

2m11.2784.8

Université de Montréal

Agent émotif dans un système tutoriel intelligent

par
Sassine C. Abou-Jaoude

Département d'Informatiques et de Recherche Opérationnelle

Faculté des Arts et des Sciences

Mémoire présenté à la Faculté des Études Supérieures
En vue de l'obtention du grade de
Maître en Sciences (M.Sc.)
en informatique

Juillet, 2000

© Sassine C. Abou-Jaoude, 2000



8.4820.11115
QA

76

U54

2000

n. 027

Université de Montréal

Agent émité dans un système intellectuel intelligent

par
Suzanne C. Abou-Jaoude

Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle

Faculté des Arts et des Sciences

résumé présenté à la Faculté des Études Supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Maîtrise en Sciences (M.Sc.)
en Informatique

juillet 2000



Suzanne C. Abou-Jaoude, 2000

Université de Montréal
Faculté des Études Supérieures

Ce mémoire intitulé:

Agent émotif dans un système tutoriel intelligent

Présenté par:

Sassine Abou-Jaoude

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes:

Esma Aïmeur	présidente-rapportrice
Claude Frasson	directeur de recherche
Yoshua Bengio	membre du jury

Mémoire accepté le : 31 juillet 2000

Sommaire

Les agents autonomes (un domaine relativement récent), influencent de plus en plus les différents aspects des applications informatiques. Les Systèmes Tutoriels Intelligents (STI) n'ont pas échappé à cette influence. En effet, de nos jours, il est presque impossible de travailler sur les STI sans s'impliquer, d'une façon ou d'une autre, dans les agents autonomes. Ces derniers se classifient en plusieurs familles et ceci suivant les attributs et les tâches qu'ils accomplissent. Notre intérêt se fixe sur un domaine encore plus récent : les agents à caractère (dits aussi agents affectifs ou émotifs). Un agent à caractère se définit comme étant un agent qui simule des caractéristiques attribuées aux humains tout comme la personnalité, les humeurs et les émotions. Ce mémoire présente la conception et l'implantation d'une plate-forme d'agent à caractère, ainsi que son intégration dans un STI.

En premier lieu, nous avons créé cette plate-forme basée sur une matrice de calcul dont les éléments sont déterminés de façon expérimentale suivant le jugement des usagers humains. Une fois déterminée, cette matrice servira pour la mise à jour des émotions ou plutôt de l'état émotionnel des agents.

En second lieu, la plate-forme de l'agent affectif est intégrée comme une couche supplémentaire dans les acteurs des STI traditionnels, pour former les STI affectifs. Au laboratoire HERON et sous l'assistance du projet TELELEARNING, nous avons simulé un "Environnement d'Apprentissage Compétitif" (EAC). Cet

environnement a permis de tester notre plate-forme émotive en l'implantant sous forme d'une couche supplémentaire dans l'agent apprenant. Les tests que nous avons conduit se concentrent sur le comportement émotif de cet agent ainsi que sur l'efficacité, la performance du système. Enfin, suite aux résultats obtenus, des recommandations et des suggestions pour des travaux futurs (surtout au niveau de l'implantation d'un tuteur affectif) seront présentées.

MOTS-CLÉS : *système tutoriel intelligent, agent à caractère, agent intelligent, agent affectif, agent émotif, environnement d'apprentissage compétitif, apprentissage coopératif.*

À mon père...

TABLE DES MATIÈRES

<i>Sommaire</i>	<i>i</i>
TABLE DES MATIÈRES	<i>iv</i>
LISTE DES FIGURES	<i>vi</i>
LISTE DES TABLES	<i>vii</i>
Chapitre 1 Introduction	1
Chapitre 2 Les agents autonomes	7
2.1 Introduction	8
2.2 Aperçu des Systèmes Tutoriels Intelligents.....	9
2.3 Les différentes définitions attribuées aux agents.....	12
2.4 Les attributs des agents.....	16
2.5 Architecture d'un agent.....	18
Chapitre 3 Les agents affectifs	21
3.1 Introduction	22
3.2 Clark Elliot et le raisonnement affectif des agents intelligents.....	23
3.2.1 Introduction.....	23
3.2.2 La plate-forme du raisonnement affectif.....	23
3.2.3 L'intensité des émotions	25
3.2.4 Les humeurs et le tempérament des agents	25
3.2.5 Communication des agents émotifs avec les usagers.....	25
3.2.6 Tests et résultats du système	26
3.3 Le théâtre virtuel de l'Université Stanford	27
3.3.1 Improvisations et avatar.....	27
3.3.2 Architecture d'un acteur	28
3.3.3 Le modèle socio-psychologique	28
3.3.4 Exemple de scénario	29
3.4 Le projet OZ de l'Université Carnegie Mellon	30
3.5 Pattie Maes et le projet ALIVE	33
3.6 Les agents animés pédagogiques	35
3.6.1 Les aspects techniques	36
3.6.2 Tests et résultats.....	36
3.7 "Steve" et "Adele"	37
3.7.1 Introduction.....	37
3.7.2 Architectures des agents pédagogiques selon CARTE	39

Chapitre 4	<i>Théorie des émotions et le Projet DUFFY</i>	43
4.1	Introduction	44
4.2	Composantes de la théorie des émotions	45
4.2.1	Le couple émotionnel	45
4.2.2	L'état émotionnel	46
4.2.3	L'ensemble des particularités du système P	47
4.2.4	La matrice de calcul	47
4.3	L'application DUFFY	48
4.3.1	Introduction	48
4.3.2	Interface de l'application	49
4.3.3	Déroulement d'une session	50
4.3.4	Particularités de DUFFY	50
4.4	Application DUFFY-STI	54
4.4.1	Architecture du système	54
4.4.2	Le module d'interface	55
4.4.3	La base de connaissances	56
4.4.4	Le modèle de l'apprenant	57
4.4.5	Le module de réaction	58
4.5	Le problème flou	59
4.5.1	Quantification floue du problème	61
4.5.2	Établissement des règles	63
Chapitre 5	<i>Résolution de la matrice M, et validation des résultats</i>	64
5.1	Introduction	65
5.2	Résolution de la matrice M	65
5.2.1	Résolution exacte de M par usager	67
5.2.2	Résolution de M par régression	68
5.3	Validation des matrices résultats	69
5.3.1	La fluctuation des couples émotionnels contre la performance	70
5.3.2	Erreurs sur les différents M	72
Chapitre 6	<i>Conclusion</i>	76
	<i>Bibliographie</i>	82
Annexe 1	<i>Code C et comportement de P_e</i>	87
Annexe 2	<i>Code java de la fonction qui retourne le facteur de déception dd</i>	88
Annexe 3	<i>Code Java du problème du pivot de Gauss</i>	90
Annexe 4	<i>Exemple des valeurs des coefficients de la matrice de calcul M</i>	93
Annexe 5	<i>Résultat de la deuxième partie de Duffy</i>	94
Annexe 6	<i>Exemples de questions, de réponses et d'explications extraites de la base de connaissances utilisée dans DUFFY – STI</i>	96

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Cycle motivation-performance-confiance	4
Figure 2.	Architecture classique des STI.....	10
Figure 3.	Aperçu de KidSim.....	14
Figure 4.	Compétences d'un agent suivant la classification d'IBM	18
Figure 5.	Architecture conceptuelle d'un agent	19
Figure 6.	L'architecture d'un acteur synthétique par Hayes-Roth [Hayes-Roth, 1995]	28
Figure 7.	Extrait d'une scène du théâtre virtuel par Hayes-Roth en 1997.....	30
Figure 8.	L'architecture de l'agent du projet OZ présenté par Bates [Bates, 1991].....	31
Figure 9.	L'interface de ALIVE par Maes au AAAI-94 Art Show, Seattle	33
Figure 10.	Steve devant la console typique HPAC d'un navire de l'armée navale américaine	38
Figure 11.	Adele devant un patient	39
Figure 12.	Modèle d'apprenant émotif	45
Figure 13.	Interface Duffy qui nous a permis de capter les émotions humaines	50
Figure 14.	Architecture de la deuxième partie DUFFY-STI	55
Figure 15.	Interface de Duffy STI.....	56
Figure 16.	Les courbes Joyeux, Indifférent et Triste du couple (Joy, Distress).....	62
Figure 17.	Les couples émotionnels vs la performance de l'apprenant	71
Figure 18.	STI émotif vs STI régulier en fonction du niveau de connaissances de l'apprenant.....	80

LISTE DES TABLES

Table 1. Attributs des agents.....	17
Table 2. Classification d'Elliot (1992) basée sur les travaux d'Ortony (1988)	24
Table 3. Valeurs expérimentales du facteur de déception d_d	53
Table 4. Les 5 couples émotionnels retenus	60
Table 5. Exemple de la table des valeurs des courbes	61
Table 6. Associations couples émotionnels / couples de réaction	63
Table 7. Comportement des couples émotionnels selon le jugement humain	70

Chapitre 1

Introduction

“...Software agents have been proposed as one mechanism to help users deal with work and information overload”

Pattie Maes, 1995

Les travaux décrits dans ce mémoire ont été réalisés dans le cadre d'une recherche universitaire financée par le centre de recherches et d'excellence "TELELEARNING" du Canada. Notre projet consistait à doter des agents d'un Système Tutoriel Intelligent d'une couche émotive, pour les rapprocher de plus en plus des pédagogues humains et mesurer les conséquences de ce travail sur l'amélioration du STI. Ce chapitre consiste en une introduction à ce projet. Nous y exposerons également l'idée se profilant à l'arrière de ce travail, la problématique ainsi que le contenu du mémoire, tout en essayant tout d'abord d'en dégager le besoin.

Une grande partie de l'Intelligence Artificielle (IA) se concentre sur l'étude et l'explication de l'intelligence naturelle. En analogie, la Vie Artificielle (VA), une discipline relativement moins connue, a pour but d'étudier la vie. Chris Langton [Langton, 1999] du "Santa Fe Institute" [SantaFe, 1999] à New Mexico (un pionnier de la Vie Artificielle), raconte que cette dernière touche à différents domaines comme l'évolution artificielle, les écosystèmes artificiels, l'évolution moléculaire et beaucoup d'autres. Ce qui nous intéresse est le fait que les deux disciplines (i.e. IA et VA) partagent l'intérêt de synthétiser des agents autonomes. Plusieurs visionnaires dans la technologie de l'information estiment que ces agents font et feront le sujet de différents travaux de recherche et d'applications industrielles. Nous citons, à titre d'exemple, Wooldridge et Jennings, qui se sont basés sur une étude de la firme de consultants "Ovum" [Ovum, 1995] pour conclure que l'industrie de la technologie des agents a généré et générera de revenus mondiaux de 3.5 milliards de dollars à la fin du siècle dernier et au début du nôtre [Wooldridge & Jennings, 1995].

Suite à ces études prometteuses, plusieurs chercheurs, tant industriels qu'universitaires, prennent très au sérieux le développement de cette nouvelle technologie. Et ce domaine est désormais connu sous le nom d' "Agents Autonomes" [Maes, 1994]. Comme dans toute nouvelle discipline, la divergence d'opinion et le manque de formalisme y règne à plusieurs niveaux. Le but de la technologie des agents semble être la seule chose sur laquelle tout le monde semble d'accord : créer des "entités" qui, finalement, serviront à réduire la surcharge de travail et d'informations des humains [Maes, 1995].

Les agents évoluent vite. Il n'y a pas si longtemps (années 80), les agents autonomes étaient des entités passives (qui passent rarement ou jamais à l'initiative) et réactives (qui attendent une intervention extérieure, souvent celle d'utilisateurs humains, pour agir) [Maes, 1995]. De nos jours, et suivant la nature de l'environnement qu'ils habitent et les tâches qu'ils sont censés accomplir, plusieurs formes d'agents existent; et ces agents ont évolué dans le but couvrir des aspects plus "intelligents"; comme la connaissance, le raisonnement, l'adaptabilité, et l'apprentissage. Par exemple, l'agent

du monde physique est un robot [Murphy & Hershberger, 1996], auquel on a assigné des tâches de surveillance, d'exploration et d'autres aspects jugés dangereux pour les humains. De nos jours, le web est "peuplé" d'agents de recherche, des agents de filtrage d'informations. Certaines formes de divertissements, comme les jeux vidéo, les jeux basés sur la réalité virtuelle etc. comprennent une forme ou une autre d'un acteur jouant un rôle dans un environnement simulé ; c'est un agent. L'apprentissage assisté par ordinateurs est de plus en plus associé à des acteurs intégrés dans des applications (Systèmes Tutoriels Intelligents) [Abou-Jaoude & Frasson, 1998] jouant un rôle selon une certaine stratégie (Stratégie Tutorielle); Ces derniers peuvent être des agents pédagogiques.

L'application des agents dans les STI est le domaine qui nous intéresse.

En effet, au laboratoire HERON [HERON, 2000] à l'Université de Montréal, les intérêts de recherche se sont concentrés sur les STI et notamment le fait de les rendre plus efficaces. Dans ce but, plusieurs axes de recherche doivent être poursuivis:

- le modèle étudiant: Modéliser les apprenants humains en construisant des modèles d'apprenants performants qui représentent plus complètement les usagers [Lefebvre et al., 1996].
- le curriculum: Organiser et structurer la matière à assimiler pour faciliter l'apprentissage des usagers [Rouane & Nkambou, 1997].
- les stratégies tutorielles: Créer de nouvelles stratégies coopératives [Aïmeur et al., 1995], [Frasson & Aïmeur, 1996], améliorer les stratégies existantes et introduire la sélection de stratégie dans une session [Abou-Jaoude & Frasson, 1998a].

Une analogie simple (entre les pédagogues humains et les STI) signale un problème majeur dans les STI; le manque des aspects humains (tempérament, caractère, incertitude, actions nuancées, etc.) des différents acteurs (tuteur, perturbateur, compagnon, etc.) qui "peuplent" le STI [Abou-Jaoude & Frasson, 1998b]. Selon Clark Elliot [Elliot, 2000], les aspects humains dotent les tuteurs d'une flexibilité et d'une « souplesse » uniques. Et le manque de ces données dans les STIs aboutit à un manque de crédibilité du système, et par la suite un manque de motivation et d'enthousiasme

chez les apprenants humains [Elliot et al., 1999]. **La motivation de l'apprenant est vitale.** Selon Frasson [Frasson, 2000], la motivation influence directement la performance et constitue un "nœud" principal dans le triangle motivation-performance-confiance [Frasson & Aïmeur, 1996] (voir figure 1), [Lalonde et al., 1997].

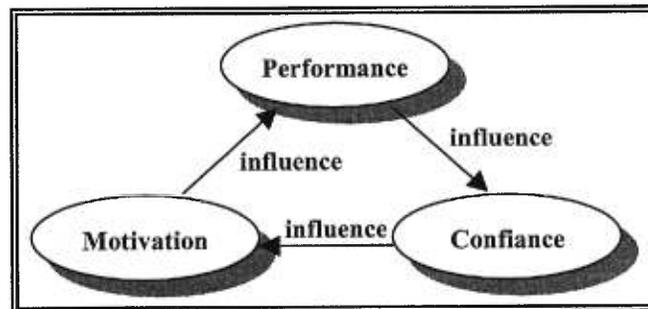


Figure 1. Cycle motivation-performance-confiance

Elliot va plus loin pour relier les émotions à la performance des apprenants. Nous citons "La motivation est un ingrédient clef dans l'apprentissage, et les émotions jouent un rôle important dans cette dernière. Du fait que les bons tuteurs humains motivent mieux les apprenants, les agents pédagogiques pourront être de meilleurs tuteurs si on leur donne la capacité de présenter et de comprendre les émotions. Les agents émotifs peuvent se montrer concerné par le progrès de l'étudiant, ils sont sensibles aux émotions des usagers, ils peuvent montrer de l'enthousiasme envers le sujet qu'ils présentent, et leurs personnalités riches peuvent simplement leur permettre de rendre l'enseignement plus intéressant" [Elliot et al, 1999]. Mais Elliot n'est pas le seul. Plusieurs études conduites par James Lester, Lewis Jonhson etc. (dans [Lester & Stone, 1997] [Lester et al, 1997] [Rickel & Johnson, 1997]) montrent que l'agent émotif favorisera l'apprentissage si les deux buts suivants sont atteints :

- **Rendre les personnages et la matière plus intéressants** : Les agents non-émotifs sont pour la plupart du temps prévisibles; tandis que les agents émotifs peuvent simuler des personnalités riches qui intriguent les usagers et par la suite les motivent donc mieux. Aussi, la variation et la flexibilité au niveau de la présentation de la matière et de la communication avec les apprenants que l'agent émotif peut offrir, créent des contextes d'apprentissage riches.

- **Représenter plus complètement l'apprenant.** Un modèle d'apprenant éprouvant des émotions peut offrir une représentation plus complète de l'apprenant humain. Le système va donc en profiter, (en lisant ces émotions), pour bien synchroniser ses interactions avec l'utilisateur.

Suite à tout ceci et toujours dans le but d'améliorer la performance d'un STI, nous avons eu l'idée d'intégrer dans ce dernier certains aspects humains, en développant une théorie de quantification et de variations des émotions. Plus précisément, nous proposons de créer un STI contenant un modèle d'apprenant possédant une couche émotive (voir définition de la couche émotive dans le chapitre 4) et un agent tuteur qui "comprend" les émotions, ou simplement un agent émotif (voir le chapitre 4 pour notre définition d'agent émotif).

Créer un agent émotif n'est toutefois pas si évident. Les caractères, les émotions et les humeurs touchent à la science psychologique (une science moins objective que ses sœurs), et à la nature humaine, un aspect qui reste encore à explorer et à comprendre. Malgré tout, nous avons réussi à bien avancer et présenter nos travaux dans plusieurs conférences qui traitent de l'Intelligence Artificielle. Nous notons : NTICF'-98¹ [Abou-Jaoude & Frasson, 1998a], ITS 98² [Abou-Jaoude & Frasson, 1998b] et AI-ED99³ [Abou-Jaoude et al, 1999] [Abou-Jaoude & Frasson, 1999]. Ce succès est dû au fait que dès le début de notre travail, la formulation du problème et les buts à atteindre ont été bien définis.

En effet, notre idée de base est partie des deux points suivants :

- Un agent émotif doit soit avoir un état émotionnel, soit savoir interpréter l'état émotionnel d'autrui, exactement comme un humain.
- L'intensité des composantes de cet état varient suivant l'interaction de cet agent avec son entourage, toujours comme un humain.

Par la suite, notre démarche a été celle-ci:

¹ Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication dans les Formations d'Ingénieurs et dans l'Industrie, 1998, Rouen, France

² Intelligent Tutoring Systems 1998, Workshop on Pedagogical Agents, San Antonio, Texas

³ Artificial Intelligence in Education 1999, Le Mans, France

- Décider ce qui constitue un état émotionnel et quels sont les facteurs qui l'influencent.
- Représenter cet état et ses facteurs en formes et entités calculables, pour pouvoir les ajouter au modèle de l'apprenant à travers la couche émotive.
- Enfin intégrer tout ceci dans un STI en le dotant d'un tuteur qui interprète cet état et procéder à suffisamment de tests pour conclure si l'ajout des composantes émotives améliore la performance des usagers.

Est-ce que nous avons réussi à créer un agent émotif ? Complètement, partiellement ou pas du tout ?

La réponse à cette question ainsi que nos travaux et nos tests sont présentés dans le reste de ce mémoire, organisé de la manière suivante:

Dans le chapitre qui suit, nous présentons les agents autonomes; nous débutons par une brève introduction aux STI (une introduction qui nous semble nécessaire du fait que ces derniers sont le contexte dans lequel notre agent va exister). Nous exposons les différentes définitions données aux agents par différents groupes de recherches, puis adoptons la définition qui nous semble la plus correcte des agents à ce jour. Ensuite, nous présentons les attributs associés aux agents et une classification intéressante introduite par des chercheurs de la compagnie IBM. Enfin, nous exposons l'architecture d'un agent.

Une fois la grande famille des agents autonomes introduite, nous passons, dans le chapitre trois, à une sous-classe des agents autonomes ; les agents à caractère, appelés aussi affectifs, émotifs ou même "believable agents" (dans le cadre de ce mémoire, nous ne distinguons pas les différentes terminologies citées. Bien que dans d'autres contextes, une distinction s'avère parfois nécessaire). Dans ce chapitre nous parlons des différents groupes qui se sont intéressés à ces agents ainsi que de leurs travaux.

Dans le chapitre quatre nous exposons notre théorie des émotions et ses composantes. Nous présenterons aussi, les deux parties de notre projet DUFFY et DUFFY-STI.

Dans le chapitre cinq, nous finalisons notre modèle en résolvant pour les variables proposées auparavant (chapitre 4), et nous passons aussi à valider les résultats obtenus.

Finalement, dans la conclusion nous présentons les limites et les problèmes rencontrés ainsi que des idées pour des futurs projets.

Chapitre 2

Les agents autonomes

“When Garry Kasparov faced off against an IBM computer in a celebrated chess match, he wasn't just after more fame and money. By his own account, the world chess champion was playing for you, me, the whole human species. He was trying, as he put it shortly before the match, to help defend our dignity.”

Robert Wright, 1996

De nos jours, les recherches et développements concernant les agents intelligents et les systèmes multi-agents sont parmi les domaines les plus croissants dans l'informatique. Malheureusement, tout comme la technologie de l'orienté objet, il y a à peine une décennie que les chercheurs se sont mis d'accord sur des questions de base, telle que “ qu'est-ce qu'un agent ?” ! De nouvelles définitions et systèmes semblent apparaître en une semaine pour disparaître la semaine suivante. Les journalistes qui poursuivent les nouvelles technologies se complaisent dans le fait que les conférences qu'ils suivent présentent une collection de sujets apparemment non reliés suivant les concepts et les termes.

2.1 Introduction

D'année en année, les chercheurs en agents autonomes leur ont attribué plusieurs définitions. Chacun voit l'agent autonome différemment. Bien que chaque définition couvre une certaine caractéristique bien précise de l'agent, aucune n'a réussi à définir l'ensemble du domaine. Certains programmes ont été appelés "agents" simplement parce qu'ils étaient capables de s'exécuter de façon continue ou parce qu'ils servaient de médiateur entre l'homme et certains programmes ou encore parce qu'ils jouaient le rôle d'assistant "intelligent" pour leurs utilisateurs ou parce qu'ils pouvaient se déplacer de façon autonome d'une plate forme à une autre, etc. Dans le monde formel de la science informatique, ceci semble un peu étrange. Dans l'article "Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents" Franklin and Graesser [Franklin & Graesser, 1996] nous expliquent la difficulté chez les gens à distinguer un agent d'un programme simple. La nuance qui sépare ces deux derniers n'est pas toujours évidente. En se basant sur des définitions antérieures, les auteurs proposent une définition (qu'ils qualifient de formelle) des agents autonomes permettant de mettre clairement en évidence la différence qui les sépare d'un simple programme. En réalité, plusieurs études ont essayé de traiter l'ambiguïté qui règne dans ce domaine au niveau des spécifications. La plupart de ces études attribuent celle-ci à deux causes majeures:

Le monde des agents est lui-même flou : Russel et Norvig [Russel & Norvig, 1995] interprètent ceci en disant que l'agent est conçu comme un outil pour analyser des systèmes et non pas comme une classification absolue qui divise le monde du logiciel en agent et non-agent. A ceci, ils ajoutent que seules les notions mathématiques peuvent créer une classification aussi précise, ce qui n'est pas le cas des agents actuels qui existent dans le monde réel; un monde où les concepts aboutissent à des classifications floues.

La définition qui sert une idée : Assez souvent, les chercheurs ont formulé et défini l'agent, chacun selon son usage et de façon à servir ses propres besoins. Ces définitions varient de la plus simple à la plus compliquée.

Mais avant d'aller plus loin avec les agents, nous aimerions exposer brièvement aux lecteurs les Systèmes Tutoriels Intelligents (STI), car toute notre théorie sur les émotions évolue autour deux entités (tuteur et modèle d'apprenant) implantées dans un STI.

2.2 Aperçu des Systèmes Tutoriels Intelligents

Les progrès réalisés en Intelligence Artificielle et le développement d'outils qui y sont associés ont permis à plusieurs laboratoires de recherches de réaliser des systèmes d'Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur (EIAO) ou des Systèmes Tutoriels Intelligents (STI) qui comblent certaines lacunes des systèmes conventionnels des systèmes d'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO). Les systèmes d'EAO, appelés aussi didacticiels, ont été une "déception" pour les milieux pédagogiques. Ceci a été attribué à deux causes : d'une part, les systèmes n'ont pas atteint les performances réelles d'un pédagogue et d'autre part, ils sont mal adaptés aux besoins des usagers [Lupascu, 1997].

Plusieurs définitions ont été attribuées aux STI dans la littérature. Certaines de ces définitions visent le côté du diagnostic cognitif des actions de l'apprenant et la correction de ses fautes, d'autres insistent sur la présentation des activités pédagogiques et de l'environnement d'apprentissage, etc.

Un système tutoriel intelligent est un système ayant comme but de présenter la connaissance de façon claire, simple et accessible en faisant intervenir des éléments médiatiques pour essayer de placer l'apprenant dans un environnement cognitif lié au domaine d'apprentissage [Shiri, 1997]. Selon Frasson, un STI est aussi un système à base de connaissances dédié à l'enseignement et à la formation d'apprenants [Frasson & Gauthier, 1990]. Ces deux définitions s'appliquent à l'EAO en général. Mais, les deux auteurs continuent dans leurs documents pour présenter les aspects intelligents, tels que les stratégies tutorielles riches et variées, les aspects adaptatifs qui varient l'approche suivie d'un apprenant à l'autre, et la modélisation plus complète des apprenants, etc.

Les STI apparaissent comme des systèmes monolithiques, mais du point de vue conceptuel et architectural, ils sont constitués de plusieurs modules. L'architecture d'un

STI doit inclure au moins trois modèles essentiels et une interface de communication avec l'apprenant [Lupascu, 1997].

