

Université de Montréal

**Systemes Tutoriels Émotionnellement Intelligents**

par

Magalie Ochs

Département d'informatique 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

Maîtrise ès Science (M.Sc.) en informatique

Juillet, 2004

©Magalie Ochs, 2004



QA

76

U54

2004

V. 036

## AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

## NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

**Systèmes Tutoriels Émotionnellement Intelligents**

présenté par :

Magalie Ochs

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Jean Vaucher

président-rapporteur

Claude Frasson

directeur de recherche

Valtchev Petko

membre du jury

Mémoire accepté le 23 septembre 2004

# Résumé

De récentes recherches ont montré que les émotions étaient étroitement liées à tout processus cognitif. Dans le contexte de l'apprentissage par exemple, un individu, tant face à un humain que face à une machine, va ressentir de nombreuses émotions qui vont fortement influencer ses capacités cognitives. L'intégration d'une intelligence émotionnelle dans les systèmes tutoriels intelligents (STI) permet de gérer les émotions d'un apprenant et ainsi d'optimiser ses performances. Dans ce mémoire, nous présentons le nouveau concept de *Système Tutoriel Emotionnellement Intelligent (STEI)*, et nous décrivons comment réaliser de tels systèmes à travers un agent, appelé *Agent Emotionnellement Intelligent (AEI)*, capable d'ajouter de manière modulaire les capacités de l'intelligence émotionnelle à un STI traditionnel. Pour un STI, être émotionnellement intelligent signifie être capable de mesurer en tous temps les émotions d'un apprenant, de déterminer quelles émotions sont optimales pour l'apprentissage, et de générer ces émotions chez l'apprenant. Nos méthodes pour réaliser un tel système sont basées sur le raisonnement à base de cas et des algorithmes de graphe.

**Mots-clés :** Émotions, système tutoriel intelligent, raisonnement à base de cas, intelligence émotionnelle, conditions d'apprentissage.

# *Abstract*

Recent research has shown that emotions and cognitive processes are narrowly linked. During learning for instance, an individual, both in front of a human or in front of a computer, experiences a variety of emotions which will strongly influence his cognitive abilities. The integration of emotional intelligence in Intelligent Tutoring Systems (ITS) allow for managing the learner's emotions and, hence, for optimizing his performances. In this thesis, we present the novel concept of *Emotionally Intelligent Tutoring Systems (EITS)* and describe how to realize such systems through an agent called *Emotionally Intelligent Agent (EIA)*, able to add, in a modular way, the capabilities of emotional intelligence to traditional ITS. To integrate emotional intelligence into an ITS means to give it the capacity to measure the learner's emotions at any time, to generate specific emotions in him, and to determine which emotions are optimal for learning. We have analyzed in detail each of these capabilities and propose concrete methods based on Case-based reasoning and graph algorithms for realizing it.

**Keywords:** Emotions, intelligent tutoring systems, case-based reasoning, emotional intelligence, learning conditions.

# Tables des Matières

<i>Résumé</i> .....	<i>iii</i>
<i>Abstract</i> .....	<i>iv</i>
<i>Tables des Matières</i> .....	<i>v</i>
<i>Liste des Figures</i> .....	<i>vi</i>
<i>Liste des Tables</i> .....	<i>vi</i>
<b><i>Introduction</i></b> .....	<b><i>1</i></b>
<b><i>Partie I. Intelligence et Systèmes Tutoriels</i></b> .....	<b><i>3</i></b>
<b>Chapitre 1. L'Intelligence dans les Systèmes Informatiques</b> .....	<b>4</b>
1.1 Les différentes formes d'intelligence.....	5
1.2 Les agents intelligents.....	6
<b>Chapitre 2. Systèmes Tutoriels Intelligents (STI)</b> .....	<b>8</b>
2.1 Histoire et définition .....	8
2.2 Architecture d'un STI .....	9
2.3 Les stratégies pédagogiques.....	10
<b>Chapitre 3. L'Intelligence Émotionnelle</b> .....	<b>12</b>
3.1 Histoire et définition .....	12
3.2 Construire un système émotionnellement intelligent .....	14
3.3 Réalisation de systèmes émotionnellement intelligents .....	18
<b>Chapitre 4. L'Intelligence Émotionnelle dans les STI</b> .....	<b>23</b>
4.1 Motivation.....	23
4.2 État de l'art.....	24
<b><i>Partie II. Le Concept de Systèmes Tutoriels Émotionnellement Intelligents</i></b> .....	<b><i>28</i></b>
<b>Chapitre 1. Systèmes Tutoriels Émotionnellement Intelligents (STEI)</b> .....	<b>30</b>
<b>Chapitre 2. Les Conditions Émotionnelles Optimales pour l'Apprentissage</b> .....	<b>43</b>
<b>Chapitre 3. Améliorer l'Apprentissage dans un STI avec un Agent Émotionnellement Intelligent</b> .....	<b>58</b>
<b>Chapitre 4. Expérimentations et Résultats</b> .....	<b>91</b>
4.1 Objectifs des expérimentations .....	91
4.2 Description des expérimentations .....	92
4.3 Analyse des résultats.....	94
<b><i>Conclusion</i></b> .....	<b><i>99</i></b>

<i>Références</i> .....	103
<i>Annexe 1. Descriptions des situations utilisées pour les expérimentations</i> .....	i
<i>Annexe 2. Article Emotionally Intelligent Tutoring Systems (EITS) extrait des actes de la conférence FLAIRS 2004</i> .....	iii

## *Liste des Figures*

<b>Figure 1: Architecture d'un STI</b> .....	9
<b>Figure 2 : Représentation des Émotions à Travers l'Expression Faciale du Robot Kismet</b> .....	19
<b>Figure 4: Image d'écran du <i>CBE Web Experience</i> où l'utilisateur indique son état émotionnel initial</b> .....	92
<b>Figure 5: Image d'écran du <i>CBE Web Experience</i> où l'utilisateur indique sa réaction émotionnelle dans une situation spécifique</b> .....	93
<b>Figure 6: Histogramme de comparaison des distances des états émotionnels de deux participants</b> ...	95

## *Liste des Tables*

<b>Tableau 1: Impact des Émotions sur la Voix</b> .....	15
<b>Tableau 2 : Couples Émotionnels</b> .....	26
<b>Tableau 3: Distances des états émotionnels entre deux participants pour chaque situation</b> .....	94
<b>Tableau 4: Moyenne des écarts entre les résultats obtenus par l'algorithme d'approximation et les résultats réel</b> .....	97



*À Stefan*

## *Introduction*

Alors que les émotions et la cognition ont longtemps été perçues comme deux concepts antinomiques, de récentes recherches ont montré que les émotions étaient étroitement liées à tout processus cognitifs. Par exemple, il peut être impossible de prendre une décision aussi simple qu'elle soit sans émotions [Damasio, 1995]. La perception de l'environnement, les pensées, les jugements, le raisonnement et le comportement d'un individu dépendent de ses émotions [Niedenthal *et al.*, 2002], elles-mêmes issues de la perception de l'environnement et de l'évaluation d'une situation [Ortony *et al.*, 1988].

L'interrelation décrite entre les émotions et la cognition a contribué au développement du concept d'*intelligence émotionnelle*. L'intelligence émotionnelle réside dans la capacité de gérer ses propres émotions et celles d'autrui [Salovey *et al.*, 2000]. Dans les relations interpersonnelles, les aptitudes émotionnelles d'un individu vont déterminer ses chances d'atteindre ses objectifs, par exemple de vente, d'apprentissage ou d'aide [Goleman, 1997]. Aujourd'hui, dans beaucoup de contextes, un des deux participants d'une interaction est remplacé par un système informatique. Un exemple d'un tel contexte est l'enseignement. L'objectif des *Systèmes Tutoriels Intelligents (STI)* est de remplacer un tuteur humain par une machine. Les recherches actuelles visent à développer un tuteur virtuel expert dans la matière à enseigner mais aussi expert pédagogique. Une question est alors qu'est-ce qui caractérise un « bon » pédagogue ?

Un élève lors de l'apprentissage écoute, lit, mémorise, raisonne, analyse, applique mais ressent aussi des émotions telles que la joie, l'anxiété, la fierté ou l'ennui; or les émotions d'un apprenant vont fortement influencer ses capacités cognitives et donc ses performances. Un « bon » pédagogue doit alors être capable de gérer les émotions d'un apprenant afin d'optimiser ses capacités cognitives, c.-à-d. être émotionnellement intelligent.

De récentes recherches ont montré que les utilisateurs interagissaient avec un ordinateur comme si celui-ci était humain : Les actions de l'ordinateur ont la même influence que si elles étaient entreprises par une personne. Par exemple, la réaction d'un utilisateur à des éloges ou des critiques d'un ordinateur est la même que si ces remarques et commentaires étaient issus d'un humain [Reeves & Nass, 1996]. Un ordinateur a donc la capacité de gérer les émotions d'un individu de la même manière qu'un homme.

Beaucoup de travaux de recherche ont porté sur l'intégration d'émotions dans des personnages virtuels alors que la gestion des émotions des utilisateurs est encore très peu explorée. Dans le contexte des STI, les chercheurs ont travaillé sur la modélisation des émotions d'un apprenant dans des contextes particuliers pour des émotions retenues.

L'objectif de cette recherche est d'analyser et d'explorer un nouveau concept de système tutoriel : les *Systèmes Tutoriels Emotionnellement Intelligents (STEI)* dotés des capacités de l'intelligence émotionnelle permettant d'optimiser les capacités cognitives d'un apprenant à travers la gestion des émotions de celui-ci.

La première partie de ce mémoire est constituée d'une introduction au concept d'intelligence, d'une description des systèmes tutoriels intelligents (STI) et d'une présentation du concept d'intelligence émotionnelle et ses applications dans les systèmes informatiques. Dans la deuxième partie du mémoire – organisée sous forme d'un cumulatif de trois articles de recherche – nous présentons tout d'abord le concept de *système tutoriel émotionnellement intelligent (STEI)*. Nous décrivons ensuite comment utiliser les émotions pour améliorer l'apprentissage. Enfin, nous présentons en détail l'architecture d'un STEI et des méthodes concrètes pour sa réalisation.

## **PARTIE I**

# **Intelligence et Systèmes Tutoriels**

*“The question is not whether an intelligent machine can have emotions but  
whether machines can be intelligent without any emotions”*

*The Society of Mind, Marvin Minsky*

# Chapitre 1

## L'Intelligence dans les Systèmes Informatiques

À l'origine, les systèmes informatiques étaient des machines mécaniques et plus tard électriques, capables de résoudre de simples ou plus complexes calculs numériques. Un exemple est l'ordinateur COLOSSUS, vu comme le premier ordinateur électronique, construit dans les années 1940 à Bletchley Parc près de Londres pour briser les codes cryptés allemands. Aucune forme d'intelligence n'était associée à ces premières machines. Avec l'évolution de l'informatique, les chercheurs se sont intéressés à intégrer de plus en plus de capacités humaines dans les ordinateurs – tels que le raisonnement et l'apprentissage – c.-à-d. à les rendre *intelligents*. Aujourd'hui, l'*intelligence artificielle* constitue l'un des plus importants courants de recherche en informatique.

## 1.1 Les différentes formes d'intelligence

L'intelligence se définit comme « la faculté de connaître et d'agir selon des circonstances ». En psychologie, on distingue différentes formes d'intelligence. Généralement, deux catégories d'intelligence sont différenciées : *l'intelligence abstraite* et *l'intelligence pratique*. L'intelligence abstraite, mesurée par le QI (quotient intellectuel), correspond à la capacité de comprendre et manipuler des idées et des concepts abstraits. L'intelligence pratique « se reflète dans nos réponses cognitives aux événements se déroulant en dehors du contexte scolaire » [Wagner, 2000]. Elle se compose donc elle-même de deux formes d'intelligence : *l'intelligence mécanique* et *l'intelligence sociale*. L'intelligence mécanique correspond à la capacité de comprendre et manipuler des objets alors que l'intelligence sociale se définit par rapport aux relations d'un individu avec d'autres personnes. L'intelligence sociale correspond en effet à la capacité d'interagir et de socialiser aisément avec d'autres individus, incluant pour ce faire la capacité de détecter les humeurs ou les traits de personnalité d'autrui [Kihlstorm & Cantor, 2000]. L'humeur se définissant comme une émotion généralement plus persistante, *l'intelligence émotionnelle* constitue une partie de l'intelligence sociale. L'intelligence émotionnelle se définit comme la capacité de percevoir, exprimer, comprendre, interpréter et gérer ses propres émotions et celles des autres.

Les chercheurs se sont intéressés à l'intégration de certaines capacités de ces différentes formes d'intelligence dans des entités logicielles alors appelées *agents intelligents*.

## 1.2 Les agents intelligents

Un agent, du latin « agens », signifie « celui qui agit », « Agent intelligent » se traduirait donc *comme une entité capable d'agir selon les circonstances à partir de ses connaissances.*

En 1994, Smith *et al.* [Smith *et al.*, 1994] ont défini les agents comme étant une « entité logicielle persistante possédant des buts bien précis ». Les agents intelligents se définissent par leur capacité d'agir de manière durable jusqu'à l'achèvement d'un objectif donné.

Mubot en 1995 a défini l'agent intelligent comme une entité renfermant deux concepts : la capacité d'exécuter des tâches de manière autonome et la capacité de raisonner dans un domaine particulier. Mubot a introduit deux concepts importants : le concept d'autonomie dans les agents intelligents, c.-à-d. la capacité d'agir sans l'intervention des humains, et le concept de spécialisation dans un domaine particulier.

