactique entre un agent artificiel et un agent humain", *Actes des 3^o journées EIAO de Cachan*.
- [Billet-Coat 94a] BILLET-COAT S., "Interaction between a human teacher and an artificial learner", *Proc. of the 3rd International Conference "Interface to real & virtual worlds"*, Montpellier.
- [Billet-Coat 94b] BILLET-COAT S., HÉRIN-AIME D., "A multi-Agent Architecture for an Evolving Expert System Module", *Proceedings of Database and Expert-System international conference*, Lecture Notes in AI, Athens.
- [Briot 89] BRIOT J.P., "Actalk : a Testbed for classifying and Designing Actor Languages in the Smalltalk-80 Environment", *proc. ECOOP'90*, British Computer Society Workshop Series, Cambridge university Press, July 89.
- [Briot 94] BRIOT J.P., "Modélisation et classification de langages de programmation concurrente à objet : l'expérience Actalk", *actes du colloque "Langages et Modèles à Objets"*, INRIA/IMAG/PRC-IA, Grenoble, Octobre 94.
- [Buurman 86] BUURMAN J., GRIMAL N., HAINSWORTH M., VAN DER PLAS D., "Manual for the encoding of hieroglyphic texts for computer input", *Informatique et Egyptologie N°2*, CNRS Paris.
- [Futtersack 92] FUTTERSACK M., LABAT J.M., "QUIZ: A Distributed Intelligent Tutoring System", *Proc. 4th International Conference on Computer Assisted Learning (ICCAL'92)*, I. Tomek (ed.), Springer, Berlin.
- [Gardiner 82] "Egyptian Grammar", Griffith Institute Ashmolcan Museum, Oxford.
- [Nedellec 93] NEDELLEC C., TOURTIER P.A., "Acquiring and validating Knowledge with a Cooperative Machine Learning System", KSL Report, Stanford 1993.
- [Mephu 93] MEPHU NGUIPHO E., SALLANTIN J., "Interactive Control in Symbolic-Numeric Modeling", *Proc. of 3rd European-Japanese Seminar of Information Modelling and Knowledge Bases*, Budapest.
- [Prince 92] PRINCE V., "L'automatisation de l'expertise peut-elle rendre compte des automatismes de l'expert ?", *Revue internationale de systématique*, vol.6 n°1-2.
- [Reitz 92] REITZ P., "Contribution à l'étude des environnements d'apprentissage. Conceptualisation, spécifications et prototypage", Thèse de doctorat de l'université de Montpellier 1992.
- [Richard 90] RICHARD J.F., *Les activités mentales*, Armand Colin (ed) Paris 1990.
- [Rosmorduc 94] ROSMORDUC S., "Traitement automatique du langage naturel en moyen égyptien", Actes de la X^o Table Ronde Informatique & Égyptologie, Bordeaux 94 (à paraître).
- [Sabah 90] SABAH G., CAMEL: A Computational Model of Natural Language Understanding using Parallel Implementation. *Proc. of ECAI'90*, Stockholm Aug. 90.

- [Schreiber 94] SCHREIBER A.TH., WIELINGA B.J., AKKERMANS J.M., VAN DE VELDE W., DE HOG R., "Common KADS: a Comprehensive Methodology for Knowledge Based System Development", *IEEE Expert*, 9(6), Dec.1994.
- [Stefanini 92] STEFANINI M.H., BERRENDONNER A., LALLICH G., OQUENDO F., "Talisman: un système multi-agents gouverné par des lois linguistiques pour le traitement de la langue naturelle", in *Proc. COLING'92* (vol.2).
- [Wielinga 93] WIELINGA B., VAN DE VELDE W., SCHREIBER G., AKKERMANS H., "Towards a Unification of Knowledge Modelling Approaches", *Second Generation Expert Systems*, J.M. David, J.P. Krivine, R. Simmons (eds), Springer Verlag 1993.

Sophie Billet-Coat termine une thèse de doctorat à l'université de Montpellier II, au Laboratoire d'informatique, de Robotique et de Micro-électronique de Montpellier (LIRMM). Ayant une double formation en informatique et en Égyptologie, elle a débuté ses recherches en Intelligence Artificielle à la Direction des Études et Recherches de EDF sous la direction de Michel Gondran pour la réalisation d'un système expert d'aide à l'assemblage de blocs de pierres égyptiens décorés. Ses recherches actuelles concernent la modélisation et l'acquisition de connaissances ainsi que la coopération homme-machine.