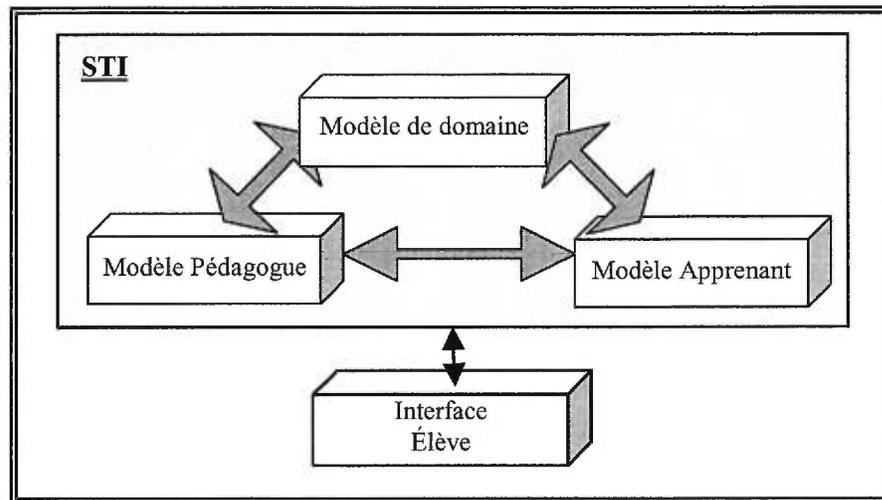


Figure 2. Architecture classique des STI

Le modèle du domaine : Il contient les connaissances enseignées par le système. Ces connaissances doivent être représentées de façon à être accessibles à toutes les composantes du système. Le module du domaine permet au STI de résoudre les problèmes que le système pose à l'étudiant, à fin de pouvoir interpréter les réponses de ce dernier.

Le modèle pédagogique ou modèle tuteur : Il contient les règles et les bonnes pratiques pédagogiques. Il représente la composante principale d'un STI et gère le fonctionnement global du système. Il décrit les stratégies d'apprentissage permettant de planifier le travail de l'élève, de répondre de façon appropriée à ses questions et de corriger ses erreurs. Toute décision pédagogique sera adaptée aux besoins et au profil de l'apprenant.

Le modèle de l'apprenant : Il représente l'état des connaissances de l'étudiant. Dans ce modèle, on enregistre les informations spécifiques à chaque apprenant. Ces informations indiquent comment ce dernier réagit aux notions enseignées. Il peut aussi contenir les fausses conceptions de l'apprenant.

Interface élève : Ce module gère le dialogue avec l'apprenant. Il est aussi appelé "*module de communication*". Il doit refléter la stratégie pédagogique utilisée. Une interface pauvre et mal structurée influence négativement l'étudiant; par contre, une interface bien conçue l'améliore considérablement.

Dans le domaine de l'apprentissage assisté par ordinateur, les agents autonomes deviennent de plus en plus des compléments essentiels pour les STI. En effet, le mouvement des systèmes tutoriels intelligents vers l'incorporation des agents pédagogiques a commencé il y a environ dix ans, quand les chercheurs ont commencé à explorer de nouveaux types d'interactions entre les ordinateurs et les étudiants. Chan [Chan & Baskin, 1990] a développé un compagnon d'étude simulé, qui agit en tant que compagnon au lieu d'un professeur (voir aussi [Frasson & Aïmeur, 1996]). Dillenbourg [Dillenbourg, 1996] a étudié l'interaction entre de vrais étudiants et des étudiants simulés par ordinateur comme processus social de collaboration. Chan [Chan, 1996] a étudié d'autres types d'interactions entre les systèmes d'étudiant et informatiques, tels que des concurrents (voir la stratégie du perturbateur [Aïmeur et al., 1995], [Frasson & Aïmeur, 1996]) ou des précepteurs réciproques. L'introduction des agents pédagogiques dans les STI actuels a permis de développer plus loin la notion des systèmes d'apprentissage avec les agents, en plaçant des étudiants et des agents pédagogiques dans des environnements interactifs riches et en élargissant la largeur de bande de l'interaction entre les étudiants et les agents.

Toutefois, un agent pédagogique est une branche des agents autonomes. Dans le reste de ce chapitre, nous allons essayer de présenter cette notion d'agent autonome.

2.3 Les différentes définitions attribuées aux agents

Ces différentes définitions introduisent certains aspects des agents permettant de mieux comprendre ce que le concept d'agent renferme, et de mettre en valeur les caractéristiques de chacun selon l'environnement dans lequel il se trouve. Par la suite, les attributs communs à ces définitions seront présentés dans la section 2.4, tout comme les principales différences entre programme et agent.

L'agent Mubot [Mubot, 1995] "Le terme agent est utilisé pour représenter deux concepts orthogonaux d'une entité: Le premier étant la capacité de cette entité à exécuter des tâches de façon autonome; le deuxième, sa capacité de raisonner dans son propre domaine". À titre d'exemple, l'assistant syntaxique de Microsoft Word est un simple exemple d'agent : de façon autonome, il analyse les mots tapés et souligne ceux qui lui sont inconnus. Dans ce cas, il doit avoir des connaissances dans le domaine de la langue correspondante et la manière dont il faut écrire chaque mot.

Donc, l'exécution des tâches, l'autonomie et le raisonnement sont des aspects d'un agent. Plus spécifiquement, l'autonomie est le fait que les agents opèrent sans interventions directes des humains tout en ayant un contrôle sur leurs actions. Reilly et Bates [Reilly & Bates, 1992] ont travaillé sur les agents autonomes. Ces derniers ont créé un environnement dans lequel des agents sont des enfants échangeant des cartes de baseball. Reilly et Bates ont bien réussi à dégager la notion de l'autonomie chez les agents. La seule chose contrôlée par les humains était le but (chaque agent cherche à avoir le meilleur échange possible), mais ce sont les agents qui choisissent leurs actions, leurs approches, leurs stratégies, leurs offres, leurs comportements, etc. L'autonomie est l'une des notions les plus importantes de l'agent. De nos jours, on ne parle presque plus d'agent non autonome. À titre indicatif, un agent de recherche sur le Web non autonome, qui attend les interventions humaines pour réagir, est presque inutile. Cet agent doit, d'une façon autonome, se déplacer, chercher, analyser, filtrer, sauvegarder,... les informations.

Les agents mobiles représentent une certaine extension des agents autonomes puisqu'ils doivent eux-mêmes décider quand, comment et où se déplacer. L'approche MuBot est une approche basée sur l'utilisation des fonctionnalités de ces agents mobiles pour échanger des informations entre plusieurs plates-formes.

L'agent Aima [Russel & Norvig, 1995] "Un agent est toute entité qui peut percevoir son environnement à travers des capteurs et agit sur ce même environnement à travers des effecteurs." La définition d'Aima introduit les notions d'environnement, de perception et d'action. L'environnement est le contexte où l'agent existe. Souvent, on parle du monde de l'agent ou micro-monde. Dans l'exemple précédent, le monde était une cour de jeu dans une école où les enfants faisaient leurs échanges. Pour un agent de recherche sur l'Internet, le monde est tout le web. La perception est la capacité de l'agent à surveiller le monde qui l'entoure et à capter les changements qui y prennent place. L'action, représente la capacité de l'agent de réagir vis à vis des changements qui surgissent dans son environnement. Dans ce cas, l'agent capte, non seulement, les différentes actions de son entourage mais, est en plus, capable de les modifier selon le besoin.

L'agent GIA [Cheikes, 1995] "Un agent est un programme qui communique par le moyen de messages encodés à l'aide d'un langage de communication d'agents." Ici, une notion importante est introduite : la communication entre les agents et le langage de communication entre agents. En effet, plusieurs langages de communication entre agent ont été introduits (i.e. KQML "Knowledge Query and Manipulation Language" [Finin et al., 1994], ACL "Agent Communication Language" [Cheikes, 1995]). La communication entre les agents est souvent aussi associée à l'habileté sociale, un attribut qui présente une controverse. Bien que Wooldridge considère essentiel ce dernier attribut, plusieurs systèmes fonctionnent toujours en mode mono-agent [Huffman, 1994].

L'agent Maes [Maes, 1995] "Les agents autonomes sont des systèmes qui habitent des environnements dynamiques complexes. Ils sont capables de détecter tout changement dans leur environnement et de réagir, de façon autonome, en réalisant des tâches afin d'atteindre les buts pour lesquels ils ont été conçus." L'agent de Maes sera présenté en

détail dans le chapitre trois. De plus, la définition que nous adoptons est bien inspirée de cette dernière.

L'agent KidSim [Smith et al., 1994] "Nous définissons un agent comme étant une entité logicielle persistante possédant des buts bien précis." La notion de la persistance est introduite ici. Bien que Smith parle de la persistance de l'agent comme attribut essentiel, plusieurs chercheurs réclament que ce dernier soit implicitement représenté dans l'autonomie [Wooldridge & Jennings, 1995].

Kidsim est un jeu pour les enfants ; il leur permet de créer leurs propres mondes tout en leur laissant la liberté d'inventer et de manipuler leurs propres éléments. C'est un outil qui leur permet de construire des simulations symboliques. Ils peuvent modifier la programmation des simulations des objets existants et en définir de nouvelles grâce aux agents.

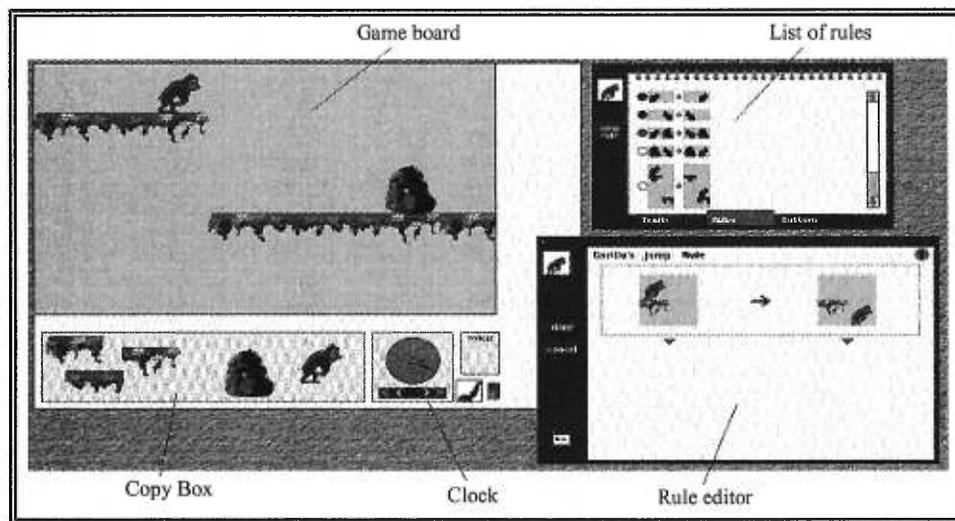


Figure 3. Aperçu de KidSim

Le "game board" représente la simulation du micro-monde de l'enfant. C'est l'environnement dans lequel les simulations des objets interagissent. La montre «clock» permet de définir le début et la fin d'une simulation. Le «copy box» est une source de simulation d'objets : l'enfant peut mettre ses propres objets dans le «copy box» et les dupliquer autant de fois qu'il le désire.

En réalité, les objets actifs dans ces simulations sont des agents. Après chaque seconde, les agents vont entrer en action sur le "game board" et vont interagir entre eux. Les agents de KidSim possèdent trois attributs majeurs : une apparence physique (les enfants peuvent présenter leurs objets aux agents suivant différentes formes), des propriétés (les enfants peuvent définir leurs propres données et caractéristiques pour les agents) et des règles (les enfants peuvent aussi préciser les règles de comportement de l'agent, l'ensemble de ces règles constitue le programme de ce dernier).

L'agent Hayes-Roth [Hayes-Roth, 1995] " Les agents intelligents accomplissent continuellement trois tâches : Une perception des conditions dynamiques de l'environnement qui les entoure, des actions qui affectent les conditions de cet environnement et un raisonnement qui permet d'interpréter cette perception, de résoudre des problèmes, de choisir des inférences et de déterminer des actions." L'agent de Hayes-Roth sera aussi présenté en détails dans le chapitre suivant (voir chapitre 3).

L'agent d'IBM [IBM, 1995] "Les agents intelligents sont des entités informatiques qui effectuent une série d'opérations au nom d'un usager ou d'un autre programme, avec un certain degré d'autonomie et d'indépendance. Et en faisant ceci, ils font recours à des connaissances disponibles et à une modélisation quantitative des buts de l'usager." IBM parle aussi d'autonomie et d'indépendance comme aspect important de l'agent. Il est présenté comme une secrétaire qui connaît les besoins de son directeur et qui possède une certaine représentation de ces derniers.

Les différentes définitions proposées à présent varient des plus simples au plus élaborées. La définition des agents autonomes qui nous semble la plus expressive est très proche de celle adoptée par Maes. Nous trouvons que :

"Un agent est un système adaptatif déterminé à achever des buts bien précis. Il sent son environnement et y agit de façon autonome et permanente."

La première notion introduite est la **permanence** (de façon permanente). Un agent est toujours présent pour agir ou réagir. La deuxième notion est l'**autonomie** (de façon autonome), elle se définit par la capacité de l'agent d'agir sans interventions extérieures (cet attribut est présent dans plusieurs programmes aussi). La **faculté d'apprentissage** (un système adaptatif) c'est que l'agent doit être capable de bien analyser tout changement apporté à son environnement, et être en mesure de mettre à jour ses connaissances du domaine et les rectifier quand il le faut. Une autre caractéristique des agents est la «dégradation élégante» (déterminé à achever des buts) que Maes a souligné dans l'article "Modeling Adaptive Autonomous Agents" [Maes, 1994]: Lorsqu'un élément de l'agent se présente devant l'impossibilité d'achever son but, l'agent restera capable d'agir malgré une réduction de ses performances.

Ce nouveau monde d'agent, tel qu'il a été défini, renferme un assez grand nombre de spécifications. Ce qui nous mènera à étudier, dans la partie suivante, les principaux attributs et caractéristiques que les agents ont déjà connus.

2.4 Les attributs des agents

On a déjà vu que les agents, au cours de leur évolution, ont connu plusieurs définitions et plusieurs attributs. Il est clair, d'après ces définitions, qu'un agent peut être vu suivant différents aspects : c'est un délégué qui connaît les besoins de son usager, il fonctionne de façon autonome à l'intérieur de son environnement, il communique avec son usager ou avec d'autres agents, tout comme il peut raisonner, interpréter, apprendre, etc...

D'après Wooldridge et Jennings [Wooldridge & Jennings, 1995], un agent doit posséder les quatre attributs essentiels suivants : l'autonomie (fonctionner sans intervention humaine), les habiletés sociales (il possède un langage de communication à travers lequel il communique avec les autres agents), la réactivité (il est capable de percevoir son environnement et de réagir aux changements effectués) et l'initiative (il peut prendre l'initiative d'agir afin de réaliser certains buts).

L'attribut permanence a été ajouté à cette liste d'attributs par Franklin et Graesser. [Franklin & Graesser, 1996]

Un agent peut posséder d'autres attributs facultatifs [Wooldridge & Jennings, 1995] tels que la mobilité (habileté à se déplacer d'une plate-forme à une autre), la véracité (validation des informations transmises), la bienveillance (pas de buts conflictuels, et tenter toujours de faire ce pourquoi il a été conçu) et la rationalité (chercher à atteindre ses buts).

La table 1 groupe ces différents attributs. Certains agents peuvent posséder des caractéristiques affectives. Ces dernières seront vues dans le chapitre suivant.

Les attributs facultatifs permettent de classer et/ou classifier les agents : on parle d'agent adaptatif lorsqu'il possède l'attribut d'adaptabilité, et d'agent à caractère lorsqu'il s'agit d'agent affectif ou émotif, etc.

Attributs	Sens
Réactivité *	La perception de l'environnement et la réaction suivant les changements qui y prennent place.
Initiative *	Les agents initient des actions pour arriver à leurs buts.
Autonomie *	Les agents opèrent sans intervention humaine et ont une forme de contrôle sur leurs actions et états internes.
Orientation vers des buts	Les agents n'agissent pas simplement en réaction à leur environnement, ils sont capables d'exhiber des comportements commandés par des buts.
Permanence	Les agents sont des processus continus.
Communication *	Les agents communiquent entre eux et avec d'autres entités suivant un langage de communication.
Adaptabilité	Les agents changent de comportement en se basant sur des expériences antérieures.
Mobilité	Les agents ont la possibilité de se déplacer.
Caractère	Des agents possédant des émotions et des caractères **.
Véracité	L'hypothèse qu'un agent ne va pas consciemment transmettre des informations fausses.
Rationalité	L'hypothèse qu'un agent agira toujours de façon à atteindre ses buts.

* Des attributs essentiels à tout agent

** Attributs qui seront vus en détails dans le chapitre suivant

Table 1. Attributs des agents

Plusieurs autres classifications selon les attributs des agents ont été suggérées. Nous exposons celle proposée par IBM. Cette dernière classe les agents suivant trois paramètres : la mobilité, l'intelligence et l'interaction. [Gilbert et al., 1995]. La figure 4 illustre bien cette classification. Elle permet de situer un agent par rapport aux trois variables déjà considérées.

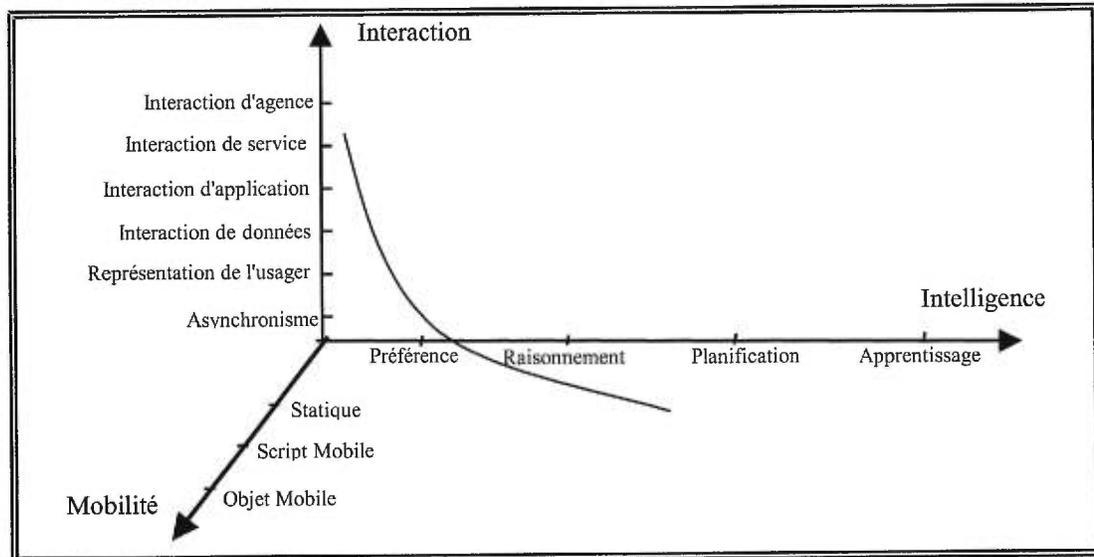


Figure 4. Compétences d'un agent suivant la classification d'IBM

Selon IBM :

- L'**interaction** est le degré d'autonomie et d'autorité de l'agent et peut être mesurée qualitativement par la nature de l'interaction entre l'agent et les autres entités du système.
- L'**intelligence** est le degré de raisonnement de l'agent. Au plus bas niveau, l'agent possède une représentation des préférences de l'utilisateur. Au plus haut niveau, il apprend et s'adapte à son environnement.
- La **mobilité** est la possibilité qu'a l'agent de se déplacer dans un réseau d'ordinateurs. L'agent peut être fixe. Il peut également se déplacer sous forme d'un script ou d'un objet intégrant un ensemble de fonctionnalités.

Ces attributs, que nous venons d'évoquer, donnent aux agents une certaine entité et une structure propre qui sont nettement visibles dans leur architecture générale. Cette dernière sera détaillée dans la partie suivante.

2.5 Architecture d'un agent

Une architecture conceptuelle globale d'un agent a été proposée [Frasson et al., 1996]. Elle est constituée de quatre modules : module de Perception, module d'Action,

module de Contrôle et module Cognitif. Ces derniers sont répartis sur trois couches : couche réactive, couche de contrôle et couche cognitive. Cette architecture est inspirée de celle des Machines de Turing qui sont formées essentiellement des trois premiers modules déjà évoqués ci-dessus. Toutefois, la couche cognitive dans la première architecture n'est pas seulement destinée à résoudre les conflits dans les croyances, mais est capable aussi d'apprendre par expérience. Ce qui constitue un élément important pour mesurer l'intelligence des agents.

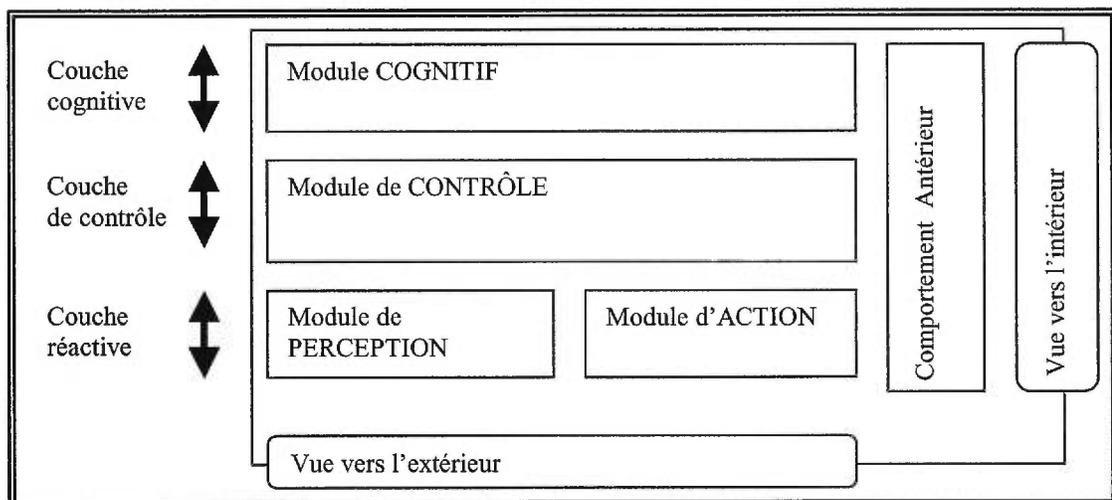


Figure 5. Architecture conceptuelle d'un agent

Un point marquant de cette architecture est que chaque agent a la possibilité d'observer le comportement des autres agents et de suivre la trace de leurs actions à travers sa vue vers l'extérieur. Les autres agents peuvent aussi accéder à ses propres croyances à travers la vue vers l'intérieur et consulter ses modes de fonctionnement. Toutefois, un agent a la possibilité de cacher aux visiteurs une partie de ses croyances, s'il le juge nécessaire.

Le module de Perception détecte le changement dans l'environnement de l'agent et identifie les situations qui nécessitent une intervention. L'environnement est formé des autres agents avec les informations dont ils disposent. Il contient un ensemble de situations typiques. Une situation typique correspond à une certaine condition d'action relativement à un changement bien spécifique de l'environnement. La plupart de ces situations typiques sont définies par le module pédagogique expert ou par le module cognitif.

Le module d'Action regroupe toutes les actions et les fonctions nécessaires pour agir dans l'environnement (afficher une réponse, résoudre un problème, féliciter l'apprenant, le désorienter, etc.). Il contient un certain nombre d'actions prédéfinies que l'agent pourra adopter en réagissant à son environnement.

Le module Contrôle traite les situations qui demandent une planification afin de déterminer l'action à envisager. Le but de ce module est de prendre des décisions permettant de trouver et d'activer les actions convenables à la situation courante.

Le module Cognitif permet à l'agent d'améliorer sa performance suivant plusieurs aspects. Il peut améliorer sa perception, modifier la vue des autres agents sur ses activités intérieures ou bien rectifier sa propre stratégie de raisonnement et ses mécanismes d'enseignement.

Malgré tout, ces propriétés des agents restent insuffisantes. Un certain besoin d'amélioration au niveau des croyances, des aspects sociaux et humains s'avère indispensable. D'où la naissance des agents à caractère qui feront l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 3 Les agents affectifs

“Just because you are a character doesn't mean that you have character.”

Q. Tarantino, 1995

Après avoir présenté les agents autonomes, nous introduisons dans ce chapitre la catégorie d'agents dont Duffy, notre agent, fait partie : les agents à caractère ou émotifs. Les différentes raisons pour lesquelles les agents affectifs aident à améliorer l'apprentissage dans les STI seront aussi exposées. Nous procéderons par une présentation de l'état de l'art de ces agents en évoquant les travaux de certains chercheurs dans ce domaine : Clark Elliot, Barbara Hayes-Roth, Joseph Bates, Scott Reilly, Pattie Maes, James Lester et Lewis Johnson.

3.1 Introduction

L'aspect humain "believability" est un concept qui a toujours été étudié et exploré et ce dans plusieurs domaines (i.e. la littérature, le théâtre, le cinéma, la radio, les médias, etc.). Suivant ces derniers, l'intérêt dans l'aspect humain est reconnu par deux grandes familles : les animateurs et les chercheurs en IA appelés aussi les scientifiques.

On doit beaucoup aux animateurs (i.e. animateur de dessins animés comme chez Disney par exemple), car ils sont les premiers à essayer d'attribuer des caractères humains à des animaux et à des dessins animés. Ils ont cherché à comprendre et à simuler, à leur façon, les différents aspects humains. Ils se sont avérés plus efficaces et plus analytiques que les scientifiques, parce qu'ils avaient à produire l'illusion de la vie en partant de l'animation de dessins inertes sans la participation directe d'acteurs humains.

Les scientifiques, eux, se sont intéressés aux aspects humains des agents, et ont essayé de créer des agents à caractère : des agents ou des créatures envers lesquelles l'utilisateur éprouve une certaine sympathie (un compagnon, un animal domestique, etc.). Ils ont essayé de leur attribuer des qualités humaines tels que le raisonnement, la problématique, l'apprentissage, la formation et autres qualités qui ont rapport avec l'intelligence humaine. Ce sont des agents qui ne sont pas nécessairement honnêtes, sérieux ou fiables, mais qui représentent plutôt un certain aspect de la vie humaine, permettant une suspension provisoire de l'incrédulité de l'utilisateur qui utilise l'application et donnant l'impression de penser, de sentir et de vivre.

Certains chercheurs ont aussi travaillé sur l'intégration des agents émotifs dans les Systèmes Tutoriels Intelligents. Cet aspect sera examiné à travers ce chapitre en présentant les travaux de ces chercheurs.

À travers l'usage des agents affectifs, il a été possible aux STI d'utiliser des techniques qui ont été considérées formellement associées aux tuteurs humains :

- l'engagement et l'enthousiasme de l'étudiant,
- l'évaluation de l'intérêt de l'apprenant, et

- la flexibilité dans la technique de présentation de la matière.