Un agent intelligent est pour Maes [Maes, 1995] un « un système qui habite un environnement dynamique complexe, qui est capable de détecter tout changement dans son environnement et qui est capable de réagir de façon autonome, en réalisant des tâches afin d'atteindre des buts pour lesquels il a été conçu ». Ainsi, Maes introduit la notion d'environnement, de perception et d'action, telle que l'exécution d'une tâche, dans ce monde (appelé aussi micro-monde) où l'agent existe suivant ses buts spécifiques et agit toujours de manière autonome.

Gilbert *et al.* [Gilbert *et al.*, 1995] ont défini en 1995 les agents autour des axes suivant: l'intelligence, la mobilité, l'autonomie. L'intelligence correspond ici au degré de raisonnement de l'agent. Par exemple, un agent avec une intelligence moyenne sera capable de planifier et un agent avec une plus grande intelligence sera capable d'apprendre. La mobilité est la capacité de circuler à travers un réseau.

Cheikis [Cheikis, 1995] a introduit la communication entre agents en les définissant comme « des programmes qui communiquent par le moyen de messages encodés à l'aide d'un langage de communication d'agent ». Cheikis a en effet mis au point le langage ACL (Agent Communication Language) de communication entre agents. Il existe aussi d'autres langages de communication, comme par exemple KQML

(Knowledge Query and Manipulation Language) lancé par Finin *et al.* en 1994 [Finin *et al.*, 1994] permettant aux agents de communiquer et donc coopérer.

Les différentes définitions proposées sur les agents mettent en évidence divers attributs : l'autonomie (fonctionner sans intervention humaine), la capacité d'interaction sociale (communication entre agents), la réactivité (capable de réagir à un événement donné), l'initiative (capable de prendre une décision), le raisonnement et la mobilité.

Chaque agent intelligent est spécialisé dans un domaine donné et développé pour une application spécifique. Le domaine d'application d'un agent détermine les capacités – c.-à-d. le type et le niveau d'intelligence – utiles ou même nécessaires pour atteindre efficacement ses buts. Par exemple, un agent intelligent qui interagit avec des humains devrait avoir certaines capacités de l'intelligence sociale, en particulier de l'intelligence émotionnelle. Prenons l'exemple d'un agent assistant des pilotes d'avion dans des situations critiques. Intégrer une intelligence émotionnelle dans un tel agent permettrait à celui-ci d'interagir avec un pilote en prenant en compte ses émotions (tels que le stress, l'anxiété ou la peur) et de choisir des actions particulières afin d'influencer celles-ci – par exemple des actions pour calmer le pilote – afin d'optimiser les capacités du pilote. L'intelligence émotionnelle devrait donc être intégrée dans tout type de systèmes où les émotions de l'utilisateur peuvent influencer son comportement et ses performances. Un autre exemple d'un tel système est un Système Tutoriel Intelligent (STI). Durant une session d'apprentissage, un étudiant peut ressentir de nombreuses émotions de différents types tels que l'espoir, l'ennui, la frustration, la honte mais aussi la fierté, la joie, etc. [Hargreaves, 2002]. Ces émotions peuvent avoir une influence tant négative que positive sur les capacités cognitives d'un apprenant. L'intégration dans un système tutoriel d'une intelligence émotionnelle permettrait de gérer les émotions de l'apprenant et ainsi d'optimiser ses performances.



## Chapitre 2

# Systemes Tutoriels Intelligents (STI)

### 2.1 Histoire et définition

Les ordinateurs sont utilisés dans le domaine de l'éducation depuis plus de 30 ans. La première génération de systèmes a été appelée *Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO)*. L'objectif était alors de remplacer un tuteur humain par une machine. Cependant, les capacités de l'EAO étaient très limitées : Une leçon représentait une simple succession de *information; question; réponse; commentaire* prévue et implémentée par avance par les concepteurs du système. De tels systèmes n'avaient pas la capacité de détecter et comprendre les erreurs et les incompréhensions d'un apprenant, et plus généralement n'étaient pas capable de s'adapter à un apprenant ou une situation spécifique.

Au début des années 80, les progrès en intelligence artificielle et l'utilisation de connaissances des domaines de l'éducation et de la psychologie ont fait naître une nouvelle génération d'EAO : les *Systèmes Tutoriels Intelligents* (STI). L'objectif d'un STI est de simuler un tuteur humain non seulement en tant qu'expert du domaine mais aussi en tant qu'expert pédagogique. Un STI contient et utilise donc des connaissances du domaine à enseigner ainsi que des stratégies pédagogiques. De plus, de tels systèmes sont capables de détecter et interpréter les erreurs de l'apprenant afin d'offrir un enseignement adapté et individualisé à chacun.

## 2.2 Architecture d'un STI

Afin d'intégrer les capacités d'un expert du domaine, des habilités pédagogiques, et une capacité d'adaptation à chaque apprenant, un STI est généralement composé de quatre modules : *le module expert, le module tuteur, le modèle de l'apprenant et une interface* (Figure 1) [Burns et Capps, 1988].

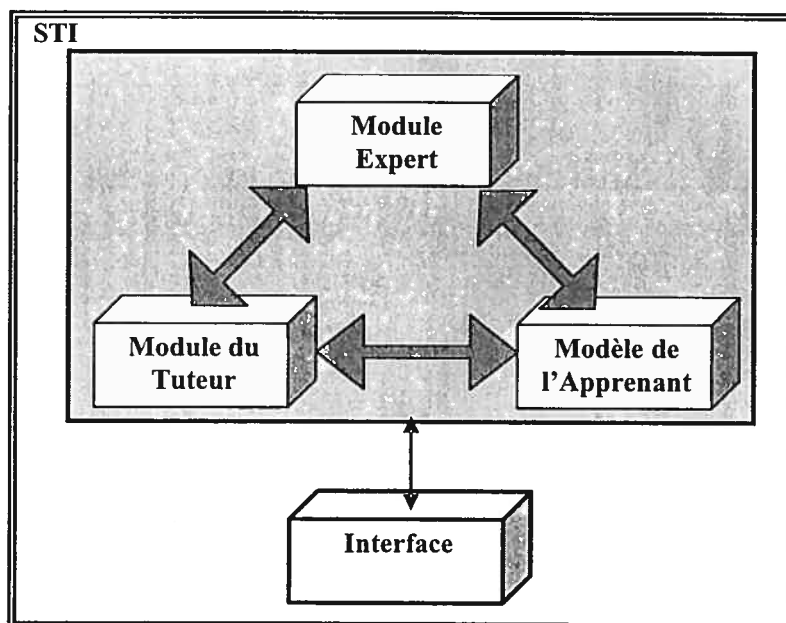


Figure 1: Architecture d'un STI

Le *module expert* contient une représentation des connaissances du domaine à enseigner et un système permettant de les manipuler. Ce module permet à un STI de résoudre les problèmes présentés à l'apprenant et d'interpréter ses réponses. Plusieurs méthodes ont été proposées pour représenter les connaissances du domaine telles que les graphes sémantiques ou des représentations procédurales ou déclaratives.

Le *modèle de l'apprenant* contient les connaissances du domaine acquises par l'apprenant et un ensemble de règles permettant de les déterminer. Ce module peut aussi contenir d'autres informations sur l'apprenant tels que ses idées fausses sur le domaine ou ses préférences pédagogiques. Un STI va utiliser ce module pour déterminer les stratégies pédagogiques adaptées à l'apprenant et apporter un enseignement individualisé.

Le *module du tuteur*, responsable du fonctionnement global d'un STI, représente la composante centrale d'un STI. Ce module détermine en tous temps quelle action spécifique est appropriée à une situation particulière. Il contient en effet l'ensemble des stratégies pédagogiques, et suivant celles-ci choisit et planifie les actions pédagogiques, sélectionne les explications adaptées à l'apprenant et détermine quand et comment intervenir.

Enfin, le *module interface* est responsable de la communication avec l'apprenant.

### **2.3 Les stratégies pédagogiques**

Dans le contexte des STI, différentes stratégies pédagogiques ont été proposés pour améliorer l'efficacité de l'apprentissage. Chaque stratégie définit quand et comment agir pour améliorer les performances de l'apprenant.

La stratégie pédagogique classique la plus utilisée est la *stratégie du tuteur*. Le tuteur, simulé par l'ordinateur, expose les concepts et les tâches que l'apprenant va résoudre sous la supervision du tuteur virtuel qui peut apporter des conseils additionnels. Le tuteur évalue les performances de l'apprenant et l'informe de ses résultats.

Dans la *stratégie du co-apprenant*, l'apprenant étudie avec un co-apprenant – simulé par le STI – ayant acquis précédemment les connaissances. L'objectif est d'aider l'apprenant à construire ses connaissances [Self, 1988].

Dans la *stratégie du compagnon d'apprentissage*, l'apprenant résout les tâches et les problèmes avec un ou plusieurs co-apprenants, simulés par le système, qui ont le même niveau de performance que l'apprenant. Durant l'apprentissage, ces compagnons d'apprentissage peuvent donner des conseils à l'apprenant et *vice versa* [Chan & Baskin, 1990].

Dans la *stratégie du tuteur inversé*, c'est l'apprenant qui joue le rôle du tuteur, enseigne ses connaissances à un compagnon d'apprentissage simulé par le STI et corrige ses erreurs [VanLehn *et al.*, 1994].

Enfin, dans la *stratégie du perturbateur*, développée par Aïmeur et Frasson [Aïmeur & Frasson, 1996], l'apprenant se trouve en présence d'un co-apprenant, simulé par le STI, avec lequel il va suivre la leçon. Ce co-apprenant peut donner tant de mauvais conseils que de bon conseils, pour tester la confiance de l'apprenant dans ses propres connaissances.

Un STI peut utiliser diverses actions – telles que féliciter, critiquer, donner de bons conseils, donner de mauvais conseils, aider, simuler des compagnons d'apprentissage – pour améliorer l'efficacité de l'apprentissage. Ces actions vont aussi influencer les émotions de l'apprenant. Un STI, *s'il était émotionnellement intelligent*, pourrait donc utiliser ces actions pour générer des émotions particulières de manière à augmenter les performances de l'apprenant.

## Chapitre 3

# L'Intelligence Émotionnelle

### 3.1 Histoire et définition

En 1990, deux chercheurs en psychologie, John Mayer et Peter Salovey, ont découvert que tous les individus n'avaient pas la même capacité d'identifier et gérer leurs propres émotions ou celles d'autrui. Ces capacités constituent une forme d'intelligence, appelée *l'intelligence émotionnelle*, qui a été défini comme « la capacité de percevoir et exprimer des émotions, d'identifier les liens entre des émotions et des pensées, de comprendre et de raisonner sur les émotions, et de réguler ses émotions et celles des autres » [Mayer & Salovey, 1997].

L'intelligence émotionnelle se compose de différentes capacités pouvant être regroupées en quatre catégories :

- La première catégorie correspond aux capacités de *percevoir, identifier et exprimer des émotions*. Les émotions d'un individu peuvent être perçues et identifiées à travers ses expressions faciales, son langage ou son comportement général. Ces mêmes aspects peuvent être utilisés pour exprimer une émotion particulière.

- La seconde catégorie de capacités de l'intelligence émotionnelle repose sur la *relation entre les émotions et les pensées*. Par exemple, un individu émotionnellement intelligent devrait connaître l'influence des émotions sur des processus cognitifs tels que l'attention, la motivation, l'apprentissage ou le raisonnement.
- La troisième catégorie regroupe les capacités de *classifier et comprendre les émotions*, c.-à-d. d'être capable d'« étiqueter » une émotion perçue, de distinguer différents types d'émotions, d'interpréter la signification et les effets d'une émotion, de comprendre les émotions complexes, de connaître la relation entre les émotions et de comprendre les processus de transition d'une émotion à l'autre.
- Enfin, la quatrième catégorie correspond à la capacité de *gérer les émotions*, c.-à-d. de comprendre l'effet d'une action sur les émotions d'un individu et d'être alors capable de réguler ses propres émotions et celles d'autrui.

De la même manière que l'intelligence "traditionnelle", quantifiée par le QI, l'intelligence émotionnelle se quantifie par le *quotient émotionnel* (QE). Différents tests ont été développés afin de mesurer le QE. Un exemple est le *Multifactor Emotional Intelligence Scale* (MEIS) [Mayer *et al.*, 2000] qui permet de mesurer les capacités de l'intelligence émotionnelle d'un individu dans chacune des quatre catégories décrites ci-dessus.

L'intelligence émotionnelle a été reconnue comme une composante de l'intelligence importante pour le succès d'un individu dans sa vie personnelle et professionnelle [Goleman, 1997].

Les capacités de l'intelligence émotionnelle permettent d'améliorer la communication entre des individus. Imaginons que l'on réprimande une personne, mais qu'aucune variation de comportement ou d'expression ne s'effectue, l'on continuera à la réprimander jusqu'à percevoir un changement. Les émotions sont alors le reflet d'une communication réussie et d'une compréhension réciproque [Picard, 1997]. De plus, une personne émotionnellement intelligente est capable de mieux comprendre et connaître les autres individus par l'interprétation de leurs émotions. En effet, la réaction émotionnelle

d'un individu va révéler ses buts, ses préférences, ses besoins, ses croyances et ses standards et morales. Par exemple, un individu ressentira de la joie lors de la réalisation d'un de ses buts, et l'intensité de cette émotion va dépendre de l'importance du but [Ortony, Collins & Clore, 1988].

