

# Rôle des Agents Pédagogiques dans les Environnements d'Apprentissage Humain

Cyrille BAUDOUIN

CERV : Centre Européen de Réalité Virtuelle

EA3883 – LISYC

Laboratoire d'Informatique pour les SYstèmes Complexes

Bibliographie de stage de Master 2 Recherche Informatique IFSIC

Encadrant : Pierre CHEVAILLIER

27 février 2005



## Résumé

Ce document traite des agents informatiques qui sont utilisés dans les environnements d'apprentissage humain (EAH) : les agents pédagogiques. L'étude des modèles informatiques utilisés et l'observation des implications pédagogiques aboutissent à l'identification de critères pertinents permettant la mise en place d'une classification des agents. Cette classification repose sur le type, les rôles joués par les agents et les stratégies pédagogiques qu'ils emploient. De plus, l'analyse des implémentations d'EAHs représentatifs des recherches actuelles (et de leur agents pédagogiques) permet de faire le constat actuel des avancées du domaine. Ce travail de synthèse représente la base bibliographique du stage de M2RI <sup>1</sup> intitulé : "Les agents pédagogiques dans les environnements virtuels de formation, un tuteur dans MASCARET" qui a pour objectif, entre autres, la réalisation d'un agent pédagogique pour MASCARET, un environnement virtuel de formation développé et utilisé au CERV.

MOTS-CLÉS : environnement virtuel de formation, *intelligent tutoring system*, réalité virtuelle, Système Multi-Agents, agent pédagogique, tuteur, compagnon d'apprentissage.

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>L'enseignement et la formation assistés par ordinateur</b>	<b>3</b>
2.1	Historique . . . . .	3
2.2	Les différents systèmes : terminologie . . . . .	4
2.3	Modèles des ITS . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Critères d'étude et classifications des agents éducationnels</b>	<b>6</b>
3.1	Classifications existantes . . . . .	7
3.2	Notre classification . . . . .	8
3.3	Critères pédagogiques . . . . .	9
3.4	Critères informatiques . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Présentation d'agents pédagogiques existants</b>	<b>13</b>
4.1	STEVE . . . . .	13
4.2	AutoTutor . . . . .	16
4.3	ADELE . . . . .	17
4.4	ABITS . . . . .	18
4.5	HAL . . . . .	21
4.6	Baghera . . . . .	23
4.7	Quelques autres Agents remarquables . . . . .	24
<b>5</b>	<b>Synthèse</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>30</b>

---

<sup>1</sup>Master 2 Recherche en Informatique

## 1 Introduction

Les progrès de l'informatique et l'accroissement des réseaux de communications (Internet en particulier) ont permis l'avènement de nouvelles technologies de l'information. Parmi ces nouvelles perspectives, on trouve l'enseignement assisté par ordinateur (EAO). Ce domaine regroupe toutes les utilisations de l'informatique au service de l'éducation et de la formation. Même si la plupart des systèmes existants étaient jusqu'alors de simples logiciels d'aide à la formation, n'apportant pas de réelles nouveautés (bases de données de connaissance, exercices sur ordinateur), on trouve également des systèmes plus complexes, exploitant réellement le savoir actuel en science cognitive et en pédagogie. De nombreuses recherches ont été menées dans ce sens, sur plusieurs axes, chacune ayant ses propres concepts clefs. Si certains privilégient **la place de l'apprenant** ou **le domaine d'application** (c'est-à-dire les connaissances), d'autres tentent plutôt de simuler le rapport élève-formateur ou favorisent **le travail collaboratif** et **l'apprentissage social**.

Cette étude porte sur les agents informatiques qui sont présents dans ces systèmes et en constituent souvent le coeur. Même si leurs capacités, leurs représentations et leurs implémentations varient beaucoup selon les systèmes, on peut en donner ces définitions :

1. **agent** : entité informatique autonome et communicante.
2. **agent éducationnel** : agent utilisé dans un environnement d'apprentissage humain.
3. **agent pédagogique** : un agent éducationnel spécifique, impliqué dans le processus pédagogique. Il est souvent **personnifié** et **interagit directement avec l'apprenant**.

Nous nous intéressons ici plus particulièrement aux **agents pédagogiques**. Un agent pédagogique idéal posséderait une large gamme de compétences pédagogiques, serait capable d'aider la formation dans tous les domaines, et pourrait s'adapter parfaitement à tous les apprenants pour optimiser l'apprentissage. Qu'en est-il des compétences des agents existants ?

Dans la première partie, nous introduirons les **environnements d'apprentissage humain** (EAHs) et situerons notre étude des agents éducationnels par rapports aux **modèles des ITS**. Nous identifierons ensuite des **critères de classification** pertinents, et nous présenterons quelques modèles d'agents. Enfin, nous présenterons quelques implémentations représentatives d'agents pédagogiques et analyserons quelques-unes de leurs caractéristiques.

## 2 L'enseignement et la formation assistés par ordinateur

### 2.1 Historique

L'enseignement assisté par ordinateur (EAO) est un domaine à la croisée de l'informatique, la didactique, la pédagogie et les sciences cognitives. Les premières tentatives de fabriquer une "machine à enseigner" se basent sur l'approche behavioriste : l'association

stimulus/réponse du physiologiste Pavlov (1935) et le conditionnement opérant du psychologue Skinner (1958) [3]. Ces systèmes ont pour principe la décomposition d'une connaissance ou d'un concept en éléments plus simples ; chaque élément est ensuite présenté successivement à l'apprenant sous forme de questions/réponses. On a donc un enseignement programmé et linéaire. Vers la fin des années 1950, les travaux de Crowder font évoluer cette approche en prenant en compte les activités de l'apprenant (et ses erreurs). L'approche devient algorithmique et l'enseignement assisté par ordinateur connaît alors sa vraie naissance. Les logiciels d'EAO se préoccupent principalement des connaissances de l'apprenant et tentent de les améliorer. Ils restent assez simples mais sont tout de même basés sur une approche cognitive de l'apprentissage : celui-ci est alors vu comme la construction de représentations internes et d'interprétation du contexte.

## 2.2 Les différents systèmes : terminologie

Dans ce document nous regroupons tous les logiciels et systèmes sous la même appellation : Environnement d'Apprentissage Humain (EAH). Parmi les EAHs, on trouve les EAOs, cités plus haut les EIAHs, les ITS et les EVFs. D'autres termes sont parfois rencontrés, nous choisissons de ne pas les utiliser et les plaçons sous le terme le plus proche ou simplement dans les EAHs (par exemple les *learning companions systems* qui sont pour nous des EIAHs).

Les environnements interactifs d'apprentissage humain (EIAH) sont des outils plus évolués que les logiciels d'EAO : ils augmentent les possibilités en utilisant les nouveaux médias, l'interactivité et l'intelligence artificielle. Les EIAHs peuvent intégrer trois aspects distincts :

- les hypermédias visant à faciliter l'accès aux ressources pédagogiques,
- les micro-mondes qui simulent des situations d'apprentissage,
- les ITS qui peuvent être embarqués dans ces systèmes.

Les Systèmes Tutoriels Intelligents ou *intelligent tutoring system* (ITS) sont basés sur les techniques de l'intelligence artificielle et ont pour principal objectif de simuler le formateur (ou les interactions entre l'apprenant et le formateur). Ces systèmes sont les premiers à mettre en place des agents pédagogiques au sens où nous l'entendons ici (il s'agit principalement de professeurs ou de tuteurs virtuels).

Les environnements virtuels de formation (EVF) sont des EIAHs construits autour de la réalité virtuelle : ils immergent l'apprenant dans un environnement virtuel où sont reproduites les situations d'apprentissage. Ils étendent l'aspect de micro-mondes et peuvent embarquer un ITS.

## 2.3 Modèles des ITS

Les travaux sur les ITS ont mis en évidence les points importants nécessaires à une bonne efficacité du système. Il en découle quatre aspects de modélisation<sup>2</sup> décrits par Woolf [22] :

---

<sup>2</sup> **remarque** : le découpage n'est pas toujours aussi clair, les modèles peuvent être présents sans pour autant être facilement dissociables.

- le modèle du domaine,
- le modèle pédagogique,
- le modèle de l'interface,
- le modèle de l'apprenant.

Ces différents modèles sont plus ou moins développés selon les ITS (et par extension dans les EIAH) et selon leurs concepts centraux.

### 2.3.1 Le modèle du domaine

Ce modèle (parfois appelé modèle expert) contient toutes les données du domaine, c'est-à-dire la description des compétences à acquérir mais aussi la représentation des connaissances à transmettre. Ces connaissances doivent être organisées afin d'être exploitables, en particulier par un agent pédagogique souhaitant les transmettre à l'apprenant. Le formalisme utilisé pour la représentation des connaissances déclaratives et procédurales peut varier mais il doit permettre de résoudre les problèmes posés à l'apprenant afin de pouvoir évaluer ses réponses. On utilise par exemple l'analyse de prédicats et de règles d'inférences (cf. 4.1) ou le parcours de graphes (cf. 4.4).

### 2.3.2 Le modèle de l'apprenant

Le modèle de l'apprenant comporte à la fois un module de diagnostic qui permet de connaître l'état des connaissances de l'apprenant (par rapport au domaine) et un module comportemental qui décrit le profil de l'apprenant (ses préférences pédagogiques) et représente ses objectifs courants. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour construire la base de connaissances de l'apprenant. La méthode du recouvrement (*overlay method*), représente l'ensemble des connaissances de l'apprenant comme un sous-ensemble des connaissances du modèle du domaine. La méthode différentielle (*differential method*), étend la méthode du recouvrement en ajoutant une séparation entre les connaissances qui ont été présentées ou non à l'apprenant. ABITS (cf. 4.4 [4]) utilise par exemple une méthode dérivée de celle du recouvrement (cf. 4.4). Parfois, les données concernant les erreurs de l'apprenant sont extériorisées dans un cinquième modèle : le modèle des erreurs. Ce modèle formalise, non pas ce que l'apprenant sait (et sait faire), mais ce qu'il ne sait pas (ou ce qu'il ne sait pas faire). Il permet ainsi à l'agent pédagogique d'insister particulièrement sur ces points afin de combler les lacunes de l'apprenant. Une autre méthode (*buggy method*), étend la méthode du recouvrement en utilisant une bibliothèque de procédures erronées afin de pouvoir identifier les erreurs de l'apprenant.