Par la suite, on va introduire les différents groupes de recherches en IA qui se sont intéressés à l'aspect humain et qui ont développé leurs propres agents à caractère.

3.2 Clark Elliot et le raisonnement affectif des agents intelligents

3.2.1 Introduction

À l'Université DePaul, Clark Elliot [Elliot, 2000] travaille sur une plate-forme de raisonnement affectif "affective reasoner" [Elliot, 1997]. En fait, c'est un jumelage entre les agents à raisonnement affectif et les paradigmes d'apprentissage. Cette plate-forme est formée d'un ensemble de modules codés en LISP auxquels on a intégré des aspects émotifs humains suivant lesquels les agents raisonnent.

Selon Elliot, la personnalité d'un agent émotif est formée de deux modules :
une disposition pour évaluer le monde qui l'entoure (ce monde qui entraîne différentes réactions émotives),
un tempérament qui contrôle la façon dont il exprime ses émotions. Il peut "émotivement" réagir suivant différents types d'émotion. Ces derniers font l'objet du paragraphe suivant.

3.2.2 La plate-forme du raisonnement affectif

Dans la plate-forme du raisonnement affectif, certaines situations émotives sont simulées et sont révélées par l'intermédiaire d'agents. Ces derniers sont capables, selon les cas, de présenter plusieurs modèles de personnalités et de refléter différents types d'émotions. Par exemple, pour évaluer le succès d'un apprenant à réaliser une certaine tâche, un agent pourra prendre l'air aimable et éprouver une émotion de joie. Elliot a classé ces émotions suivant 26 différentes catégories d'émotions [Elliot, 1992]. Cette

classification figure dans la table 2. Ils ont été inspirés de la répartition d'Ortony [Ortony et al., 1988]. En effet, 22 de ces types d'émotions ont été évoqués par ce dernier. L'auteur propose trois cas pour lesquels les gens peuvent réagir de façon émotive :

- contre des événements qui les concernent,
- contre des personnes que les gens considèrent comme responsables de ces événements,
- et contre des objets.

Ces trois classes de réactions mènent à trois classes d'émotions. Chacune est basée sur l'évaluation des différentes manières selon lesquelles les connaissances sont représentées. L'auteur propose aussi tout un large intervalle d'émotions, et expose des facteurs concrets permettant d'influencer l'intensité de chacune de ces émotions.

Groupe	Émotion	Groupe	Émotion
Well-being	Joy	Attraction	Liking
	Distress		Disliking
Fortunes-of-Others	Happy-for	Attribution	Pride
	Gloating		Admiration
	Resentment		Shame
	Jealousy		Reproach
	Envy		
	Sorry-for		
Prospect-Based	Hope	Attraction/attribution	Love
	Fear		Hate
Confirmation	Satisfaction	Well-being/Attribution	Gratitude
	Relief		Anger
	Fears-Confirmed		Gratification
	Disappointment		Remorse

Table 2. Classification d'Elliot (1992) basée sur les travaux d'Ortony (1988)

3.2.3 L'intensité des émotions

D'après Elliot, les agents sont donc capables d'éprouver certaines émotions (des modules quantitatifs dans ces agents reflètent des mesures des émotions) classées suivant différentes catégories comme l'amour, l'espoir, la peur, la joie, la gratitude, etc. Dans chaque catégorie, il y a plusieurs degrés et intensités d'émotions. Chaque catégorie d'émotions est associée à un ensemble de 22 variables d'intensité [Elliot & Siegle, 1993]. Des variables (et ceci toujours selon Elliot), comme le degré d'importance d'un certain événement, le facteur de surprise d'un certain acte, l'importance du principe dans lequel cet événement prend place, la distance temporelle qui relie l'agent à l'événement, etc. affectent l'intensité de chaque émotion que l'agent essaye de refléter.

3.2.4 Les humeurs et le tempérament des agents

Une fois que l'émotion se présente, les agents ont approximativement 440 canaux expressifs à partir desquels ils peuvent la révéler. Chaque catégorie d'émotion utilise approximativement 20 de ces canaux [Elliot, 2000]. A titre d'exemple, la colère peut être exprimée, d'un côté, par un simple rougissement (acte involontaire) ou, d'un autre côté, en invoquant une suite d'actes violents prédéterminés (réaction volontaire). Entre ces deux marges se trouvent des actes tels que l'expression verbale (dire quelque chose), ou les refus catégoriques (refuser que tout est faux), etc. Ces canaux d'expressions sont choisis selon le tempérament de l'agent.

3.2.5 Communication des agents émotifs avec les usagers

Les agents d'Elliot sont réactifs et agissent en temps réel : quand un usager parle avec eux, ils répondent immédiatement ; et s'il reste silencieux durant un "long" moment, les agents peuvent s'impatienter et réagir d'une façon ou d'une autre. Ils ont approximativement 70 expressions faciales à leur disposition. (l'agent émotif est représenté par un dessin animé possédant un visage dont les expressions sont bien visibles). Leurs bouches s'articulent, ils sont capables de contrôler la vitesse de la parole selon les cas et les expressions choisies, la taille et la couleur du visage peuvent aussi changer, etc. Les agents utilisent des technologies de textes-paroles pour produire une parole dont ils contrôlent la vitesse, le ton et le volume. Par contre, leur habileté à

reconnaître la parole de l'utilisateur (langue anglaise) est bien limitée jusqu'à présent. Pour enrichir l'interaction interface/utilisateur, des fichiers MIDI ont été installés et pré-catégorisés suivant les émotions.

3.2.6 Tests et résultats du système

En introduisant des composantes affectives dans un système tutoriel, deux grandes questions surgissent :

Complexité vs. Cohérence : Est-ce que la complexité, qui découle de l'intégration de cette plate-forme émotive dans les systèmes d'apprentissage, améliore la performance du système?

Divertissement vs. Apprentissage : Bien que les systèmes tutoriels divertissants sont efficaces et entraînants pour les apprenants, est-il possible de garder la balance entre les principes de divertissement et ceux de la pédagogie sans que cela se fasse au dépend des uns ou des autres ?

Loin de trouver une réponse tranchante à ces deux questions, les chercheurs de l'Université DePaul ont fait des tests à travers lesquels ils ont essayé de valider leurs plates-formes et leurs agents. Ces expériences ont conduit des utilisateurs humains à observer le comportement des agents émotif, et à essayer de suivre et d'analyser les émotions et les intensités que les agents éprouvent vis à vis des situations rencontrées. La grande conclusion d'Elliot était que ces agents sont aussi expressifs et efficaces que les acteurs humains et que les émotions révélées par les agents ont été reconnues par les utilisateurs. L'article "I picked up Catapia and other stories : A multimodal approach to expressivity for emotionally intelligent agents" [Elliot, 1997] présente en détails ces tests avec leurs résultats.

3.3 Le théâtre virtuel de l'Université Stanford

À l'université Stanford, au "Knowledge System Laboratory" une équipe très active sous la direction de Barbara Hayes-Roth [Barbara, 2000] travaille aussi sur l'aspect affectif des agents intelligents dans le contexte d'un "théâtre virtuel" où les agents sont des acteurs qui improvisent leurs comportements.

3.3.1 Improvisations et avatar

L'improvisation est une forme de théâtre virtuel où les acteurs, spontanément et de façon coopérative, génèrent leurs comportements en temps réel, suivant les traits principaux de l'histoire dictés par des contraintes du metteur en scène, des scénarios abstraits prédéfinis [Sweet, 1978], l'audience ou même les autres acteurs présents sur scène [Jonhstone, 1992].

Les improvisateurs sont responsables des détails de leurs performances, ce qui n'est pas le cas du théâtre conventionnel où les acteurs répondent, en respectant le moindre détail, aux exigences du metteur en scène. Les acteurs du théâtre virtuel sont capables d'interagir entre eux mais aussi avec l'utilisateur, de façon interactive, dans le but de produire différentes performances. Grâce à l'improvisation, deux mêmes rôles, ayant les mêmes contraintes, peuvent être joués différemment. Un acteur est soit autonome, soit l'avatar d'un utilisateur. L'acteur autonome reçoit des directives du scénario ou des autres acteurs et décide lui-même de son comportement sur la scène. Un avatar d'utilisateur est largement dirigé par l'utilisateur qui choisit les actions qui doivent être exécutées. Il peut aussi recevoir des directives des autres acteurs.

Les acteurs improvisent leurs actions suivant leurs caractères et leurs personnalités. Par exemple, l'utilisateur peut demander à son avatar de marcher suivant une certaine direction. Mais la façon dont ce dernier l'exécute est dictée par sa personnalité et son caractère : un caractère énergique va courir, tandis qu'un autre, paresseux, va avancer plus lentement.

3.3.2 Architecture d'un acteur

Suivant Hayes-Roth, un acteur est formé de deux entités majeures : un moteur "mind" et un corps "body" (voir figure 6).

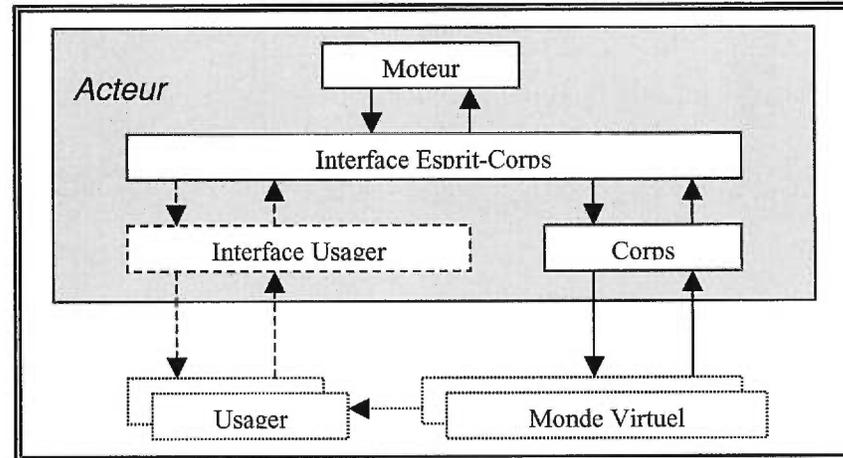


Figure 6. L'architecture d'un acteur synthétique par Hayes-Roth [Hayes-Roth, 1995]

Ces deux éléments sont présentés dans l'architecture introduite par Hayes-Roth et connue sous l'abréviation de BB1 [Hayes-Roth, 1995]. Le moteur va mettre à jour la base de connaissances de l'acteur, il va contrôler ses décisions et demander au corps d'exécuter des actions qui vont modifier le monde virtuel. Le corps correspond à un programme animateur, qui présente des actions ou des textes sur l'écran pour montrer que l'action exigée par l'utilisateur a été exécutée. Le corps permet aussi à l'acteur de «sentir» les événements. Il existe une interface moteur/corps qui leur permet d'échanger des données entre eux. Une autre interface usager/acteur, permet l'échange d'informations entre l'utilisateur et l'acteur.

3.3.3 Le modèle socio-psychologique

À un niveau moins technique, Hayes-Roth définit trois entités qualitatives dans le modèle de l'acteur connu sous le modèle socio-psychologique : les traits de personnalité, les humeurs et les attitudes.

Les traits de personnalité sont des types de comportement et des façons de penser qui déterminent le comportement d'une personne envers son environnement. Ces traits, tels que la confiance en soi, la timidité, etc..., changent en général très peu. Ils constituent

des caractéristiques individuelles pour chaque acteur, ce qui pousse une personne à se comporter différemment des autres [Rousseau & Hayes-Roth, 1997a].

Les humeurs chez Hayes-Roth correspondent, d'une part, aux émotions évoquées par Elliot comme la joie, l'angoisse,... et, d'autre part, aux sensations et aux besoins physiques comme la faim, la fatigue... [Rousseau, Hayes-Roth, 1997b], [Hayes-Roth & Van Gent, 1996]. Même si les émotions sont déclenchées par des événements et que les sensations en sont indépendantes, toutes deux varient en fonction du temps.

Les attitudes caractérisent une relation interpersonnelle. Elles peuvent être variables ou relativement stables, suivant la nature de la relation. Ainsi, en analogie avec le modèle d'Elliot, les attitudes correspondent aux émotions telles que l'"attraction", l'"attribution", etc.. Elles constituent un facteur assez important dans les relations entre les agents i.e. le degré de sympathie, le degré de confiance, etc.

3.3.4 Exemple de scénario

Les travaux et les tests consistaient à créer des agents qui peuvent accompagner des usagers humains dans la découverte du monde virtuel, en simulant des scènes proches de la vie de tous les jours. A titre d'exemple, et pour fixer les idées, nous présentons ci-dessous le déroulement d'un scénario (figure 7) qui regroupe 3 acteurs possédant chacun son propre caractère.

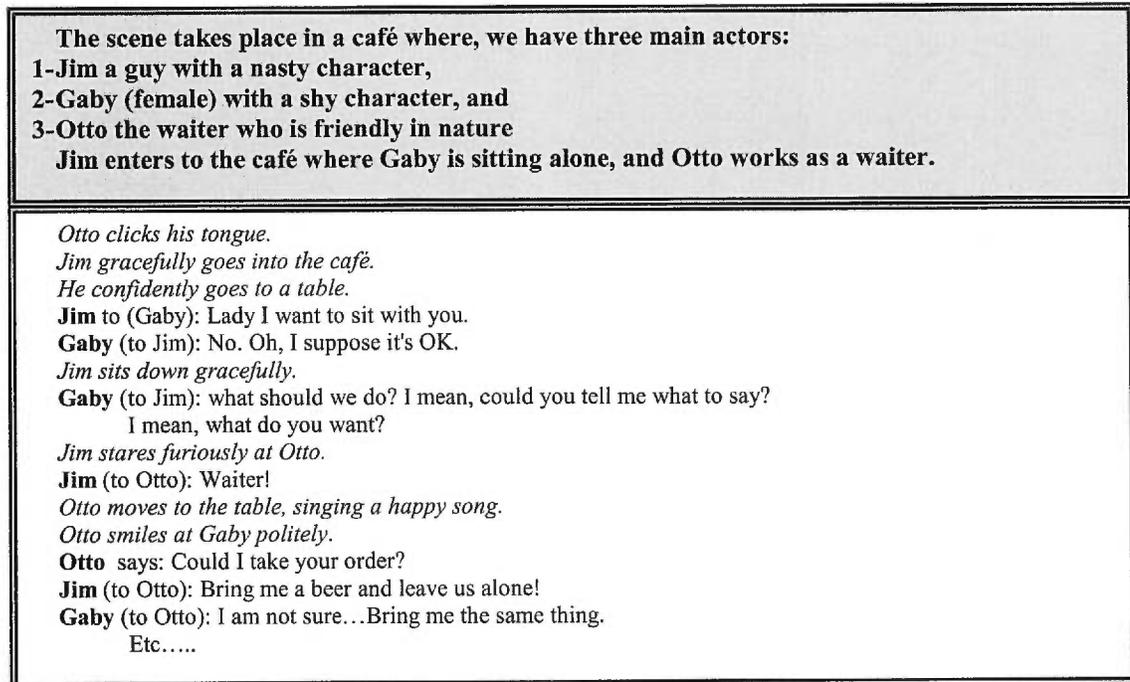


Figure 7. Extrait d'une scène du théâtre virtuel par Hayes-Roth en 1997.

3.4 Le projet OZ de l'Université Carnegie Mellon

Joseph Bates [Bates, 2000] et Scott Reilly [Reilly, 2000] sont deux chercheurs qui travaillent sur les agents à caractère à l'Université Carnegie Mellon. Un projet portant le nom OZ est en développement sous leur direction. Le but de ce projet est de créer des mondes virtuels habités par des agents émotifs, où l'utilisateur peut facilement s'immerger et se laisser entraîner par le contexte général, sans aucune difficulté. Pour cela, ces agents doivent posséder des caractères et des niveaux de compétence émotionnelle assez élevés [Bates, 1991].

Le monde OZ, d'après Bates, doit être composé d'un environnement simulé, des agents qui habitent cet environnement, d'une interface utilisateur permettant à un ou plusieurs utilisateurs d'y participer et d'une certaine théorie prédéfinie concernant le déroulement de la scène dans ce monde.

Pour que l'utilisateur se sente plus proche de la réalité, les agents sont dotés d'une grande capacité pour réagir dans leur environnement et sont chargés d'une vaste connaissance concernant le monde qui les entoure. Ils possèdent une architecture assez structurée et complète. Le concept de l'agent de Bates doit englober entre autres des buts, un comportement réactif orienté vers l'accomplissement de ces buts, un état émotionnel qui va affecter son comportement, une capacité de reconnaissance du langage naturel, une certaine mémoire et une logique d'inférences.

En outre, l'architecture d'un agent est divisé en trois modules (voir figure 8) : un module appelé "Em" responsable des émotions, un module "HAP", responsable des buts et de la réactivité et "GLINDA" un module responsable de la reconnaissance du langage humain (ce module est implicite dans l'architecture)

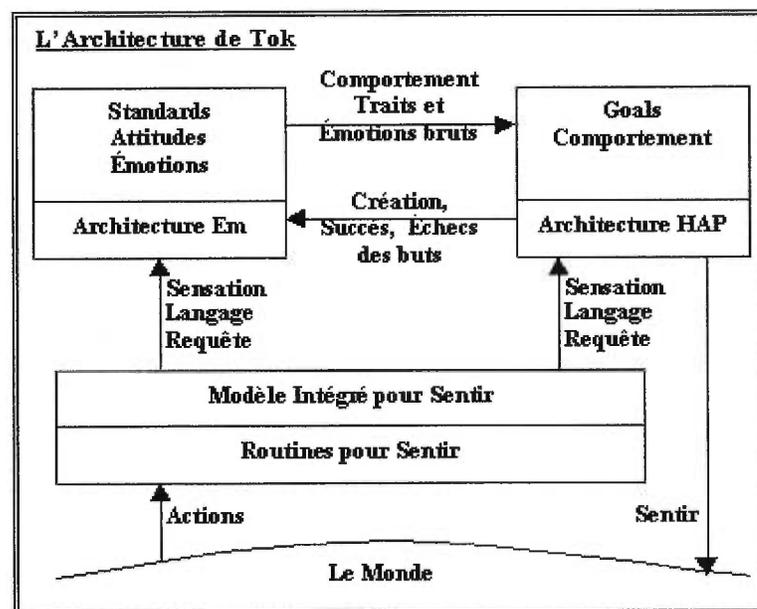


Figure 8. L'architecture de l'agent du projet OZ présenté par Bates [Bates, 1991]

Notre intérêt se concentre sur le module Em et le modèle d'émotions existant dans l'agent.

Au lieu de décrire chaque émotion possible existante, Bates utilise un modèle appelé OCC qui fonctionne suivant une méthode de groupement d'émotions selon leur type. Le type est un "cluster" qui groupe des émotions partageant les mêmes causes. Par

exemple, le type détresse comprend toutes les émotions causées par des événements non plaisants. La détresse inclut des émotions comme la tristesse ou l'angoisse qui diffèrent par leurs intensités et leurs causes. Le modèle OCC suggère que les émotions soient les résultats de trois évaluations subjectives :

- l'évaluation du plaisir de l'événement à travers les buts de l'agent,
- l'évaluation de la nature des actions des agents suivant le comportement standard de la société des agents,
- l'évaluation du but à achever et sa valeur pour l'agent.

Le modèle propose aussi d'autres émotions basées sur des combinaisons.

Les événements représentent des actions réalisées par des agents. Selon les buts de ces derniers, un événement est jugé positif ou non. Les buts représentent tout ce qu'un agent souhaite réaliser. Un but est poursuivi soit de façon active (i.e. je veux manger), soit de façon passive (i.e. je veux que les Canadiens de Montréal gagnent la coupe Stanley en 2000).

Les événements peuvent entraîner des émotions comme la joie ou la détresse avec des intensités variables. Les émotions dépendent de plusieurs facteurs. Le degré de mécontentement vis à vis d'un événement les affectent. Par exemple, l'événement de manger, quand il est un but, est plaisant.

Finalement, Bates a essayé d'inclure dans le système un ensemble de standards qui sert de modèles pour juger les actions. Ces standards représentent les croyances morales pour les agents, comme le bien et le mal (i.e. il ne faut pas frapper les autres agents). Plusieurs modèles ont été réalisés : "Lyotard" (un agent en forme de chat), les créatures de Bates appelées les "Woggles", etc. [Reilly & Bates, 1992].

3.5 Pattie Maes et le projet ALIVE

A l'université MIT, et à la tête d'une équipe bien active, Pattie Maes a développé plusieurs projets relatifs au domaine des agents à caractère. ALIVE ("Artificial Life Interactive Video Environment") [Maes, 1993], [Maes et al., 1995], [Maes et al., 1996] et [Maes et al., 1997] est l'un de ces projets. ALIVE est un environnement virtuel qui permet une interaction entre l'utilisateur et un monde virtuel habité par des agents animés. Un des buts de ce projet est de prouver que le monde virtuel peut offrir à l'utilisateur une expérience plus émotive en lui permettant une interaction avec ses divers personnages animés.

L'utilisateur se place dans un espace de 16 x 16 pieds carrés où une caméra vidéo peut capter son image et ses mouvements. Ces derniers seront ensuite projetés sur un écran qui se trouve en face de l'utilisateur selon un format en trois dimensions. Ainsi, à tout moment, l'utilisateur peut se voir sur l'écran en temps réel (voir figure 9).



Figure 9. L'interface de ALIVE par Maes au AAI-94 Art Show, Seattle

Le système contient des agents qui réagissent entre eux et avec l'utilisateur [Blumberg, 1994]. Ces agents sont capables de réagir avec un certain taux d'activité,

suivant leurs besoins internes, leurs motivations, leurs expériences et les opportunités aperçues dans leur environnement. De plus, un certain rythme doit être respecté pour passer d'une activité à une autre : ils ne faut pas qu'ils le fassent trop rapidement, ni qu'ils persistent trop longtemps sur la même activité. Ils doivent aussi être capables d'interrompre une activité si une autre plus urgente se présente.

En observant des milliers d'utilisateurs⁴ réagir avec ALIVE, plusieurs conclusions et remarques ont été tirées par Maes et son équipe:

Pour qu'un système virtuel fonctionne bien, les gestes des usagers doivent avoir un impact et un "feed-back" direct. Pour les concepteurs des interfaces usagers ceci semblaient bien évident, mais pour les chercheurs en IA ce n'est pas le cas. Pointer vers un objet, caresser un chat,... sont des exemples de gestes naturels. Suite à un geste réussi, l'utilisateur doit recevoir un "feed-back" immédiat. Ceci aide l'utilisateur à développer une compréhension des gestes reconnus par le système.

Même si les gestes ressemblent beaucoup aux gestes des humains, Maes a constaté qu'il est toujours nécessaire d'avoir un guide humain avec les usagers dans ALIVE.

Les usagers tolèrent plus des imperfections dans le comportement des agents que dans les objets de leur environnement. Maes a tiré la conclusion que les usagers humains s'attendent à ce que les entités virtuelles inhumaines se comportent de façon fiable (i.e. bouger un objet doit être fait immédiatement, de façon fiable et prédictive). Mais dans le cas des agents, les usagers comprennent que ces derniers sentent le changement et qu'il se peut qu'ils ne réagissent pas immédiatement.

Il est très important de visualiser l'état émotionnel de l'agent. Un agent, qui, par exemple, ne bouge pas les yeux, semble plus "mécanique" et inerte aux usagers.

Finalement, Maes a conclu que pour qu'un environnement virtuel "immersif" soit captivant, ce ne sont pas seulement les effets médiatiques (i.e. le graphique, figures, etc.) qui le garantissent, mais aussi la nature et le type des échanges entre les usagers et le système (ces derniers doivent être proches à des échanges humain-humain, avec lequel l'utilisateur se sent familier).

⁴ Le projet ALIVE a été installé dans plusieurs expositions publiques incluant, Tomorrow's Realities, SIGGRAPH 93, Anaheim; AAAI-94 Art Exhibition, Seattle; ARTEC-95, Nagoya, Japan; and Interactive Communities, SIGGRAPH 95, Los Angeles.

3.6 Les agents animés pédagogiques

Les agents animés sont des agents qui habitent des interfaces dynamiques dans lesquelles ils peuvent se déplacer grâce à un passage rapide de succession d'images. Ces agents sont très proches des agents affectifs. Souvent, on confond les deux domaines. Explorer les agents animés dans le domaine de l'apprentissage fut le sujet du laboratoire Multimédia de l'Université de Caroline du Nord, où James Lester [Lester, 2000], avec son équipe, travaillait sur l'effet que les agents animés ont sur les systèmes qui apprennent les méthodologies de résolution de problèmes. Ce groupe essayait de répondre à trois questions majeures :

- 1) Est-ce que les agents animés aident effectivement les étudiants à résoudre les problèmes du domaine correspondant, ou au contraire, contribuent-ils à leurs distractions ou blocages?
- 2) Quels genres de suggestions les agents animés doivent-ils donner aux étudiants pour les aider: des conseils basés sur le principe de la matière qui sont de nature abstraite, des conseils spécifiques aux tâches (qui sont plutôt directs), ou une combinaison des deux?
- 3) Quelle modalité, visuelle, auditive, (ou une combinaison des deux) doivent utiliser les agents animés pour améliorer l'apprentissage de la technologie de résolution des problèmes ?

Pour répondre à ces questions, les membres de l'équipe de Lester ont construit un agent pédagogique animé qu'ils ont appelé "Herman The Bug" [Stone & Lester, 1996] et ils l'ont introduit dans DESIGN-A-PLANT [Lester et al., 1997b] un environnement d'apprentissage dans le domaine de la botanique. L'agent donne, à travers des animations, des conseils aux apprenants qui sont en train de résoudre des problèmes. De plus, cinq clones de cet agent ont été créés chacun avec des caractéristiques comportementales différentes, contenant différents niveaux de conseils et de modalités. Un des clones, utilisé comme repère, était muet et ne donnait pas de conseils.

3.6.1 Les aspects techniques

Pour construire des agents animés qui ressemblent aux humains, Lester a construit un espace de mouvements (gestes) de base structurés qu'il a divisé en séquences pour pouvoir former des mouvements globaux. Pour utiliser cette stratégie, il faut :

Construire un espace de gestes qui contient de courts segments de l'agent animé, effectuant différentes actions,

et construire un moteur de séquence de gestes qui crée les mouvements globaux (en assemblant des segments), en réponse au contexte que les apprenants provoquent en interagissant avec le système.