Enfin, étant donné l'influence des émotions sur les processus cognitifs d'un individu, l'intelligence émotionnelle permet d'améliorer les capacités cognitives d'un individu par la gestion de ses émotions [Salovey *et al.*, 2000].

### **3.2 Construire un système émotionnellement intelligent**

Étant donné les avantages de l'intelligence émotionnelle, il serait intéressant de l'intégrer dans des systèmes informatiques. Une question est alors comment donner ces capacités – a priori humaines – à de tels systèmes.

La première composante de l'intelligence émotionnelle est la capacité de *percevoir et exprimer des émotions*. Dans le contexte des systèmes informatiques, les émotions sont généralement exprimées et perçues à travers les expressions faciales. La joie s'exprime par un sourire, la surprise est marquée par l'élévation des sourcils et la tristesse est exprimée par le relâchement des muscles de la mâchoire et une contraction du muscle sourcilier. Ekman a ainsi défini les principales unités musculaires faciales activées caractérisant l'expression des six émotions fondamentales : la joie, la peur, la tristesse, le dégoût, la colère et la surprise [Ekman, 1993].

De la même manière, les émotions vont influencer la voix. Il est possible suivant certaines caractéristiques de la voix tels que l'intonation, l'articulation, l'intensité et la tonalité, de déterminer les émotions d'un individu ou d'exprimer une émotion particulière. Le Tableau 1 montre la relation entre certaines émotions et leur impact sur la voix.

**Tableau 1: Impact des Émotions sur la Voix**

	<b>Peur</b>	<b>Colère</b>	<b>Tristesse</b>	<b>Joie</b>	<b>Dégoût</b>
<b>Vitesse de la parole</b>	très rapide	légèrement rapide	légèrement lent	rapide ou lent	extrêmement lent
<b>Tonalité moyenne</b>	extrêmement haut	extrêmement haut	légèrement bas	très haut	extrêmement bas
<b>Variation de la tonalité</b>	très répandue	très répandue	un peu faible	très répandue	un peu répandue
<b>Intensité</b>	normale	haute	basse	haute	Basse
<b>Qualité de la voix</b>	voix irrégulière	Respiration forte	sonore	respiration forte	respiration moyenne
<b>Changement de la tonalité</b>	normal	abrupte sur des syllabes accentuées	inflexions de haut en bas	inflexions de bas en haut régulière	dernière inflexion de haut en bas répandue
<b>Articulation</b>	précise	tendu	bredouillé	normale	Normale

Elliot a testé la capacité qu'avait un ordinateur d'exprimer des émotions à travers l'expression faciale et la voix. Pour ce faire, il a demandé à un ensemble d'individus de reconnaître les émotions communiquées par l'ordinateur et ceux exprimées par des acteurs. Les utilisateurs reconnaissaient mieux les émotions exprimées par l'ordinateur que ceux exprimées par les humains.

Les émotions peuvent aussi être communiquées à travers le dialogue textuel. En effet, le choix des mots et la ponctuation dans une phrase permettent d'exprimer et de reconnaître des émotions [Boucouvalas *et al.*, 2002].

Certaines postures et gestes peuvent exprimer des émotions. Une personne triste par exemple aura les épaules abaissées, une personne en colère aura des gestes brusques et saccadés.

Enfin, le comportement général d'un individu va être grandement influencé par ses émotions. Les émotions vont en effet induire des actions particulières. Par exemple, la peur pousse un individu à fuir.

Cependant, une action spécifique, la posture ou les gestes peuvent accentuer l'expression d'une émotion particulière, mais ne suffisent pas pour l'exprimer.



Les émotions causent de nombreux changements physiologiques et influencent en particulier la fréquence cardiaque, la pression du sang, la fréquence de la respiration et la résistance électrique de la peau. Ces aspects peuvent être utilisés pour reconnaître les émotions d'un individu [Picard, 1997].

La seconde composante de l'intelligence émotionnelle est de connaître *la relation entre les émotions et les pensées*. Les recherches en psychologie ont montré que généralement les émotions positives facilitent les processus cognitifs d'un individu alors que les émotions négatives les entravent. Cependant, les émotions fortes, tant positives que négatives, peuvent perturber certains processus cognitifs tel que la concentration. Ce sujet est développé en détail dans le Chapitre 2 de la Partie II.

La troisième composante de l'intelligence émotionnelle est la capacité de *classifier et comprendre les émotions*. Le concept d'émotions est flou. Une émotion se définit comme une sensation vive, une réaction affective. Il existe plus de 600 termes et locutions en anglais désignant des émotions. Certains chercheurs ont tenté de limiter cette profusion à un ensemble de termes maniables en définissant des catégories d'émotions. Il n'existe cependant pas de consensus sur le nombre de catégories d'émotions pouvant varier de 2 à 20 suivant les chercheurs. D'autres chercheurs définissent les émotions non pas selon des catégories discrètes mais suivant au moins deux dimensions continues comme la valence (positive/négative) et l'excitation (calme/excité).

Pour comprendre le processus émotionnel complexe d'un individu, différents modèles proposés dans le domaine de la psychologie cognitive peuvent être utilisés. Un exemple – le plus utilisé dans le contexte des systèmes informatiques – est le modèle OCC développé par Ortony, Collins et Clore [Ortony, Clore & Collins, 1988]. Ce modèle propose de représenter les émotions en *clusters* (appelés « emotion type »), où les émotions regroupées dans un même cluster partagent la même cause. Par exemple, le cluster « détresse » regroupe les émotions causées par des événements indésirables, et contient des émotions comme la tristesse et le bouleversement. Le modèle OCC définit ainsi 22 « emotion types ». Dans ce modèle, les auteurs définissent les émotions comme une réaction à une situation composée d'événements incluant des agents et des objets

(n'incluant pas des agents ou des évènements). Le type d'émotion ressentie par un individu dans une situation donnée dépend de ses buts, ses standards et morales, et ses goûts et préférences. Les buts d'un individu représentent tout ce qu'il souhaite réaliser. Un événement est désirable s'il permet à un individu de réaliser un de ses buts. Un événement désirable va amener une personne à ressentir de la joie. C'est le degré de désirabilité de l'événement qui va déterminer l'intensité de cette émotion. De la même manière, la perspective d'un événement indésirable va amener une personne à ressentir de la peur. L'intensité de la peur va dépendre de la probabilité que l'événement se déroule et du degré d'indésirabilité de l'événement. Suivant ses standards et morales, un individu approuve ou désapprouve ses propres actions ou les actions d'un autre individu. Les standards et morales représentent ses croyances sur le monde, comme par exemple « il ne faut pas se battre » et ses croyances sur ses propres performances, comme par exemple « je suis capable de jouer au Badminton pendant trois heures ». C'est ainsi que suivant ses ensembles de croyances un individu pourra ressentir de la fierté ou de la honte, de l'admiration ou du reproche envers lui ou d'autres individus. Une personne va ressentir de l'amour ou du dégoût envers un objet ou une autre personne suivant ses goûts et ses préférences. Certaines émotions sont issues de la combinaison d'autres émotions. Par exemple, le remord apparaît lorsque l'on ressent de la honte et de la tristesse, la colère apparaît avec la tristesse et le reproche.

Même si ce modèle n'a jamais été entièrement implémenté dans un système, il constitue le modèle de référence pour donner la capacité à une machine de « comprendre » le processus émotionnel.

Le modèle OCC va permettre de *gérer les émotions d'un individu*, c.-à-d. de réaliser la quatrième composante de l'intelligence émotionnelle. En effet, étant donné la relation entre l'état cognitif d'un individu (buts, préférences et standards) et ses émotions décrite précédemment, la connaissance de l'état cognitif d'un individu – ou seulement certains aspects – va permettre d'induire des émotions à travers des actions particulières ayant une relation avec son état cognitif, comme par exemple empêcher la réalisation d'un but.

De récentes recherches ont montré que les utilisateurs avaient une propension à interagir avec un ordinateur comme si celui-ci était un humain [Reeves & Nass, 1996]. La réaction par exemple d'un utilisateur à des éloges ou des critiques d'un ordinateur est similaire à celle face à un humain. Ainsi, les flatteries ou compliments d'un ordinateur induisent des émotions positives chez l'utilisateur. Intégrer dans un ordinateur la capacité de gérer les émotions d'un utilisateur est donc équivalent à déterminer comment une personne peut gérer les émotions de son interlocuteur.

### 3.3 Réalisation de systèmes émotionnellement intelligents

Différents systèmes informatiques possédant une ou plusieurs capacités de l'intelligence émotionnelle ont été développés.

L' « Affective Computing Laboratory » du MIT Media Lab travaille sur la conception de systèmes informatiques capables de reconnaître en tous temps les émotions d'un individu à partir de ses paramètres physiologiques. Par exemple, ils ont développé des *affective wearable computers* – sous la forme de bijoux, montres ou manteaux – qui détectent les changements physiologiques et peuvent ainsi déterminer constamment l'état émotionnel courant de l'individu [Picard, 1997].

Le robot *Kismet* développé dans le Humanoïd Robotic Group du MIT est capable d'exprimer différentes émotions à travers son expression faciale (Figure 2), sa posture et sa voix.

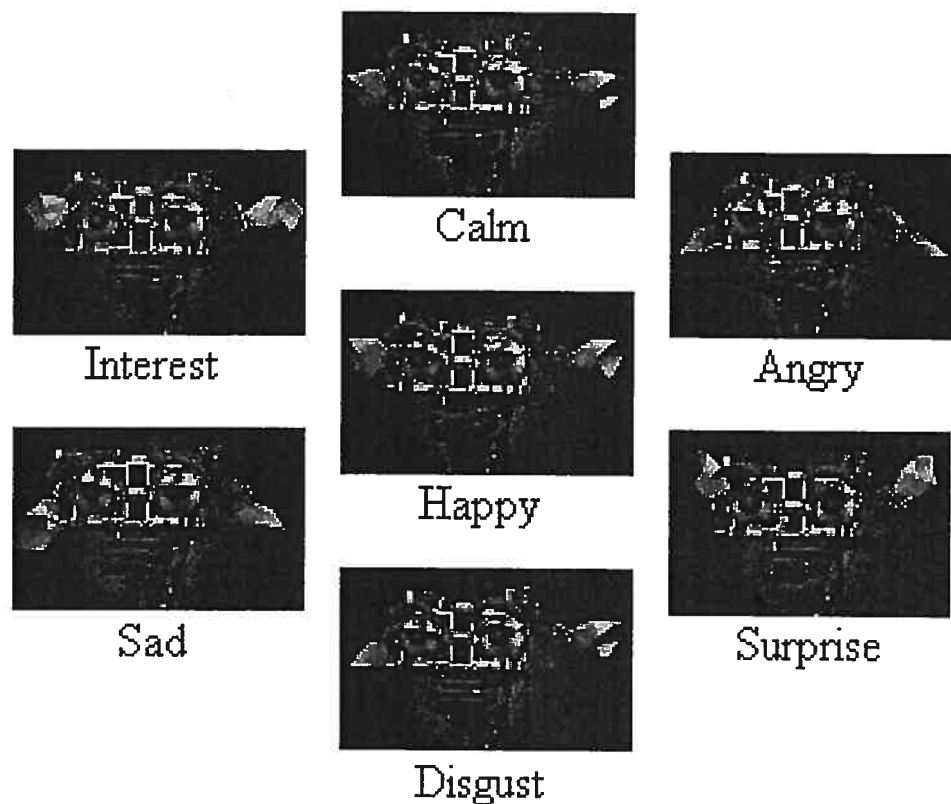


Figure 2 : Représentation des Émotions à Travers l'Expression Faciale du Robot Kismet

Dans le but de créer des mondes virtuels peuplés d'agents ayant toutes sortes d'émotions, Joseph Bates et Scott Reilly [Reilly & Bates, 1992] ont développé le modèle *Em*, basé sur le modèle OCC, qui détermine comment implémenter un processus émotionnel dans un agent virtuel. L'agent émotionnel *Lyotard* est un chat virtuel développé suivant ce modèle. Pour modéliser la désirabilité d'un événement, on associe à chaque but de l'agent un niveau d'importance. Quand un but réussit ou échoue, le modèle *Em* génère une émotion de joie ou de tristesse d'intensité égale à l'importance du but.

La probabilité de succès ou d'échec d'un but va déterminer les émotions de peur et d'espoir. Pour approximer cette probabilité, à chaque but est associé un ou plusieurs tests qui examinent les indices dans l'environnement qui pourraient indiquer le

potentiel de succès ou d'échec du but. Par exemple, l'un des buts de Lyotard est que l'humain ouvre la porte. Un test associé est d'analyser si un humain est près de la porte. Si tel est le cas, Lyotard va ressentir de l'espoir. L'intensité de l'espoir dépend des informations détectées par les tests. Par exemple, Lyotard ressentira plus d'espoir s'il aime bien l'humain.