Le module comportemental peut parfois prendre en compte l'état émotionnel de l'apprenant [11] afin d'améliorer l'apprentissage. En effet, des émotions comme le stress ou simplement la curiosité sont des éléments à prendre en compte puisqu'ils influencent l'apprentissage.

### 2.3.3 Le modèle pédagogique

Le modèle pédagogique contient toutes les données pédagogiques utilisables dans l'ITS. L'aptitude à enseigner efficacement découle directement de ce modèle puisqu'il décrit les activités pédagogiques exécutables et simule les décisions pédagogiques du formateur. L'agent pédagogique utilise ce modèle pour sélectionner et adapter son rôle, sa stratégie pédagogique, et choisir les activités qu'il va mettre en place. Ce modèle permet la réponse à deux questions :

1. Pourquoi intervenir ?
  - Pour faire retenir l'apprenant,
  - pour l'aider à comprendre ou à résoudre un problème,
  - pour évaluer ses connaissances...
2. Comment et quand intervenir ?
  - Avant, pendant ou après l'action,
  - en laissant l'apprenant faire des erreurs ou en l'arrêtant,
  - en prenant l'initiative ou en attendant des questions,
  - en choisissant une modalité adaptée...

### 2.3.4 Le modèle de l'interface

Ce modèle régit l'interface entre le système et les utilisateurs (principalement l'apprenant). Il est responsable de la forme finale de toutes les communications vers l'apprenant et de la présentation des objets pédagogiques. Il est donc en charge de l'ergonomie de l'interface qu'il doit adapter en fonction de ses préférences (par exemple le choix de la modalité ou de la précision). Les interactions entre l'agent pédagogique et l'apprenant passent également par ce modèle, qui peut donc contenir les données nécessaires à :

- la compréhension du langage naturel,
- la production de langage naturel,
- la reconnaissance vocale et la synthèse vocale,
- la production de langage non-verbal : gestes, expressions du visage.

Ce modèle a également la charge de répertorier tous les changements de l'environnement, de scruter (et parfois même d'anticiper) les actions de l'apprenant et de tenter de détecter ses intentions.

## 3 Critères d'étude et classifications des agents éducationnels

Il faut garder à l'esprit que l'objectif principal reste toujours le même : permettre ou améliorer l'apprentissage. La mesure de cette "amélioration" nécessite un protocole expérimental complexe impliquant de nombreux apprenants. De plus, les différents EIAHs ne s'appliquant pas aux mêmes domaines, il n'est pas possible de comparer les différents agents pédagogiques en terme de performance d'apprentissage. Nous essayons plutôt ici de définir des critères d'étude pertinents.

### 3.1 Classifications existantes

#### 3.1.1 Tuteur - Outil

A.L. Baylor [1] propose une classification des agents éducationnels en deux groupes : les outils et les tuteurs intelligents.

La première catégorie regroupe tous les agents collaboratifs qui peuvent constituer un système d'apprentissage basé sur l'approche multi-agents. Par exemple, un ensemble d'agents outils peut être responsable du "moteur cognitif" de l'application ou de la communication dans le cas d'un système distribué.

La deuxième catégorie concerne les agents qui interagissent directement avec l'apprenant et/ou le formateur dans le but, non pas de bâtir l'architecture du système, mais d'apporter une interface directe, souvent personnifiée par un agent multimédia animé.

Cette classification est restrictive et ne regroupe donc pas tous les agents éducationnels tels que nous les avons définis.

#### 3.1.2 Professeur - Compagnon - Assistant

Chou et al. [5] ont proposé une classification des agents éducationnels en deux parties (cf. 1), d'une part les agents pédagogiques et d'autre part les assistants personnels. Ces derniers ne font pas partie des agents pédagogiques car même s'ils peuvent posséder des caractéristiques équivalentes à celles d'un agent pédagogique, ils ne sont que des outils logiciels et leur usage est souvent plus général que celui de l'apprentissage. Les agents pédagogiques sont eux-mêmes séparés en deux catégories : les professeurs et les compagnons d'apprentissage (*Learning companions* - LC).

agent éducationnel		
agent pédagogique		assistant personnel
professeur autoritaire	compagnon (LC)	
précepteur entraîneur guide ...	élève compétiteur collaborateur gêneur clone ...	assistant pour l'apprenant assistant pour le formateur

TAB. 1 – Classification par Chou et al. [5]

Sabine Payr [15] souligne trois lacunes de cette classification. Premièrement, le regroupement des tuteurs, entraîneurs et guides dans la même catégorie – les professeurs autoritaires – est peut-être trop réducteur et ne prend pas en compte les multiples manières d'apprendre (définition du rôle mais pas de la stratégie pédagogique). Deuxièmement, le groupe des compagnons d'apprentissage est surchargé de rôles variés et trop disparates. Troisièmement, elle note l'absence du rôle d'acteur qui, selon elle, ne devrait pas tomber dans la catégorie des compagnons, mais bénéficier d'une attention particulière.

## 3.2 Notre classification

Nous proposons ici une classification des agents éducationnels multi-critères (informatiques et pédagogiques) afin de pouvoir classer tous les agents éducationnels (connus). Nous séparons les concepts de types, de rôles et de stratégies pédagogiques et adoptons une classification fondée des travaux de S. Payr [15] et des propositions précédentes.

Cette classification permet la comparaison des agents selon les critères voulus (cf. tableaux de synthèse 5).

### 3.2.1 Les types d'agents

Nous distinguons trois types d'agents éducationnels :

- les agents pédagogiques,
- les agents assistants personnels,
- les agents fonctionnels.

Les agents pédagogiques correspondent à la définition donnée en introduction : un agent pédagogique est une entité informatique **personnifiée** dotée d'**autonomie** permettant ou favorisant l'**apprentissage** en **interagissant directement avec l'apprenant**. On peut donner comme exemple un tuteur intelligent comme STEVE (cf. 4.1). C'est cette catégorie qui nous intéresse le plus dans cette étude.

Les assistants personnels sont tous les agents en contact direct avec les utilisateurs (apprenants et formateurs) qui apportent une aide directe pour assister l'enseignement. Ils peuvent posséder des capacités proches de celles des agents pédagogiques (par exemple des fonctions cognitives et des moyens de communication), mais ils n'entrent pas dans le processus pédagogique. Un exemple qui peut être facilement transposé dans le monde de l'EAO, est le "compagnon Office", qui facilite l'accès à l'aide en ligne de la suite bureautique Office. Dans un EAH, un assistant personnel pourrait par exemple faciliter la consultation des ressources pédagogiques ou des données sur l'apprenant (gestion des requêtes vers des bases de données).

Les agents fonctionnels sont tous les agents qui constituent un environnement virtuel de formation sans interagir directement avec les utilisateurs dans le processus pédagogique. Cette catégorie contient les "outils cognitifs" de la classification de Baylor [1] (cf. 3.1). Ces agents peuvent eux aussi posséder des aptitudes variées et tenir des rôles variés comme :

- agent de communication dans un système distribué,
- avatar pour les utilisateurs,
- gestion de l'accès aux bases de données,
- agent cognitif chargé de l'analyse d'images, d'actions ou de comportements,
- agent personnifié qui peuple l'environnement.

Ce sont par exemple les entités constituantes d'un environnement basé sur un Système Multi-Agents comme ABITS (cf. 4.4).

### 3.3 Critères pédagogiques

#### 3.3.1 Rôle des agents pédagogiques par rapport à l'apprenant

L'aspect le plus évident et certainement le plus important est le rôle qu'occupent les agents pédagogiques présents dans le système par rapport à l'apprenant. C'est ce rôle qui intervient dans notre classification. Le rôle le plus répandu est sûrement celui de tuteur, directement amené par les ITS : l'agent pédagogique représente un formateur qui explique, montre et pose des questions et des problèmes. Un autre rôle courant est celui de compagnon d'apprentissage (nous l'appelons ici "élève") : l'agent est alors un apprenant simulé considéré comme un pair. On peut trouver beaucoup d'autres rôles parmi les agents pédagogiques, comme professeur, entraîneur, perturbateur, gêneur... A chacun de ces rôles, on associe des stratégies pédagogiques (cf. 3.3.2). Il est parfois possible d'affecter dynamiquement le rôle d'un agent pédagogique, voire même de lui faire tenir plusieurs rôles simultanément (seulement s'ils restent compatibles). Il est également intéressant de faire intervenir plusieurs agents pédagogiques ayant des rôles différents, comme le proposent Chou et al. [5], afin d'augmenter l'impact sur l'apprenant.