Pour pouvoir créer des mouvements globaux diversifiés et imiter de plus près les gestes humains, il faut enrichir l'espace des gestes. L'espace des gestes contient :

- les gestes de manipulations (i.e. l'agent ramasse un objet et le manipule),
- les gestes d'observation (i.e. l'agent observe les apprenants et réagit avec ses yeux),
- les gestes de réorientation (i.e. l'agent se met debout),
- les gestes ambulatoires (i.e. l'agent se déplace d'un endroit à l'autre),
- les gestes centraux (i.e. l'agent bouge les mains et les pieds), et
- les gestes verbaux (i.e. l'agent prononce une phrase).

Dans "DESIGN-A-PLANT", l'espace contient une trentaine de mouvements de base et 160 phrases différentes à prononcer. Dans le processus qui consiste à livrer des explications, l'agent marche, vole, nage et exécute différents gestes acrobatiques. Ces gestes sont mis en séquences en temps réel sur un Power Macintosh 9500/132.

3.6.2 Tests et résultats

Durant les tests, les apprenants ont essayé d'assembler graphiquement différentes sortes de plantes selon des contraintes données. Si le design de la plante ne satisfait pas

aux exigences demandées, les apprenants ont le droit de modifier les composantes de la plante, et le processus se poursuit pour arriver à l'image la plus convenable.

Durant les interactions, l'environnement a sauvegardé les activités des apprenants qui, par la suite, sont administrées rigoureusement dans un pré-test et un post-test. Lester a produit des résultats quantitatifs exhaustifs, que nous résumons suivant les trois axes suivants :

Efficacité de l'apprentissage de la résolution des problèmes : Les agents animés produisent des résultats importants en améliorant la capacité de résolution des problèmes chez les apprenants.

Effets des conseils multi-niveaux et effets multi-modaux : les agents pédagogiques animés qui offrent différents niveaux de conseils et différentes modalités d'animation améliorent largement l'efficacité du système, contrairement à ceux qui utilisent les agents moins expressifs.

Profit avec la complexité : plus le problème que les étudiants essayent de résoudre est complexe, plus l'agent animé est efficace.

3.7 "Steve" et "Adele"

3.7.1 Introduction

À l'"Information Science Institute" [ISI, 2000] à la "University of Southern California, USC" [USC, 2000a], Lewis Johnson [Lewis, 1] est directeur du centre de recherches en technologies avancées pour l'éducation, connue sous le nom de CARTE [CARTE, 1]. Jeff Rickel [Rickel, 2000], bien connu dans le monde des agents pédagogiques, travaille au sein de cette équipe. Parmi leur différents projets, l'équipe de ISI développe deux agents pédagogiques : Steve "Soar Training Expert for Virtual Environments" et Adele "Agent for Distance Learning – Light Edition". Steve (voir figure 10) est un prototype avancé conçu pour agir avec des étudiants dans des environnements virtuels immersifs à travers des réseaux. Il a été appliqué aux tâches de formations sur des domaines reliés à l'armée navale américaine. Comme par exemple, comment faire fonctionner le moteur à bord des bateaux de surface de marine des USA

[Johnson & al, 1998], [Johnson & Rickel 1998], [Rickel & Johnson 1997a], [Rickel & Johnson 1997b] et [Rickel & Johnson, 1998].

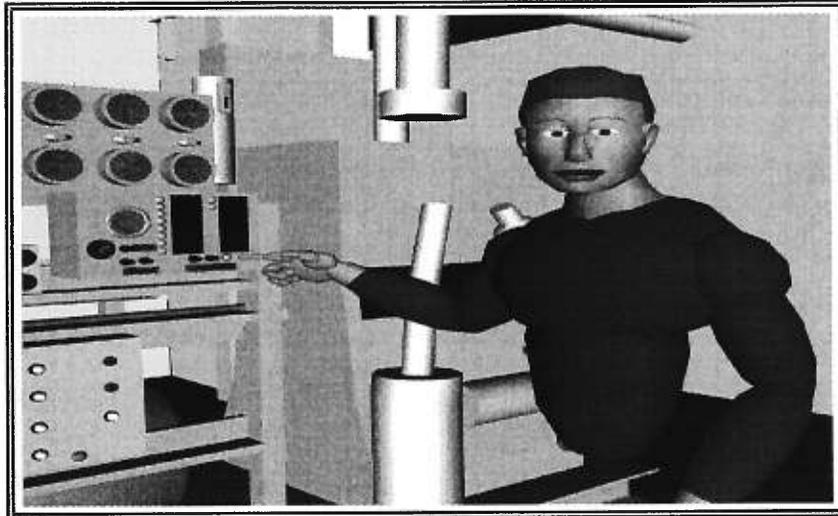


Figure 10. Steve devant la console typique HPAC d'un navire de l'armée naval américaine

Les environnements virtuels immersifs permettent des interactions riches entre les humains et les agents (notons que le laboratoire Héron s'intéresse aussi à la réalité virtuelle immersive, voir [Haché & Aïmeur, 1997]) ; les étudiants peuvent voir les agents en 3-D stéréoscopique et les entendre parler (sur la page Web du CARTE, il y a des démonstrations en QuickTime® de Steve que les lecteurs peuvent voir et écouter) et les agents se basent sur le matériel de cheminement de l'environnement virtuel (ce matériel est le matériel physique qui transmet le statut des usagers vers le système i.e. comme des casques virtuels etc.) pour surveiller la position et l'orientation de l'étudiant dans l'environnement. Pour produire un environnement virtuel riche, le logiciel de Steve est combiné avec trois autres: celui de l'affichage 3-D développé par Lockheed Martin [Lockheed, 2000], celui responsable du "mentoring", développé par le laboratoire "USC Behavioral Technologies" [USC, 2000b], et le logiciel de reconnaissance de langage, développé par "Entropic research" [entropic, 2000].

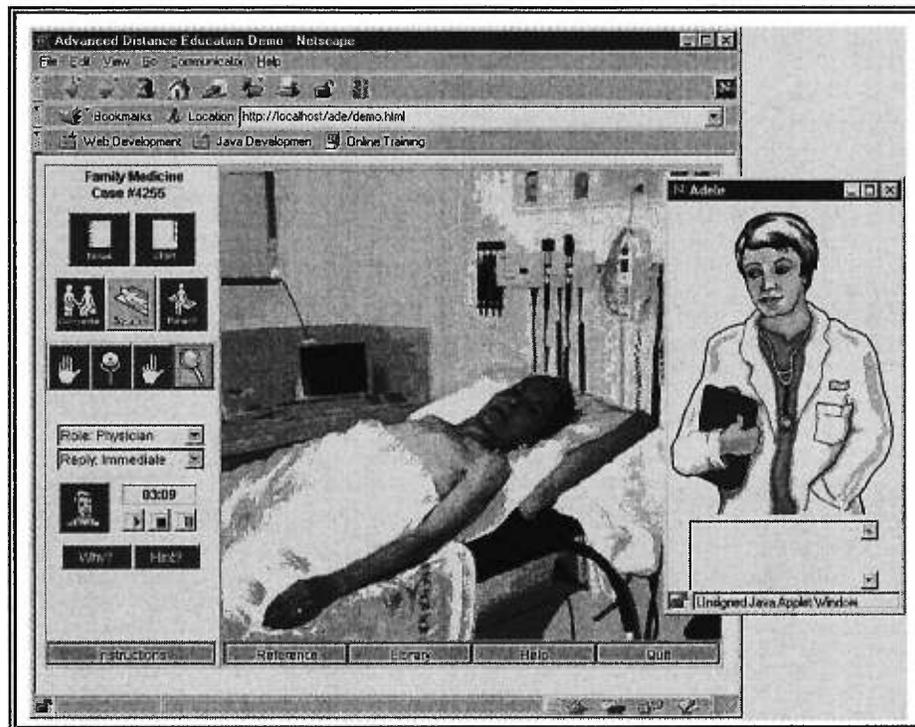


Figure 11. Adele devant un patient

D'autre part, Adele est une application moins développée. Elle a été conçue pour fonctionner sur des stations indépendantes "desktop". Adele roule dans des explorateurs web, et ceci pour élargir son usage.

Adele a aussi été conçue pour fonctionner dans des explorateurs web (voir figure 11) sur des stations indépendantes, à travers des explorateurs web [Johnson & Shaw, 1997]. Son domaine d'application est des cours avancés en médecine familiale et des cours gradués dans la gériatrie et la médecine dentaire. Ceci est fait en collaboration avec l' "University of Oregon".

3.7.2 Architectures des agents pédagogiques selon CARTE

Lewis a bien étudié les agents pédagogiques. Il a analysé les agents pédagogiques et essayé de les regrouper selon leurs concepts architecturaux. Selon lui, trois approches de point de vue architectural peuvent exister dans un agent pédagogique (il parle de tous les agents pédagogiques, pas seulement de ceux développés au CARTE) : l'approche du comportement séquentiel, l'approche des couches génératives et l'approche de compilation de la machine à états.

Le comportement séquentiel

Dans cette approche, le comportement est assemblé en connectant des éléments de base d'animations, de son et de dialogue pré-enregistrés. La mise en séquence de ces éléments de base est faite en temps réel par un engin que Lewis appelle "behavior sequencing engine". Le fait d'avoir des segments de bases pré-enregistrés va permettre de gagner du temps au moment de la création de l'animation. Cette approche a été inspirée et est identique au comportement séquentiel de "Herman the Bug" présenté dans la section 3.6. En effet, Lewis utilise Herman pour expliquer cette approche [Johnson et al., 2000].

Selon Lewis, le problème de cette approche est qu'elle est basée sur des segments enregistrés auparavant, donc elle ne donne pas de flexibilité en temps réel. Si l'apprenant exécute une action au milieu d'une séquence, le comportement de l'agent peut ne plus être convenable et il faut le recalculer.

Les couches génératives et l'architecture de Steve

L'approche des couches génératives génère des animations en temps réel, au lieu de chercher dans la base des segments d'animations et de les connecter. L'architecture générale de l'agent est divisée en deux parties : la partie cognitive dont la responsabilité est de prendre les décisions et la partie moteur/perception responsable de "lire" l'environnement et d'exécuter les animations. Cette approche est inspirée de celle du projet ALIVE présenté dans la section 3.5.

L'architecture de Steve est aussi un exemple de cette approche. Steve est constitué de trois modules: module cognitif, module de perception et module du moteur.

Le module cognitif est identique à celui de l'architecture générale, il comprend les connaissances spécifiques à des tâches, les capacités pédagogiques et la composante cognitive "Soar" [Laird & al., 1987]. Le module de perception de Steve est responsable de la perception de l'état de l'apprenant dans l'environnement virtuel. Les informations que ce module transmet au module cognitif concernent la position de l'apprenant, son orientation, son champ visuel, etc. De plus, il perçoit des changements concernant l'état des autres entités du contexte. Ce module transmet aussi l'ordre d'exécuter une action

vers le module du moteur. Le module du moteur est responsable de l'animation de l'agent dans le monde virtuel. L'animation de l'agent est du genre :

- dire un certain texte,
- aller vers un objet,
- pointer vers un objet,
- etc.

La compilation de la “machine à états”

Cette approche est illustrée dans le PPP persona [André & al., 1998], [Abou-Jaoude & Aïmeur, 1997]. Elle permet de répondre aux exigences de l'animation en temps réel tout en minimisant l'échange des informations entre les différents modules. Comme dans le cas du comportement séquentiel, il y a une librairie de séquence d'animation de base, mais le comportement est dicté par une machine à états qui s'adapte en temps réel aux actions des apprenants. Cette approche est basée en partie sur l'architecture du persona au «Microsoft Research Centre» [Ball & al., 1997].

Suivant cette architecture, la génération de présentation procède par les étapes suivantes. Avant l'exécution du plan, les comportements de persona sont compilés dans une machine d'état appelée un moniteur de comportement (behavior monitor). Le moniteur de comportement combine les ordres de comportements primitifs dans des ordres de comportements plus complexes, puis combine encore ces derniers avec des comportements non planifiés tels que des “actions de temps inoccupé i.e. idle-time actions” (i.e. respirant ou tapant du pied) et des comportements réactifs (tel que s'arrêter “suspendu” quand l'utilisateur prend et déplace le persona avec la souris). Aussi, le moniteur de comportement définit un espace de comportements possibles pour le persona. Maintenant, pour toute présentation à donner, un planificateur de présentation de multimédia produit

un ensemble d'actions à exécuter, et

un horaire pour les exécuter, avec des contraintes temporelles qualitatives ou quantitatives.

Quand l'exécution de comportement est lancée, le persona suit le programme préliminaire. Le moniteur de comportement peut exécuter des actions supplémentaires.

Ces dernières, alternativement, peuvent exiger du programme d'être mis à jour, sujet aux contraintes du plan de présentation. Alors, le résultat devient un comportement adaptatif et qui peut être interrompu "interruptible", mais aussi cohérent que possible.

Chapitre 4 Théorie des émotions et le Projet DUFFY

*“Every one told me hard work never killed anyone,
but I figured, why take the risk”*

Ronald Reagan, 1982

Ce chapitre expose le projet que nous avons construit au laboratoire HÉRON. Il se divise en trois parties:

La première partie consiste en une définition de notre théorie des émotions et de ses composantes.

La deuxième partie de ce chapitre est une description de la première application de notre projet appelée DUFFY. DUFFY est une application/interface qui capte les émotions et les réactions émotives des usagers humains et les enregistre.

La troisième partie de ce chapitre est une description de la deuxième application de notre projet appelée DUFFY-STI. DUFFY-STI est aussi une interface qui va nous permettre d'intégrer les résultats de DUFFY dans un STI à tuteur et modèle d'apprenant émotifs.

4.1 Introduction

Après avoir introduit les différents groupes de recherches qui s'intéressent aux différents agents émotifs ou à caractères, nous passons dans ce chapitre à parler de la théorie de quantification des émotions et de nos travaux. Nous définirons d'abord, quelques termes génériques comme *agent émotif*, *couche émotive*, etc. Par la suite, nous introduisons la théorie des émotions. Cette théorie fera entre autres, référence à la valeur de couple émotionnel, à l'état émotionnel, aux particularités du système et à la matrice de calcul. Ensuite, nous présenterons DUFFY. DUFFY est une interface qui va nous permettre d'utiliser des usagers humains pour calculer expérimentalement la matrice de calcul définie dans la théorie des émotions, puis, la méthode de résolution du système qui donne cette matrice fera l'objet du chapitre suivant. Finalement, nous passons à la dernière partie de ce chapitre où nous introduisons DUFFY-STI. Dans cette partie nous proposons un STI à modèle d'apprenant émotif et tuteur émotif. Nous allons utiliser les résultats de la partie précédente pour faire varier les émotions du modèle de l'apprenant, et aussi nous allons envisager une possibilité selon laquelle les réactions du tuteur peuvent être décidées.

Définitions

-Nous définissons par agent émotif, tout agent possédant

(1) un état émotionnel dans une couche émotive bien définie

ou

(2) la capacité de conditionner son comportement suivant l'état émotionnel de l'agent avec lequel il réagit.

-Nous définissons une couche émotive d'un système par une partie indépendante de ce système dans laquelle l'état émotionnel est défini et traité.

Bien que le terme "état émotionnel" ne soit pas encore défini, nous prions les lecteurs de patienter, les sections qui suivent vont clarifier ce terme (voir section 4.2.2). La définition d'agent émotif signale bien le terme "une couche émotive bien définie". Bien que ce terme ne soit pas utilisé souvent dans ce document il est impératif de savoir

qu'il existe toujours une couche émotive implicite qui englobe toutes les composantes de notre théorie des émotions et que cette couche a été conçue comme une entité indépendante dans le but d'arriver à un maximum de flexibilité. Ainsi, cette couche peut-être ajoutée à un système (dans notre cas un modèle d'apprenant, agent tuteur) pour que ce dernier possède un aspect émotif ou enlevée d'un système pour que ce dernier perde l'aspect émotif. À titre d'exemple, la figure 12 présente un modèle d'apprenant auquel la couche émotive a été ajoutée. Cet ajout permet une modélisation plus complète de l'apprenant humain de fait que les émotions de ce dernier sont représentés, et par la suite on parle de modèle d'apprenant émotif.

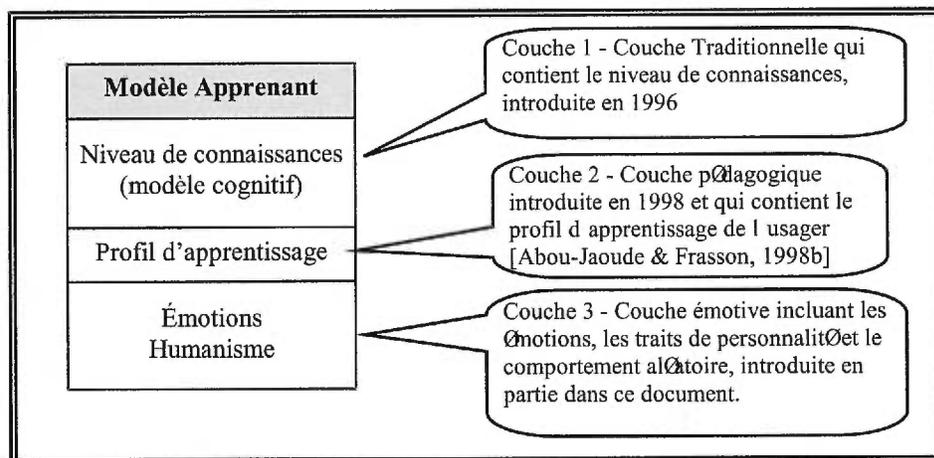


Figure 12. Modèle d'apprenant émotif

Suite à ceci, nous passons à la représentation des différentes composantes de la théorie émotive que nous développons.

4.2 Composantes de la théorie des émotions

4.2.1 Le couple émotionnel

Notre système est basé sur le *couple émotionnel* (E_{i1}, E_{i2}) . Un couple émotionnel est constitué de deux émotions contraires, mais appartenant à une même catégorie [Elliot, 1997].

Nous nous sommes basés sur le travail de Ortony et Elliot (voir chapitre 3) pour définir les 13 couples émotionnels suivants :

- 1- (Joy, Distress)
- 2- (Satisfaction, Disappointment)
- 3- (Liking, Disliking)
- 4- (Happy-for, Resentment)
- 5- (Relief, Fears-confirmed)
- 6- (Gratitude, Anger)
- 7- (Sorry-for, Gloating)
- 8- (Pride, Shame)
- 9- (Gratification, Remorse)
- 10- (Hope, Fear)
- 11- (Admiration, Reproach)
- 12- (Love, Hate)
- 13- (Jealousy, -Jealousy)

La valeur e_i d'un couple émotionnel (notée $\text{Val}(E_{i1}, E_{i2})$) est un nombre réel compris entre -1 et $+1$ (inclus.) Une valeur de $+1$ implique que l'émotion de gauche du couple émotionnel est à son maximum. Quand, au contraire, le couple vaut -1 , l'émotion de droite est à son maximum. La plupart du temps, la valeur du couple sera une valeur réelle entre ces deux limites.

Formellement, on a :

$$e_i = \text{Val}(E_{i1}, E_{i2}) \in [-1, 1]$$

où $i \in \{1, 13\}$ est l'indice du couple

4.2.2 L'état émotionnel

L'état émotionnel \mathbf{E} est l'ensemble des valeurs des 13 couples émotionnels à un moment donné, au cours de l'exécution. Bien que notre système comprenne $n = 13$ couples émotionnels, nous considérons un état à \mathbf{n} couples,

en général :

$$E = (e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_n) \text{ où } e_i = \text{Val}(E_{i1}, E_{i2})$$

Cet état E sera recalculé à chaque nouvel événement et le nouvel état E' sera fonction de l'ancien état E , ainsi que d'un ensemble de certaines particularités que l'on introduit à la section suivante.

4.2.3 L'ensemble des particularités du système P

Nous définissons par *particularités d'un système* les valeurs p_i d'un ensemble P , qui correspondent à des composantes influençant directement l'état émotionnel mais qui n'en font pas partie. Par exemple, dans un système tutoriel intelligent, un tuteur avec une couche émotive pourrait être influencé par la performance des apprenants. On dirait, alors que la performance des apprenants est une particularité du système.

p_i est la valeur de la particularité i , $i = 1, 2, \dots, m$

Formellement on définit :

$$P = (p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_m) \text{ où } p_i \text{ est la valeur de la particularité } i \text{ en question}$$

$$p_i \in [-1; +1]$$

Et nous aurons finalement :

$$E' = f(E, P)$$

4.2.4 La matrice de calcul

Nous allons utiliser une matrice de calcul M pour passer d'un état émotionnel E à l'état émotionnel suivant E' . Les éléments a_{ij} de cette matrice détermineront l'influence (le poids) de chaque facteur sur le nouveau couple émotionnel e_i' de E' .

M est donc une matrice réelle de dimensions n par $(n+m)$:

$$E' \begin{Bmatrix} e_1' \\ \dots \\ e_n' \end{Bmatrix} = \begin{array}{c|cc} & \overbrace{e_1 \quad \dots \quad e_n}^E & \overbrace{p_1 \quad \dots \quad p_m}^P \\ \hline & a_{11} \quad \dots \quad \dots & \dots \quad \dots \quad a_{1n+m} \\ & \dots \quad \textcircled{a_{ij}} \quad \dots & a_{in+1} \quad \dots \quad \dots \\ & \dots \quad \dots \quad \dots & \dots \quad \dots \quad a_{nn+m} \end{array}$$

Nous pouvons maintenant calculer chaque élément e_i' de l'ensemble \mathbf{E}' :

$$e_i' = \sum_{j=1}^n a_{ij} e_j + \sum_{j=n+1}^{m+n} a_{ij} p_j$$

Évidemment, cette formule ne garantit pas la condition $e_i' \in [-1, 1]$. Pour imposer cette condition, ayant calculé une valeur de e_i' hors de cet intervalle, on ramènera la valeur à la limite de l'intervalle la plus proche. Par exemple, si on calcule $e_i' = 1.06$, on admettra $e_i' = 1$, considérant que l'agent éprouve cette émotion au maximum. Formellement, on écrit :

$$e'_{i_finale} = \max (-1 ; \min (e_i' ; 1))$$

4.3 L'application DUFFY

4.3.1 Introduction

La formule $e_i' = \sum_{j=1}^n a_{ij} e_j + \sum_{j=n+1}^{m+n} a_{ij} p_j$ montre que chaque couple émotionnel et par la suite l'état émotionnel dépend des facteurs $a_{i,j}$ de \mathbf{M} . D'ailleurs, le déroulement normal que nous avons envisagé est : ayant un \mathbf{E} et \mathbf{P} bien définis, on veut arriver à un \mathbf{E}' en se servant d'une \mathbf{M} bien définie aussi. On connaît le \mathbf{E} , il nous manque le \mathbf{M} .

Une solution au début de nos travaux, était de remplir ce \mathbf{M} en ne se basant sur aucune théorie mais sur le jugement des gens qui travaillent sur le projet. Mais par la suite, nous nous sommes rendu compte que pour obtenir une modélisation du comportement émotif humain, il faut créer un \mathbf{M} expérimental.

DUFFY est une interface qui va permettre à des usagers humains de choisir des nouveaux états émotionnels \mathbf{E}' suite à des situations et des événements, et en partant des états émotionnels \mathbf{E} initiaux. En d'autres termes, DUFFY est la source des équations de la forme :

$$e_i' = \sum_{j=1}^n a_{ij} e_j + \sum_{j=n+1}^{m+n} a_{ij} p_j$$

Avec ces équations, nous pouvons procéder pour résoudre pour les $a_{i,j}$ de M (méthodes de résolutions présentées dans le chapitre suivant).

4.3.2 Interface de l'application

DUFFY présente une salle d'étude contenant trois acteurs : un tuteur, un apprenant principal possédant la couche émotive et un perturbateur. Lors d'une session, le tuteur pose une question, l'apprenant répond, le perturbateur propose une réponse à l'apprenant et répond à son tour au tuteur. L'interface de DUFFY se compose de trois panneaux (figure 13):

- Le panneau d'images 1 fournit des renseignements concernant les trois éléments de l'application : l'apprenant, le perturbateur et le tuteur. De plus, un bouton permet d'afficher à tout instant la performance de l'apprenant et du perturbateur.
- Le panneau 2 est utilisé pour indiquer la succession des événements à l'apprenant. Un événement est une phrase du type "Le tuteur a posé une question de valeur 2, le perturbateur vous donne une mauvaise réponse et donne une bonne réponse au tuteur, vous donnez une mauvaise réponse au tuteur".
- Le panneau 3 contient 13 curseurs, un par couple émotif. Chaque curseur peut bouger indépendamment des autres. Si le curseur est haut, l'émotion de gauche du couple émotif associé sera élevée ($e_i > 0$). A l'inverse, si le curseur est bas, l'émotion de droite du couple émotif associé sera élevée ($e_i < 0$).