Les standards de l'agent (prédéfinis pour chaque agent) vont déterminer si l'agent approuve ou non ses actions et celles des agents voisins. Pour ce faire, chaque action est analysée. Si l'action effectuée par l'agent est conforme à ses standards, il pourra ressentir de la fierté et à l'inverse si l'action est contraire à ses standards, il ressentira de la honte. De la même manière, pour les actions des agents voisins, l'agent pourra ressentir, s'il approuve leurs actions, de l'admiration ou au contraire du reproche s'il les désapprouve. Dans Lyotard, seulement deux standards sont modélisés : « aide moi à réaliser mes buts » et « ne cause pas l'échec de mes buts ». Ainsi, par exemple, lorsque le but de manger est réalisé, un test va analyser l'environnement afin de trouver l'humain à proximité qui lui a donné à manger. Si tel est le cas, le modèle Em va générer de l'admiration pour cet humain.

Pour générer l'émotion d'amour ou de haine, le modèle Em définit une liste d'objets pour lesquels l'agent pourrait avoir une réaction émotionnelle. A chacun de ses objets est associé un niveau d'amour ou de haine, qui va évoluer avec le temps. Dans le cas de Lyotard, cette liste se compose simplement des humains. Au départ, Lyotard n'aime pas les humains. Il a cependant un ensemble de règles lui permettant d'adapter son amour pour les humains suivant son expérience émotionnelle avec eux. Par exemple, il aimera plus un humain pour qui il ressent de la gratitude, et au contraire l'aimera moins si il ressent de la colère envers lui.

Les émotions composées telles que la colère, le remords, la gratitude et la gratification vont être générées lorsque les émotions qui les composent sont générées. Leur intensité dépend des intensités des deux émotions qui les composent.

Le modèle Em prévoit un seuil de tolérance émotionnelle pour chaque émotion en dessous duquel cette émotion n'est pas générée. Ainsi, un événement en particulier n'implique pas nécessairement une réponse émotionnelle alors qu'une suite de tels

événements peut générer une réaction émotionnelle. De plus, l'intensité des émotions va diminuer avec le temps.

Le modèle Em n'intègre pas entièrement le modèle OCC. Un ensemble d'émotions telles que la pitié, la jalousie, le soulagement et la déception ne sont pas pris en compte. L'agent Lyotard par exemple ne peut générer de telles émotions. Un tel modèle permet cependant d'intégrer une des composantes de l'intelligence émotionnelle dans des agents virtuels : la capacité de classifier et « comprendre » leurs propres émotions et celles des agents voisins.

L'apparition des émotions dépend non seulement de nos préférences, goûts et standards comme nous l'avons vu dans le modèle précédent, mais aussi de notre vécu, de notre expérience passée. Au fil du temps, nous associons à certains images, sons ou événements une émotion. Par exemple, si dans notre enfance, nous nous sommes fait mordre par un chien, dans notre mémoire le chien sera associé à l'émotion de peur et nous aurons ensuite peur des chiens. De la même manière, certains chercheurs ont tenté de modéliser cette *mémoire émotionnelle* dans les agents virtuels de manière à modéliser une des composantes de l'intelligence émotionnelle: *la relation entre les pensées et les émotions*. La génération d'émotions évolue ainsi suivant leurs expériences passées. La mémoire émotionnelle peut être représentée par un réseau où des stimuli (comme des objets, actions ou agents) sont connectés à des émotions. Au départ, le réseau sera construit à partir des goûts, buts et standards de l'agent. Ensuite, lorsqu'une émotion est générée, l'agent analyse l'environnement pour déterminer des caractéristiques qu'il pourra associer à l'événement et relier à l'émotion générée. Prenons par exemple le cas du robot émotionnel *Yuppy* développé au Laboratoire d'Intelligence Artificielle du MIT. Au départ, *Yuppy* a peur quand on le réprimande. Si un humain *X* le réprimande, *Yuppy* aura peur et après l'analyse de l'environnement associera à *X* l'émotion de peur. Un nouveau nœud *X* sera connecté à l'émotion de peur. Et c'est ainsi que si *Yuppy* recroise *X* plus tard, il aura peur et fuira [Velasquez *et al.*, 1997].

Un autre aspect de la relation entre les pensées et les émotions – une composante de l'intelligence émotionnelle – est la *perception émotionnelle*. La perception de notre environnement dépend en effet de nos émotions. Lorsqu'on ressent des émotions

positives on va percevoir principalement les événements positifs et à l'inverse lorsqu'on ressent des émotions négatives l'on perçoit principalement les événements négatifs [Lisetti et Schiano, 2000]. De la même manière, des émotions des agents peuvent influencer leur façon de percevoir le monde. Par exemple, l'agent émotif *Petei* va définir la probabilité qu'un événement arrive suivant ses émotions courantes. En effet, si *Petei* est dans un état émotionnel positif il aura tendance à s'attendre à ce que des événements positifs se déroulent. Il va ainsi associer à ces événements une grande probabilité. Comme nous l'avons vu dans le modèle OCC, la probabilité qu'un événement se déroule va définir l'émotion de peur ou d'espoir. C'est ainsi que *Petei* va ressentir plus d'espoir quand il ressentira des émotions positives ou au contraire plus de peur si il ressent des émotions négatives [El-Nasr *et al.*, 1999].

## Chapitre 4

# L'Intelligence Émotionnelle dans les STI

### 4.1 Motivation

L'objectif d'un enseignant est de transférer la connaissance le plus efficacement possible. Pour ce faire, un enseignant ne doit pas seulement maîtriser sa matière, mais aussi employer une bonne stratégie pédagogique. Un bon pédagogue va utiliser le feedback de l'apprenant – et en particulier les émotions de ce dernier – pour déterminer comment adapter sa stratégie. Par exemple, si un enseignant réalise que l'apprenant s'ennuie, il va changer sa stratégie afin de gagner son intérêt. L'apprenant va éprouver une variété d'émotions au cours d'une session d'apprentissage – telles que la joie, la frustration, l'anxiété ou l'ennui – qui vont non seulement être un indice pour adapter efficacement l'enseignement, mais vont aussi fortement influencer les capacités cognitives de l'apprenant. L'intelligence émotionnelle d'un enseignant va alors permettre de gérer ces émotions – de réduire l'intensité de certaines, ou d'en générer d'autres – afin d'optimiser les capacités cognitives de l'apprenant.



L'objectif d'un STI est de simuler un bon tuteur, non seulement expert dans son domaine, mais aussi bon pédagogue. Il semble évident qu'un bon enseignant est une personne émotionnellement intelligente, et donc de la même manière un STI émotionnellement intelligent offrira un enseignement plus adapté et plus efficace qu'un STI traditionnel.

La plupart des STI actuels choisissent et adaptent leur stratégies pédagogiques en fonction des performances, connaissances et préférences de l'apprenant, sans tenir compte de ses émotions.

## 4.2 État de l'art

Plusieurs chercheurs ont développé des systèmes tutoriels dotés de certaines capacités de l'intelligence émotionnelle. Nous allons décrire les plus importants exemples en détail.

*Cosmo*, un tuteur virtuel développé au laboratoire IntelliMedia, explique à l'utilisateur comment les ordinateurs d'un réseau sont connectés, comment les routeurs fonctionnent, quelles sont les différentes caractéristiques et composantes physiques des réseaux. Il gravite dans un environnement composé de plusieurs ordinateurs (Figure 3).

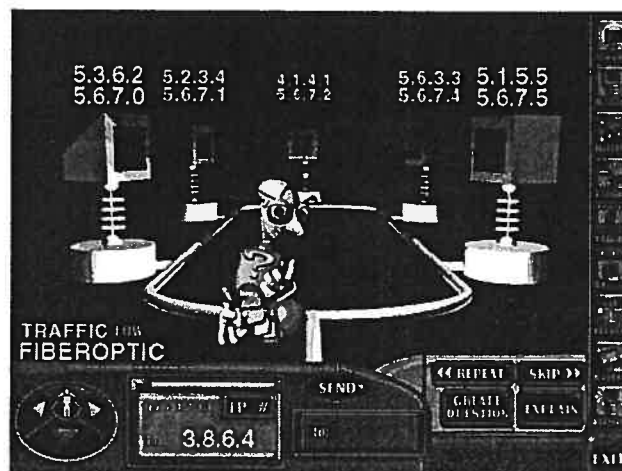


Figure 3 : L'agent *Cosmo* dans son Environnement d'Apprentissage

L'agent *Cosmo* exprime au cours d'une session d'apprentissage différentes émotions à travers son corps entièrement animé. Les principales parties du corps porteuses d'informations émotives sont les yeux, les sourcils, le visage, la bouche, l'inclinaison de la tête, la posture et les gestes des bras et des mains.

*Cosmo* puise au fil de l'apprentissage dans un large répertoire de comportements suivant l'attitude de l'apprenant et le but qu'il cherche à atteindre. Il exprime alors de la joie et de l'excitation quand l'apprenant répond correctement, de la curiosité lors d'une situation incertaine ou de la déception quand le temps de résolution d'un problème dépasse une limite. Chaque comportement de *Cosmo* est modulé par le degré de complexité du problème à résoudre. De plus, *Cosmo* parle, et sa parole permet elle aussi d'exprimer des émotions. Le ton et la forme de la phrase dépendent alors de l'émotion que *Cosmo* cherche à exprimer. Ainsi quand l'étudiant réussit à résoudre un problème, *Cosmo* le félicite oralement, exprime sa joie en applaudissant par exemple; suivant la difficulté du problème, il modère ou exagère son comportement. Le but recherché est alors d'encourager l'apprenant.

L'agent *Cosmo* et son environnement ont été développés en C++. Les discours (au nombre de 240) ont été enregistrés en avance par des acteurs.

*Cosmo* a été testé avec plusieurs utilisateurs et chacun a ressenti du plaisir à interagir avec lui, le trouvant sympathique, motivant, intéressant et charismatique. [Lester *et al.*, 2000].

L'agent *Cosmo* est un exemple de tuteur virtuel possédant certaines capacités de l'intelligence émotionnelle. En effet, *Cosmo* est capable d'exprimer certaines émotions à travers sa voix, son expression faciale et son comportement. De plus, comme les expérimentations ont pu le montrer, l'agent *Cosmo* est capable d'induire des émotions particulières telles que la joie ou l'intérêt. Finalement, même avec ces simples capacités encore très limitées de l'intelligence émotionnelle, *Cosmo* est capable d'augmenter la motivation de l'apprenant et d'ainsi améliorer l'efficacité de l'enseignement.

Un autre exemple d'un système avec certaines capacités de l'intelligence émotionnelle est le système *DUFFY* développé au laboratoire HERON de l'Université de

Montréal. Ce système est capable de déterminer les émotions de l'apprenant durant une session d'apprentissage sur le langage HTML où un agent tuteur et un agent perturbateur simulés par le système interagissent avec l'apprenant.

Les émotions de l'apprenant sont représentées par 13 couples émotionnels (définis par Elliot [Elliot, 1992] et basés sur le modèle OCC [Ortony, Collins & Clore, 1988]), chaque couple étant constitué de deux émotions antipodales (voir Tableau 2).

**Tableau 2 : Couples Émotionnels**

Joy	Distress
Satisfaction	Disappointment
Liking	Disliking
Happy-for	Resentment
Relief	Fears-confirmed
Gratitude	Anger
Sorry-for	Gloating
Pride	Shame
Gratification	Remorse
Hope	Fear
Admiration	Reproach
Love	Hate
Jealousy	-Jealousy

La valeur d'un état émotionnel par rapport à un couple émotionnel est un nombre entre -1 et +1. La valeur +1 indique que l'émotion à gauche du couple est ressentie au maximum et donc que l'émotion à droite n'est pas ressentie. À l'inverse, la valeur -1 indique que l'émotion de droite du couple est à son maximum.

Pour déterminer la réaction émotionnelle de l'apprenant – c.-à-d. comment varient ses émotions à la suite d'une action spécifique du tuteur ou du perturbateur – le système prend en compte l'état émotionnel courant de l'apprenant ainsi que des facteurs externes pouvant influencer sa réaction émotionnelle tels que ses performances, les performances du perturbateur et la difficulté d'une question. Une matrice de calcul – construite à partir d'expérimentations – permet de déterminer la réaction émotionnelle de l'apprenant à une

action particulière. L'objectif de *DUFFY* était d'adapter, par rapport à ses connaissances sur le processus émotionnel de l'apprenant, l'apprentissage afin de générer des émotions particulières [Abou-Jaoude & Frasson, 1999].

La matrice de calcul développée dans *DUFFY* a permis de mettre en évidence le fait qu'apprendre à travers un système tutoriel constitue une expérience émotionnelle pour un apprenant modélisable : un apprenant va en effet ressentir différentes émotions durant son interaction avec le tuteur et le perturbateur, pouvant être automatiquement approximées.

D'autres projets sur l'intégration d'une intelligence émotionnelle dans des systèmes informatiques sont actuellement en cours. Par exemple, le groupe « *Affective Computing* » du MIT Media Lab travaille actuellement sur la conception d'un *Compagnon Affectif* capable de reconnaître les émotions de l'apprenant et y répondre de manière appropriée, par exemple en ajustant la difficulté d'un exercice. Le principale objectif du *Compagnon Affectif* est d'aider l'apprenant à mieux comprendre ses propres émotions [Kort, Reilly, & Picard, 2002]. Le *Compagnon Affectif* représente un tuteur virtuel qui enseigne l'intelligence émotionnelle.

Encore peu nombreux, les travaux de recherche ont cependant permis de mettre en évidence la possibilité de créer des systèmes tutoriels avec certaines capacités de l'intelligence émotionnelle. Les premières réalisations concrètes ont montré que de telles capacités – même très limitées – permettait d'augmenter l'efficacité de l'enseignement.