#### 3.3.2 Stratégies et activités pédagogiques

Pour mener à bien sa tâche, l'agent pédagogique devra mettre en place une stratégie pédagogique efficace, et si possible, être capable de changer de stratégie en fonction de la situation. Nous présentons ici quelques stratégies utilisées par les agents pédagogiques existants (et par les formateurs humains) :

- Expositif lorsque l'apprenant est passif,
  1. Déclaratif : l'agent pédagogique donne des informations et des conseils,
  2. Explicatif : l'agent pédagogique explique les causes et conséquences,
  3. Démonstratif : l'agent pédagogique démontre la véracité des informations.
- Interactif lorsque l'apprenant communique avec l'agent pédagogique (pas forcément en langage naturel),
  1. Interrogatif : l'apprenant pose des questions et l'agent pédagogique répond,
  2. Évaluatif : l'agent pédagogique pose des questions et l'apprenant répond,
  3. Bilatéral : interrogatif + évaluatif,
- Par l'utilisation du langage lorsque l'expression écrite ou orale participe à l'apprentissage (associé à une stratégie interactive/interrogative),
  1. Par la formulation : clarifie et consolide les représentations internes de l'apprenant,
  2. Par l'argumentation : oblige l'apprenant à justifier ses positions et ses réponses,
- Actif lorsque l'apprenant apprend en exécutant des tâches (élémentaires ou procédurales),
- Par résolution de problèmes lorsque l'apprenant réutilise ses connaissances et apprend par déduction et en généralisant (associé à une stratégie active ou.

- Collaboratif lorsque l'interaction avec un collaborateur ou un groupe coopératif (système distribué ou simulé) favorise l'apprentissage (souvent associé à la résolution de problème).
- Par l'enseignement lorsque l'apprenant apprend en enseignant à un(des) apprenant(s) réel ou un(des) agent pédagogique(s) (*Learning by Teaching*).

Les stratégies pédagogiques (ou styles d'apprentissage) sont souvent complémentaires et elles sont plus ou moins pertinentes selon :

1. le type de données à enseigner (procédures, connaissances théoriques, etc.) ;
2. le profil de l'apprenant, c'est à dire son niveau, ses préférences et ses capacités (par exemple sa capacité d'abstraction) ;
3. le contexte du monde et la situation émotionnelle de l'apprenant.

Le tableau suivant (cf. fig 2) regroupe quelques rôles et les activités pédagogiques qui leur sont associées.

### 3.3.3 Autonomie du système par rapport au formateur

Un point important est la place du système face au formateur. Pour certains, l'objectif est d'obtenir un assistant pour le formateur ; pour d'autres, le but est de fabriquer un EAH totalement autonome.

Dans le premier cas, l'interaction entre le formateur et l'agent pédagogique peut prendre plusieurs formes. L'agent pédagogique peut, par exemple, recevoir des ordres précis du formateur et les exécuter, ou juste suivre un plan assez vague (notion de cursus). Il peut parfois être doté d'une capacité décisionnelle assez forte tout en laissant au formateur le choix final d'une stratégie pédagogique (c'est le cas de HAL [13] - 4.5).

Dans le second cas, dans lequel l'agent pédagogique devient l'unique formateur et est capable non seulement de se construire une représentation interne de l'apprenant mais aussi de faire tous les choix pédagogiques au fur et à mesure de la formation (cf. [19], 4.1). Notons que, même si aucun formateur n'intervient durant l'apprentissage, la modélisation du domaine et des ressources pédagogiques devra généralement être réalisée par un humain (si possible le formateur) avant de pouvoir utiliser l'agent pédagogique.

Rôles	activités
professeur	offre l'accès aux connaissances théoriques. répond aux questions. organise des cours.
tuteur	propose des exercices théoriques ou travaux pratiques. donne les éléments théoriques associés. donne des conseils, suggère des réponses. montre et corrige les erreurs.
entraîneur	supervise les actions de l'apprenant. renforce les acquisitions par la répétition. pose des contraintes de performance
évaluateur	propose des sessions d'exercices (examens). élabore des situations critiques pour l'élève (en fonction de ses faiblesses). évalue les progrès de l'élève. vérifie les acquis en posant des questions.
camarade	collabore avec l'apprenant (réalisation de tâches coopératives ou entraide). répond aux questions (correctement ou pas).
élève	sollicite l'apprenant en lui demandant de l'aide ( <i>teaching by learning</i> ). apprend (ou simule l'apprentissage) en même temps que l'apprenant par observation/rejeu et en questionnant l'apprenant.
perturbateur	distrain l'apprenant pour le déconcentrer. exécute des actions parasites pour complexifier l'environnement.
gêneur	provoque des situations critiques pour la résolution du problème. empêche l'apprenant d'exécuter des actions pour l'obliger à revoir son plan. oblige l'apprenant à changer ses buts.
facilitateur	simplifie les problèmes posés pour aider à la compréhension. modifie l'environnement pour aider l'apprenant à percevoir les éléments clefs.
incitateur	motive l'apprenant en le félicitant. encourage l'apprenant à essayer à nouveau en cas d'échec.
critique	pose des questions pour obliger l'apprenant à formaliser ses intentions. encourage l'apprenant à remettre en question son plan.

TAB. 2 – Rôles des agents pédagogiques et activités associées

## 3.4 Critères informatiques

### 3.4.1 Les modèles agents

Dans ce document nous utilisons le terme d'agent dans le sens donné en introduction : un **agent** est une entité (humaine ou informatique) **autonome**, **communicante** et dépendante de son environnement et des autres agents dans le cas d'un système multi-agents (SMA). Différents modèles d'agents sont utilisés dans le cadre de l'enseignement assisté par ordinateur. Les agents pédagogiques sont généralement cognitifs et/ou conversationnel tandis que les autres agent éducationnel peuvent également utiliser le modèle réactif.

**Les agents cognitifs [17]** : principalement basé sur les techniques de l'intelligence artificielle, l'agent cognitif est doté de facultés d'analyse et de pouvoir décisionnel. L'un des exemples est le modèle BDI (*Beliefs-Desire-Intentions*) qui élabore des plans (intentions) selon sa représentation du monde (croyances ou *beliefs*) pour réaliser ses désirs (objectifs).

**Les agents conversationnels [20]** : l'agent conversationnel est une extension de l'agent cognitif centré sur l'utilisation du langage naturel (reconnaissance et synthèse d'acte de langages).

**Les agents réactifs [2]** : l'agent réactif fonctionne sur le schéma comportemental Behavioriste (stimuli/ réponses et conditionnement opérant) : l'agent perçoit le monde et agit instinctivement selon les règles comportementales qu'il possède. Il est très adaptable à un environnement dynamique.

### 3.4.2 La place par rapport à l'environnement

La place des agents pédagogiques par rapport à l'environnement d'enseignement peut être très différente. L'agent pédagogique peut être un module du système (la majorité des cas), ou bien être assez indépendant et générique pour être extrait de son environnement et associé à un nouveau système. Il peut aussi parfois représenter le système entier à lui seul (cf. ABITS 4.4).

Par exemple un tuteur peut être "omniscient" dans le système, c'est-à-dire avoir toutes les connaissances de ce qui est vrai (le domaine) et de ce qui se passe (modifications dans l'espace et le temps) : il doit alors faire partie intégrante de l'environnement. Au contraire, un compagnon peut-être doté d'une perception restreinte de ce qui se passe dans l'environnement et de connaissances limitées sur le domaine (voire même de connaissances erronées). Il pourra ainsi être plus indépendant du système mais permettra aussi un apprentissage sensiblement différent.

Dans le même ordre d'idées, un agent pédagogique peut agir différemment sur l'environnement : il pourra être doté de la même marge d'action que l'avatar d'un utilisateur (par exemple être soumis aux mêmes lois physiques dans un environnement virtuel de formation) ou bien être presque "omnipotent" et pouvoir modifier l'environnement comme il le désire. Par exemple, dans le cas d'un environnement de réalité virtuelle, l'agent pédagogique pourra ajouter du sens afin de favoriser l'apprentissage (enrichissement, dégradation, animation, décentrage, modification, visualisation d'éléments cachés).

### 3.4.3 Architectures et technologies

Il peut être intéressant d'étudier les architectures d'agents utilisées dans les EIAHs et EVF comportant ces agents pédagogiques. La plupart sont mono-agent (le système étant parfois l'agent lui même) mais certains font intervenir plusieurs agents. Certains comme EduAgent (Cf. 4.7.1) ou STEVE (cf. 4.1) sont des systèmes à agents, où quelques agents habitent l'environnement et peuvent interagir. D'autre comme ABITS (cf. 4.4), MASCARET ou Baghera (cf. 4.6) sont réalisés autour d'une réelle approche multi-agents : les agents sont fortement autonomes et c'est de leurs interactions qu'émerge le comportement global de l'application. Par exemple dans Baghera, le concept même d'apprentissage est vu comme une action émergente et distribuée, généré par les interactions de nombreux agents avec les formateurs et les apprenants.

De plus, la mise en oeuvre des systèmes est souvent dépendante de l'utilisation finale : un EVF qui utilise la réalité virtuelle n'utilisera pas les même techniques et ressources qu'un EIAH multi-utilisateur s'exécutant sur Internet. Le choix des technologies informatiques utilisées est également important dans l'apprentissage : immerger l'utilisateur dans un environnement de réalité virtuelle permet des modalités beaucoup plus nombreuses qu'une interface graphique standard (où même l'audio n'est pas très souvent utilisé). Un autre exemple est la distribution de l'application qui nécessite une architecture spécifique mais permet alors de faire cohabiter plusieurs apprenants et professeurs (parfois même sur des stations de travail très distants). Si l'impact semble évident a priori, il mérite tout de même d'être quantifié : la mise en place d'un environnement de réalité virtuelle est coûteuse et doit donc être justifiée.

## 4 Présentation d'agents pédagogiques existants

Nous présentons et étudions ici un échantillon représentatif (par rapports aux critères définis) d'agents pédagogiques.

### 4.1 STEVE

#### 4.1.1 Contexte

STEVE (Soar Training Expert for Virtual Environment) [19] est un agent autonome et animé qui évolue dans un environnement virtuel de formation : VET - *Virtual Environment for Training* (littéralement : environnement virtuel d'entraînement). Il a été conçu et développé par Jeff Rickel et W. Lewis Johnson à l'*Information Sciences Institute (University of Southern California)* en coopération avec le *Lockheed AI Center*. STEVE est utilisé pour la formation à la maintenance d'équipements navals complexes.