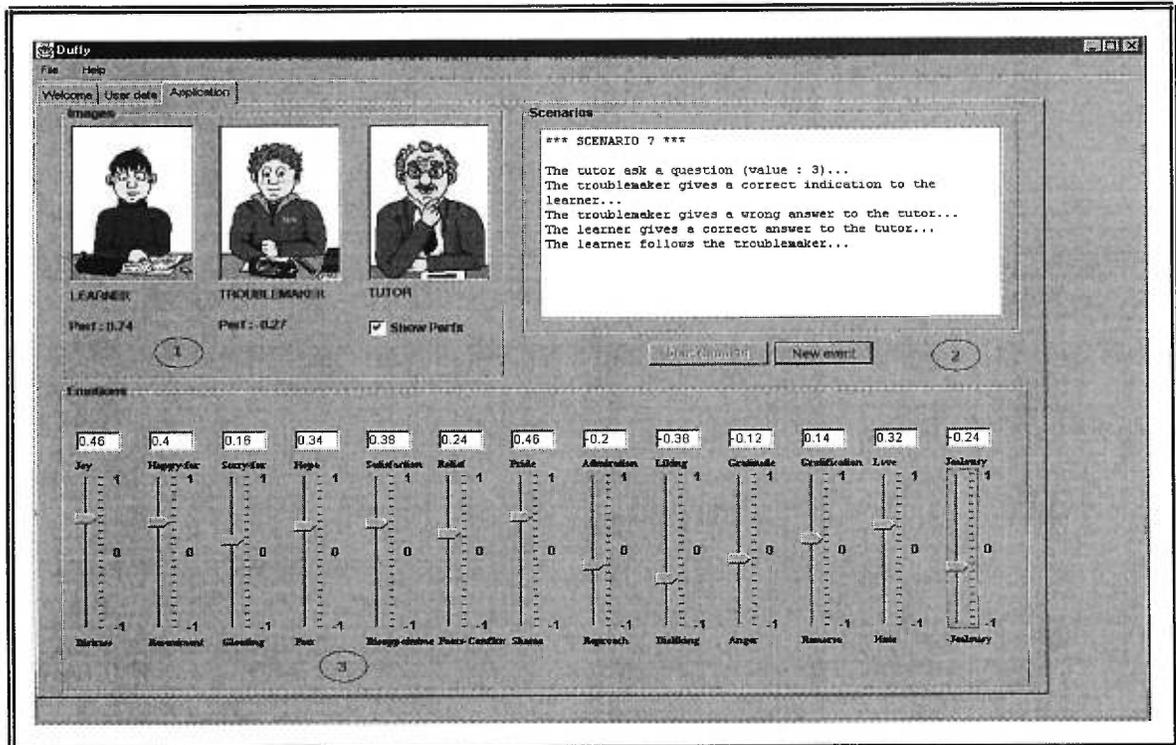


Figure 13. Interface Duffy qui nous a permis de capter les émotions humaines

4.3.3 Déroulement d'une session

La session sur DUFFY se déroule de la façon suivante. L'utilisateur part avec un état émotionnel initial E . DUFFY génère un événement dans le panneau 2, et demande alors à l'utilisateur d'effectuer les modifications qu'il juge nécessaires sur l'état émotionnel, en ajustant les valeurs des couples de son choix (i.e. en modifiant les curseurs dans le panneau 3). Puis il enregistre le nouvel état émotionnel E' .

4.3.4 Particularités de DUFFY

Dans ce contexte nous avons identifié trois particularités de DUFFY:

- la performance de l'apprenant émotif P_e ,
- la performance de l'agent perturbateur telle qu'elle est perçue par l'apprenant (P_p).
- le facteur de déception de l'apprenant envers le perturbateur dd .

Donc P de DUFFY est l'ensemble des valeurs de ces trois particularités. Et a_{14} , a_{15} et a_{16} seront les coefficients correspondant respectivement aux valeurs de P_e , $(P_p)_e$ et dd . Expliquons maintenant les détails de ces particularités.

La performance de l'apprenant P_e

La performance de l'apprenant P_e est calculée en temps réel. Elle est fonction de sa valeur précédente et des valeurs de la question du tuteur et de la réponse de l'apprenant à cette question.

La valeur V de la question reflète l'importance que donne le tuteur à cette question. Plus la valeur de la question est élevée, plus celle-ci est importante aux yeux du tuteur. Nous avons :

$$V \in \{1, 2, 3\}$$

Une réponse correcte se verra attribuer la valeur +1, une mauvaise réponse la valeur -1. Nous avons donc :

$$R \in \{-1, +1\}$$

Nous calculons alors la performance de l'apprenant selon la formule suivante :

$$P_e' = (1 - V / 8) * P_e + (V / 8) * R$$

Suite à ce calcul, nous devons aussi ramener la valeur de P_e' à +1 ou -1 si jamais nous sortons de cet intervalle, de la même façon que pour les valeurs des états émotionnels (voir section 4.2.4).

Le facteur 8 est un facteur déterminé expérimentalement par des utilisateurs humains. Brièvement, on a demandé à des usagers de donner des valeurs de P_e' , selon leur jugement personnel, en leur présentant des différentes combinaisons de P_e , V et R . Par la suite nous avons procédé par une marche arrière et une majoration pour arriver à ce chiffre. L'annexe 1, présente une simulation de la variation de P_e .

Dans le fichier "particularités.java" appartenant au projet DUFFY nous avons conçu une classe "particularités" où nous définissons les trois particularités de type "double".

La fonction qui retourne la performance étant la suivante :

```
double Calcul_Perf (double performance, int valeur_question, int reponse)
{
    double perf;
    perf = ((1 - (((double)valeur_question)/8) * performance) + (((double)valeur_question)/8) *
    ((double) reponse));
    return perf ;
}
```

La performance du perturbateur perçue par l'apprenant

Les émotions jouent un rôle dans le calcul de la performance perçue du perturbateur $(P_p)_e$. Une approximation expérimentale (méthode d'approximation similaire à celle de P_e) de cette fonction est :

$$(P_p)'_e = \frac{1}{2} (P_p)_e + \frac{1}{4} P_p + \frac{1}{4} e_{13}$$

où P_p est la performance du perturbateur même et qui est calculée suivant la même formule de P_e , et e_{13} est la valeur du couple émotionnel bien définie (jealousy, - jealousy). Nous avons décidé de l'inclure dans la formule parce qu'au moment de l'approximation expérimentale, plusieurs usagers humains ont exprimé leur accord que cette émotion particulière influence la perception de la performance perçue d'autrui. Cela reflète le fait que la jalousie éprouvée par l'apprenant envers le perturbateur altère sa perception de la performance de celui-ci. Notons aussi, que d'autres usagers ont proposé d'inclure des autres couples comme (Love, Hate) etc... en utilisant la même logique. Mais e_{13} était de loin la plus choisie, nous avons donc opté pour négliger les autres couples émotionnels.

Ce morceau de code, extrait de "particularités.java" qui retourne $(P_p)_e$:

```
double Calcul_Perf_Percue (double perf_percue, double perf_perturbateur, int valeur_question, int
reponse_perturbateur, double emotion)
{
    double perf;
    perf = ((0.5*perf_percue) + (0.25*perf_perturbateur) + (0.25*emotion));
    return perf;
}
```

Facteur de déception dd

Nous définissons le facteur de déception dd comme étant une mesure quantitative de la déception que l'apprenant humain éprouve envers le perturbateur, suite à son interaction avec ce dernier. La valeur de ce facteur varie entre -1 et $+1$.

Soit :

- R_{pt} la réponse donnée par le perturbateur au tuteur,
- R_{et} la réponse donnée par l'apprenant au tuteur , et
- R_{pe} la réponse proposée par le perturbateur à l'apprenant.

Nous rappelons qu'une bonne réponse vaut un $+1$ et une mauvaise vaut un -1 .

Nous avons demandé à des utilisateurs humains d'estimer le degré de déception en fonction de ces trois variables seulement. Les valeurs arrondies de dd sont présentés dans la table 3.

R_{pt}	R_{pe}	R_{et}	C^*	dd	R_{pt}	R_{pe}	R_{et}	C	dd
-1	-1	-1	0	-0.4	+1	-1	-1	0	-0.7
			1	-0.5				1	-1
		+1	0	-0.2			0	-0.4	
			1	**			1		
	+1	-1	0	0.4		+1	-1	0	0.3
			1					1	
		+1	0	0.8			+1	0	0.5
			1	1				1	1

* C est un facteur qui nous montre si l'agent affectif a choisi la réponse du perturbateur ou non (1 si oui et 0 si non)
 ** Les cases grises signifient que la situation est impossible

Table 3. Valeurs expérimentales du facteur de déception dd

L'annexe 2 présente l'extrait du code qui retourne le double dd dans le fichier particularités.java. La logique suivant laquelle nous avons décidé d'inclure dd dans le calcul de l'état émotionnel part du fait que l'apprenant prendra à un certain moment en considération si le perturbateur est vraiment en train de l'aider mais il lui a donné la mauvaise réponse (R_{pe}) par ignorance, ou si le perturbateur connaît bien la réponse mais il veut tromper l'apprenant volontairement.

DUFFY nous retourne des équations de la forme :

$$e'_i = \sum_{j=1}^{13} a_{ij} * e_j + a_{i14} * P_e + a_{i15} * (P_p)_e + a_{i16} * dd$$

Pour la résolution des coefficients de **M** nous avons tenté deux approches. En premier lieu, nous avons résolu le système d'équations linéaires pour plusieurs usagers et pris la moyenne de chaque coefficient de **M** comme valeur finale de ce coefficient (une approche encore à défendre). En second lieu, nous avons plutôt opté pour essayer une solution plus adaptée à ce genre de problème, une solution par la méthode de régression linéaire. Dans le chapitre suivant, nous allons détailler ces deux solutions, sortir avec des valeurs de **M** correspondantes et essayer de valider ces **M**.

À ce point, nous supposons que **M** est calculé et nous passons à la deuxième application de notre projet: DUFFY-STI. Cette application consiste d'un système tutoriel intelligent dont le modèle apprenant possède un état émotionnel variant selon **M**.

4.4 Application DUFFY-STI

4.4.1 Architecture du système

La deuxième partie du système consiste à relever la composante émotive calculée dans la première partie et à l'ajouter à un modèle d'apprenant mais également à dégager des règles en utilisant la logique floue pour faire agir le tuteur. DUFFY-STI est aussi basé sur la stratégie d'apprentissage du perturbateur.

La structure générale du système est conçue pour faciliter l'interaction de l'utilisateur avec la machine. Elle comprend quatre modules principaux: le module d'interface, le module de réaction, un modèle de l'apprenant et une base de connaissances (figure 14). Duffy STI, tout comme Duffy, a été implanté en JAVA, pour permettre une meilleure portabilité de notre application et pour bénéficier de la simplicité de ce langage dans les applications d'interfaces.

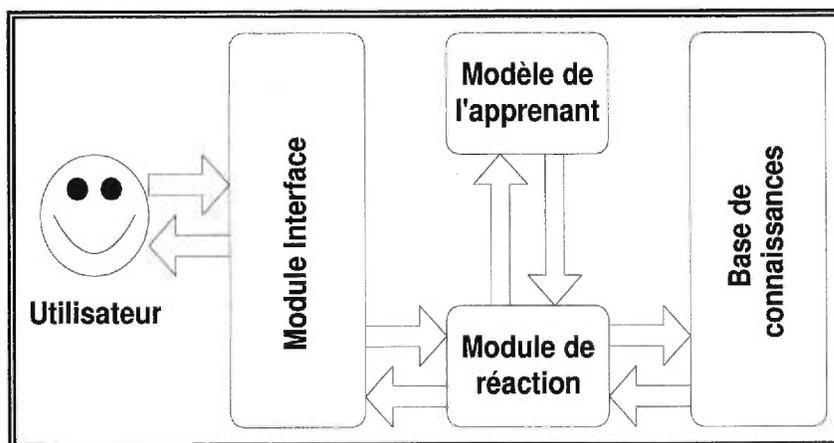


Figure 14. Architecture de la deuxième partie DUFFY-STI

4.4.2 Le module d'interface

Ce module est chargé de la communication avec l'utilisateur. Il comprend toutes les fonctionnalités nécessaires au dialogue: il est composé de quatre panneaux distincts (Figure 15).

Le premier est réservé au tuteur, et comprend une image parfois animée le représentant, ainsi qu'une zone de texte où sont inscrits ses éventuels commentaires.

Un autre panneau de même structure que le précédent est réservé au perturbateur; la zone de texte étant utilisée cette fois pour l'inscription de ses conseils.

Le troisième sert à l'affichage des questions et à la récupération des réponses. Une case à cocher permet de savoir si l'utilisateur a suivi le conseil du perturbateur en donnant sa réponse.

Enfin, le quatrième et dernier panneau permet d'afficher en permanence des informations concernant la session en cours, comme les performances de l'apprenant et du perturbateur (représentées de façon graphique par une barre de progression), le numéro de la question courante, le nombre de bonnes réponses de l'utilisateur jusqu'au moment désiré. Il autorise l'affichage de l'état émotionnel courant de l'apprenant, cette fonction étant activée en cochant une case prévue à cet effet. L'état émotionnel de l'apprenant est reflété par 13 curseurs (1 par couple émotionnel), que le système calcule selon les formules des e_i et le M utilisé.

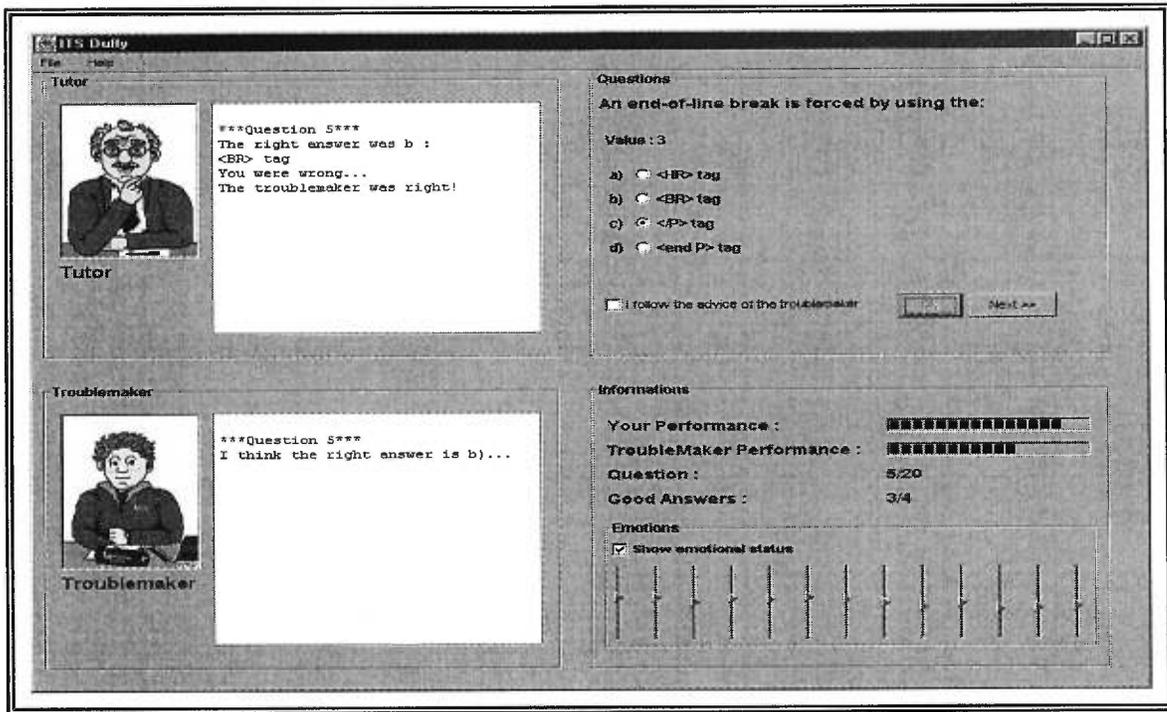


Figure 15. Interface de Duffy STI

4.4.3 La base de connaissances

Le domaine que nous avons choisi est celui de la programmation de pages web en langage HTML car c'est un domaine en vogue à l'heure actuelle, dans lequel les progrès de l'apprenant peuvent être facilement détectés et évalués. Nous sommes partis d'une base de connaissances existante créée par deux étudiants de l'Université de Montréal {bassil,eidi@iro.umontreal.ca} que nous avons adaptée aux exigences de notre application.

Pour une modification et une mise à jour plus faciles et efficaces, la base de connaissances est stockée dans une classe distincte des autres. Elle comprend une base de questions, une base de réponses et une base d'explications des réponses. Une valeur (1, 2 ou 3) est attribuée à chaque question selon sa difficulté (1 pour les questions les plus faciles, 3 pour les questions les plus difficiles). La classe de la base de connaissances finale est appelée `Questions`, et elle contient un tableau à deux dimensions de questions, un tableau de réponses et un tableau d'explications. La base

des explications permet au système d'élaborer un peu plus sur son choix de la bonne réponse. Ceci n'affecte en rien le but direct de l'application, mais n'oublions pas qu'étant un STI, DUFFY-STI doit idéalement servir comme outil d'apprentissage. L'extrait du code qui suit a été emprunté du fichier `Questions.java` contenant la déclaration de la classe `Questions` et de son constructeur.

```
public class Questions {
/*****
** Declarations des variables globales **
*****/
String [][] Q ;           /* le tableau des questions */
String [] Rep ;          /* le tableau des reponses */
String [] Ex ;           /* le tableau des explications */
/*****
***** Constructeur *****
*****/
Questions() {
    Q = new String[63][6] ;
}
```

À titre d'exemple, l'annexe 6 comprend des questions typiques extraites de la base de connaissances que nous avons utilisée.

4.4.4 Le modèle de l'apprenant

Ce module contient toutes les données accumulées, les croyances et les statistiques associées à l'apprenant. Il est notamment constitué de l'état émotionnel E courant de l'apprenant représenté par les valeurs actuelles des 13 couples émotionnels e_i , un historique de cet état (comprenant les états émotionnels successifs de l'apprenant lors de la session), sa performance courante P_e (un nombre entre -1 et 1), et son historique (comprenant les valeurs successives de la performance de l'apprenant lors de la session).

L'état émotionnel de l'apprenant est réévalué à chaque production d'un nouvel événement dans le STI en fonction de l'état émotionnel précédent et de facteurs tels la performance de l'apprenant P_e , celle du perturbateur $(P_p)_e$ et le degré de déception dd de l'apprenant vis-à-vis de celui-ci. Le degré de déception et les deux performances sont calculées exactement suivant les mêmes règles et formules que nous avons déjà vues dans la partie précédente. C'est pour évaluer l'état émotionnel que le calcul de la matrice

faite dans la partie DUFFY (i.e. chapitre 4) est utilisé. En effet, nous utilisons la matrice avec ses coefficients calculés en ramenant ces derniers, inférieurs à 0.05, volontairement à 0 afin de simplifier le modèle. L'extrait qui suit est tiré du fichier `Emotions.java` appartenant au projet DUFFY-STI. Ce code retourne un tableau de double correspondant aux nouvelles valeurs des couples émotionnels en les multipliant par `Matrice[i][j]` (i.e. le coefficient a_{ij} de la matrice M).

```

/*****
* Procedure to calculate the individual emotion in order
* to process the Status in DUFFY STI*****
*****/
double[] Calcul_Nouvelle_Emotion( double[] Emotion, double Pe,
                                double Ppp, double Dd)
{
    double[] Nouvelle_Emotion = new double[13] ;
    int i, j ;
    for(i = 0; i < 13; i++)
    {
        Nouvelle_Emotion[i] = 0.0 ;
        for(j = 0; j < 13; j++)
        {
            Nouvelle_Emotion[i] = Nouvelle_Emotion[i] +
                Matrice[i][j]*Emotion[j] ;
        }
        Nouvelle_Emotion[i] = Nouvelle_Emotion[i] + Matrice[i][13]*Pe +
            Matrice[i][14]*Ppp + Matrice[i][15]*Dd ;
    }
    return Nouvelle_Emotion ;
} //Calcul_Nouvelle_Emotion

```

Le modèle de l'apprenant a une importance toute particulière dans notre système car il est à la base du calcul des réactions du tuteur et de l'apprenant. Bien qu'encore incomplet (des contraintes de temps nous ayant empêchés d'intégrer certaines croyances sur l'apprenant), il donne les informations nécessaires au module de réaction pour lui permettre d'accomplir sa tâche.

4.4.5 Le module de réaction

Ce module est le noyau de notre système DUFFY-STI. Il est chargé de deux fonctions : **déterminer quand réagir** et **réagir d'une façon effective**.

Il se base sur les informations du modèle de l'apprenant et principalement sur l'état émotionnel courant de l'apprenant (i.e. la valeur des 13 couples émotionnels).

L'apprenant doit être constamment maintenu dans un état émotionnel optimal pour l'apprentissage de sa matière. Une réaction s'impose donc quand un ou plusieurs couples émotionnels ont une valeur que nous estimons incompatible avec un apprentissage de qualité.

Des règles de réactions doivent être créées et associées à des valeurs de couples émotionnels

Plusieurs règles sont envisageables, en voici quelques-unes:

- Si l'apprenant est triste, l'amuser un peu.
- Si l'apprenant a très peur, le rassurer beaucoup.
- Si l'apprenant a un peu peur, le rassurer un peu.
- Si l'apprenant est très sûr de lui, le faire douter.
- Si l'apprenant est peu sûr de lui, lui faire prendre confiance.
- Etc.

La suite de ce chapitre présente l'approche que nous avons essayé d'appliquer pour modéliser les réactions du tuteur face à l'état de l'apprenant. Cette approche se base sur la notion de la logique floue. Due à la complexité du problème (provoquer des réactions dans un tuteur similaires aux humains en lisant l'état émotionnel de l'apprenant), il était pratiquement impossible de l'implanter complètement dans le cadre de notre projet. Par contre, nous avons adopté une simplification à ce problème, qui, à la fois, conserve l'essence de ce module de réaction et reste réalisable.

4.5 Le problème flou

Il est assez délicat de déterminer quand réagir. Une réaction humaine et intelligente implique que celle-ci ne soit pas systématique, mais au contraire réfléchie et, s'il le faut, nuancée. La logique classique s'avère parfaite pour résoudre les problèmes où tout est bien déterminé, où tout est soit vrai soit faux, et où les règles conduisent d'une façon certaine à une conclusion. Mais les problèmes du monde réel ne marchent que très rarement sur un tel modèle. La plupart du temps, ils comportent des notions « floues », où l'on ne peut pas répondre d'une façon si définitive.

L'intelligence artificielle nous donne certains outils pour nous aider dans cette tâche. En effet, la logique floue est l'un de ces outils⁵, et c'est celui que nous avons utilisé dans DUFFY-STI.

Par exemple, dans notre cas, que dire si le couple émotionnel (Joy, Distress) vaut -0.5 ?

Certaines personnes considéreront que l'apprenant est triste. D'autres diront plutôt qu'il est ni vraiment triste, ni joyeux, disons indifférent. Nous sommes donc face à une contradiction. L'apprenant est triste et indifférent à la fois, ce qui viole la loi de non-contradiction de la logique classique.

La logique floue, elle, va considérer que l'apprenant est triste avec une probabilité P_1 , et joyeux avec une probabilité P_2 (à ne pas confondre avec les P des performances).

Dans un premier temps et pour ne pas surcharger notre programme, nous n'avons pas pris en compte les valeurs de tous les couples émotionnels, mais seulement les valeurs des 5 couples les plus représentatifs⁶ (Tableau 4).

e_1	Joy/Distress
e_2	Hope/Fear
e_3	Satisfaction/Disappointment
e_4	Pride/Shame
e_5	Jealousy/-Jealousy

Table 4. Les 5 couples émotionnels retenus

L'application de la logique floue à notre problème passe par deux étapes :

- la quantification floue des entrées et sorties du système,
- l'établissement des règles liant les entrées aux sorties.

⁵ Il existe plusieurs autres approches pour aborder ce problème. La logique probabiliste en est une, par exemple.

⁶ Pour choisir ces 5 couples, nous avons essayé de répondre aux critères suivants:

- les couples choisis doivent être représentatifs de l'état émotionnel général de l'apprenant,
- leur variation doit être significative et assez régulière pour que les réactions de l'agent soient cohérentes,
- les réactions associées à ces couples doivent être faciles à concevoir et à implanter dans le STI.

Aussi, la convergence des 5 couples sélectionnés avec ces critères, a été vérifiée grâce à l'analyse des matrices résultats obtenues dans le chapitre suivant.

4.5.1 Quantification floue du problème

Dans notre problème, les entrées sont les valeurs de chaque couple émotionnel.

Pour chacun des 5 couples émotionnels, nous définissons 3 courbes. Dans le cas du couple (Joy, Distress) par exemple, les courbes sont Joyeux, Triste et Indifférent, mais en général, nous allons les appeler: Forte, Faible et Indifférente.

Pour obtenir ces courbes, on a encore une fois demandé le concours des gens du laboratoire HERON. Nous avons fait une expérience dans laquelle nous avons demandé à des usagers de spécifier pour des valeurs de e_i (générées aléatoirement entre -1 et $+1$ et arrondies à 0.01 près)⁷ s'ils pensent que le couple est faible, fort ou indifférent. Nous avons représenté les valeurs de e_i par la colonne X et la réponse par Y .

Les résultats obtenus forment une table de la forme suivante :

Valeur de e_i (X)	État de l'agent selon ce couple (Y)
0.1	Indifférent
0.5	Fort
-0.5	Faible
0	Faible
0	Fort
0.3	Faible
0.3	Fort
etc..	Etc..

Table 5. Exemple de la table des valeurs des courbes

Pour dessiner les courbes nous avons utilisé les valeurs dans la table 5 pour déterminer les trois probabilités conditionnelles, chacune de la forme: quelle est la probabilité que l'agent éprouve une émotion faible, forte ou indifférente, sachant que la valeur du couple e_i est égale à x_i , où x_i est une variable discrète variant entre -1 et $+1$, par des intervalles de 0.01.

Soit Y l'état que l'agent éprouve et x_i la variable discrète.

⁷ Pour générer des valeurs aléatoires de e_i , nous avons eu recours à l'application Excel de MICROSOFT, rappelons que nous voulons des nombres entre -1 et $+1$ inclusivement, et arrondis à 0.05. Pour ceci il suffit de remplir une case dans une feuille Excel par la formule : `ROUND(ROUND(RAND(), 2) / 5, 2) * 5 * POWER(-1, TRUNC(RAND()*100))`, et puis la répliquer sur autant de cases que des valeur de e_i voulues.

Nous aurons formellement :

$$Y \in \{\text{Faible, Moyenne, Forte}\}$$

Et on veut

$$P(Y = \text{Faible} \mid e_i = x_i)$$

$$P(Y = \text{Indifférent} \mid e_i = x_i)$$

$$P(Y = \text{Fort} \mid e_i = x_i)$$

$$\text{où } x_i = -1 + 0.1n \text{ et } n \in \{0, 20\}$$

Une approximation des courbes obtenues est également tracée à l'aide de l'application Excel aussi. La figure 16, montre les courbes Joyeux, Indifférent et Triste du couple (Joy, Distress).