La force de l'utilisation de l'intelligence émotionnelle dans le contexte de l'enseignement est la capacité d'influencer et même générer des émotions chez l'apprenant pour améliorer ses performances. Un système tutoriel dit émotionnellement intelligent devrait donc avoir cette capacité. Dans la partie suivante, nous proposons un tel système, appelé *Système Tutoriel Emotionnellement Intelligent (STEI)*, et décrivons des méthodes pour sa réalisation.

**PARTIE II**

**Le Concept de Systèmes  
Tutoriels Émotionnellement  
Intelligents**

*« Humaniser la machine, ne pas mécaniser l'utilisateur »*

*O. Nérot*

Dans cette partie, nous introduisons le concept de *Systèmes Tutoriels Emotionnellement Intelligent (STEI)*. Un STEI est un système tutoriel intelligent qui possède en plus des capacités de l'intelligence émotionnelle. Potentiellement, un tel système peut simuler un tuteur humain émotionnellement intelligent et même offrir un enseignement encore plus efficace que celui-ci.

L'objectif d'un STEI est d'utiliser cette intelligence pour améliorer l'efficacité de l'enseignement en optimisant les capacités cognitives de l'apprenant à travers la gestion de ses émotions. Pour ce faire, un STEI doit être capable en tous temps de déterminer les émotions courantes de l'apprenant, l'état émotionnel optimal pour l'apprentissage, et comment amener l'apprenant de l'un à l'autre.

Dans les chapitres suivants nous étudions différents aspects du concept de STEI et de sa réalisation. Dans le Chapitre 1, nous introduisons les STEI conceptuellement, et nous proposons une méthode permettant de modéliser le processus émotionnel d'un apprenant dans le contexte d'un système tutoriel. Dans le Chapitre 2, nous analysons la relation entre les capacités cognitives d'un individu et ses émotions et comment un STEI peut utiliser cette relation pour améliorer l'efficacité de l'enseignement. Enfin, dans le Chapitre 3, nous décrivons l'architecture d'un STEI et des méthodes pour sa réalisation à travers un agent appelé *Agent Emotionnellement Intelligent*.

Cette partie est composée de trois articles de recherche que j'ai écrit et qui décrivent de nouvelles approches que j'ai développé suite à des discussions avec mon directeur de recherche Claude Frasson.

# Chapitre 1

## Systemes Tutoriels Émotionnellement Intelligents (STEI)

Dans ce chapitre, nous définissons le concept de *Systemes Tutoriels Emotionnellement Intelligents (STEI)*. Une des capacités de l'intelligence émotionnelle est de « comprendre » le processus émotionnel d'un individu. Cela signifie pour un système tutoriel d'être capable de modéliser le processus émotionnel d'un apprenant durant une session d'apprentissage. Nous proposons dans ce chapitre une méthode -- appelée Case-Based Emotioning -- permettant de prédire les réactions émotionnelles d'un apprenant dans des situations spécifiques.

La suite de ce chapitre est constituée de l'article de recherche intitulé *Emotionally Intelligent Tutoring Systems* (p.31 à p.42), publié dans les actes de la conférence FLAIRS (Florida Artificial Intelligence Research Society) 2004.

Ma contribution dans cet article a été -- à partir de la suggestion de mon directeur de recherche d'utiliser un système de raisonnement à base de cas pour la modélisation du processus émotionnel d'un individu -- de développer le système CBE décrit, c.à.d. de définir la structure d'un cas, de déterminer la représentation d'une bibliothèque, de développer des algorithmes d'approximation pour l'utilisation du système CBE, de construire les échelles d'émotions et enfin de tester l'efficacité du système.

# Emotionally Intelligent Tutoring Systems (EITS)

Magalie Ochs, Claude Frasson

Département d'informatique et de recherche opérationnelle Université de Montréal  
C.P. 6128, Succ. Centre-ville  
Montréal, Québec Canada H3C 3J7  
{ochsmaga, [frasson](mailto:frasson@iro.umontreal.ca)}@iro.umontreal.ca

## Abstract

It is well-known that emotions have a strong influence on a person's cognitive abilities; a fact which can be used by a tutor to improve a student's learning capacities. Conditions are that the tutor knows the current emotional state of the learner as well as the emotional impact of certain actions taken and, finally, how the student's learning capacities depend on his emotions.

In this article, we propose the concept of an *Emotionally Intelligent Tutoring System (EITS)* and make a step towards its practical realization: We develop a tool allowing an Intelligent Tutoring System for improving a learner's capacities by actively influencing his emotions. More specifically, we combine Case-Based Reasoning methods with graph knowledge representation for modeling and predicting efficiently a learner's emotional reaction to specific situations which can occur during a learning lesson, with the final objective of promoting any particular users learning capacities.



## **I. Motivation and Introduction**

### **I.1 Emotional Intelligence**

Emotional intelligence is a form of intelligence providing the capacity to monitor one's own and other's emotions, and to use it to guide one's thinking and actions. The concept of emotional intelligence is based on to the relation between “thinking” and “feeling”. Indeed, emotions are narrowly linked to the cognitive process. Without emotions, we are unable to make even the simplest decision (Damasio 1995). Moreover, some strong emotions, like anger or anxiety, can prevent us from concentrating on our every day tasks (Goleman 1997). People who have positive emotions will think in a more creative, expansive, and divergent way. On the other hand, negative emotions will more likely lead to a conservative, linear, and sequential thought process (Lisetti & Schiano 2000). In particular, being emotionally intelligent means to act in a way that takes into account someone's emotions in order to improve his cognitive abilities. In schools, teachers should be emotionally intelligent to improve students learning capacities. Similarly, Intelligent Tutoring Systems (ITS) should integrate emotional intelligence for improving the learner's performance.

### **I.2 Emotionally Intelligent Tutoring Systems (EITS)**

Giving emotional intelligence to a computing system means enabling it to determine a person's emotional reactions, i.e., to anticipate how his emotions will vary in given situations. Recently, some systems have been proposed for modeling a generic learner's emotional reactions in interaction with an ITS. For instance, Abou-Jaoude and Frasson (1999) have developed a computational matrix to compute and constantly update learner's emotions. At the MIT Media laboratory, works are under way to create an “affective learning companion” which adapts to the user, for instance by adjusting the difficulty of an exercise (Picard, Kort & Reilly, 2002). The main drawback of most

previous approaches is that they are based on a model of a *generic* learner's emotional reactions. However, emotional experience is a complex process which depends on each person and each situation (Hess, 2001). In order to integrate this human variability we propose an *individualized* system able to predict the emotional reaction of each specific learner in various situations. This system, called *Case Based Emotioning System* (CBE), uses a Case Based Reasoning method to model a learner's emotional reactions.

We give an outline of the rest of the paper. We first describe how to represent and assess the learner's emotions. We then give the architecture of the CBE System and subsequently describe its different components. Finally, we give some experimental results.

## II. Towards Realizing Emotionally Intelligent Tutoring Systems

### II. 1 Quantifying and Measuring Emotional States

Currently, there is no consensual definition of the concept of emotions. For instance, there are more than 600 terms which refer to emotions. In our work, the learner's emotions felt at a given moment are represented by his *emotional state*, which we represent – based on (Ortony, Clore & Collins, 1988) – with respect to nine antipodal emotional couples  $(E_{i1}, E_{i2})$  shown in Figure 1.

$(E_{11}, E_{12})$	Distress vs Joy
$(E_{21}, E_{22})$	Disappointment vs Relief
$(E_{31}, E_{32})$	Anxious vs Confident
$(E_{41}, E_{42})$	Boredom vs Intrigue
$(E_{51}, E_{52})$	Self-reproach vs Pride
$(E_{61}, E_{62})$	Reproach vs Appreciation
$(E_{71}, E_{72})$	Resentment vs Sorry-for
$(E_{81}, E_{82})$	Anger vs Gratitude

$(E_{91}, E_{92})$	Remorse vs Self gratification
--------------------	-------------------------------

Figure 1: Antipodal Emotional Couples

The value  $e_i$  with respect to the emotional couple  $(E_{i1}, E_{i2})$  is a real number which varies between  $-1$  and  $+1$  inclusively. The values  $-1$  and  $+1$  indicate that the emotion on the left and right hand side, respectively, of the couple is being experienced to the maximum. The value zero indicates that no emotion of the couple is currently being felt. The emotional state  $E$  of a learner is thus represented by a vector of nine values:  $E = (e_1, e_2, \dots, e_9)$ .

To determine the emotional state of a learner, we use nine *emotional scales* (Figure 2), into which the learner enters his current state by positioning the cursors. Based on some work about the classification of emotional terms (Ortony, Clore & Collins 1988), we have graduated each emotional scale with different adjectives to make the learner's evaluation of his emotions more intuitive.

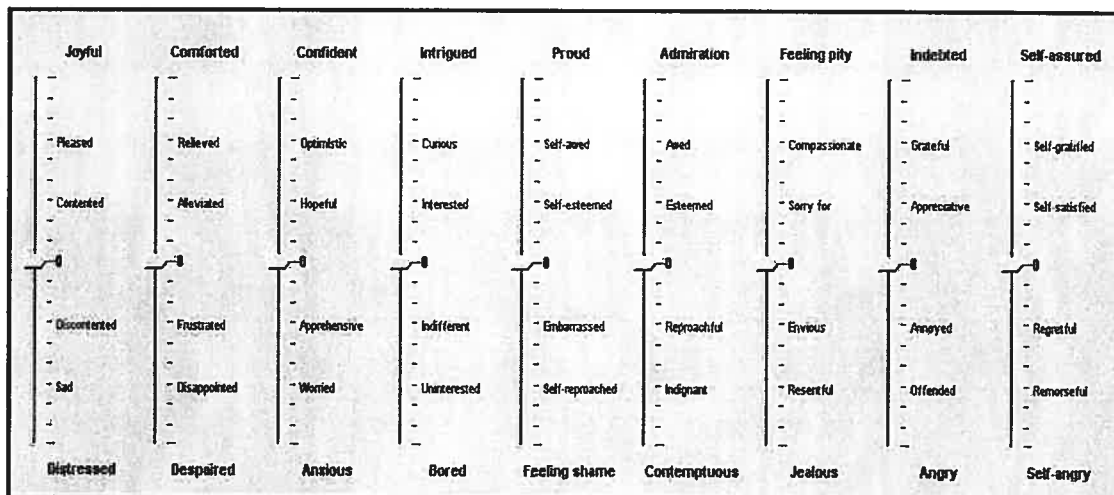


Figure 2: Emotional scales

## II.2 Predicting Emotional Reactions: The Case Based Emotioning System (CBE)

Emotions are present in any form of education: learners worry, hope, become bored, embarrassed, envy, get anxious, feel proud, become frustrated, and so on. Teaching in traditional contexts can be viewed as an emotional practice in which the emotional practitioners, like the teachers, can lead a person to feeling specific emotions by using different behaviors and actions (Hargreaves, 2002). Similarly, pedagogical agents, such as tutors in an ITS, are emotional practitioners. Moreover, recent research has shown that people display a natural propensity for interacting with machines as if they were other humans (Picard, 1997).

These facts serve as a motivation for exploiting the emotional control of a pedagogical agent for the benefit of learning efficiency.

Recent research has shown that whereas certain emotions reduce our capacity to learn, others improve it (Goleman 1997) (Klein, Youngme & Picard 2002) (Lisetti & Schiano 2000) (Keller 1987). The problem of determining the best emotional learning state of a specific learner is subject to ongoing research.

We propose a tool, called Case Based Emotioning System (CBE), enabling any ITS to control the learner's emotions. The CBE system predicts the emotional reaction of a learner in given situations which can occur during a learning session in ITS, and is able to propose a particular situation in order to change the learner's current emotions to another. To create this system, we use a problem solving methodology known as Case Based Reasoning (CBR). The main idea of CBR is to solve new problems by using solutions of cases stored in a library – this allows for finding a solution to a new problem for which no algorithm is known. However, the emotional process of a person is very complex and we cannot define an algorithm to determine the emotional reactions of a person in any case. The CBR allows making predictions based on experienced situations (cases) without having a complete understanding of the domain (Kolodner, 1993). Our system is composed of four modules (Figure 3) and predicts emotional reactions using an emotional reaction database: the *Emotional Cases Library* constructed by the *Emotional Simulator*. This module will ask the learner to evaluate his emotional reaction to several

situations from the *Situations' Library*. Whenever a new problem occurs, the *Retrieval Module* searches the *Emotional Cases Library* for a solution to solve it.

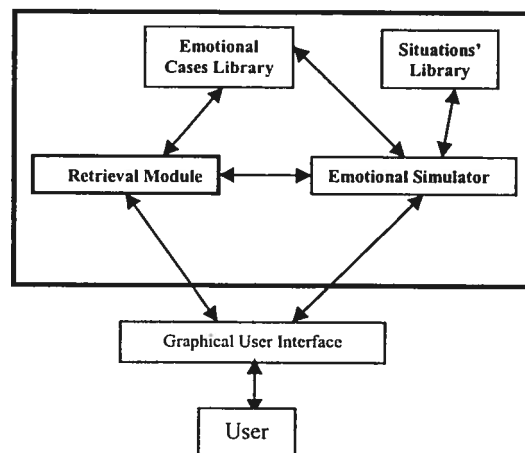


Figure 3: Architecture of the CBE

### II.3 Modeling Emotional Reactions: The Emotional Cases Library

The basis of CBR is a collection of cases representing knowledge, each with respect to a particular situation (Kolodner 1993). In our architecture, the knowledge we represent is how a person's emotional reaction depends on an occurring situation and the current emotional state. The initial state is an important parameter in this context. Indeed, someone's emotional reaction depends on the appraisal of a situation (Ortony, Clore & Collins 1988), while, the appraisal of the situation depends on the emotional state at the time the situation occurs (Lisetti & Schiano 2000).