#### 4.1.2 Modèles et implémentation

VET est implémenté en C, Tcl/Tk et en VRML (environnement 3D). STEVE est implémenté en C, VRML (avatar) et SOAR.

SOAR<sup>3</sup> est une architecture cognitive générale basée sur un modèle humain. C'est un moteur de règles d'inférence et de règle de production dont on peut résumer l'approche en une phrase : tout comportement visant à réaliser un but peut être exécuté par l'application d'opérateurs sur un état de l'environnement. SOAR permet également l'apprentissage par une méthode de *chunk*.

STEVE est basé sur le modèle des agents cognitifs et est composé de trois modules exécutés en parallèle :

- le module de perception,
- le module de cognition,
- le module de contrôle moteur.

Le module de perception permet à STEVE d'être informé de tous les événements qui se déroulent dans l'environnement et de posséder à tout instant une représentation cohérente de l'état global de l'environnement (*snapshot*).

Le module de cognition, implémenté principalement sous forme de règles de production SOAR, interprète les perceptions (*snapshot* + liste d'événements récents), choisit des buts appropriés puis construit des plans pour atteindre ces buts. Il exécute ensuite les plans en envoyant les tâches à jouer au module de contrôle moteur.

Le module de contrôle moteur transforme les ordres de haut-niveau reçus par le module de cognition en tâches élémentaires exécutables par l'avatar (paroles, gestes, et déplacements). Pour pouvoir créer des gestes, le module de contrôle moteur utilise certaines informations données par les éléments de l'environnement :

- la position de l'objet,
- la sphère englobante de l'objet,
- le vecteur d'orientation qui indique la face avant de l'objet,
- le vecteur de prise qui définit la manière de prendre l'objet,
- le vecteur de pression qui définit la manière de presser l'objet,
- le vecteur de positionnement qui permet à l'avatar de se positionner devant l'objet sans gêner la vue de l'apprenant (optionnel).

Le déplacement de STEVE est géré sur un graphe dont chaque noeud est une position possible, c'est-à-dire la place indiquée par le vecteur de positionnement d'un élément (s'il n'a pas été défini, il est calculé automatiquement).

#### 4.1.3 Type-Rôles-stratégies

STEVE est un agent pédagogique qui agit de manière autonome (sans l'action du formateur pendant une séquence). Son rôle principal est celui de tuteur mais on peut aussi l'utiliser comme un simple élève (sans stratégie pédagogique associée) exécutant des ordres pour permettre à l'apprenant d'exécuter une action collaborative nécessitant une tierce personne. Par exemple, pour une simulation où il faut ouvrir deux vannes simultanément, on peut avoir un apprenant, un STEVE tuteur et un STEVE élève. Lorsque le tuteur demandera d'ouvrir les vannes, l'élève simulé se dirigera vers la sienne et l'ouvrira.

---

<sup>3</sup>SOAR est développé à l'université de Carmellon et utilise Tcl/Tk

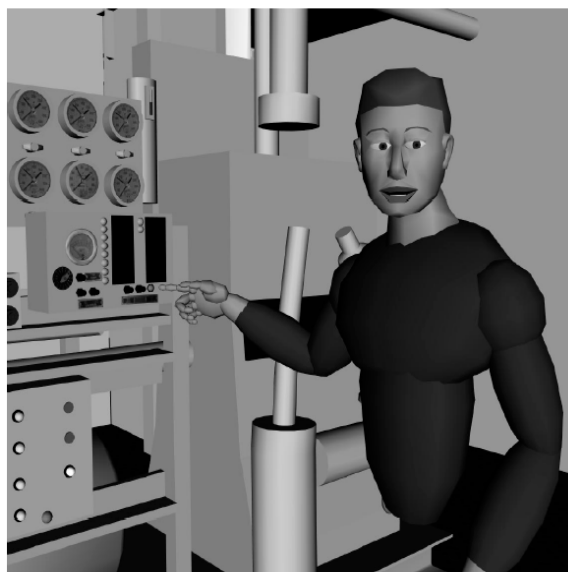


FIG. 1 – STEVE montre un voyant

Les stratégies pédagogiques de STEVE sont davantage centrées sur l'action que sur les concepts puisqu'il s'agit d'un apprentissage de procédures. STEVE peut :

- expliquer une tâche,
- montrer comment faire en commentant,
- superviser l'élève et intervenir pour l'empêchant de commettre des erreurs,
- observer l'élève en le laissant faire des erreurs et en expliquant ensuite,
- répondre aux questions (simples).

#### 4.1.4 Aptitudes remarquables

L'aptitude qui nous semble la plus intéressante chez STEVE est sa capacité cognitive qui lui permet d'élaborer des plans d'actions (séquence arborescente de tâches) et d'expliquer ces plans (en parcourant l'arbre hiérarchique des tâches). Les créateurs de STEVE mettent également en avant deux autres aptitude remarquable. Le premier aspect que l'on remarque chez STEVE est sa représentation : l'avatar de STEVE est une représentation en 3D d'un homme, et permet de simuler de nombreuses actions et situations avec un rendu fluide et assez naturel. Le personnage peut se déplacer, montrer des éléments de l'environnement, désigner des zones du doigt ou du regard, utiliser des actionneurs (appuyer sur un bouton) ; tout cela en temps réel et sans gêner l'apprenant dans sa tâche.

La deuxième aptitude remarquable est sa capacité de communication. Il dispose d'un moteur d'analyse et de synthèse de langage naturel et vocal. STEVE peut donc comprendre quelques questions très simples à l'oral (*why?*), et des questions plus compliquées à l'écrit et y répondre (pendant la simulation pour l'oral et hors simulation pour l'écrit).

## 4.2 AutoTutor

### 4.2.1 Contexte

AutoTutor [8] est développé par le *Tutoring Research Group* pour l'*Office of Naval Research* (en collaboration avec la *National Science Foundation*). Ce tuteur a été utilisé et testé dans deux domaines : des cours sur le vocabulaire en informatique et en physique.

AutoTutor est un agent pédagogique indépendant mono-utilisateur, et l'équipe de développement conçoit depuis 2003 un environnement de simulation spécifique dans lequel il pourra s'interfacer.

### 4.2.2 Modèles et implémentation

AutoTutor est basé sur le modèle des agents conversationnels. il est constitué de six modules principaux :

- un avatar en 3D (contrôlé par MICROSOFT AGENT),
- un modèle du domaine (*curriculum script*),
- une interface pour le formateur (*authoring tools*),
- un analyseur sémantique statistique du langage naturel (*Latent semantic analyser*),
- un gestionnaire de dialogue (*Dialog Advancer Network*),
- un analyseur de questions / synthétiseur de réponses.

Le modèle du domaine est présent mais AutoTutor a peu de connaissances. Celles-ci sont représentées par une matrice de mots à  $n$  dimensions (entre 100 et 300) qui est construite en fournissant à AutoTutor des textes à étudier sur le sujet (et en dialoguant avec lui). De plus, il n'a pas de représentation interne de toutes les compétences de l'apprenant relatives à ce domaine mais utilise la méthode du recouvrement (modèle de l'apprenant).

AutoTutor est capable de suivre le fil de la conversation et d'évaluer les réponses de l'apprenant, grâce à son analyse statistique du langage (*Latent Semantic Analyse* ou LSA). Le module LSA fonctionne sur un principe empirique : il analyse statistiquement les mots de la réponse avec la matrice du domaine et obtient un vecteur pondéré. Ce vecteur pondéré est la représentation de la réponse et peut-être comparé à la réponse attendue.

### 4.2.3 Type-Rôles-stratégies

AutoTutor est un agent pédagogique très orienté sur la simulation humaine et sur le langage naturel (compréhension et synthèse). Il se présente sous la forme d'une fenêtre de discussion intelligente et autonome *chatterbot* qui discute naturellement avec l'apprenant. Il oriente le dialogue vers le sujet voulu et tente d'évaluer les connaissances de l'élève. Il joue le rôle de professeur/critique/incitateur :

- professeur lorsqu'il présente des informations à l'apprenant et le questionne sur un sujet ;
- critique quand il corrige celui-ci ou l'incite à reformuler et à se justifier ;
- incitateur lorsqu'il le félicite ou l'encourage à compléter sa réponse.

#### 4.2.4 Aptitudes remarquables

Le point fort d'Autotutor est sa faculté de reconnaissance du langage et sa capacité à apprendre au fur et à mesure de son utilisation. La méthode LSA a été testée sur des exercices du TOEFL <sup>4</sup> sur les synonymes et a obtenu un score d'environ 65.4% (les étudiants étrangers obtenant en moyenne 64.5 %).

### 4.3 ADELE

#### 4.3.1 Contexte

ADELE [10](Agent for Distance education - Light edition) a été développée par le *Center for Advanced Research in Technology for Education (CARTE)* et a été appliquée dans le domaine de la médecine pour deux projets :

1. la résolution de problèmes sur des diagnostics cliniques,
2. l'entraînement au traitement des traumatismes en salle d'urgence.

#### 4.3.2 Modèles et implémentation

ADELE est implémentée en Java et est utilisable sur Internet (*e-learning*). Son avatar est une représentation animée d'une femme médecin dans un Applet Java. Les exercices sont proposés dans une interface Java séparée (Cf. capture d'écran – fig 2). ADELE est basée sur le modèle des agents cognitifs et possède quelques états "émotionnels" internes (pour animer le personnage).