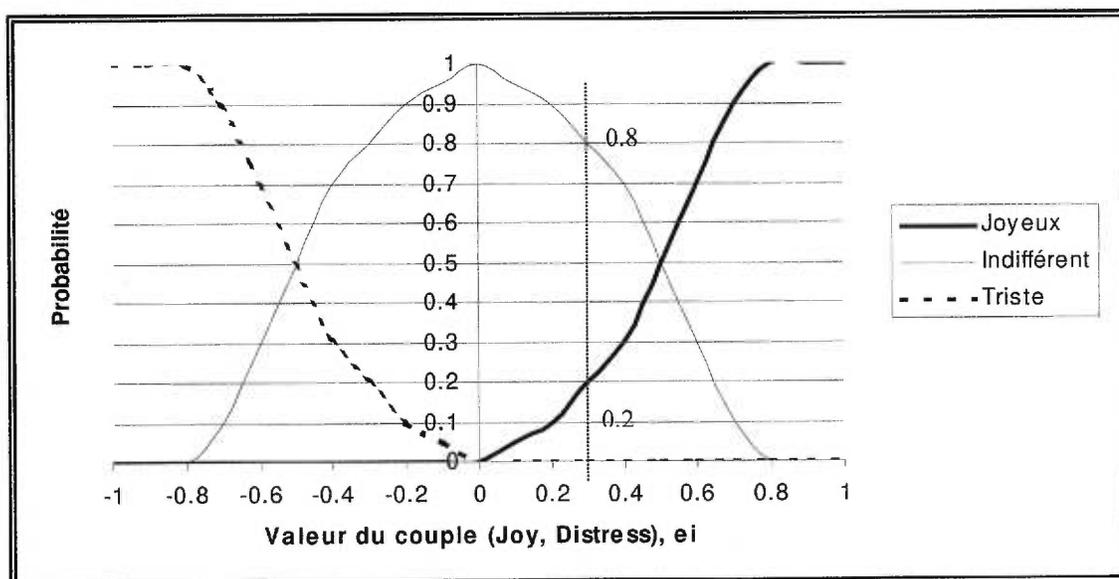


Figure 16. Les courbes Joyeux, Indifférent et Triste du couple (Joy, Distress)

Ces courbes sont finalement une représentation des fonctions de probabilité conditionnelles discrètes. Par exemple, on voit dans la figure 16 que si $e_i = 0$, alors la probabilité que l'agent soit indifférent selon ce couple est égale à 1; la probabilité qu'il soit joyeux est donc égale à 0. Aussi si $e_i = 0.3$, la probabilité qu'il soit indifférent est de 0.8 et qu'il soit joyeux est de 0.2 (approximativement, en lisant le graphe). Les sorties de notre problème sont des couples de réactions associés aux couples émotionnels (voir table 6).

4.5.2 Établissement des règles

La quantification des variables terminée, il a fallu établir les règles liant les entrées aux sorties. Nous avons associé à chacun des 5 couples émotionnels sélectionnés un couple de réaction (Table 6).

Couple émotionnel	Couple de réaction
Joy / Distress	Amuser / Rappeler à l'ordre
Hope / Fear	Rassurer / Faire douter
Satisfaction / Disappointment	Satisfaire / Déstabiliser
Pride / Shame	Flatter / Critiquer
Jealousy / -Jealousy	Rendre jaloux / Rendre moins jaloux

Table 6. Associations couples émotionnels / couples de réaction

La valeur r_i d'un couple de réactions est un entier compris entre -1 et 1 . Un couple de réaction fort (valeur proche de 1) implique que la réaction de gauche du couple est privilégiée, un couple de réaction faible (valeur proche de -1) implique que la réaction de droite est privilégiée.

Pour chacune des associations couple émotionnel e_i / couple de réaction r_i , nous avons défini les règles suivantes :

- Si le couple e_i est faible, alors le couple r_i est fort.
- Si le couple e_i est moyen, alors le couple r_i est moyen.
- Si le couple e_i est fort, alors le couple r_i est faible.

Prenons comme exemple la première de ces règles. Pour le couple (Joy, Distress) une valeur de e_i égale à 0.3 donne une probabilité d'appartenance à la catégorie « Joyeux » de 0.2 et à la catégorie « Indifférent » de 0.8 , et la probabilité qu'il soit de catégorie faible étant nulle. La réaction du tuteur est alors la suivante : il y a une probabilité de 0.2 qu'il rappelle l'ordre à l'apprenant et une probabilité de 0.8 qu'il ne fasse rien.

Ainsi, le type de la réaction obtenue n'est jamais garanti.

Cette approche reflète plus un comportement humain que celle de retourner une réaction directe face à une émotion.

Chapitre 5 Résolution de la matrice M, et validation des résultats

*"If I wanted you to know what I am thinking about,
I would have been talking to you!"*

Al Bundy to Peg,

Maintenant que notre théorie de quantification des émotions humaines est présentée, il reste à calculer la matrice M et à valider nos résultats. Nous présenterons deux approches pour calculer M. Une approche directe et relativement simple à implanter, qui consiste à prendre la moyenne de plusieurs solutions de groupes de n équations à n inconnues. Et une approche qui se base sur un modèle de régression plus adaptée à ce genre de problème. Par la suite, nous présenterons des méthodes de validation des différentes matrices M obtenues.

5.1 Introduction

Maintenant que toutes les composantes nécessaires pour calculer la matrice \mathbf{M} sont bien définies, nous passons au calcul de celle-ci. En utilisant l'application DUFFY, les usagers humains vont nous fournir suffisamment de données pour résoudre le système. Nous commençons par expliquer le déroulement d'une session sur DUFFY et présenter un exemple des données fournies. Aussi, brièvement nous parlons des problèmes que nous avons rencontrés à ce niveau, et leurs solutions. Pour la résolution de \mathbf{M} , nous discuterons les deux approches que nous avons suivies. La première, consiste à résoudre les systèmes d'équations obtenus pour chacun des usagers et de considérer la moyenne comme solution finale. Une approche justifiée par sa simplicité. La deuxième, consiste à utiliser une méthode de régression sur l'ensemble des données fournies par tous les usagers. Cette solution, représente une approche mathématiquement plus rigoureuse pour ce type de problème. En appliquant les deux approches, nous allons obtenir deux valeurs de \mathbf{M} , qui seront validées par la suite.

Pour la validation des valeurs des coefficients des matrices \mathbf{M} obtenues, nous considérons, ici aussi, deux différentes approches. La première approche, plus expérimentale que mathématique, consiste à utiliser des usagers humains pour valider la rationalité de la variation des couples émotionnels face à la performance de l'apprenant. La deuxième approche, plus rigoureuse mathématiquement, consiste à comparer des nouveaux états émotionnels venant des usagers humains avec des états calculés par \mathbf{M} . Avec cette méthode, nous avons comparé les deux résultats de \mathbf{M} que nous avons obtenus par les deux différentes méthodes de résolution.

5.2 Résolution de la matrice \mathbf{M}

Les premiers tests effectués après l'implantation du système DUFFY (i.e. des tests où les usagers choisissent les nouveaux états émotionnels pour nous fournir les données de la solution d'un \mathbf{M}), ont été relativement décevants. Les usagers humains qui se sont prêtés à l'expérience n'avaient pas toujours très bien saisi le sens réel des couples

émotionnels et l'interface leur posait parfois quelques problèmes. Nous avons donc réorganisé certains détails de cet interface pour la rendre plus conviviale et plus intuitive. Puis, lors des séances de tests, nous avons discuté suffisamment avec l'expérimentateur afin de bien s'entendre sur la signification et le rôle de chacun des 13 couples émotionnels.

Pour résoudre le système pour chaque usager (comme la première approche de résolution le propose), il faut que ce dernier retourne $13 \times 16 = 208$ équations distinctes de la forme :

$$e'_i = \sum_{j=1}^{13} a_{ij} * e_j + a_{i14} * P_e + a_{i15} * (P_p)_e + a_{i16} * dd$$

D'ailleurs à chaque fois que l'utilisateur met à jour les couples avec les curseurs (voir figure 13) il nous donne une grille de 13 équations à 16 inconnues. À titre d'exemple, nous exposons ici une grille tirée d'un fichier résultat:

0.1	-0.9	-0.2	0.6	-0.3	0.6	-0.1	0.6	0.75	0.35	-0.2	-0.7	0.1	0.7	-0.2	0.95	0.45
-1	-0.1	-0.1	0.35	0.35	-0.1	-0.4	0.7	-1	0.25	0.5	-1	0.05	-0.9	0.45	-0.2	0.75
-0.8	0	-0.1	0.6	-0.9	-0.3	-0.1	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	0	-0.9	-0.2	-0.8	0.6
0.95	0.85	-1	0	0.5	0.5	-0.3	0.7	-0.5	0.95	-0.1	0.25	-0.4	0.15	0.7	-0.5	-0.1
0.65	-0.6	-0.7	-0.2	-0.8	0.6	-0.1	0.4	0.45	0.9	0.3	0.2	0.9	0.4	0.8	-0.2	0.4
-0.9	0.05	0.75	0.85	-0.5	0.5	-0.8	0.6	0.4	-0.3	-0.3	0.8	0.45	1	0.9	0.4	0.55
0.45	0.05	0.15	0.55	0.5	0	0.8	-0.9	0.05	-0.8	-0.6	0.65	0.55	0.45	0.4	-0.8	0.7
-0.5	0.95	-0.6	0.2	-0.1	-0.9	0.05	0.3	-0.2	-0.4	-0.5	1	-0.6	-0.2	0.65	-1	0.35
0.95	-0.3	0.9	0.75	0.1	0.9	0.65	0.3	-0.6	0.8	0.95	-0.3	-0.6	0.8	0.75	-0.6	0.1
-1	-0.1	0.8	0.4	0.4	0.2	-0.4	0.8	0.85	0.25	-0.8	0.65	0.95	-0.9	0.25	-0.2	-0.1
-0.7	-0.6	-0.7	0.7	-0.1	0.1	-0.9	-0.3	0	-0.7	0.4	0.7	-0.4	-0.7	-0.2	0.6	0.15
-0.1	-0.9	-0.4	-0.6	0.05	-0.6	0.9	-0.8	-0.5	0.8	0.25	0	0.3	-0.3	-0.4	0.3	-0.7
-0.6	0.8	0.5	0.15	0.65	-0.6	-0.2	-0.7	-0.3	0.85	0.9	-0.7	0.7	0.15	0.65	-0.7	0.75

La première ligne de cette grille est l'équation suivante :

$$0.1 = -0.9a_{1,1} - 0.2a_{1,2} + 0.6a_{1,3} - 0.3a_{1,4} + 0.6a_{1,5} - 0.1a_{1,6} + 0.6a_{1,7} + 0.75a_{1,8} + 0.35a_{1,9} - 0.2a_{1,10} - 0.7a_{1,11} + 0.1a_{1,12} + 0.7a_{1,13} - 0.2a_{1,14} + 0.95a_{1,15} + 0.45a_{1,16}$$

Et ainsi de suite, si l'utilisateur répète la mise à jour 16 fois, il va nous fournir un système complet et solvable.

Un problème nous échappa au début. Ce problème vient de la situation où l'utilisateur, pendant l'expérience, ne change pas l'état émotionnel dans l'interface lors du passage d'un événement à l'autre. Cette situation ayant pour conséquence de mener des équations identiques, elles forment un système d'équation avec un nombre infini de solutions. Pour résoudre ce problème, nous avons réglé notre interface de façon à ne pas passer à l'état suivant si l'utilisateur n'a pas bougé au moins un curseur. Mais, on s'est rendu compte que si l'utilisateur change un curseur et le retourne à sa place initiale, le système va passer à la prochaine étape mais de nouveau avec des équations répétées. Alors, nous avons décidé d'introduire un test qui va faire en sorte que la session ne termine pas avec l'utilisateur tant qu'on n'a pas obtenu assez d'équations pour obtenir une solution unique au système.

Maintenant, nous pouvons passer à l'étape suivante, celle de solutionner pour \mathbf{M} , en s'assurant que, pour chaque usager nous avons un système d'équations solvable avec une solution unique.

5.2.1 Résolution exacte de \mathbf{M} par usager

La première approche que nous avons adoptée pour résoudre pour \mathbf{M} consiste à résoudre directement les systèmes d'équations fournis par DUFFY. Pour ceci, nous avons eu recours à la méthode du pivot de Gauss. Notre implantation de cette méthode en JAVA est présentée dans l'annexe 3.

Chaque coefficient a_{ij} de la matrice solution \mathbf{M} finale est égal à la moyenne des a_{ij} dans les matrices de chacun des usagers (l'annexe 4 est un exemple d'une matrice \mathbf{M} résultat, dans un fichier que DUFFY retourne à la fin de la session de l'utilisateur).

Dans le cas le plus général, nous avons K usagers et par la suite K matrices \mathbf{M} .

Soit a_{ijn} les coefficients de la matrice \mathbf{M}_n résultat de l'utilisateur n , $n=1, 2, \dots, K$.

Alors, les coefficients a_{ij} de la matrice \mathbf{M} résultat sont calculés par la formule

$$a_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^K a_{ijn}}{K}$$

Dans notre cas, nous avons retenu six usagers et la matrice résultante M_e (e pour approche de résolution exacte) que nous avons obtenue est la suivante :

	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	e_8	e_9	e_{10}	e_{11}	e_{12}	e_{13}	P_e	$(P_p)_e$	dd
e_1	0	0.15	-0.1	0	0.05	-0.2	-0.1	0	0	-0.2	0.1	0.05	0	-0.2	0	0
e_2	-0.1	0	0	0.05	0.15	-0.1	0	0	-0.3	0	0	0	-0.1	0.15	0	0.05
e_3	0	0	0.15	-0.2	0	0	0	0.1	-0.1	-0.1	0	0.05	-0.1	0	0.15	0
e_4	-0.1	-0.2	0	0.15	0	0.05	-0.2	0	0	-0.1	0.05	0	0.05	-0.1	-0.1	0.05
e_5	-0.2	0.1	-0.1	0	0.15	0	-0.1	0	0.1	-0.1	0	0	0	-0.1	0	0.05
e_6	0	0	0.05	-0.1	-0.1	0.05	-0.1	-0.1	0.1	-0.1	0.05	0.1	-0.2	0	0.05	0
e_7	0	0	0.15	-0.1	0	0.05	-0.3	0	0	0	0	0.05	-0.1	0.1	-0.2	0
e_8	0.15	-0.2	0	0	0.05	0	-0.1	0.05	-0.1	0	0.05	0	-0.1	-0.1	0.1	0
e_9	-0.1	0.15	0	0.1	-0.2	0	0	0	-0.1	-0.1	0.05	-0.1	0.05	0.05	-0.1	0
e_{10}	0	-0.1	0.1	-0.1	0.1	0	0	-0.2	0.05	0	0.05	-0.1	-0.1	0	-0.1	-0.1
e_{11}	0.1	0.05	0.05	0	0	-0.1	-0.1	0.2	0	-0.1	-0.2	0.05	0	-0.2	0.05	0
e_{12}	0.1	0.05	-0.1	0.15	-0.1	-0.1	0	0.05	0	0.1	-0.2	0	0	0.2	0	-0.1
e_{13}	0.05	0	-0.1	0.05	-0.1	0	0.1	0.1	-0.1	-0.1	0	-0.2	0	0	0	0.05

Cette solution, bien qu'exacte, repose sur une approche intuitive centrée sur un usager. Nous allons procéder par la méthode de régression qui repose sur une validation mathématique.

5.2.2 Résolution de M par régression

La façon classique pour résoudre ce genre de problème et de faire une régression qui minimise l'erreur quadratique moyenne de notre échantillon, résultant en une matrice optimale. Nous avons aussi appliqué ce genre de solution sur le même ensemble des E fournis expérimentalement par les usagers.

Notre modèle est le suivant :

$$E_t = f(E_{t-1}, P_t) + a_t \text{ où } a_t \text{ est un bruit blanc.}$$

Soit X le vecteur formé en combinant les éléments de E_{t-1} et de P_t , i.e.

$$X = (e_1, \dots, e_{13}, p_1, p_2, p_3)$$

Soit Y le vecteur final E_t .

Soit L le nombre total d'observations (Y, X) dans notre échantillon.

Notre modèle se réduit alors au suivant :

$$Y = MX + a \text{ où } a \text{ est un bruit blanc.}$$

Notre but est de résoudre pour le minimum de la somme des résidus entre les valeurs calculées et les valeurs expérimentales pour les L observations.

Formellement, nous voulons trouver le M optimal qui vérifie l'équation:

$$\min \sum_{i=1}^L (Y_i - MX_i)'(Y_i - MX_i); \text{ où' veut dire le vecteur transposé}$$

L'estimateur de cette régression est le suivant :

$$\hat{M} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (X_i' X_i)^{-1} X_i' Y_i$$

Dans notre cas, nous avons un total de 96 combinaisons de Y et X , donc notre $L = 96$. Rappelons que chaque usager a fourni 16 valeurs de Y en lui donnant 16 valeurs de X

La solution M_x (r pour régression) que nous avons obtenue est présentée ci-dessous :

	e ₁	e ₂	e ₃	e ₄	e ₅	e ₆	e ₇	e ₈	e ₉	e ₁₀	e ₁₁	e ₁₂	e ₁₃	P _e	(P _p) _e	dd
e ₁	0.05	0.1	0	-0.1	0	-0.2	-0.15	0.1	0	-0.2	0.25	-0.1	0	0.2	0.1	0.1
e ₂	0	-0.05	-0.05	0.05	0.2	-0.15	0	0.2	-0.3	0	0	-0.1	-0.1	0.05	0	0.05
e ₃	0	0	0	-0.3	0.1	0.05	0.05	0.1	-0.05	0	0	0.05	-0.15	0.05	0.05	0
e ₄	0.05	-0.2	0	-0.1	0	0	-0.1	0	0.05	-0.15	0	0.1	0.05	0.1	0	0
e ₅	0	0.05	0	0	0.3	0.1	-0.1	0	0.05	-0.15	0.2	0	-0.25	0.1	-0.2	0
e ₆	0.1	0	-0.1	0	0	-0.1	-0.1	0.1	0.05	0.05	-0.2	0.05	0	-0.2	0	0.05
e ₇	0	0.1	0	0	0.3	0	0	0.05	0	-0.1	0	0.05	-0.1	-0.2	-0.15	0
e ₈	0	-0.2	0	0.05	0	0.05	0.05	0	0	-0.1	0.05	0	0.05	0.3	-0.1	0.05
e ₉	-0.1	-0.2	-0.1	0	0.15	0	-0.1	0	0.1	-0.1	0	0	0	-0.1	0	0.05
e ₁₀	0	0	0.05	-0.1	-0.1	0.05	-0.1	-0.1	0.1	-0.1	0.05	0.1	-0.2	0	0.05	0
e ₁₁	0.15	-0.2	0	0	0.05	0	-0.1	0.05	-0.1	0	0.05	0	-0.1	-0.1	0.1	0
e ₁₂	0.05	-0.3	0.05	0	0	-0.1	-0.1	0.2	0	-0.1	0	0.05	0	0.2	0.05	0
e ₁₃	-0.1	-0.2	-0.1	0	0.15	0	-0.1	0	0.1	-0.1	0	0	0	-0.1	0.2	0.05

5.3 Validation des matrices résultats

Maintenant que nous avons obtenu des estimations pour M , nous allons discuter leurs validations. Notre première approche consiste à comparer les variations de quelques couples émotionnels avec la performance de l'apprenant, et voir si ces variations répondent aux espérances des usagers. Cette approche sera présentée dans la section 5.3.1. Notre deuxième approche, consiste à comparer la différence entre les états

obtenus par des M calculés et les états retournés expérimentalement par les usagers. Dans notre cas, elle va nous permettre de comparer M_a avec M_r et elle sera présentée dans la section 5.3.2. Finalement, dans la section 5.3.3 et au niveau de DUFFY-STI nous proposons aussi une approche de validation qui consiste à valider les réactions du tuteur aussi avec un jugement des usagers humains.

5.3.1 La fluctuation des couples émotionnels contre la performance

Nous avons demandé à un groupe de personnes de répondre à un petit questionnaire (5 questions en tout) dans lequel elles nous décrivent ce qu'elles attendent de point de vue comportement des cinq couples émotionnels, retenus dans la partie DUFFY-STI. Des questions de type : "est-ce que vous pensez que la joie d'un étudiant augmente si sa performance dans un examen s'améliore, ou non ?" Suite à ce sondage nous avons classé les réponses en trois catégories: varie positivement, varie négativement et indécis. Si plus de 2/3 des réponses sont de même opinion nous optons pour cette opinion, sinon nous le catégorisons comme indécis. Par exemple, sur 12 personnes il y en a eu 11 qui ont répondu à la question précédente en disant que la joie augmente avec la performance. Puisque 11/12 (= 91.66 %) est supérieur à 66.66 % nous disons que le couple "Joy/Distress" varie positivement avec la performance Ceci nous a permis de construire la table 7

Couple émotionnel	Influence
Joy / Distress	Varie positivement
Hope / Fear	Indécis
Satisfaction/Disappointment	Varie positivement
Pride / Shame	Varie positivement
Jealousy / -Jealousy	Varie négativement

Table 7. Comportement des couples émotionnels selon le jugement humain

Sur un autre plan, nous avons vu au chapitre 4 que les couples varient selon la formule $e_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}e_j + \sum_{j=n+1}^{m+n} a_{ij}p_j$. Ce sont donc les coefficients $a_{i,j}$ de la matrice de calcul M qui servent comme facteur de multiplication (i.e. facteurs de variation).

Dans des différentes sessions sur DUFFY-STI et spécifiquement en utilisant la matrice de régression M_r , nous avons enregistré, dans une grille, les valeurs de chaque couple émotionnel et la performance de l'apprenant. L'annexe 6 montre une grille typique d'une session. Ceci nous a alors permis de tracer des courbes de variation des couples émotionnels versus la performance de l'apprenant. Les courbes des couples (Joy, Distress) et (Jealousy, -Jealousy), que nous voulons interpréter, sont représentées dans la figure 17. L'annexe 5 montre les variations de tous les cinq couples.

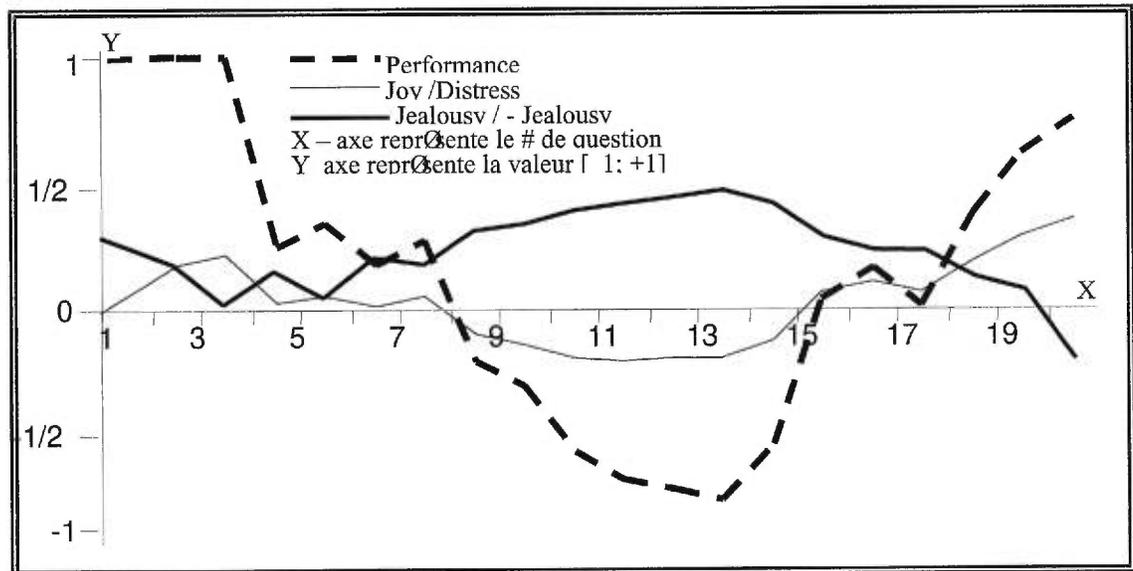


Figure 17. Les couples émotionnels vs la performance de l'apprenant

L'axe des Y représente les valeurs des couples et de la performance qui varient entre -1 et $+1$ et l'axe des X représente le numéro de la question. Brièvement, nous remarquons que les couples émotionnels varient d'une façon moins affirmée que la performance (il y a un amortissement).

Le couple (Joy, Distress) varie dans le même sens que la performance.

Le couple (Jealousy, -Jealousy) varie dans le sens contraire de la performance.

De même, en regardant l'annexe 5, nous constatons que les couples (Hope, Fear), (Satisfaction, Disappointment) et (Pride, Shame) varient dans le même sens que la performance (en fait, le couple (hope, fear) est un peu moins évident que les autres). En comparant ceci avec la table 7, nous trouvons que les couples varient selon les

anticipations des usagers humains. Là où les usagers ont anticipé une « varie positivement » le couple varie dans le même sens que la performance, et vice versa.

Donc, notre matrice fait varier l'état émotionnel dans un sens "conforme" aux anticipations des usagers.

5.3.2 Erreurs sur les différents M

La deuxième approche de validation de **M** consiste à calculer les déviations quadratiques entre des différents **Y** calculés par les différents **M** et les **Y** expérimentaux.

Nous avons réutilisé DUFFY avec un autre groupe d'usagers qui nous ont fourni des **Y** expérimentaux en partant des **X** (ou plutôt des nouveaux **E** en partant des **E** et **P**). Et nous avons aussi calculé ces **Y** avec M_e et M_x .