We hence represent an emotional reaction by the triplet <Current Emotional State E, Specific Situation S, Resulting Emotional State E'> representing the fact that if the learner is in the emotional state E, then given the situation S he will be in the emotional state E'.

A case indicates how to resolve a similar situation in the future and can hence be seen as a solved problem. Given such an emotional case <E, S, E'> we are able to solve two sorts of problems:

What will the emotional state of the learner be in the situation S if he is in the emotional state E? The solution is E'.

How to modify the emotional state E to E'? The solution is S (or "putting the learner in the situation S").

In summary, emotional cases will allow us to determine the emotional reaction of a learner in specific situations and moreover how to change the learner's emotional state to another emotional state.

The collected emotional cases are stored in a cases library, which – given the structure of a case – we can represent as a directed graph, the vertices and edges of which are labeled (Champin & Solnon 2003). More precisely, a vertex is labeled with an emotional state and an edge with a specific situation; an edge labeled with S and connecting the vertices labeled by the emotional states E and E', respectively, represents the case  $\langle E, S, E' \rangle$ .

More formally, given a set of vertex labels  $L_v$  and a set of edge labels  $L_e$ , a labeled directed graph is a triple  $G=(V, r_v, r_e)$  such that:

V is a set of vertices,

$r_v \subseteq V * L_v$  is the relation that associates vertices with labels:  $r_v$  is the set of couples  $(v_i, E)$  such that vertex  $v_i$  has label E,

$r_e \subseteq V * V * L_e$  is the relation that associates edges with labels:  $r_e$  is the set of triples  $(v_i, v_j, S)$  such as the edge  $(v_i, v_j)$  has label S.

The advantage of this graph representation is the possibility to easily create compositions of cases. For example, the two cases  $\langle E_1, S_1, E_1' \rangle$  and  $\langle E_2, S_2, E_2' \rangle$ , where  $E_1' = E_2$  holds, can be composed and are represented in the graph as shown in Figure 4.



*Figure 4: Example of Emotional Cases Graph*

Therefore, the larger space, including the combined cases, is  $\{ \langle E_1, S_1, E_1' \rangle, \langle E_2, S_2, E_2' \rangle, \langle E_1, S_1:S_2, E_2' \rangle \}$ , where “ $S_1:S_2$ ” represents the temporal sequence of situations: first  $S_1$ , then  $S_2$ .

In the context of problem solving, a larger space of cases means that we can solve more problems to find a solution.

## II. 4 Retrieving Cases from the Emotional Cases Library: The Retrieval Module

CBR methods solve new problems using solutions of cases stored in the cases library. When a new problem arises, the system retrieves the cases the solutions of which are relevant for the new problem (Kolodner 1993).

Our system solves two sorts of problems, each requiring a different retrieval algorithm. First, the CBE system is able to determine what the emotional reaction of a learner will be in a specific situation  $S$  given his current emotional state  $E$  (which the learner will enter using the emotional scales (Figure 2)). The new problem is therefore defined by an emotional state  $E$  and a specific situation  $S$ . We will represent it by the couple  $(E, S)$ . The solution is an emotional state  $E'$ . After retrieving the case(s) relevant to the new problem, the Retrieval Module derives the solution from these old cases by using some adaptation algorithm. A (simple) example of such an algorithm is to search the vertex  $v$  labeled with the emotional state is the closest – with respect to the Euclidean distance – to the initial state  $E$  of the new problem and such that there exists an edge  $e=(v,v')$  labeled by  $S$ ; the solution  $E'$  is then the label of  $v'$ .

The second type of tasks the CBE system is able to do is to suggest specific situations which will change the current emotional state  $E$  of the learner to the emotional state  $E'$  that is best for learning. This task is defined by a current emotional state  $E$  (entered by the learner using the emotions scales) and the target state  $E'$  (that we suppose to be known). We will represent it by the couple  $(E, E')$ . The solution is a temporal sequence of specific situations  $\{S_1: S_2 : \dots : S_n\}$  ( $n \geq 1$ ). A simple example of an adaptation algorithm for this problem would be to search the cases library for the vertices labeled by emotional states closest to  $E$  and  $E'$ , respectively, and to determine a path of minimum

length connecting these two vertices. The sequence of the situations labeling the edges in this path is the output of the algorithm.

## II. 5 Construction of the Emotional Cases Library: The Emotional Simulator

The initialization of the Emotional Cases Library is done by a tool called Emotional Simulator, which determines the emotional reaction of a learner in different specific situations. For implementing such an Emotional Simulator, we have first defined a set of situations that can occur in an ITS employing different possible pedagogical strategies. A situation depends on the actions of pedagogical agents and on the learning environment which is composed of different actors. For example, the actions of a tutor are to criticize, encourage, congratulate, give good or bad advice, ask questions, and so on. It is important to note that the effect of a certain action taken depends on the specific (learning) environment and context. For example, in the classical tutor strategy the learning environment is composed of the learner and the tutor; in the troublemaker strategy the learning environment is composed of a troublemaker, a tutor, and a learner. Moreover, the action of each pedagogical agent can be directed to the learner or to another pedagogical agent (a companion, a troublemaker,...). We hence represent a situation by the quadruple:  $\langle \text{Environment } e_v, \text{Action } a, \text{Agent actor } a_c, \text{Action's recipient } r \rangle$ , where  $e_v$  is the set of agents in the learning environment and  $a$  is the action performed by the agent  $a_c$  ( $a_c \in e_v$ ) and directed to  $r$  (the learner or an agent that belongs to  $e_v$ ). For example, the situation "The tutor criticizes the troublemaker" is represented by the quadruple  $\langle \{\text{Tutor } t, \text{Learner } l, \text{Troublemaker } m\}, \text{criticize}, \text{Tutor } t, \text{Troublemaker } m \rangle$ .

We associate each of these situations to a similar situation in a professional context. For example, the situation where the tutor criticizes the learner in front of a group of unknown people can be similar to a situation where a superior criticizes the learner in a meeting with a group of unknown people. This way we end up with a set of situations from a professional context and more familiar to the learner than the corresponding ITS situations. We have built a database of couples of situations  $(s_{i1}, s_{i2})$ ,



where  $s_{i1}$  is a specific situation in an ITS context and  $s_{i2}$  is a similar situation in a professional context.

New cases will be constructed according to the current emotional state of the learner. First of all, when the emotional simulator is triggered, it asks the learner to enter his current emotional state with the emotional scales (Figure 2). Then, the emotional simulator presents successively the professional situation  $s_{i2}$  for each couple  $(s_{i1}, s_{i2})$  of the situations' database. It asks the learner to imagine what his emotional state  $E'$  would be in each situation. The emotional simulator can then create a new case  $\langle E, s_{i1}, E' \rangle$  and insert it in the emotional cases library.

## II. 6 Experimental Results

We have implemented the Emotional Simulator and the Retrieval Module of the proposed system in order to test its validity. We then carried out an experiment involving a group of people. In a first phase, the Emotional Simulator asked each participant to enter his present emotional state, and then to imagine a number of situations and project his resulting emotional state in each case.

In the second phase, the Emotional Cases Library that had been constructed for each participant in the first phase was accessed by a Retrieval Module in order to solve new cases.

Although only simple adaptation algorithms were used in this pilot test, the predictions made by the Retrieval Module turned out to be highly accurate.

## III. Concluding Remarks

In the context of learning in general – and of intelligent tutoring systems in particular – the learner's emotions are of paramount importance. As a novel paradigm, we propose Emotionally Intelligent Tutoring Systems (EITS) which take this fact into account and use it for the learner's benefit.

In particular, we have developed a tool, called The Case Based Emotioning System, enabling an ITS to manage these emotions. More precisely, this system is able to predict for a given learner his emotional reactions in several situations. It can furthermore suggest which situations to use in order to change the learner's emotional state to another.

Our future objective is to integrate the CBE system into an ITS in order to assist pedagogical agents in their actions, improve the learner's performances, and hereby create an EITS.

### **Acknowledgments**

We thank VRQ (Valorisation Recherche Québec) for funding part of this project.

### **References**

Abou-Jaoude, S., Frasson, C. 1999. *Integrating a Believable Layer into Traditional ITS*. AIED'99: 9th International Conference on Artificial Intelligence in Education, Le Mans, France, p. 315-324.

Champin P.A & Solnon C. 2003. *Measuring the similarity of labeled graphs*. Proceedings of the 5th International Conference on Case-Based Reasoning – ICCBR, p. 80-95.

Damasio. Eds. 1995. *L'erreur de Descartes: La raison des émotions*. Edition Odile Jacob.

Faivre J, Frasson C, Nkambou R. 2002. *Gestion Émotionnelle dans les Systèmes Tuteurs Intelligents*. Technologies de l'Information et de la Communication dans les Enseignements d'ingénieurs et dans l'industrie, p. 101-110.

Goleman D. eds. 1997. *L'intelligence Émotionnelle 1*. Edition Robert Laffont.

Hargreaves. 2002. *Mixed emotions: teacher's perceptions of their interactions with students*. Teaching and teacher education 16: 811-826.

Hess U. 2001. *The experience of emotion: situational influences on the elicitation and experience of emotions*. A. Kaszniak Emotions, Qualia, and Consciousness, pp. 386-396. Singapore: World Scientific Publishing.

Keller. 1987. <http://www.ittheory.com/keller1.htm>

Klein J., Youngme M. Picard W.R. 2002. *This Computer Responds to User Frustration*. Technical Report TR 502, MIT Media Laboratory on Affect Computing.

Kolodner J. 1993. *Case-Based Reasoning*. Morgan Kaufmann Publishers.

Kort B, Reilly R., Picard W.R. 2002. *The Program Summary and the Program Description for the Learning Companion*. Submitted to the National Science Foundation.

Lisetti, Schiano. Automatic Facial. 2002. Expression Interpretation : *Where Human-Computer Interaction, Artificial Intelligence and Cognitive Science Intersect*. Pragmatics and Cognition, Vol 8(1): 185-235.

Ortony A., Clore G.L, Collins A. eds. 1998. *The cognitive Structure of Emotions*. Cambridge University Press.

Picard W. R. eds. 1997. *Affective computing*. MIT Press.

## Chapitre 2

# Les Conditions Émotionnelles Optimales pour l'Apprentissage

Un système tutoriel émotionnellement intelligent (STEI) utilise le rapport entre les émotions et les processus cognitifs d'un individu pour améliorer les performances de l'apprenant.

Les capacités cognitives d'un apprenant vont fortement dépendre de ses émotions. Un STEI doit alors connaître quel est l'état émotionnel qui optimise les performances de l'apprenant pour déterminer quelles émotions générer.

De plus, connecter le contenu de l'enseignement à des émotions peut faciliter sa mémorisation. Un STEI peut donc établir un lien entre la matière à enseigner et des émotions spécifiques et ainsi améliorer, à travers la mémorisation, l'efficacité de l'enseignement et donc les performances de l'apprenant.

Ce chapitre est constitué de l'article de recherche intitulé *Optimal Conditions for Learning with an Intelligent Tutoring System* (p. 44 à p. 57), publié dans les actes du Workshop Social and Emotional Intelligence in Learning Environments (*SEILE*) de la conférence ITS (Intelligent Tutoring Systems) 2004.

Ma contribution dans cet article a été – à partir de la suggestion de mon directeur de recherche d'effectuer des recherches afin de déterminer les conditions émotionnelles optimales pour l'apprentissage – de déterminer comment les émotions d'un apprenant pouvaient influencer ses performances et de définir comment un STI pouvait ajouter une charge émotionnelle pour améliorer l'apprentissage.

# **Optimal Emotional Conditions for Learning with an Intelligent Tutoring System**

**Magalie Ochs, Claude Frasson**

Département d'informatique et de recherche opérationnelle  
Université de Montréal  
C.P. 6128, Succ. Centre-ville  
Montréal, Québec Canada H3C 3J7  
Tel : 514 343 6111



## **Abstract**

Recent research results indicate that cognitive process are related to emotions. Since emotions are omnipresent in any kind of interaction it can be advantageous to take them into account, particularly in the context of an intelligent tutoring system. In the present paper we propose a way to detect and manage learner's emotions in order to improve the learning process. Clearly, a necessary condition for this is that the system knows the optimal emotional conditions for learning. The contributions of our paper are two-fold. First, we show that when taking into account learner's emotions in the learning process, a distinction has to be made respectively between emotions that originate from the interaction with the system or from outside. Indeed, we show that similar types of emotions can have a substantially different effect in both cases. Secondly, we demonstrate that adding an emotional charge to a learning content additionally helps the learning process, in particular the memorization process, which is known to be of central importance in any form of learning. These two results put together mark a significant step towards tutoring systems that are emotionally intelligent and hence cope in a beneficiary way with a learner's emotions.