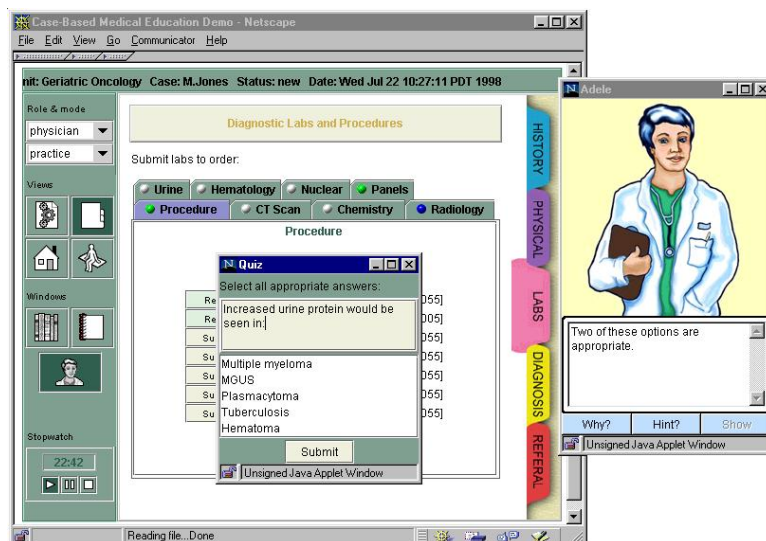


FIG. 2 – ADELE aide l'apprenant pendant un exercice

---

<sup>4</sup>TOEFL : Test of English as a Foreign Language

### 4.3.3 Type-Rôles-stratégies

ADELE est un agent pédagogique ayant le rôle de professeur/tuteur/évaluateur et elle est mono-utilisateur (elle ne possède pas de stratégie collaborative).

Elle possède deux interactions pédagogiques principales :

- elle peut proposer un exercice et offrir l'accès à des informations en rapport avec le problème en cours (conseil),
- elle peut analyser les réponses de l'exercice et interroger l'apprenant pour vérifier ses connaissances.

### 4.3.4 Aptitudes remarquables

La représentation d'ADELE est assez conviviale puisqu'elle possède un certains nombres de mouvements possibles et d'expressions du visage et qu'elle s'exprime dans un langage naturel (mais qui reste pré-formaté).

## 4.4 ABITS

### 4.4.1 Contexte

ABITS [4] (*Agent Based Intelligent tutoring system*) a été réalisé dans le cadre du projet *InTraSys (Intelligent Training System in Technical Assistance)*. C'est un ITS basé sur une approche multi-agents, créé pour l'apprentissage à distance qui permet d'étendre un système de gestion de cours classique (*Course Management System* ou CMS).

ABITS respecte les normes IEEE LTSC sur les *Learning Object Metadata (LOM)* définissant les propriétés minimales nécessaires à la gestion, l'organisation et l'évaluation des ressources pédagogiques et des méta-data associées.

### 4.4.2 Modèles et implémentation

ABITS est constitué de trois ensembles d'agents fonctionnels (cf. figure 3 – droite) :

1. Les agents d'évaluation, responsables de l'évaluation de l'état cognitif de l'apprenant,
2. Les agents affectifs, qui évaluent le profil de l'apprenant,
3. Les agents pédagogiques, qui génèrent le programme d'étude.

La figure gauche (vue externe) montre les interactions entre ABITS, le CMS et les apprenants.

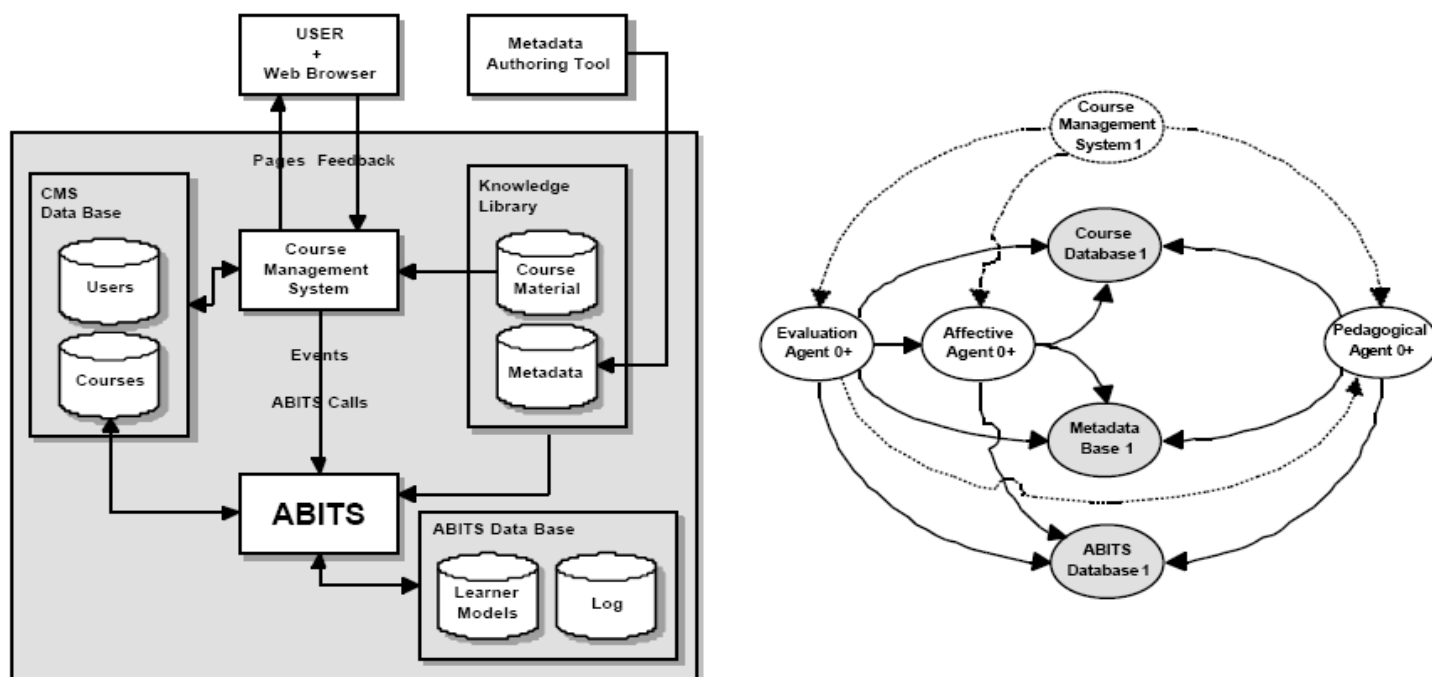


FIG. 3 – Architecture externe (à gauche) et interne (à droite) d'ABITS

**Légende :**

- *Course Material Database* : contient les ressources sous forme de fichiers délivrables sur le Web (HTML, VRML, etc.).
- *Metadata Base* : contient tous les schémas de meta-data (XML/RDF).
- *Log database* : contient la liste de toutes les activités de l'apprenant (pages visitées, temps, résultats des tests, etc.).
- *Learner Models Database* : contient l'état cognitif et le profil de l'apprenant.
- *User Database* : contient toutes les informations à propos des utilisateurs.
- *Courses Database* : contient les objectifs d'apprentissages, les cours et les programmes d'étude.

Pour représenter les relations hiérarchiques entre les concepts du domaine, ABITS utilise des graphes conceptuels (cf. figure 4).

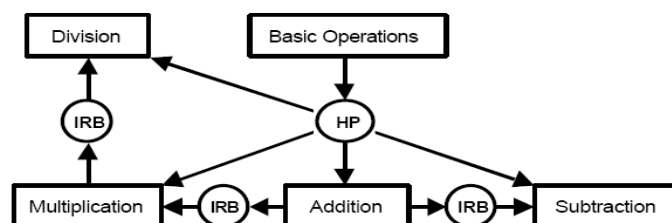


FIG. 4 – Exemple de graphe conceptuel sous ABITS : les Opérations Algébriques

La relation "IRB" (pour "Is Required By") définit un pré-requis tandis que la relation "HP" (pour "Has Part") définit une relation d'inclusion entre les concepts.

#### 4.4.3 Type-Rôles-stratégies

ABITS possède de nombreux agents fonctionnels qui permettent son fonctionnement interne mais il peut être vu comme un seul agent d'un point de vue extérieur. Il peut alors être vu comme un tuteur pour l'apprenant et un assistant personnel pour le formateur : ce dernier bénéficie d'une aide à la décision et peut automatiser certaines tâches. Par exemple, ABITS peut adapter le matériel didactique en fonction des préférences et des capacités de l'apprenant.

#### 4.4.4 Aptitudes remarquables

ABITS évalue à chaque instant le profil de l'apprenant et son état cognitif pour mettre à jour le modèle de l'apprenant. Cet état cognitif regroupe l'ensemble des degrés de connaissances atteints par l'apprenant. Un nombre flou (*fuzzy number*) est utilisé pour représenter le niveau dans chaque concept, ce qui permet plus de souplesse. ABITS applique par exemple une fonction d'oubli (*forgetting function*) sur l'état cognitif pour prendre en compte l'oubli au fur et à mesure du temps. Le profil de l'apprenant est composé d'un ensemble de préférences (*learning preferences*) décrites dans le tableau suivant :

Champ	Valeurs Possibles
Modalité	Texte, Image, Présentation, Hyper-texte, Vidéo, Simulation, Réalité virtuelle
Approche	Inductive, Déductive, Explorative
Niveau d'interaction	Très bas, Bas, Moyen, Haut, Très haut
Densité sémantique	Très basse, Basse, Moyenne, Haute, Très haute
Difficulté	Très basse, Basse, Moyenne, Haute, Très haute

TAB. 3 – Profil de l'apprenant dans ABITS

L'évaluation des préférences utilise également des nombres flous et est réalisée en mettant en rapport les degrés de connaissances lors d'étapes clefs (*milestones*). Par exemple, si l'apprenant maîtrise mieux un concept et que les ressources visitées à propos de ce concept ont été en grande partie des simulations, ABITS en déduit que cet apprenant y est réceptif. Par conséquent le système augmente la valeur du nombre flou correspondant à cette modalité.