Exemple

Un des **X** avec lequel nous avons commencé est le suivant:

$$X = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.1 \\ 0 \\ -0.1 \\ -0.2 \\ 0 \\ 0 \\ 0.15 \\ -0.1 \\ 0 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.05 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix}$$

Le Y_u retourné par un usager en partant de cet X est le suivant :

$$Y_u = \begin{bmatrix} 0.25 \\ 0.1 \\ 0.2 \\ 0 \\ -0.15 \\ 0 \\ -0.15 \\ 0.2 \\ 0.1 \\ 0 \\ 0 \\ 0.1 \\ 0.2 \end{bmatrix}$$

Le Y_e calculé par la matrice M_e est le suivant :

$$Y_e = M_e * X$$

$$\Rightarrow Y_e = \begin{bmatrix} 0 & 0.15 & -0.1 & 0 & 0.05 & -0.2 & -0.1 & 0 & 0 & -0.2 & 0.1 & 0.05 & 0 & -0.2 & 0 & 0 \\ -0.1 & 0 & 0 & 0.05 & 0.15 & -0.1 & 0 & 0 & -0.3 & 0 & 0 & 0 & -0.1 & 0.15 & 0 & 0.05 \\ 0 & 0 & 0.15 & -0.2 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & -0.1 & -0.1 & 0 & 0.05 & -0.1 & 0 & 0.15 & 0 \\ -0.1 & -0.2 & 0 & 0.15 & 0 & 0.05 & -0.2 & 0 & 0 & -0.1 & 0.05 & 0 & 0.05 & -0.1 & -0.1 & 0.05 \\ -0.2 & 0.1 & -0.1 & 0 & 0.15 & 0 & -0.1 & 0 & 0.1 & -0.1 & 0 & 0 & 0 & -0.1 & 0 & 0.05 \\ 0 & 0 & 0.05 & -0.1 & -0.1 & 0.05 & -0.1 & -0.1 & 0.1 & -0.1 & 0.05 & 0.1 & -0.2 & 0 & 0.05 & 0 \\ 0 & 0 & 0.15 & -0.1 & 0 & 0.05 & -0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.05 & -0.1 & 0.1 & -0.2 & 0 \\ 0.15 & -0.2 & 0 & 0 & 0.05 & 0 & -0.1 & 0.05 & -0.1 & 0 & 0.05 & 0 & -0.1 & -0.1 & 0.1 & 0 \\ -0.1 & 0.15 & 0 & 0.1 & -0.2 & 0 & 0 & 0 & -0.1 & -0.1 & 0.05 & -0.1 & 0.05 & 0.05 & -0.1 & 0 \\ 0 & -0.1 & 0.1 & -0.1 & 0.1 & 0 & 0 & -0.2 & 0.05 & 0 & 0.05 & -0.1 & -0.1 & 0 & -0.1 & -0.1 \\ 0.1 & 0.05 & 0.05 & 0 & 0 & -0.1 & -0.1 & 0.2 & 0 & -0.1 & -0.2 & 0.05 & 0 & -0.2 & 0.05 & 0 \\ 0.1 & 0.05 & -0.1 & 0.15 & -0.1 & -0.1 & 0 & 0.05 & 0 & 0.1 & -0.2 & 0 & 0 & 0.2 & 0 & -0.1 \\ 0.05 & 0 & -0.1 & 0.05 & -0.1 & 0 & 0.1 & 0.1 & -0.1 & -0.1 & 0 & -0.2 & 0 & 0 & 0 & 0.05 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ -0.1 \\ 0 \\ -0.1 \\ -0.2 \\ 0 \\ 0 \\ 0.15 \\ -0.1 \\ 0 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.05 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix} =$$

$$\Rightarrow Y_e = \begin{bmatrix} 0.23 \\ 0.055 \\ 0.0775 \\ 0.0875 \\ -0.1125 \\ -0.08 \\ -0.2375 \\ 0.1475 \\ -0.045 \\ 0.035 \\ 0.0275 \\ 0.19 \\ 0.055 \end{bmatrix}$$

et de même Y_r serait le suivant :

$$Y_r = M_r * X$$

$$\Rightarrow Y_r = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.1 & 0 & -0.1 & 0 & -0.2 & -0.15 & 0.1 & 0 & -0.2 & 0.25 & -0.1 & 0 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & -0.05 & -0.05 & 0.05 & 0.2 & -0.15 & 0 & 0.2 & -0.3 & 0 & 0 & -0.1 & -0.1 & 0.05 & 0 & 0.05 \\ 0 & 0 & 0 & -0.3 & 0.1 & 0.05 & 0.05 & 0.1 & -0.05 & 0 & 0 & 0.05 & -0.15 & 0.05 & 0.05 & 0 \\ 0.05 & -0.2 & 0 & -0.1 & 0 & 0 & -0.1 & 0 & 0.05 & -0.15 & 0 & 0.1 & 0.05 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.05 & 0 & 0 & 0.3 & 0.1 & -0.1 & 0 & 0.05 & -0.15 & 0.2 & 0 & -0.25 & 0.1 & -0.2 & 0 \\ 0.1 & 0 & -0.1 & 0 & 0 & -0.1 & -0.1 & 0.1 & 0.05 & 0.05 & -0.2 & 0.05 & 0 & -0.2 & 0 & 0.05 \\ 0 & 0.1 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0.05 & 0 & -0.1 & 0 & 0.05 & -0.1 & -0.2 & -0.15 & 0 \\ 0 & -0.2 & 0 & 0.05 & 0 & 0.05 & 0.05 & 0 & 0 & -0.1 & 0.05 & 0 & 0.05 & 0.3 & -0.1 & 0.05 \\ -0.1 & -0.2 & -0.1 & 0 & 0.15 & 0 & -0.1 & 0 & 0.1 & -0.1 & 0 & 0 & 0 & -0.1 & 0 & 0.05 \\ 0 & 0 & 0.05 & -0.1 & -0.1 & 0.05 & -0.1 & -0.1 & 0.1 & -0.1 & 0.05 & 0.1 & -0.2 & 0 & 0.05 & 0 \\ 0.15 & -0.2 & 0 & 0 & 0.05 & 0 & -0.1 & 0.05 & -0.1 & 0 & 0.05 & 0 & -0.1 & -0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.05 & -0.3 & 0.05 & 0 & 0 & -0.1 & -0.1 & 0.2 & 0 & -0.1 & 0 & 0.05 & 0 & 0.2 & 0.05 & 0 \\ -0.1 & -0.2 & -0.1 & 0 & 0.15 & 0 & -0.1 & 0 & 0.1 & -0.1 & 0 & 0 & 0 & -0.1 & 0.2 & 0.05 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ -0.1 \\ 0 \\ -0.1 \\ -0.2 \\ 0 \\ 0 \\ 0.15 \\ -0.1 \\ 0 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.05 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix} =$$

$$\Rightarrow Y_r = \begin{bmatrix} 0.23 \\ 0.055 \\ 0.0775 \\ 0.0875 \\ -0.1125 \\ -0.08 \\ -0.2375 \\ 0.1475 \\ -0.045 \\ 0.035 \\ 0.0275 \\ 0.19 \\ 0.055 \end{bmatrix}$$

Cette opération a été répétée avec trois usagers en considérant six valeurs de X avec chacun d'eux pour terminer avec un échantillon de mesure de $N = 18$ éléments.

Soit Y_n le $n^{i\text{ème}}$ élément de notre échantillon, et soient e_u , e_e et e_r respectivement les éléments de Y_u , Y_e et Y_r .

Nous calculons alors les équations suivantes :

$$\psi_r = \sum_{n=1}^{18} (Y_{u,n} - Y_{r,n})'(Y_{u,n} - Y_{r,n}) = \sum_{n=1}^{18} \sum_{i=1}^{13} (e_{u,n,i} - e_{r,n,i})^2 = 0.154$$

$$\text{et } \psi_e = \sum_{n=1}^{18} (Y_{u,n} - Y_{e,n})'(Y_{u,n} - Y_{e,n}) = \sum_{n=1}^{18} \sum_{i=1}^{13} (e_{u,n,i} - e_{e,n,i})^2 = 0.214$$

Avec notre échantillon, il est clair que la différence entre l'erreur introduite en adoptant la matrice \mathbf{M}_e est plus grande que celle avec la matrice \mathbf{M}_r . Dans ce cas, ceci est conforme l'idée que le modèle de régression offre une estimation optimale de \mathbf{M} , qui minimise l'erreur quadratique moyenne.

Cette expérience pourrait être répétée sur d'autres échantillons pour avoir des estimations encore plus significatives. Cette méthode nous permet aussi de comparer des différents \mathbf{M} venant des approches de calcul différentes ou encore venant des mêmes approches proposées mais avec d'autres échantillons de départ.

Chapitre 6 Conclusion

Notre domaine de recherche touche beaucoup à la psychologie cognitive. Nous proposons un modèle de quantification des émotions humaines dans un contexte pédagogique. Ce modèle, pourrait être une porte vers des études plus approfondies dans les domaines de modélisations de la psychologie cognitive. DUFFY nous a permis de valider la première partie de notre travail. Une étude plus profonde, doit mettre plus de ressources sur le choix de la matrice M . Dans notre cas, il nous est impossible de s'approfondir plus dans le calcul de M sans faire tomber d'autres parties du projet. Au niveau de DUFFY-STI, la validation n'est pas complète. Ceci est dû au fait que DUFFY-STI n'a pas été implanté en entier. Rappelons que nous avons simplifié le problème énormément en passant de 13 couples émotionnels à 5. Même avec cette simplification, nous avons juste produit un comportement du tuteur face à des valeurs de couples émotionnels, et non intégré cette partie dans l'interface de DUFFY-STI. Pour cette raison les résultats et les validations de DUFFY-STI ont une valeur plus qualitative que quantitative, ce qui nous convient extrêmement. Notre modélisation des réactions du tuteur est très simple. Nous ne doutons pas qu'une modélisation mathématique plus complexe des réactions humaines doit être nécessairement beaucoup plus compliquée que celle développée dans ce document.

Comme dans toute autre étude de modélisation, nous soulevons autant de questions que nous donnons de réponses. Avec autant de satisfactions que de déceptions. Dans le reste de ce chapitre, nous allons essayer de dégager les limitations que nous avons rencontrées tout au long de ce travail. Des limitations qui se divisent en deux familles : celles dues autant à la nature du problème et celles de nature technique. Nous allons également mentionner des idées qui peuvent être poursuivies dans des travaux futurs plus approfondis.

Les limitations que nous avons rencontrées sont les suivantes :

Limitation technique

Au niveau technique, la conception du projet était la partie la plus importante. Nous établissons un contexte dans lequel un agent émotif pourrait bien fonctionner, et l'état émotionnel pourrait être facile à poursuivre. Du fait que nous étions capables de poursuivre l'implantation sans aucun problème conceptuel, nous croyons que notre choix de considérer comme contexte un STI avec la stratégie du perturbateur, était le bon. La programmation elle-même a été effectuée en langage JAVA sur une plate-forme Windows NT et l'outil de programmation était Borland JBuilder. Le seul problème que nous ayons rencontré a été l'introduction de la librairie SWING de Java par Sun dans la version JDK1.1.7 dans notre environnement de développement. Cette librairie est une librairie de composantes interfaces qui est censée remplacer AWT (les composantes de AWT étant codées originalement en langage C ce qui n'est pas le cas des composantes de SWING). Donc, comme cette librairie est plus "portable", nous avons fait la migration de AWT à Swing. Bien qu'auparavant, avec AWT nous étions toujours capables d'exécuter nos deux applications sur les stations SUN® du DIRO sans aucun problème au niveau des composantes des interfaces. D'autres part, nous notons que nous avons utilisé des classes développées par Borland, surtout au niveau de l'interface (le layout manager XYLayout de Borland en est une), alors nous avons dû les importer pour pouvoir exécuter nos applications sur Unix.

Aussi, la classe `JTabbedPane` de swing nous a posé quelques problèmes en changeant d'un «panel» à l'autre. Pour résoudre ce problème, nous avons, en vain, essayé de faire une suppression explicite des images dans le premier «panel». Finalement nous avons consulté le site web de sun/java pour comprendre que ces problèmes sont dus à la performance de la carte vidéo installée.

Limitation due à la nature du problème

La nature de notre sujet de recherche, comme nous avons déjà pu le remarquer, traite des entités qui touchent à des aspects humains très compliqués. À plusieurs reprises, il a fallu que nous tracions une ligne entre la pédagogie, la

psychologie et l'informatique. Plus d'une fois, nous nous sommes rappelés que notre but n'était pas de trouver une représentation parfaite des émotions ou des caractères des êtres humains, mais plutôt de démontrer que si cette représentation ou modélisation existe, le seul outil en mesure de la traiter est l'informatique.

Au niveau des couples émotionnels, plusieurs choix étaient possibles. Ceci a été résolu en adoptant la classification d'Elliot qui est la plus facile à utiliser du fait qu'Elliot lui-même s'en est déjà servi dans ses projets.

D'autre part, nous avons rencontré des problèmes d'aspects humains dont nous faisons part dans la première partie de Duffy. Nous rappelons que cette partie est un "mapping" des réactions humaines à travers l'interface pour calculer les coefficients de la matrice de calcul. Le comportement humain n'est pas stable, il est fonction de l'humeur, de l'intelligence, de l'âge, du niveau d'études, de l'ethnie, du sexe, etc. Encore plus, un même usager pourrait donner des états émotionnels différents devant les mêmes conditions. Nous estimons que la solution par régression nous a donné la meilleure solution possible avec notre échantillon de départ (rappelons que nous avons des feedback de six usagers). Cette solution pourrait ne pas être optimale dans tous les cas et les situations, mais elle est la meilleure possible dans notre cas.

Idées de recherches non explorées

Plusieurs idées de recherches ont été considérées à travers les différentes étapes du projet. Des travaux sur les caractères et le type de personnalités qu'un agent pourrait posséder ont été mis en place. Nous avons eu l'idée de jouer sur le type d'émotions, sur leurs intensités et sur leurs degrés de variations pour projeter différentes personnalités. Ainsi, nous avons essayé d'établir des règles pour définir notamment:

- 1) les qualités d'un caractère optimiste (content, plein d'espoir, etc.) ou pessimiste (crainte, désespoir, etc.).
- 2) les aspects généraux d'un tuteur (en accentuant la satisfaction, la fierté et l'admiration, etc.), d'un compagnon, etc.
- 3) les aspects qui correspondent à des traits de personnalités traditionnels. Ainsi, un agent possédant une grande variation dans les intensités de ses émotions ou une variation

brutale (i.e. il se fâche, puis son humeur change rapidement, il devient content; tantôt il est satisfait, tantôt déçu etc.) est un agent à personnalité “sanguine”, etc.

Cependant le travail est loin d'être complet. Mais le fait que des étudiants⁸ avec des ressources bien limitées ont pu développer cette théorie, nous donne l'espoir qu'un jour, avec des ressources plus importantes, un développement plus “industriel” pourra prendre place.

Travaux Futurs

Notre travail est loin d'être achevé. Des tests devront être mis en place, pour calculer l'amélioration des STI après y avoir ajouté la couche émotive au modèle de l'apprenant de façon plus précise. Plus exactement, nous voulons faire passer des usagers humains sur un STI traditionnel, leur enseigner un sujet puis les tester, par la suite ajouter l'aspect émotif au STI et enseigner aux même usagers un sujet équivalent (si le sujet est le même, les usagers n'auront plus le même niveau de connaissances), puis les tester à nouveau.

Un autre aspect que nous avons abordé et qu'il faut analyser un peu plus en détail est que l'impact d'une couche affective sur l'apprenant est fonction du niveau de connaissances de ce dernier. Dans nos travaux préliminaires [Abou-Jaoude & Frasson, 1998a], [Abou-Jaoude & Frasson, 1998b], nous nous sommes rendu compte que les STI affectifs influencent les usagers suivant leurs niveaux de connaissances. Plus précisément, le système est plus efficace avec les usagers qui ont un niveau de connaissances faible, tandis qu'il est moins performant avec les experts.

⁸ Troncy Raphael et Olivier Charra ont développé une partie assez importante de DUFFY-STI dans le cadre du cours IFT-6243. Moi-même (Sassine Abou-Jaoude) j'ai travaillé sur la première partie et sur le développement de la théorie émotive, dans le cadre de ma maîtrise.

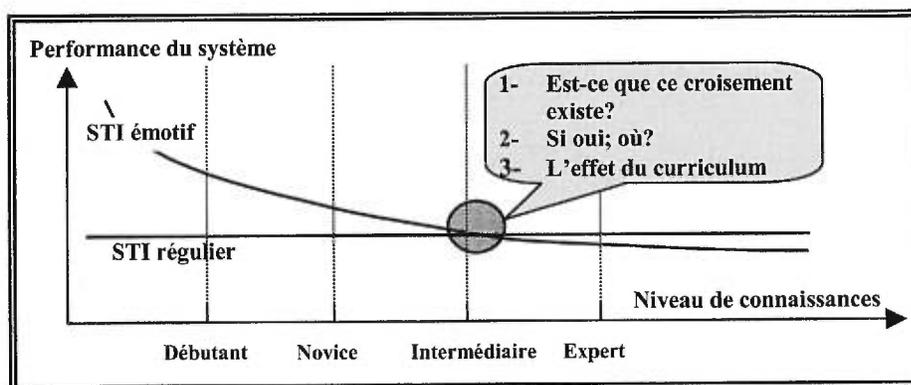


Figure 18. STI émotif vs STI régulier en fonction du niveau de connaissances de l'apprenant

Nos recherches préliminaires démontrent que les experts sont plus intéressés aux approches directes.

Est-ce qu'un croisement existe (voir figure 20) entre les STI émotifs et les autres, traditionnels? Si oui, à quel niveau de connaissances?

Il nous semble nécessaire de comparer l'amélioration ajoutée au système à la complexité introduite avec la composante émotive. Cette dernière exige des ressources (temps/espaces); l'amélioration dans la performance du STI justifie-t-elle ce coût ?

Aussi, il est absolument nécessaire de produire une comparaison entre l'amélioration ajoutée au système et la complexité additionnelle introduite avec la couche émotive. La couche émotive exige des ressources (temps et espace); la performance des usagers justifie-t-elle ce coût ?

Finalement, nos travaux se sont concentrés sur un tuteur émotif. Pourquoi ne pas considérer un perturbateur émotif ? Un perturbateur aussi doté d'une capacité à comprendre l'état émotionnel de l'apprenant et de réagir suivant ce dernier.

Par exemple, notre tuteur se dispose des actions suivantes :

- il s'anime pour exprimer une satisfaction vis-à-vis de l'élève ou au contraire un mécontentement,
- il donne certains commentaires sur certaines réponses (bonnes ou mauvaises) de l'élève pour tenter de le rassurer ou, au contraire, de le déstabiliser,
- il apporte des commentaires comparatifs sur les performances du perturbateur et de l'apprenant pour augmenter ou diminuer la jalousie de ce dernier,

- il donne des explications concernant certaines réponses, pour aider l'apprenant à reprendre pied si besoin,
- il choisit le niveau de la prochaine question afin de donner espoir à l'apprenant ou au contraire de le faire douter.

Pourquoi ne pas donner au perturbateur un peu de liberté d'action ? Et lui accorder une possibilité d'agir de sorte à ce que :

- il donne de mauvais conseils à l'apprenant et de bonnes réponses au tuteur pour essayer de déstabiliser le premier et/ou de le rendre jaloux,
- il va au contraire jouer le rôle du camarade de classe en donnant à l'apprenant de bons conseils pour le rassurer, le mettre en confiance,
- il s'anime parfois et prend un air "mesquin" quand il a "battu" l'apprenant sur une question afin, là aussi, d'attirer sa jalousie.

En somme, ceux-ci représentent des mesures non exploitées dans ce travail et qui peuvent faire l'objet de futures recherches.

Bibliographie

- [Abou-Jaoude & Aïmeur, 1997] Abou-Jaoude, S. & Aïmeur, E. –Les agents pédagogiques, *Rapport DIRO no 1102*, Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle, Université de Montréal, 1997.
- [Abou-Jaoude & Frasson, 1998a] Abou-jaoude, S. & Frasson, C. – An Agent for Selecting a Learning Strategy, *Nouvelles Technologies de l'Information et de la communication dans les Formations d'ingénieurs et dans l'industrie*, NTICF'98- Rouen, France, 1998.
- [Abou-Jaoude & Frasson, 1998b] Abou-Jaoude, S. & Frasson, C. -Emotion Computing in Competitive Learning Environments, *Proceedings of the workshop on pedagogical agents, Fourth International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, ITS-98, Texas, 1998.
- [Abou-Jaoude & Frasson, 1999] Abou-Jaoude, S., Frasson, C. -Integrating a Believable Layer into Traditional ITS, *International Conference on Artificial Intelligence in Education*, AIED-99, Le Mans, France, 1999.
- [Abou-Jaoude et al., 1999] Abou-jaoude, S. & Frasson, C., Olivier, C. & Troncy, R. – On the Application of a Believable Layer in ITS. *Proceedings of the workshop on animated and personified pedagogical agents, Artificial Intelligence in Education*, AIED-99, Le Mans, France, 1999.
- [Aïmeur et al., 1995] Aïmeur, E., Alexe, C. & Frasson, C. –Tutoring Strategies in SAFARI Project, *Rapport DIRO no 975*, Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle, Université de Montréal, 1997.
- [André et al., 1998] André, E., Rist, T., & Müller, J. –Integrating reactive and scripted behaviors in a life-like presentation agents. In K.P. Sycara and M. Wooldridge (Eds.), *Proceedings of the Second International Conference on Autonomous Agents*, ACM Press, 1998.
- [Ball et al., 1997] Ball, G., Ling, D., Kurlander, D., Miller, J., Pugh, D., Skelly, T., Stankosky, A., Thiel, D., van Dantzich, M., & Wax, T. -Lifelike computer characters: The Persona project at Microsoft, in Bradshaw, J.M. (Ed.), *Software Agents*, AAAI/MIT Press, Menlo Park, CA. , 1997.
- [Bates, 1991] Bates, J., -Deep structure of Virtual reality, *Technical report CMU-91-133*, School of Computer science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 1991.
- [Bates, 2000] <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/project/oz/web/staff/team-oz.html>
- [Blumberg, 1994] Blumberg, B. -Action Selection in Hamsterdam: Lessons from Ethology, *Proceedings of the 3rd International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior*, Brighton, MIT-Press, 1994.
- [CARTE, 2000] <http://www.isi.edu/isd/carte/carte-home.htm>
- [Chan & Baskin, 1990] Chan, T.-W. and Baskin, A.B. - Learning companion systems, in Frasson, C., and Gauthier, G. (Eds.), *Intelligent Tutoring Systems: At the Crossroads of Artificial Intelligence and Education*, chapter 1, 1990.
- [Chan, 1996] Chan, T.-W. -Learning companion systems, social learning systems, and the global social learning club. *Journal of AI in Education* 7 (2), 1996.
- [Cheikes, 1995] Cheikes, B. A. -GIA: An Agent-Based Architecture for Intelligent Tutoring Systems. *Proceedings of the CIKM'95 Workshop on Intelligent Information Agents*, Baltimore, Maryland, 1995.

[Dillenbourg, 1996] Dillenbourg P. -Some technical implications of distributed cognition on the design on interactive learning environments. *Journal of AI in Education* 7(2), 1996.

[Elliot & Siegle, 1993] Elliot, C. & Siegle, G. -Variables influencing the intensity of simulated affective states". In AAAI technical Report for the Spring Symposium on Reasoning about mental States: Formal Theories and Applications. *American Association for Artificial Intelligence*. Stanford University, California, 1993.

[Elliot, 2000] <http://condor.depaul.edu/~elliott/ar/summary.mem>

[Elliot, 1992] Elliot, C. -The Affective Reasoner: A Process Model of Emotions in a Multi-agent system, *PHD Dissertation*, Northwestern University. The Institute of Learning Sciences, technical report No. 32, 1992.

[Elliot, 1997] Elliot, C. -I picked up Catapia and other stories: A multimodal approach to expressivity for emotionally intelligent agents, *Proceedings of the First International conference on Autonomous Agents*, 1997.

[Elliott et al., 1999] Elliott, C., Rickel, J. & Lester J. – Lifelike Pedagogical Agents and Affective Computing : An Exploratory Synthesis, *In Artificial Intelligence Today, Lecture Notes In Artificial Intelligence*, Special Volume 1600, M. Wooldridge & M. Veloso (Eds.), Springer-Verlag, Berlin, 1999.

[entropic, 2000] <http://www.entropic.com/>

[Finin et al., 1994] Finin, T., Fritzon, R., McKay, D. & McEntire, R. –KQML as an Agent Communication Language, *Proceedings of the Third International Conference on Information and Knowledge Management, CIKM'94*, Gaithersburg, Maryland, 1994.

[Franklin & Graesser, 1996] Franklin, S. & Graesser, A. – Is it an Agent or a Program ? : A Taxonomy for Autonomous Agents, *Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages*, Springer-Verlag, 1996.

[Frasson & Aïmeur, 1996] Frasson, C. & Aïmeur, E. -A Comparison of Three Learning Strategies in Intelligent Tutoring Systems, *Journal of Educational Computing Research*, vol 14, 1996.

[Frasson & Gauthier, 1990] Frasson, C. & Gauthier, G. (Eds.) Intelligent Tutoring Systems, *Ablex Publishing Corporation*, New Jersey, 1990.

[Frasson et al., 1996] Frasson, C., Mengelle, T., Aïmeur, E. & Gouardere, G. -An actor-Based architecture for Intelligent Tutoring Systems. ITS'96, Montréal, 1996.

[Frasson, 2000] <http://www.iro.umontreal.ca/~frasson/>

[Gilbert et al., 1995] Gilbert, D., Aparicio, M. & Atkinson, B. -Intelligent Agent Strategy, *Technical Report, Research Triangle Park*, IBM Corporation, 1995.

[Haché & Aïmeur, 1997] Haché, C., Aïmeur, E. -Aéronautique : la réalité virtuelle et ses interfaces, *Rapport DIRO no 1103*, Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle, Université de Montréal, 1997.

[Hayes-Roth & Van Gent, 1996] Rousseau, D. & Hayes-Roth, B. -Improvisational Synthetic Actors with Flexible Personalities". *Technical Report No. KSL 97-10*. Knowledge Systems laboratory, Stanford University, 1997.

[Hayes-Roth , 1995] Hayes-Roth, B. –An Architecture for Adaptive Intelligent Systems, *Artificial Intelligence* 72, 1995.

[HERON, 2000] <http://www.iro.umontreal.ca/labs/HERON/>

[Huffman, 1994] Huffman, S. -Instructable Autonomous Agents, *PhD Thesis*, University of Michigan, Michigan, 1994.

[IBM, 2000a] <http://activist.gpl.ibm.com:81/WhitePaper/ptc2.htm>

[IBM, 2000b] <http://www.IBM.com>

[ISI, 2000] <http://www.isi.edu/>

[Johnson & Rickel, 1998] Johnson, W.L. and Rickel, J., -Steve: An animated pedagogical agent for procedural training in virtual environments. *SIGART Bulletin* 8, 1998.

[Johnson et al., 1998] Johnson, W.L., Rickel, J., Stiles, R., and Munro, A. –Integrating pedagogical agents into virtual environments. *Presence* 7(5), 1998.

[Jonhson & Shaw, 1997] Johnson, W.L. and Shaw, E., -Using Agents to Overcome Deficiencies in Web-Based Courseware, *Proceedings of the AI-ED 97 Workshop on Pedagogical Agents*, 1997.

[Jonhson et al., 2000] Johnson, W.L., Rickel, J.W., Lester, J.C. -Animated Pedagogical Agents: Face-to-Face Interaction in Interactive Learning Environments. *To appear in International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 2000

[Jonhson, 2000] <http://www.isi.edu/isd/johnson-body.html>

[Jonhstone, 1992] Johnstone, K., 1992. -*Impro: Improvisation and the Theatre*, New York: Routledge, 1992.