**Keywords.** Emotions, Conditions of learning, Intelligent Tutoring Systems, Cognitive process.

## 1. Introduction

People often separate emotions and reason, believing that emotions are an obstacle in rational decision making or reasoning. However, recent research has shown that in every case the cognitive process of an individual is strongly dependent on his emotions. In fact, emotions play a crucial and central role even in the simplest decision-making process [5]. The perception of a situation depends on a person's emotions, and therefore all the following cognitive processes, such as the analysis of the situation, will be influenced by his emotions [5], [7].

An important special case of a cognitive process, involving a variety of different cognitive abilities, is the learning process. Learning implies to fulfill a variety of tasks such as understanding, memorizing, analyzing, reasoning, or applying. Given the above-mentioned relation between *feeling* and *thinking*, the student's performance in these different learning tasks will depend on his emotions. Systems have been proposed for modeling learners' emotions and their variation during a learning session with an Intelligent Tutoring System (ITS). For instance, a computational matrix for computing and constantly updating learners' emotions has been developed in [1]. Moreover, other researchers have developed systems that are able to control and influence the learner's emotions. The "affective companion" adapts to the learner's emotions, by adjusting the difficulty of an exercise [11]; the "affective tutor", on the other hand, is itself affectively adaptive to the user's emotions [6]. Such an ITS is therefore able to influence, in a specific way, a learner's emotions. However, previous work is based on the hypothesis that only a very restricted class of – mainly positive – emotions can have a positive influence on learning.

The goal of this paper is to improve the effectiveness of such emotion-based tutoring systems by determining in much more detail than previously done the impact of different emotions on learning. This analysis allows us to define the optimal emotional conditions of learning. More precisely, we aim at determining the *optimal emotional state*

of the learner which leads to the best performance, and how an ITS can directly use the influence of emotions connected to the learning content to improve learner's cognitive abilities.

In the first part of this paper we elaborate on cognitive processes involved in learning and their relation to emotions. In the second part, we describe an approach to increase the attention of the learner and facilitate learning content memorization by emotionalizing it. In the third part, we describe the concept of an Emotionally Intelligent Tutoring System (EITS) which uses emotions to improve learning efficiency. We then determine the emotional state of a learner that is optimal for learning, by analyzing positive and negative effects of emotions, depending on their type, intensity, and origin. Finally, we describe a method based on a dynamic set of rules which allows an EITS to determine and generate the best emotional state for a learner.

## 2. Emotions and Learning

The learning process involves in particular three cognitive processes, namely attention, memorization, and reasoning, with respect to each of which the learner's cognitive ability depends on his emotions.

*Attention* means focusing. Learning can take place only if the student listens. A necessary condition for successful learning is hence to gain the *attention* of the student [8]. Depending on the learner's emotions, this first step can be more or less difficult.

- In fact, strong emotions, in particular if they are negative, disturb any kind of attention and concentration and prevent the learner from focusing on a subject [7].
- Moreover, negative emotions lead to difficulties in switching the attention to a new focus [4].

*Memory* is one of the most important concepts in learning. Knowledge memorization represents a principal objective of instruction and is necessary for the major complex cognitive tasks of learning process [2]. Memorizing is a process which

involves the *storage* of information as well as the *retrieval* of knowledge and the following properties [3]:

- The effectiveness of the memorization process is narrowly linked to someone's emotions: Whereas positive emotions enhance the memory performance in general, unrelated and negative emotions disturb in particular the retrieval process.
- On the other hand, emotions which are related to the content to be memorized help storing it.
- The retrieving process is improved when the emotional state is close to the one at the time when this information was memorized.

*Reasoning* is the subsequent task attached to memory in which the learner is supposed to reason with the acquired knowledge. The process of reasoning enables a learner to perform more complex cognitive tasks – such as comprehension, classification, application of knowledge, analysis, and problem solving – which represent the ultimate goal of the learning process [2].

- Positive emotions improve any kind of reasoning since relations can be made more easily between objects or ideas [10]. In general, such emotions lead to a more creative, flexible, and divergent thinking process, whereas negative emotions cause a more linear, convergent, and sequential thinking [12].
- Positive emotions promote efficiency and thoroughness in decision making and problem solving [10].

Emotions can be used in the learning content to, in particular, increase the attention of the learner and improve his memory capacity. In the following section we discuss how emotional charges can contribute to the learning content and how it influences the learner's performance.



### 3. Emotionalizing the Learning Content

Teaching and learning are emotional processes: a teacher who communicates the content in an emotional way will be more successful than another who behaves and communicates unemotionally. The main reason for the power of affective learning is the emotional charge which is attached to the learning content. In fact, situations, objects, or data with emotional charge are better memorized [3].

An ITS should be able, like a successful human teacher, to emotionalize the learning content by giving it an emotional connotation. This connotation can be naturally linked to the learning content: for instance, events in history can naturally generate certain emotions. However, emotions can also be artificially added to a learning content which is a priori unemotional, for example by associating images with emotional charge to random words or numbers.

It has been shown that people in a given emotional state will attribute more attention to stimulus events, objects, or situations that are affectively congruent with their emotional state [3]. An ITS can use this fact for gaining more attention from the learner by *emotionalizing* the learning content.

Two approaches can be used:

- In fact, it can adaptively add an emotional charge to the learning content which is similar or related to the present emotional state of the learner, who will then pay more attention to the material presented to him.
- On the other hand, an ITS can as well change the emotional state of the learner such as to make it more similar to the emotional charge of the content to be learned. This second approach will be used in particular for learning contents which have a certain emotional charge a priori.

The first approach will be used for learning contents to which the ITS artificially adds an emotional charge.

When a large quantity of data lacking any emotional content has to be memorized and later retrieved, i.e., distinguished, then adding emotional charges with respect to very different emotions – saddening, comforting, disturbing, disgusting, arousing – can help the memorization process. If, during the step of memorization, an ITS associates the learning content with an emotional charge, the learner will be conditioned such as to establish a connection between the subject matter and his specific emotional reaction. Then, so conditioned on having certain emotional reactions to different matters, the learner will be able to recall and distinguish the (non emotional) learning contents as easily as his emotional reactions to them. An ITS therefore pushes the learner to structure and memorize the knowledge in categories of emotion, which is in fact precisely the natural organization of memory [3]. Moreover, this process of creating a relation between content and emotion allows an ITS to quickly and easily help the learner to remember a specific content in presenting him the emotional charge related, such as an image.

We can hence conclude that an ITS should include the possibility to emotionalize the learning content in different ways to improve the learner's cognitive abilities. Moreover, an ITS can improve the learning capacity of a learner by influencing, in a specific way, his emotions, i.e., acting with emotional intelligence.

#### **4. Emotionally Intelligent Tutoring Systems**

Emotional intelligence is the ability to recognize, interpret, and influence someone's emotions. When the effect of feeling on thinking is known, this can be used in order to improve someone's cognitive abilities [7], [17]. It is hence natural to include emotional intelligence into the learning process. A human tutor is in fact an emotional practitioner in the sense that he can influence learner's emotions with the objective of improving his learning efficiency [9]. Since interaction with a computer triggers similar responses as if it was with another person [16] (see also [15]), a new generation of ITS should be able to influence learner's emotions in a same way as a human tutor.

Motivated by this principle we have introduced the concept of an *Emotionally Intelligent Tutoring System (EITS)* in [13]. An EITS is an ITS which includes functional capabilities able to (1) know learner's emotions and, (2) induce emotions to the learner in order to improve his performance. More precisely, an EITS needs to achieve the following conditions:

1. know the current *emotional state* of the learner,
2. determine the impact of an action on learner's emotional state
3. select the most advantageous emotional state of a learner to enhance his performance.

We have developed and tested the two first conditions in [13]. The first condition was achieved using nine emotional scales allowing the user to indicate his current emotional state. In order to realize the second condition we used methods derived from Case Based Reasoning (CBR) to create a Case Based Emotioning system (CBE) able to predict the emotional effect of specific actions on the emotional state of a learner. To model the impact of these actions on learner's emotion we have used a directed graph, where the vertices are emotional states and the connecting edges the possible actions which can occur in a learning session (for instance criticism, encouragement, congratulation...). This representation allows the CBE system to assess the emotional state resulting from an action on an initial emotional state. Including this CBE into an ITS allows to generate in a user a specific emotional state.

Knowing which emotion to generate we need however to determine which one will be able to improve learner performance (condition 3 mentioned above). In this paper we focus on this point by analyzing the different effects of emotions on learner performance and particularly the *emotional conditions* for reaching the best performance.

## 5. Internally and Externally Generated Emotions

We have seen that an EITS can generate specific emotions. However, the learner can encounter specific situations which can induce by themselves new emotions. So we distinguish between two classes of emotions with respect to their origin:

- *Internally Generated Emotions*: Such emotions result directly from the interaction with the EITS.
- *Externally Generated Emotions*: Such emotions have their origin outside the interaction with the EITS. Clearly, the current emotional state of the user at the beginning of the interaction consists of externally generated emotions.

Let us consider a learner interacting with an EITS. If this person is anxious because of some external situation or event – say because his car is parked in a tow-away zone (so the emotion is externally generated) – he will be less able to focus and hence will obtain weaker learning performance. If, on the other hand, the anxiety stems from the urge to perform well on a test proposed by the EITS, then it can increase learner's motivation and hence performance. Although it is exactly the same emotion, its effect on learning performance is opposed in the two cases due to the different origins.

Now, we analyze the impact of positive and negative emotions on performance whether they have been externally or internally generated.

- **Positive emotions:**
  - *Internally generated*: Internally generated positive emotions have a strong positive effect on learning for two reasons: First, positive emotions in general allow for a more creative and flexible thinking process. They also increase motivation, such that learners will in general try harder and give

up less quickly [10]. The second reason is that the learner wants to keep – and possibly increase – his positive emotional state (which in this case originates from the system) and thus may have good performance.

- *Externally generated:* As the origin of the emotion is not directly linked to the learning process, the learner is not necessarily attached to maintain good performance and thus have fewer motivation. The positive effect of these emotions is thus less strong, and can even turn into a negative one if the emotions are too strong.
- **Negative emotions:**
  - *Internally generated:* Negative emotions, when internally generated, can have a positive effect on the performance. An EITS can generate certain negative emotions, for example anxiety or stress, which reflect the probability of an unpleasant event [14]. These emotions push a person to act in order to avoid this event, which would imply negative emotions, from occurring. In the context of learning, these emotions therefore act as a motivating factor for encouraging the learner to work harder and replace them by positive emotions. Similarly, being jealous, envious, or resentful about someone else's performance can have the same positive effect on motivation. However, the other categories of negative emotions (for instance anger, distress ...) are disadvantageous for learning [4], [7], [10], [12].
  - *Externally generated:* Externally generated negative emotions reduce learner's concentration and turn his focus to different matters. In addition, the thinking channels are partially solicited by preoccupations related to these negative emotions, and hence unrelated to the learning content; as a consequence the cognitive processes cannot be fully concentrated to fulfill learning tasks [3].

In general, strong emotions, both positive and negative, can block parts of the brain involved in the thinking process and therefore prevent the learner from concentrating, memorizing, retrieving in memory, and reasoning [3].

Taking into account these considerations we can incorporate into an EITS the mechanism able to generate the conditions which are favorable for learning and therefore influence learner's emotions in order to improve his performance.

## 6. Handling Emotions to Improve Performance

From the previous section, we can conclude the following facts:

- Externally generated positive emotions are better for learning than externally generated negative emotions.
- Internally generated negative emotions can have a positive effect on the learning performance.
- Internally generated positive emotions can strongly improve the learning process.

The EITS can use these facts to generate optimal emotional conditions in the learner. The optimal emotional state to be generated is dynamically determined for any specific learner since there does not necessarily exist a particular emotional state that is optimal for a certain learner at any time. This dynamic determination of the optimal state can be based, for a certain learner, on a set of rules which is, initially, a generic set of rules identical for every learner, but then updated during the learning session depending on the observed emotions and performances of the learner. Examples of such rules can be as follows.

- Rules for the beginning of the learning session depending on the initial emotional state of the learner (externally generated):
  - If the learner has externally generated negative emotions, generate positive emotions in the learner.
  - If the learner has externally generated positive emotions with strong intensity, then generate negative emotions.
  - If the learner externally generated positive emotions with moderate intensity, then generate positive emotions.

- Rules applied during the learning session depending on the internally generated emotions:
  - If the learner has positive emotions and good performance (compared to his average performance), generate positive emotions.
  - If the learner has positive emotions but poor performance, generate negative emotions.
  - If the learner has negative emotions and poor performance, then generate positive emotions
  - If the learner has negative emotions and good performance, then generate negative emotions.
  - If the learner has strong emotions of any valence then emotions of the opposite valence are generated.

These are examples of rules which belong to a generic initial set of rules universally applied for every learner. If, however, some of these rules turn out during the learning not be appropriate for a learner, then they are changed or replaced by other rules designed for this learner. More precisely, this adaptation of the rules will be a quantification thereof: the choice of emotions to generate are taken depending on the exact intensities of emotions and the exact performance as measured during the learning session. For instance, if a learner has good performance with positive emotions exceeding a certain threshold, and the generation of additional positive emotions has a negative effect, then the corresponding rule will be changed, and negative emotions, or no emotions at all, are generated in this situation, i.e., if the positive emotions exceed the determined threshold. Therefore, the changing of certain rules is in fact a quantification of the rule, by introducing a certain threshold separating emotion intensities for which an action is taken or not.

In conclusion, we have proposed a dynamic method, based on a set of rules which are changed and thus tailored to a particular learner during a learning session, which

allows an EITS to generate the best emotional conditions for learning for each learner at any time.