ABITS peut également générer un programme d'études (*curriculum*) spécifique à l'élève. Le programme d'étude est une suite ordonnée de ressources qui vont être utiles pour mener à bien un cours, c'est à dire assurer l'apprentissage de concepts clefs (*learning goals*).

La modularité et le respect des normes font d'ABITS un *framework* qui peut être adapté à de nombreux CMS<sup>5</sup>.

## 4.5 HAL

### 4.5.1 Contexte

HAL [13] (*Help Agent for Learning*) a été développé dans le cadre du projet SOFI. SOFI (Simulateur Opérationnel de Formation Individuelle) est un environnement virtuel de formation qui immerge l'apprenant au coeur d'un simulateur d'entraînement destiné à former les agents de la SNCF aux tâches de maintenance en bordure de voie ferrée.

### 4.5.2 Modèles et implémentation

HAL est un agent cognitif et possède trois modèles :

1. le modèle du formé (modèle de l'apprenant),
2. le modèle de référence (modèle du domaine),
3. le modèle pédagogique.

Le modèle du formé contient des informations sur les niveaux de connaissances atteints et sur le profil de l'apprenant. Ce profil est utilisé par HAL mais doit être fabriqué manuellement (auto-évaluation par l'apprenant). Le modèle du formé utilise deux sous-modèles de représentation des connaissances de l'apprenant : le modèle d'expertise partiel (*overlay*) et le modèle différentiel.

Le modèle de référence contient les données du domaine (tâches procédurales) sous forme hiérarchique : une tâche peut en contenir d'autres et il existe des relations entre les tâches d'un même niveau. Par exemple "ouvrir la porte" contiendra la tâche "prendre la clef" puis "insérer la clef dans la serrure" puis "tourner la clef". Si l'apprenant tourne la clef avant de l'insérer dans la serrure, HAL détectera une erreur, avertira le formateur et pourra intervenir.

Le modèle pédagogique associe les connaissances (et particulièrement les erreurs relatives) à des stratégies et des fonctions (activités) pédagogiques. HAL est alors capable de

---

<sup>5</sup>Pour être compatibles, ces derniers doivent seulement pouvoir être étendus par un langage de script supportant l'invocation RMI et pouvant accéder à des données externes

rajouter du sens dans l'environnement lorsque cela est nécessaire (décentrage, animation, enrichissement...).

#### 4.5.3 Type-Rôles-stratégies

HAL est un agent pédagogique non-personnifié et un assistant puissant pour le formateur. Il a le rôle d'un tuteur/gêneur/facilitateur mais n'est pas complètement autonome : ceci n'est pas dû à une quelconque limitation cognitive, mais au choix d'assister la formation sans "remplacer" le formateur.

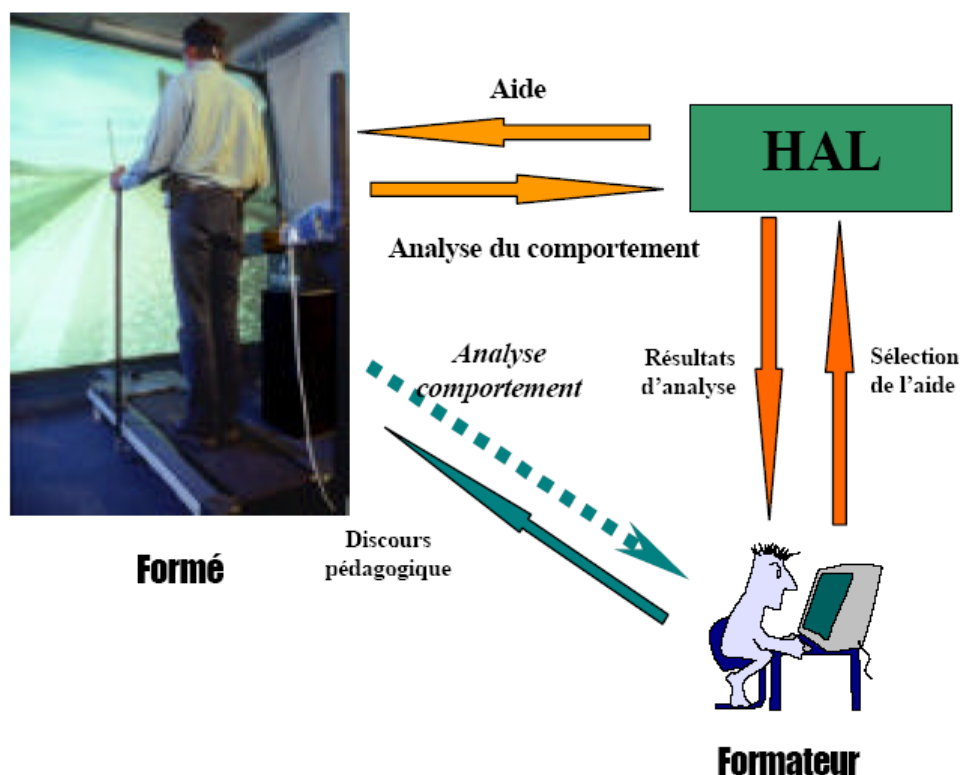


FIG. 5 – Fonctionnement de HAL

HAL analyse le comportement de l'apprenant et propose des activités mais laisse le pouvoir décisionnel au formateur. HAL dispose de deux stratégies : une méthode active où le formé exécute les tâches et une méthode explicative où le formé reste passif. De plus HAL possède plusieurs niveaux d'intervention pour chaque mode. En mode actif il peut laisser faire le formé sans l'assister, lui dire quoi faire ou faire à sa place. De même, pour le mode explicatif, HAL pourra suggérer la connaissance, suggérer l'erreur ou expliquer. Selon le niveau de l'apprenant et les choix du formateur, HAL peut modifier son scénario ou l'environnement pour introduire des problèmes ou les inhiber.

#### 4.5.4 Aptitudes remarquables

L'apprenant dispose d'une interface immersive (écran géant, tapis roulant et gant muni de capteurs) et peut évoluer dans l'environnement en 3D (cf. figure 5). Dans la même

pièce, le formateur observe directement les actions de l'élève. Il supervise l'apprentissage indirectement, lisant des comptes-rendus fournis par HAL, et en choisissant les stratégies pédagogiques.

## 4.6 Baghera

### 4.6.1 Contexte

Baghera [21] est un EIAH orienté Web créé au laboratoire Leibniz (IMAG). Ce projet a pour but la réalisation d'une plate-forme d'enseignement générique et multi-utilisateurs basée sur une architecture multi-agents. Le domaine d'apprentissage choisi pour l'implémentation est la résolution de problèmes de géométrie pour de jeunes élèves. L'une des thèses défendues par ce projet est la nature sociale et émergente de la fonction éducative : la responsabilité de l'apprentissage ne peut pas être centralisée dans un seul composant (ou module) pédagogique. Elle est le résultat des l'ensemble des interactions entre l'apprenant, le formateur et tous les agents de l'environnement.

### 4.6.2 Modèles et implémentation

Baghera utilise l'environnement de développement JATlite, qui offre une infrastructure de communication entre agents en Java (avec routage des messages). Cette architecture détermine la nature des communications (respect de FIPA ACL) mais ne possède pas de modèle d'agent. Les agents de Baghera sont de type cognitif et fonctionnent selon cette architecture générale (figure 6) qui, bien que simplifiée, s'inspire du modèle d'agent cognitif BDI (cf. 3.4.1).

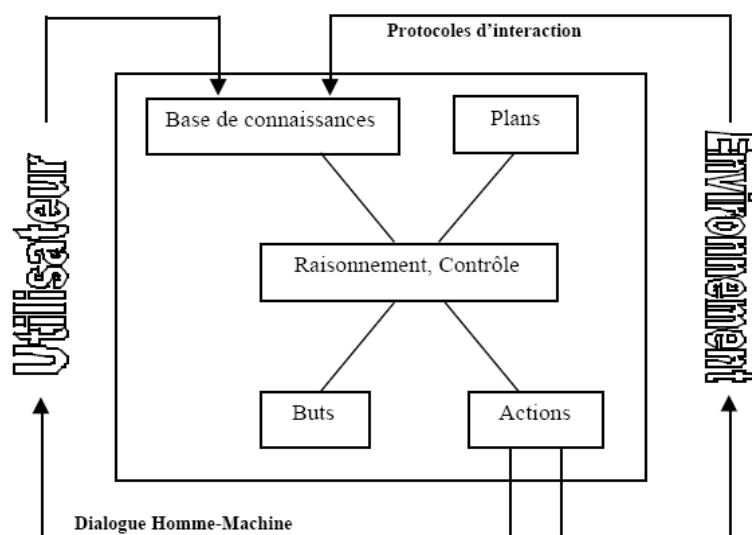


FIG. 6 – Architecture générale des agents dans Baghera

L'agent responsable de la démonstration et de la vérification des preuves est importé de l'atelier d'inférence ATINF (un atelier sur la preuve de théorèmes géométriques).

Lors du processus d'analyse d'un problème, plusieurs agents différents coopèrent (agents de problèmes, agents opérateurs, agents de langage, agents de contrôle) et aboutissent à une solution. Lorsqu'il s'agit d'évaluer l'apprenant, un mécanisme de vote est exécuté entre les différents agents du système. Chaque agent positionne un vecteur situé et orienté dans un espace euclidien en fonction de son opinion sur le travail de l'apprenant. Pour résoudre le vote, les agents forment des alliances avec les autres agents les plus proches. Par un mécanisme de compromis et de suppression des alliances faibles, on aboutit à une seule alliance, représentative de l'opinion globale du système sur la réponse de l'apprenant.