[Kaltenbach & Frasson, 1994] Kaltenbakh, M, Frasson, C. -Intelligent Tutoring system: A Multidisciplinary Approach, *Encyclopedia of Computer Science and technology*, 1994.

[Laird et al., 1987] Laird, J.E., Newell, A., & Rosenbloom, P.S. -Soar: An architecture for general intelligence. *Artificial Intelligence* 33(1), 1987.

[Lalonde et al., 1997] Lalonde, M., Aïmeur, E., Frasson, C. -Some Directives to Measure the Motivation and the Self-Confidence of a Learner " Second Annual Conference on Telelearning NCE, Toronto, (poster), 1997.

[Langton, 1999] <http://www.trail.com/~cgl/>

[Lefebvre et al., 1996] Lefebvre, B., Nkambou, R., Gauthier, G., Lajoie, S. –The Student Model in the SAFARI Environment for the Development of Intelligent Tutoring System, Premier Congrès d'Electromécanique et Ingénierie des Systèmes, Mexique, 1996.

[Lester & Stone, 1997] Lester, J. C., Stone, B. A. – Increasing Believability in Animated Pedagogical Agents, *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents*, Marina del Rey, California, 1997.

[Lester et al., 1997] Lester, J., FitzGerald, P., Stone, B. -The Pedagogical design studio; exploiting artifact-based task models for constructivist learning." In proceedings of The Third International Conference on intelligent User Interfaces, 1997.

[Lester, 2000] <http://www.csc.ncsu.edu/eos/users/l/lester/www/imedia/james.html>

[lockheed, 1] <http://www.lmco.com/>

[Lupascu, 1997] Lupascu, D. -Étude et réalisation d'un système d'aide à la modélisation des tâches. Mémoire de maîtrise, DIRO, Université de Montréal, 1997.

[Maes et al., 1995] Maes, P., Darrell, T., Blumberg, B. & Pentland, A. -The ALIVE System: Full-Body Interaction with Autonomous Agents, *Proceedings of the Computer Animation '95 Conference*, Geneva, Switzerland, IEEE Press, 1995.

[Maes et al., 1996] Maes, P., Darrell, T., Blumberg, B. & Pentland, A. - The ALIVE System: Wireless, Full-Body Interaction with Autonomous Agents, *Special Issue on Multimedia and Multisensory Virtual Worlds, ACM Multimedia Systems*, ACM Press, 1996.

[Maes, 1993] Maes, P. -ALIVE: An Artificial Interactive Video Environment, *Visual Proceedings of the SigGraph '93 Conference*, ACM SIGGRAPH, Anaheim, CA., 1993.

[Maes, 1994] Maes, P. – Modelling Adaptive Autonomous Agents, *Proceedings of the Twelfth National Conference on Artificial Intelligence*, Vol 1, AAAI Press, Seattle, WA, 1994.

[Maes, 1995] Maes, P. – Artificial Life meets Entertainments: Life Like Autonomous Agents. *Communications of the ACM*, vol 38, No 11, 1995.

[Mubot, 1995] http://concert.kajitani.mce.uec.ac.jp/mubot/mubot_e.html

[Murphy & Hershberger, 1996] Classifying and recovering from sensing failures in autonomous mobile robots. *In Proceedings of AAAI-96*, Morgan Kaufmann, Menlo Park, CA, 1996.

[Ortony et al., 1998] Ortony, A., Clore, G.L. & Collins, A. - The Cognitive Structure of Emotions., Cambridge university Press, 1998.

[OVUM, 1996] <http://www.ovum.com/>

[Reilly & Bates, 1992] Reilly, S. & Bates, J. -Building Emotional Agents, Technical Report CMU-CS-92-143, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, 1992.

[Reilly, 1] <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/project/oz/web/staff/scott.html>

[Rickel & Johnson 1997a] Rickel, J. and Johnson, W.L. - Intelligent Tutoring in Virtual Reality: A Preliminary Report, Proc. of the Intl. Conf. On Artificial Intelligence in Education, 1997.

[Rickel & Johnson, 1997b] Rickel, J., Johnson, L. – Integrating Pedagogical Capabilities in a Virtual Environment Agent. *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents*, Marina del Rey, California, 1997.

[Rickel & Johnson, 1998] Rickel, J. and Johnson, W.L.- Animated agents for procedural training in virtual reality: perception, cognition, and motor control. *Applied Artificial Intelligence Journal*, 1998.

[Rouane & Nkambou, 1997] Rouane, K. and Nkambou, R. – La nouvelle structure du curriculum, Rapport semestriel-008, SAFARI, Département d'Informatique et Recherche Opérationnelle, Université de Montréal, pp. 25-35, Montréal, Québec, 1997.

[Rousseau & Hayes-Roth, 1997a] Rousseau, D. & Hayes-Roth, B. -Personality in Synthetic Agents". Technical Report No. KSL 96-21. Knowledge Systems laboratory, Stanford University, 1997.

[Rousseau & Hayes-Roth, 1998] Rousseau, D. & Hayes-Roth, B. -A Social-Psychological Model for Synthetic Actors, *Agents*, 1998.

[Russel & Norvig, 1995] Russel, S., Norvig, P. – Artificial Intelligence: A Modern Approach, Englewood Cliffs, Prentice Hall , New Jersey , 1995.

[SantFe, 1999] <http://www.santafe.edu/>

[shiri, 1997] Ebrahim, M. & Shiri A. -Etude et modélisation des connaissances et raisonnements de l'apprenant dans un STI, *Département d'informatique*, Université de Montréal, 1997.

[Smith et al., 1994] Smith, D. C., Cypher, A., Sophrer, J. – KidSim: Programming Agents without a Programming Language, *Communications of The ACM*, 37, 7, 1994.

[Smith et al., 1994] Smith, D. C., Cypher, A., Sophrer, J. – KisSim: Programming Agents without a Programming Language, *Communications of The ACM*, 37, 7, 1994.

[Stanford, 1] <http://ksl-web.stanford.edu/people/bhr/>

[Stone & Lester, 1996] Stone, B., Lester, J., -Dynamically sequencing an animated pedagogical agent.” *In Proceeding of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence*, 1996.

[Sweet, 1978] Sweet, J. -Something Wonderful Right Away, *Procesnium Publishiong Inc*, New York, 1978.

[UdeM, 1] <http://www.umontreal.ca/>

[USC, 2000a] <http://www.usc.edu/>

[USC, 2000b] <http://btl.usc.edu/>

[Wooldridge & Jennings, 1995] Wooldridge, M., Jennings, N. -Intelligent Agents: Theory and Practice, *Knowledge Engineering Review*, Vol 10, No 2, 1995.

Annexe 1

Code C et comportement de P_e

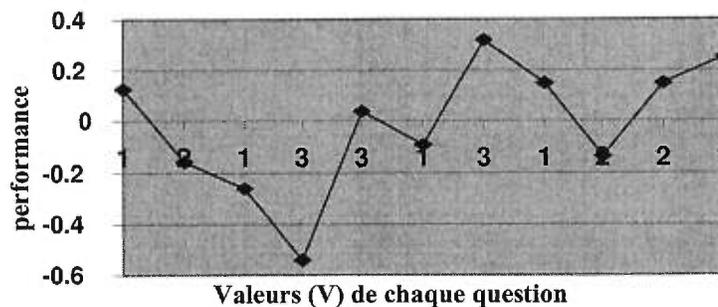
Pour avoir une allure du comportement de la performance de l'agent émotif P_e , nous avons codé en C le bout de code responsable de ce comportement.

```
#include <stdlib.h>
#include <iostream.h>

float Get_R () { // Chercher la réponse
    long x;
    x = rand();
    return ( x %2 ) ? -1 : +1 ; // réponse =-1 ou +1
}

float Get_V () { // Chercher la valeur de la question
    long x;
    x = rand(); // Valeur = 1, 2 ou 3
    return ( (x%3) ? 1 : ( (x%2 == 0) ? 3 : 2 ) );
}

int main () {
    float P, V, R;
    P =0;
    cout << "P0 = " << P << "\n";
    for (int i=0; i<= 10; i++) { // générer 10 questions
        V = Get_V();
        R = Get_R();
        P = ( ((1-V/8) * P) + (V/8)*R );
        cout << "P" << i << " = " <<
        V=R=0;
    }
}
```



Exemple de comportement typique de P_e


```
        }
    }
    else { //reponse_p_etudiant == +1
        if (reponse_etudiant == -1) { //reponse_etudiant == -1
            if (!facteur)
                degre_deception = (double)0.3 ;
            else
                System.out.println("Situation impossible") ;
        }
        else { // reponse_etudiant == +1
            if (!facteur)
                degre_deception = (double)0.5 ;
            else
                degre_deception = (double)1 ;
        }
    }
}
return degre_deception;
}
```

Annexe 3

Code Java du problème du pivot de Gauss

Le code suivant est extrait du fichier Systeme.java appartenant au projet DUFFY. Dans ce fichier une matrice de 16 * 17 (tableau de doubles à double dimension) est initialisée et la méthode du pivot de Gauss traditionnelle a été implantée pour la résoudre.

```
//package Duffy;

import java.io.* ;
import java.util.* ;
import java.lang.Math.* ;

public class Systeme
{
    /**** Declarations des variables globales *****/
    int indice ; /* indice de la prochaine ligne libre */
    double [][] matrice ; /* le systeme d'equation */
    double [] equation_temp ;

    /**** Constructeur *****/
    Systeme()
    {
        matrice = new double[16][17] ;
        equation_temp= new double[17] ;
        Initialise() ;
    } // Systeme()

    /**** Methodes *****/

    void Initialise()
    {
        indice = 0 ;
    } // void Initialise()

    boolean Systeme_Plein ()
    {
        return (indice == 16) ;
    } // boolean Systeme_Plein ()

    void Insere_Equation (double[] equation)
    {
        /* "equation" est un tableau de 17 reels */
        int j ;
        for (j=0;j<=16;j++)
            matrice[indice][j] = equation[j] ;
        indice = indice + 1 ;
    } // void Insere_Equation

    boolean Existe_Equation_proportionnelle (double[] equation)
    {
        /* "equation" est un tableau de 17 reels. Vrai si il existe deja une equation proportionnelle a "equation"
        dans matrice */
        double rapport ;
```

```

    int i, j ;
    boolean proportionnel = false ;
    i = 0 ;
    while( (i < indice) && (!proportionnel) )
    {
        j = 1 ;
        rapport = equation[0]/matrice[i][0] ;
        while ( (j <= 16) && (rapport ==
equation[j]/matrice[i][j]) )
            j++ ;
        if (j > 16)
            proportionnel = true ;
            i++ ;
    }
    return proportionnel ;
} // boolean Existe_Equation_proportionnelle

double[] Resolution ()
{
    int i, j ;
    double max ;
    double[] colonne_resultat = new double[16] ;
    boolean pivot;
    for (i=0;i<=15;i++)
    {
        pivot=Verifie_Ligne(i);
        if (pivot) Pivot_Gauss(i) ;
    }
    for (i=0;i<=15;i++)
    {
        colonne_resultat[15-i] = matrice[15-i][16] ;
        for(j=1;j<=i;j++)
        {
            colonne_resultat[15-i] = colonne_resultat[15-i]
- matrice[15- i][15-i+j] * colonne_resultat[15-i+j] ;
        }
        colonne_resultat = Normaliser(colonne_resultat) ;
        return colonne_resultat ;
    } //double[] Resolution ()

boolean Verifie_Ligne(int rang)
{
    int i;
    int j=rang;
    if (matrice[rang][rang]==0)
    {
        for (i=0;i<17;i++)
            equation_temp[i]=matrice[rang][i];
        while ((j<16) && (matrice[j][rang]==0))
            j++;
        if (j<16)
        {
            for (i=0;i<17;i++)
                matrice[rang][i]=matrice[j][i];
            for (i=0;i<17;i++)

```

```

        matrice[j][i]=equation_temp[i];
        return true;
    }
    else
        return false;
}
else
    return true;
} // Verifie_Ligne

void Pivot_Gauss (int nb)
{
    int i, j ;
    double multiplicateur ;
    double diviseur ;
    diviseur = matrice[nb][nb] ;
    for (j=nb;j<=16;j++)
        matrice[nb][j] = (matrice[nb][j]/diviseur) ;
    for(i=nb+1;i<=15;i++)
    {
        multiplicateur = matrice[i][nb] ;
        for(j=nb;j<=16;j++) {
matrice[i][j] = matrice[i][j] -
(matrice[i][j]*matrice[nb][j]) ;
        }
    } // Pivot_Gauss

    double[] Normaliser (double[] colonne_resultat)
    {
        int i ;
        double somme = 0 ;
        for (i=0;i<=15;i++)
            somme = somme +
java.lang.Math.abs(colonne_resultat[i]) ;
        for (i=0;i<=15;i++)
            colonne_resultat[i] = colonne_resultat[i] / somme ;
        return colonne_resultat ;
    } // double [] normaliser

    void Affiche ()
    {
        int i, j ;
        for(i=0;i<=15;i++)
    {
            for (j=0;j<=16;j++)
                System.out.print(matrice[i][j]+" ");
            System.out.println("");
        }
        System.out.println("-----");
    } //void affiche

} // classe systeme

```

Annexe 4

Exemple des valeurs des coefficients de la matrice de calcul M

Le tableau suivant représente un exemple typique des valeurs des coefficients expérimentaux de la matrice de calcul M. Suite à plusieurs sessions avec différents usagers nous avons adopté la moyenne pour chacun des coefficients.

Name: **Imad**
 Family Name: **Eid**
 Age Category: **20-25 years**
 Sex: **Male**

Matrix results

	Joy/distress	Happy-for/Resentment	Sorry-for/Gloating	Hope/Fear	Satisfaction/Disappointment	Relief/Fears-confirmed	Pride/Shame	Admiration/Reproach	Liking/Disliking	Gratitude/Anger	Gratification/Remorse	Love/Hate	Jealousy/-Jealousy
Joy/distress	0	0.15	-0.1	0	0.05	-0.2	-0.1	0	0	-0.2	0.1	0.05	0
Happy-for/Resentment	-0.1	0	0	0.05	0.15	-0.1	0	0	-0.3	0	0	0	-0.1
Sorry-for/Gloating	0	0	0.15	-0.2	0	0	0	0.1	-0.1	-0.1	0	0.05	-0.1
Hope/Fear	-0.1	-0.2	0	0.15	0	0.05	-0.2	0	0	-0.1	0.05	0	0.05
Satisfaction/Disappointment	-0.2	0.1	-0.1	0	0.15	0	-0.1	0	0.1	-0.1	0	0	0
Relief/Fears-confirmed	0	0	0.05	-0.1	-0.1	0.05	-0.1	-0.1	0.1	-0.1	0.05	0.1	-0.2
Pride/Shame	0	0	0.15	-0.1	0	0.05	-0.3	0	0	0	0	0.05	-0.1
Admiration/Reproach	0.15	-0.2	0	0	0.05	0	-0.1	0.05	-0.1	0	0.05	0	-0.1
Liking/Disliking	-0.1	0.15	0	0.1	-0.2	0	0	0	-0.1	-0.1	0.05	-0.1	0.05
Gratitude/Anger	0	-0.1	0.1	-0.1	0.1	0	0	-0.2	0.05	0	0.05	-0.1	-0.1
Gratification/Remorse	0.1	0.05	0.05	0	0	-0.1	-0.1	0.2	0	-0.1	-0.2	0.05	0
Love/Hate	0.1	0.05	-0.1	0.15	-0.1	-0.1	0	0.05	0	0.1	-0.2	0	0
Jealousy/-Jealousy	0.05	0	-0.1	0.05	-0.1	0	0.1	0.1	-0.1	-0.1	0	-0.2	0

Performances

Learner	1	1	0.8	0.6	0.6	0.8	0	0.4	0	-0.2	0.2	0.4	0	-0.2	0.2	-0.2
Troublemaker	1	0.2	0.4	0.4	0.6	0.6	0.8	0.8	0.4	0.4	0	0.2	0.4	0.6	0	-0.4

Annexe 5

Résultat de la deuxième partie
de Duffy

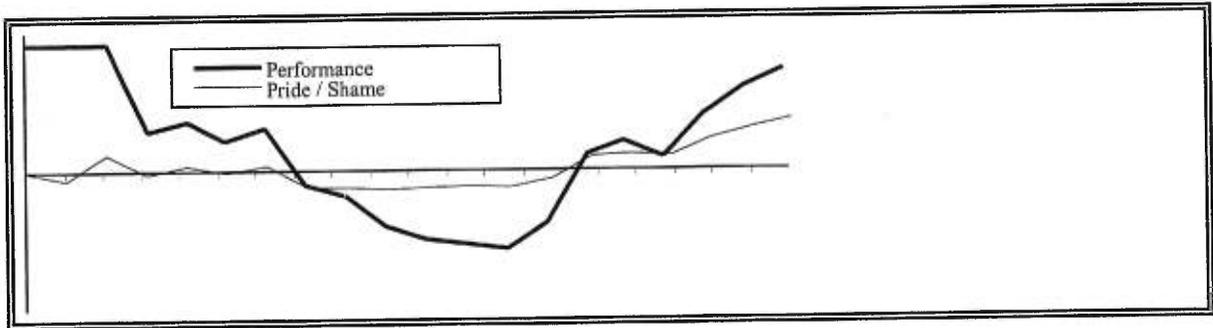
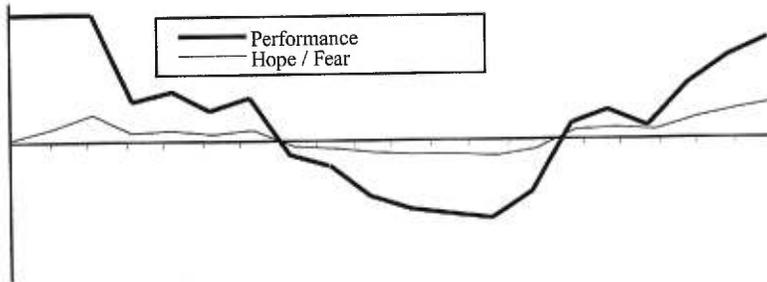
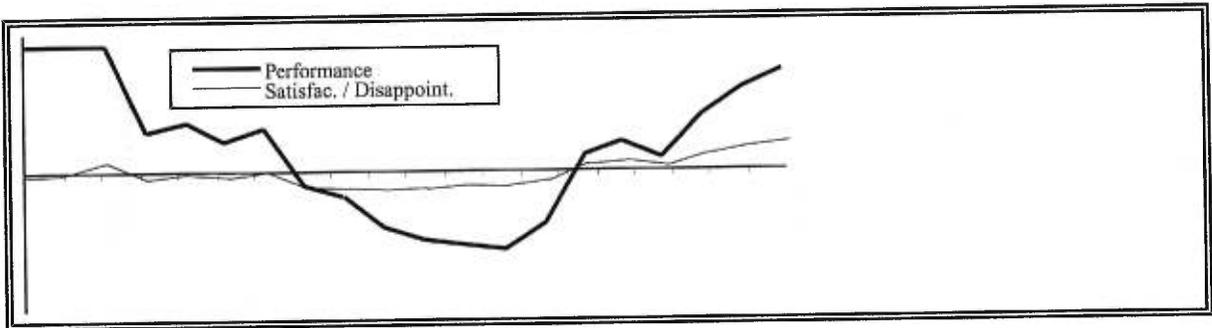
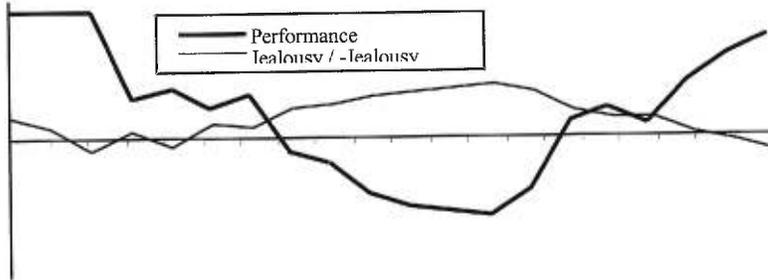
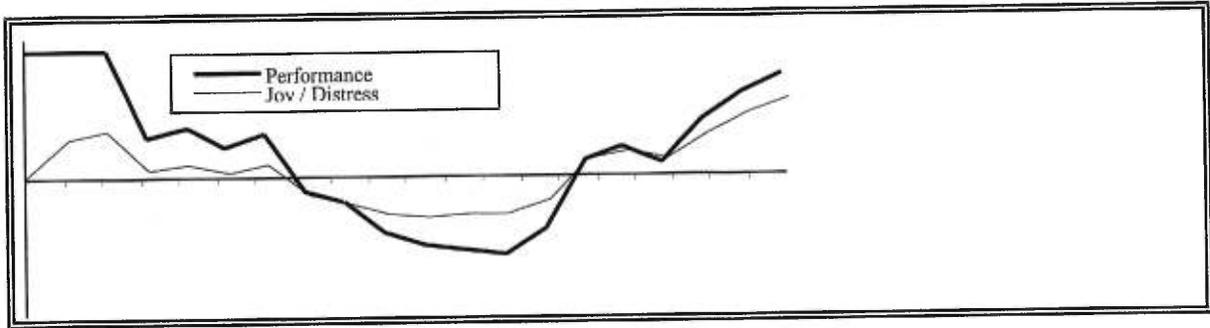
Ci dessous nous présentons un exemple des grilles qui résultent d'une session sur DUFFY-STI. Ces grilles ont servi à tracer les courbes qui suivent, et par la suite valider les coefficients a_{ij} de la matrice de calcul M (voir la conclusion).

Name: **Imad**
 Family Name: **Eid**
 Age Category: **20-25 years**
 Sex: **Male**

Statistics

	Joy/distress	Happy-for/Resentment	Sorry-for/Gloating	Hope/Fear	Satisfaction/Disappointment	Relief/Fears-confirmed	Pride/Shame	Admiration/Reproach	Liking/Disliking	Gratitude/Anger	Gratification/Remorse	Love/Hate	Jealousy/-Jealousy	Learner Performance
Initial Status	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Question 1	0.18	0.11	-0.09	0.08	0.01	0.11	-0.05	-0.19	-0.29	0.06	-0.26	-0.20	-0.04	1.00
Question 2	0.22	0.19	0.01	0.18	0.10	0.20	0.10	-0.02	-0.21	-0.01	-0.26	-0.23	-0.12	1.00
Question 3	0.03	-0.03	-0.05	0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.09	0.01	-0.10	-0.07	-0.05	0.25
Question 4	0.06	0.06	-0.02	0.06	0.02	0.06	0.03	-0.01	-0.07	-0.02	-0.11	-0.11	-0.11	0.34
Question 5	0.02	0.00	-0.02	0.02	-0.01	0.01	-0.01	-0.01	-0.06	0.01	-0.06	-0.04	-0.03	0.18
Question 6	0.05	0.05	0.00	0.05	0.02	0.06	0.03	-0.01	-0.05	-0.01	-0.08	-0.07	-0.04	0.28
Question 7	-0.09	-0.12	-0.07	-0.06	-0.09	-0.11	-0.10	-0.03	-0.03	0.01	0.02	0.04	0.02	-0.20
Question 8	-0.14	-0.11	-0.07	-0.08	-0.10	-0.12	-0.10	-0.04	-0.01	-0.02	0.04	0.03	0.04	-0.30
Question 9	-0.19	-0.16	-0.05	-0.12	-0.12	-0.16	-0.11	-0.02	0.04	-0.02	0.12	0.10	0.06	-0.56
Question 10	-0.20	-0.15	-0.03	-0.13	-0.10	-0.15	-0.10	0.00	0.09	-0.02	0.16	0.13	0.08	-0.67
Question 11	-0.19	-0.14	-0.01	-0.13	-0.09	-0.15	-0.09	0.01	0.11	-0.02	0.18	0.15	0.09	-0.71
Question 12	-0.20	-0.16	-0.02	-0.14	-0.10	-0.16	-0.10	-0.01	0.11	-0.01	0.19	0.17	0.10	-0.75
Question 13	-0.13	-0.08	0.01	-0.10	-0.05	-0.09	-0.05	0.00	0.09	-0.01	0.15	0.12	0.08	-0.53
Question 14	0.06	0.10	0.08	0.03	0.09	0.09	0.08	0.02	0.06	-0.01	0.04	0.02	0.01	0.04
Question 15	0.11	0.10	0.08	0.06	0.10	0.10	0.09	0.04	0.04	0.02	0.01	0.01	-0.01	0.16
Question 16	0.07	0.06	0.06	0.04	0.07	0.06	0.08	0.06	0.07	0.00	0.02	0.02	-0.02	0.02
Question 17	0.19	0.19	0.11	0.13	0.16	0.19	0.18	0.08	0.06	-0.01	-0.05	-0.07	-0.06	0.39
Question 18	0.29	0.26	0.15	0.19	0.22	0.26	0.24	0.11	0.05	0.01	-0.09	-0.09	-0.10	0.62
Question 19	0.35	0.31	0.17	0.23	0.26	0.31	0.29	0.14	0.06	0.01	-0.13	-0.13	-0.13	0.76
Question 20	0.35	0.31	0.17	0.23	0.26	0.31	0.29	0.14	0.06	0.01	-0.13	-0.13	-0.13	0.76

Le courbes qui suivent sont un traçage des couples émotionnels vs. la performance de l'apprenant.



Annexe 6

Exemples de questions, de réponses et d'explications extraites de la base de connaissances utilisée dans DUFFY – STI.

Q veut dire question posée par le système
R veut dire différentes réponses (en choisir une)
E est l'explication proposée par le système

Q : "What are the image formats accepted by HTML browsers?" ;

R : a- "JPEG" ;
 b- "JPEG & GIF" ;
 c- "JPEG & JPG" ;
 d- "TXT" ;

E : "JPEG or JPG & GIF are accepted by HTML" ;

Q : "What should be the name of your first HTML file?" ;

R : a- "index.html" ;
 b- "homepage.html" ;
 c- "home.html" ;
 d- "yourname.html" ;

E : "a) Because most servers will look at this file first and load up faster"

Q : "What does Quicktime & Realplayer formats allow?" ;

R : a- "creation of video interaction" ;
 b- "integration of sound" ;
 c- "integration of MPEG video formats" ;
 d- "integration of video sequences having MPEG and API formats" ;

E : "d) while MPEG and AVI are mostly Quicktime formats but other softwares exist for the same purpose"