### 4.6.3 Type-Rôles-stratégies

Chaque utilisateur se voit attribuer les services de plusieurs agents dédiés (non personnalisés). Le processus éducatif est le produit émergent de la collaboration entre tous ces agents et les utilisateurs.

Pour chaque apprenant sont associés trois agents.

- Un assistant personnel (agent Compagnon-élève), qui lui permet d'accéder à ses ressources (cartable électronique) et à ses exercices et de communiquer avec un ou plusieurs utilisateurs.
- Un agent médiateur qui transforme les réponses de l'apprenant (langage pseudo-naturel) en preuve plus formelle pour l'envoyer à l'agent ATINF et qui transforme les preuves de cet agent en langage compréhensible par l'apprenant.
- Un agent pédagogique professeur (agent tuteur) qui gère le cartable et qui assure le suivi pédagogique en cas d'absence de formateur. Il s'appuie sur l'agent médiateur pour l'évaluation des travaux de l'apprenant. L'agent professeur communique avec les assistants des formateurs : il peut obtenir des informations sur l'élève et renseigner les assistants sur les activités courantes de l'apprenant.

Pour chaque formateur sont associés deux assistants personnels.

- Le premier (agent Compagnon-enseignant) lui permet d'accéder à ses ressources (casier électronique) et de communiquer avec un ou plusieurs utilisateurs.
- Le second (agent assistant) gère le casier de l'enseignant. Il aide l'enseignant à créer de nouvelles activités et les distribue aux agents professeurs. Cet agent peut communiquer avec tous les agents professeurs et les agents compagnons-élèves et compagnons-enseignants. Il communique également avec les assistants des autres formateurs.

### 4.6.4 Aptitudes remarquables

En plus de la vue émergente de la fonction éducative, Baghera place les besoins et les difficultés de l'apprenant au centre du processus de conception et de modélisation, permettant ainsi une pédagogie différenciée plus adaptée.

## 4.7 Quelques autres Agents remarquables

Nous présentons ici de manière plus succincte quelques autres agents éducationnels, qui possèdent des particularités ou des aptitudes intéressantes.

#### 4.7.1 EduAgent

Le projet EduAgent [9] a pour objectif d'étudier différents rôles et stratégies pédagogiques (limités aux compagnons d'apprentissages). Le domaine d'étude choisi est l'apprentissage des équations. Ici plusieurs agents pédagogiques ayant tous le rôle de camarade sont proposés à l'utilisateur : deux camarades "forts" qui répondent de manière correcte aux questions et deux "faibles" qui peuvent parfois donner des réponses erronées (choix aléatoire). Les deux agents faibles simulent une progression au fur et à mesure de leur apprentissage commun avec l'apprenant. L'un des résultats de cette étude concerne les préférences des apprenants sur les différents agents pédagogiques proposés.

#### 4.7.2 LuCy

LuCy est un agent pédagogique inséré dans l'ITS PROPA [7], utilisé pour améliorer les compétences d'analyse explicative dans le domaine du contrôle d'activité satellite. L'apprentissage porte sur le processus de formulation d'explications scientifiques des SAAs (*satellite activity analysts*) concernant les capacités des satellites artificiels en orbite autour de la terre et leurs comportements, passé présent et à venir. PROPA est basé sur une approche argumentative de l'apprentissage et contient également un autre agent pédagogique ayant le rôle de tuteur. LuCy joue le rôle de compagnon d'apprentissage critique qui peut insérer des informations bonnes ou erronées (en fonction du modèle de l'apprenant) dans le but de provoquer un dialogue argumentatif. Cette approche oblige l'apprenant à se remettre en question et permet de lui apprendre à justifier ses positions.

#### 4.7.3 COSMO

Cosmo [12] est un agent pédagogique personnifié qui agit dans un environnement virtuel de formation nommé *Internet Advisor* (le domaine d'application de cet environnement est le routage de paquets sur Internet). Il joue le rôle de tuteur et peut conseiller l'apprenant pendant la simulation ou lui démontrer une solution. Cosmo est représenté par un petit robot humanoïde et possède un éventail assez large de comportements (par exemple se déplacer, cligner des yeux, applaudir, bouger ses antennes) qu'il utilise pendant ses interventions. Il dispose également de plus de deux cents expressions verbales.

#### 4.7.4 COLER

COLER [6] (*Collaborative Learning environment for Entity-Relationship*) est un environnement d'apprentissage collaboratif basé sur internet. Dans cet environnement, les apprenants doivent résoudre des problèmes de modélisation de base de données en petit groupe. Chaque apprenant peut communiquer avec les autres tout en travaillant sur son interface personnelle. L'agent pédagogique de COLER a pour objectif de favoriser l'apprentissage collaboratif : il supervise les actions individuelles puis compare les solutions. Il peut ainsi encourager des dialogues entre certains apprenants et maintenir l'équilibre dans la participation des apprenants.

#### 4.7.5 Vincent

Vincent, [14] est un agent pédagogique animé développé par l'INESC (Instituto de Eneenharia de Sistemas e Computadores). Il a été créé avec un ITS spécifique (TEMAI) mais peut, d'après ses auteurs, être adapté à d'autres systèmes et d'autre domaine. Vincent joue le rôle de professeur/incitateur. Il assiste l'apprenant pendant les exercices en lui apportant des conseils (lorsqu'il détecte une difficulté) et le félicite pour l'encourager. Vincent est composé de deux modules : le module de l'esprit (*Mind Module*), responsable du choix des actions pédagogiques à effectuer et le module du corps (*Body Module*) qui exécute ces actions. Les choix d'actions sont réalisés grâce à la mise en relation des données du modèle de l'apprenant (résultats des exercices, temps passé pour les résoudre et erreurs commises) avec la perception de l'environnement (sous forme d'inférences).

#### 4.7.6 Agneta and Frida

Agneta et Frida [16] sont des assistants personnels pour la navigation Internet. Elles n'ont pas de réelle influence pédagogique, mais présentent quand même deux points intéressants : leur capacité à lire et à interpréter le contenu des pages Web en temps réel et leur comportement qui évolue en fonction du contenu des pages visitées qu'elles commentent (parfois ironiquement).



FIG. 7 – Agneta et Frida commentent une page

## 5 Synthèse

Nous avons présenté quelques agents pédagogiques et analysé quelques-unes de leurs caractéristiques qui sont reprises dans les deux tableaux ci-après (figure 8 et 9). Le constat actuel est la grande ouverture du domaine de recherche : beaucoup de travaux sont centrés sur des approches nouvelles et intéressantes, tant du point de vue de l'informatique que de la pédagogie. Néanmoins, le travers de cette situation est le manque évident de réutilisation et de capitalisation des concepts et des résultats.

Parmi tous les agents pédagogiques présentés ici, peu font état d'une large gamme de compétences. L'analyse précédente a montré par exemple que la grande majorité des agents ne possédait qu'un rôle fixe (souvent celui de tuteur/professeur) et que les environnements étaient construits autour d'un nombre très limité de stratégies pédagogiques. Pourquoi ? Même si cela semble parfois dû à des contraintes techniques (difficulté de la mise en oeuvre de l'autonomie ou de la représentation des connaissances) ou des choix de conception (est-il pertinent d'utiliser un EVF pour apprendre les additions ?), la quasi-absence d'utilisation en dehors des projets de recherche explique peut-être ces lacunes. En effet, la plupart des agents pédagogiques développés n'ont pas pour but d'être génériques et idéaux, mais plutôt de permettre la réalisation d'expériences et de "valider" des théories nouvelles.

On assiste tout de même, depuis une dizaine d'années à une volonté de capitalisation et un effort de normalisation de la part de quelques entités : normes **IEEE-LOM** pour les ressources pédagogiques, norme **EML** pour les unités d'apprentissage ou norme **IMS-LD** pour les activités pédagogiques. On peut espérer que les EAHS futurs profiteront de tous ces concepts et de la conjonction des résultats de toutes ces recherches.

Nom de l'agent ou du système	Domaine	Type de connaissances	Utilisation	Collabo-ration	Modèles ITS (ou équivalents)	Agent pédagogique personnalisé	Rôles Pédagogiques	Stratégie
STEVE	Maintenance d'équipement naval	Procédurales	1 apprenant	Oui, simulé	A, I, D	Oui, humain 3D, oral + écrit	Tuteur	Active + Expositive (Explicative et Démonstrative)
AutoTutor	Informatique / Physique	Déclaratives	1 apprenant	Non	I, A, D	Non, « chatbot »	Professeur / Critique / Incitateur	PL + Interactive (bilatérale) + déclarative
Adele	Diagnostic médical / médecine urgentiste	Déclaratives et Procédurales	1 apprenant	Non	D, P, A	Oui, femme animée (buste) 2D, écrit	Professeur / Tuteur / Evaluator	Exercices Interactifs (bilatéral) + Déclarative
ABITS	Selon le CMS associé	Déclaratives et Procédurales	1 apprenant	Non	A, D, P, I	Pas d'agent pédagogique	aucun	Dépend du CMS (cf. 4.4.2) et du formateur
HAL	Maintenance sur les équipements ferroviaires	Procédurales	1 apprenant et 1 formateur	Non	A, D, P, I	non	Tuteur	Active + Expositive (Déclaratif et Démonstratif)
Baghera	Résolution de problèmes de géométrie	Déclaratives	Plusieurs apprenants et plusieurs formateurs	Non	D, P, A distribués et émergents	NR	Tuteur + assistant apprenant + assistant formateur	Exercices Interactifs (stratégie Evaluative) + Déclarative et Démonstrative
EduAgent	Equations mathématiques	Déclaratives	1 apprenant	Oui, simulé	D, P, A	NR	Camarades	Collaborative + PL + LbT
Lucy	Résolution de problèmes et analyse explicative sur le contrôle des satellites	Déclaratives	1 apprenant	Non	D, P, A	NR	Critique (Lucy) + Tuteur (autre agent)	PL (Argumentative)
COSMO	Routing de paquet sur Internet	Procédurales	1 apprenant	Non	D, P	Oui, buste robot 3D, oral + écrit	Tuteur	Actif + RP + Déclaratif + Démonstratif
COLER	Résolution de problème de modélisation de bases de données	Déclaratives	Plusieurs apprenants distants	Oui	D, A	NR	Incitateur	Collaborative + RP
Vincent	Entraînement des ouvriers dans l'industrie de la chaussure	Procédurales	1 apprenant	Non	D, A, P	Oui, homme animé 2D, écrit	Professeur / Incitateur	Exercices Interactifs (bilatéral) + Déclarative
Agenta et Frida	Pages Web visitées	Déclaratives	1 utilisateur	Non	aucun	Oui, 2 femmes animées 2D, écrit	---	Aucune

FIG. 8 – Tableau de synthèse : aspect pédagogique

**Légende Tableau Pédagogique :**

- NR signifie Non-Renseigné.
- "Collaboration" se rapporte à l'idée d'apprentissage social : "oui" signifie que plusieurs apprenants collaborent entre eux et "oui, simulé" que l'apprenant collabore avec des agents informatiques.
- Les modèles des ITS 2.3 sont remplacés par : A pour apprenant, I pour interface, D pour domaine, et P pour pédagogique. Pour certains systèmes, les modèles présents ne sont pas explicites.
- Pour les stratégies, "LbT" remplace "*Learning by Teaching*", "PL" remplace "Par le Langage" et "RP" remplace "Résolution de Problème". Voir 3.3.2 pour la description des stratégies.

Nom de l'agent	Nom du système associé	Architecture agent	Modèles d'agent	Type d'application et Technologies	Interface et modalités
STEVE	VET : Virtual Environnement for Training	Mono-agent / système à agent (n)	Cognitifs	Application de réalité virtuelle C + TCL/TK + VRML + SOAR	Réalité virtuelle
AutoTutor	AutoTutor	Mono-agent	Conversationnel	Web + LSA	Web + chatterbot
Adele	Adele	Mono-agent	Cognitif	Application Java + applet Java	GUI + agent 2D
---	ABITS	Système multi-agent	Cognitifs / Réactifs	Framework SMA pour CMS	GUI
HAL	SOFI	Mono-agent	Cognitif	Application de réalité virtuelle	Réalité virtuelle
---	Baghera	Système multi-agent	Cognitifs	Application Java SMA (JATLite)	GUI
EduAgent	---	système à agent (4)	Conversationnels	NR	GUI
LuCy	PROPA	système à agent (2)	Conversationnels	NR	GUI
COSMO	---	Mono-agent	Cognitif	Application 3D	GUI + monde 3D et agent 3D
---	COLER	Mono-agent	Cognitif	Web	Web
Vincent	Internet Advisor	Mono-agent	Cognitif	Application	GUI + agent 2D
Agneta et Frida	---	système à agent (2)	Conversationnels	Web	Web + agent 2D

FIG. 9 – Tableau de synthèse : aspect informatique

## 6 Conclusion

L'agent pédagogique semble être l'une des clefs de l'apprentissage assisté par ordinateur mais sûrement pas la seule : un système très simple contenant un agent pédagogique est-il plus efficace qu'un autre système sans agent pédagogique mais prenant plus de paramètres en compte ? Par exemple, un agent perturbateur ne pourrait-il pas être trop perturbant et freiner l'apprentissage plutôt que de le favoriser ? L'utilisation d'un ou de plusieurs agents pédagogiques semble intéressante, mais nous manquons actuellement de retours d'expériences. S'il n'est peut-être pas pertinent de penser concevoir aujourd'hui un agent idéal, une des recherches à mener me semble être l'évaluation des effets des agents pédagogiques, en comparant plus particulièrement les apports de certains points comme :

- l'adaptabilité en fonction de l'apprenant,
- les capacités cognitives de l'agent pédagogique et l'application des modèles des ITS,
- la collaboration (réelle et/ou simulée),
- le(s) rôle(s) joué(s) par l'agent, les stratégies et les activités pédagogiques employées,
- la prise en compte des émotions de l'apprenant pour adapter les interventions de l'agent,
- l'utilisation des émotions et de l'humour pour perfectionner la relation apprenant-agent pédagogique et favoriser l'apprentissage,
- l'utilisation du langage naturel et de l'oral,
- la représentation de l'environnement et l'interface (Interface Hummain- Machine immersive, réalité virtuelle, environnement "augmenté").

Une telle étude nécessiterait la création d'un agent pédagogique simple mais très adaptable et permettrait de poser des fondations solides pour de futurs agents pédagogiques efficaces. L'agent pédagogique qui sera réalisé dans le cadre du stage devra pouvoir être adaptable (choisir dynamiquement son rôle et sa stratégie), élaborer des réponses et des plans d'actions et évaluer l'apprenant. On utilisera pour cela un modèle cognitif basé sur SOAR. L'environnement devra permettre la collaboration et l'exploitation des données nécessaires à cet agent (quatre modèles ITS). Le choix de MASCARET est donc justifié. Il conviendra ensuite de proposer un protocole expérimental dans lequel l'agent pourra être utilisé pour l'évaluation qualitative de certains des points suscités.

## Références

- [1] A L Baylor. Intelligent agents as cognitive tools for education. In *Educational Technology*, 1999.
- [2] Boissier. *Principes et Architecture des Système Multi-Agents*, chapter 2, pages 71–99. Hermes Science - Lavoisier, 2001.
- [3] Eric Bruillard. *Les machines à enseigner*. Hermès, 1997.
- [4] Nicola Capuano, Massimo De Santo, Marco Marsella, Maria Molinar, and Saverio Salerno. A multi-agent architecture for intelligent tutoring. In *Proceedings of the International Conference on Advances in Infrastructure for Electronic Business, Science, and Education on the Internet*, 2000.
- [5] Chih-Yueh Chou, Tak-Wai Chan, and Chi-Jen Lin. Redefining the learning companion : the past, present, and future of educational agents. *Computers & Education*, 40(3) :255–569, apr 2003.
- [6] A. Constantino and D. Suthers. A coached collaborative learning environment for entity-relationship modeling. In G. Gauthier, editor, *Intelligent Tutoring Systems, Proceedings of the 5th International Conference (ITS 2000)*, pages 325–333. Berlin : Springer-Verlag, 2000.

- [7] Bradley Goodman, Amy Soller, Frank Linton, and Robert Gaimari. Encouraging student reflection and articulation using a learning companion. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 9 :237–255, 1998.
- [8] Arthur C. Graesser, Katja Wiemer-Hastings, Peter Wiemer-Hastings, and Roger Kreuz. Autotutor : a simulation of human tutor. *Journal of Cognitive Systems Research*, 1 :35–51, 1999. Tutoring Reserch Group, University of Memphis.
- [9] Pentti Hietala and Timo Niemirepo. The competence of learning companion agents. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 9 :178–192, 1998.
- [10] W. Lewis Johnson, Erin Shaw, and Rajaram Ganeshan. Pedagogical agents on the web. In *Proceedings of ITS 98*, 1998.
- [11] Barry Kort, Rob Reilly, and Rosalind W. Picard. An affective model of interplay between emotions and learning : Reengineering educational pedagogy - building a learning companion. In *Proceedings of ICALT-2001*, 2001. MIT Media Laboratory.
- [12] J. Lester, J. Voerman, S. Towns, and C. Callaway. Cosmo : A life-like animated pedagogical agent with deictic believability. In *Proc. of the IJCAI97 Workshop on Animated Interface Agents : Making them Intelligent*, 1997.
- [13] Domitile Lourdeaux. *Réalité virtuelle et formation : conception d'environnement virtuel pédagogique*. Phd dissertation, École des Mines de Paris, October 2001.
- [14] Ana Paiva and Isabel Machado. Lifelong training with vincent, a web-based pedagogical agent. *International Journal of Continuing Engineering Education and Lifelong Learning*, 12(1/2/3/4) :254–266, 2002.
- [15] Sabine Payr. The virtual university's faculty : an overview of educational agents. *Applied Artificial Intelligence*, 17(1) :1–19, jan 2003.
- [16] Per Persson. Agneta and frida : Browsing, narrative and emotion. Persona Project, 1999.
- [17] Munindar P. Singh, Anand S. Rao, and Michael P. Georgeff. *Multiagent Systems*, chapter 8, pages 331–337. MIT Press, 1998.
- [18] Ronan Querrec, Pierre De Loor, and Pierre Chevaillier. Environnement virtuel pour la formation des officiers sapeurs-pompiers. In A. Seghrouchni and L. Magnin, editors, *Neuvièmes Journées Francophones d'Intelligence Artificielle et Systèmes Multi-Agents (JFIADSMA '01)*, pages 311–314, Montréal, Québec, Canada, 12–14 November 2001. Hermès Science Publications.
- [19] Jeff Rickel and W. Lewis Johnson. Animated agents for procedural training in virtual reality : perception, cognition and motor control. *Applied Artificial Intelligence*, 13 :343–382, 1999.
- [20] Zsofia Ruttkay, Claire Dormann, and Han Noot. *From Brows To Trust : Evaluating Embodied Conversational Agents*, chapter 2, pages 27–66. Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [21] Carine Webber, Sylvie Pesty, and Nicolas Balacheff. A multi-agent and emergent approach to learner modelling. In F. van Harmelen, editor, *Proceedings of the 15th European Conference on Artificial Intelligence*, Amsterdam, 2002. IOS Press.
- [22] B.P. Woolf. Building knowledge based tutors. In I. Tomek, editor, *Fourth International Conference of Computer Assisted Learning*, pages 44–60, 1992.