## 7. Concluding Remarks

An ITS with emotional intelligence – Emotionally Intelligent Tutoring System (EITS) – is able to induce specific emotions to the learner. To act in an emotionally intelligent way, such systems must know which emotions generate to improve learner's emotions. In fact, in this article, we have shown with the related work in psychology that the performance of a learner during a learning session with an EITS can depend on his emotions. In order to determine the different impacts of emotions on learner's performances, we have distinguished two classes of emotions: the emotions generated by an EITS (internally generated emotions) and the emotions which coming from outside the interaction with the EITS (externally generated emotions). A same emotion, depending on whether they are externally generated or internally generated, can have different effect on learner's performances. In fact, preliminary experiments in psychology context have shown that externally generated negative emotions can disturb his learning process whereas internally generated negative emotions can improve performance. Moreover, positive emotions are better for learning if they are internally generated than if they are externally generated. An EITS is therefore able to improve learner's performance by inducing specific emotions to the learner. We have proposed in this article a method based on a set of rules dynamically updated – depending on the relationship between emotions and performance – allowing an EITS to choose in an individual way the optimal emotional state for a learner at any time.

Moreover, an EITS can emotionalize the learning content by given in particular to improve the memorization process. In fact, an EITS is able to include an emotional charge to learning content. By associating emotions to knowledge, an EITS helps the learner to memorize and remember more easily and quickly a specific knowledge.

Due to the influence of emotions on a learner's abilities and the positive effect on memorization of an emotional charge added to a learning content, an EITS which uses



these facts by influencing the learner's emotions can lead to a much better learning performance as compared to a traditional ITS. The power of such an Emotionally Intelligent Tutoring System, which is defined by the ability of detecting and managing learner's emotions for improving his performance, comes from these two aspects presented in details in this paper, and in particular from their combination.

## References

- [1] Abou-Jaoude S., Frasson C. 1999. *Integrating a Believable Layer into Traditional ITS*. AIED'99: 9th International Conference on Artificial Intelligence in Education, Le Mans, France, p.315-324.
- [2] Bloom B.S.1994. *Bloom's Taxonomy*. University of Chicago Press.
- [3] Bower G. 1992. *How Might emotions affect learning ?*. Handbook of emotion and memory, edited by Sven-Ake Christianson, p. 3-31.
- [4] Compton R. 2000. *Ability to disengage attention predicts negative affect*. Cognition and Emotion 14, p. 401-415.
- [5] Damasio A.R. 1995. *L'erreur de Descartes: La raison des émotions*. Edition Odile Jacob.
- [6] Faivre J, Frasson C, Nkambou R. 2002. *Gestion Émotionnelle dans les Systèmes Tuteurs Intelligents*. Technologies de l'Information et de la Communication dans les Enseignements d'ingénieurs et dans l'industrie, p. 101-110.
- [7] Goleman D.1997. *L'intelligence Émotionnelle 1*. Édition Robert Laffont.
- [8] Gagné. 1984. *The conditions of Learning*, 4 ed. Les éditions HRW Ltée. Montréal.

- [9] Hargreaves A. 2002. *Mixed emotions: teacher's perceptions of their interactions with students*. *Teaching and teacher education* 16: 811-826.
- [10] Isen A. M. 2000. *Positive Affect and Decision making*. *Handbook of emotions*, second edition, Guilford Press, p. 417-435.
- [11] Kort B, Reilly R., Picard W.R. 2002. *The Program Summary and the Program Description for the Learning Companion*. Submitted to the National Science Foundation.
- [12] Lisetti C, Schiano D. 2000. *Automatic Facial Expression Interpretation : Where Human-Computer Interaction, Artificial Intelligence and Cognitive Science Intersect*. *Pragmatics and Cognition*, Vol 8(1): 185-235.
- [13] Ochs M., Frasson C. 2004. *Emotionally Intelligent Tutoring System*. *Proceedings of International Conference Flairs*, p. 251-255.
- [14] Ortony A., Clore G.L, Collins A. 1988. *The cognitive Structure of Emotions*. Cambridge University Press.
- [15] Picard W. R. eds. 1997. *Affective computing*. MIT Press.
- [16] Reeves B., Nass C. 1996. *The media Equation: How people Treat Computers, Television, and New Media Like Real People and Places*. Cambridge University Press.
- [17] Salovey P., Bedell B., Detweiler J., Mayer J. 2000. *Current Directions in Emotional Intelligence Research*. *Handbook of Emotions*, second Edition. Guilford Press, p. 504-520.

## Chapitre 3

# Améliorer l'Apprentissage dans un STI avec un Agent Émotionnellement Intelligent

Un STEI est un système tutoriel intelligent traditionnel avec des capacités additionnelles de l'intelligence émotionnelle pouvant être ajoutées par un agent appelé *Agent Emotionnellement Intelligent (AEI)*. Dans ce chapitre, nous présentons l'architecture d'un STEI ainsi que des méthodes concrètes pour sa réalisation à travers un AEI.

Ce chapitre correspond à l'article de recherche *Building an Emotionally Intelligent Tutoring System* soumis au journal IJAIT (International Journal of Artificial Intelligence Tools), 2004.

Ma contribution dans cet article a été de définir une méthode basée sur le raisonnement à base de cas permettant de déterminer l'état émotionnel optimal pour un apprenant.

## Building an Emotionally Intelligent Tutoring System

Claude Frasson      Magalie Ochs

Département d'informatique et de recherche opérationnelle  
Université de Montréal  
C.P. 6128, Succ. Centre-ville  
Montréal, Québec Canada H3C 3J7

{ochsmaga, [frasson](mailto:frasson@iro.umontreal.ca)}@iro.umontreal.ca

**Abstract.** Emotional intelligence has been shown of great importance in many contexts, for instance in teaching and learning. Therefore, *Intelligent Tutoring Systems (ITS)* are potentially much more powerful when they also possess such capabilities. In the present paper, we propose the novel concept of *Emotionally Intelligent Tutoring Systems* and indicate how they can be realized. Our approach is modular, i.e., we propose the realization of an *Emotionally Intelligent Agent* which complements a traditional ITS with specific abilities based on emotional intelligence features such as measuring learner's emotional state, modifying and influencing his emotions according to precise objectives, and knowing *how* they should be influenced by specific behaviour. We show here the basic building blocks of this agent, how they interact among each other and with the ITS, and how they can be realized on existing technology.

## 1. Introduction and Motivation

The emotional and cognitive processes of an individual have often been considered as completely separated—with the exception that emotions can disturb rational thinking. It has been only recently that researchers have realized that someone's cognitive and emotional processes are very closely intertwined and influence each other strongly in many different ways. For instance, it has been demonstrated in [Damasio, 1995] that rational decision-making processes depend in a crucial way on emotions. In fact, it was shown that it can be impossible to take even simplest decision without emotions. On the other hand, the perception of any kind of situation or event depends highly on someone's emotions, and, therefore, the same also holds for the interpretation of this situation and all cognitive processes that follow [Damasio, 1995], [Goleman, 1997].

In inter-human communication, emotions are omnipresent. Indeed, each communication takes place on two different layers: the *object layer* or the *relational layer*, and the latter consists, in particular, of emotional signals communicated between the partners of the interaction [Watzlawick, 1976]. A particular context in which communication—and emotions—are of paramount importance is education. Indeed, a student will experience a variety of emotions during learning—such as anxiety, joy, pride, hope, boredom—and teaching can therefore be viewed as an *emotional practice* in which the emotional practitioner, the teacher, can lead a person to feeling specific emotions—such as interest or joy—by using different behaviors and actions [Hargreaves, 2002].

In the context of education through computers, the teacher is replaced by a machine. *Intelligent Tutoring Systems (ITS)* have been proposed and realized with the objective of simulating a tutor which is not only an expert in the domain to be taught but also an expert educationist knowing and being able to apply different pedagogical strategies. In this context, a natural question is in what sense such a system should be “intelligent”, i.e., what kind of intelligence can be required for being a good tutor. Whereas previously, this intelligence has usually been restricted to traditional forms of

intelligence, we propose in this paper to extend this intelligence by including so-called *emotional intelligence* discussed below. A condition for this to make sense is a computer's ability to deal with a human emotions or, more precisely, to have an influence on them. Researches have shown that the reaction, both emotional and behavioral, of people in front of a computer is similar to when they are interacting with a human [Reeves & Nass, 1996]. For instance, a computer that flatters a user will generate positive emotions in him. A learner will, hence, experience a variety of emotions upon interacting with an ITS in the same way as in the context of traditional learning, and similarly to the human teacher, a virtual tutor can be viewed as an emotional practitioner able to influence the learner's emotions. Moreover, these emotions will strongly influence his cognitive abilities [Isen, 2000]. Given these two facts, ITS should, therefore, be able to manage these emotions in a way beneficial for the learning process, e.g., to generate specific emotions in the learner. This latter ability is associated with *emotional intelligence*.

Emotional intelligence, which has attracted a lot of attention in recent years, incorporates capacities that relate to emotions and emotional processes of individuals. Emotional intelligence, which has been shown to be of great importance for one's personal and professional success in life [Goleman, 1997], is defined by different capabilities related to dealing with one's and other's emotions [Salovey *et al.*, 2000].

By consequence of the above discussion that it appears advantageous to include specific capabilities of emotional intelligence into ITS: Learning involves a variety of cognitive processes, and someone's performance therein highly depends on his emotions. An ITS that is able to manage a learner's emotions contains additional human capabilities and is potentially more efficient. In this paper we propose, as a new paradigm, the concept of ITS having these capacities, i.e., which are emotionally intelligent.

The rest of the paper is organized as follows. In Chapter 2, we discuss emotional intelligence and the capabilities related to it, as well as what it means to integrate them into an ITS. In Chapter 3, we review existing systems which include certain capabilities of emotional intelligence. In Chapter 4, we describe the concept of an *Emotionally Intelligent Tutoring System (EITS)* on a high level, its architecture and main components.

In Chapter 5, we discuss concrete methods for realizing the different components of an EITS.

## 2. Emotional Intelligence in Intelligent Tutoring Systems

According to Mayer [Mayer *et al.*, 2000], emotional intelligence is the ability to understand, express, and manage one's proper emotions as well as to recognize, interpret, and influence the emotions of others'. Specifically, in the context of teaching, being emotionally intelligent means to be able to recognize, adapt to, and deal with a learner's emotions. A good tutor—human or not—chooses his behavior and actions such as to influence the learner's emotions in a way which will increase the latter's cognitive capabilities and, hence, learning performance. For instance, this can mean to reassure and calm down a learner when this one is anxious, desperate or stressed.

Different models of emotions have been distinguished and hence different ways to represent them. Commonly, researchers have defined types of emotions, called *basic emotions*. For instance, Ekman [Ekman, 1993] has distinguished six different basic emotions: *sadness*, *happiness*, *disgust*, *fear*, *surprise*, and *anger*. In other models, the number of basic emotions varies from 2 to 20 [Picard, 1997].

**Definition 1.** We denote the set of basic emotions by  $E_t$ .

*Example 1.* In Ekman model [Ekman, 1993],  $E_t$  contains six emotions:  $E_t = (\text{sadness, happiness, disgust, fear, surprise, and anger})$ .

Emotions have various intensities (or levels) with time and for instance a learner can be angry at different levels at different times.

**Definition 2.** The emotional state  $E_i$  of a learner, at a given time  $i$ , is a vector of intensities of all the emotions in the set  $E_t$ :

$$E_i = (e_{1,i}, \dots, e_{m,i}),$$

where

$m$  is the number of basic emotions, i.e, the number of element in  $E_t$ .

$e_{j,i}$  is the intensity with which the  $j^{\text{th}}$  basic emotion is felt at the time  $i$ .

$j = 1, \dots, m$

A learner will experience various emotions during a learning session. These emotions directly influence the performance of the learner. Therefore, there exists for each learner at at any time an emotional state which allows him or her to obtain the best performance. This state will be called the *optimal emotional state*.

**Definition 3.** The *optimal emotional state at time  $i$* , denoted by  $OE_i$ , is the emotional state which provides the learner with the best resulting performance.

During a learning session, the learner's emotions will constantly change. We say that the learner *evolves* from an *emotional state* to another. According to the OCC theory of emotions [Ortony, Collins & Clore, 1988], this variation of emotions depends on a situation and its appraisal, and the latter depends on the cognitive state of the learner.

**Definition 4.** We denote by  $C_i$  the *cognitive state* of the learner at the time  $i$ . This state includes the goals, beliefs, and preferences of the learner.

In the context of ITS, a situation is triggered by pedagogical action.

**Definition 5.** A *pedagogical action*  $PA_i$  at a given time  $i$  is an action taken by the ITS.

These actions can change the learner's emotional state.



For instance such actions can be to provide a feedback to the learner on his performance by giving him congratulations or criticisms, encouragements, or pedagogical measures such as an increase of the difficulty of an exercise, or changing the type of task.

It is our objective to determine the consequence of such actions on the learner's emotional state.

Now we can define an emotionally intelligent tutoring system.

**Definition 6.** An ITS is considered as *emotionally intelligent* if he can change the emotional state of a learner to the *optimal emotional state* in order to improve the learner's performance.

This implies that such a system must have the three following abilities:

Condition 1: Ability to identify the current emotional state of the learner,

Condition 2: Ability to determine the optimal emotional state,

Condition 3: Ability to know the impact of pedagogical actions on learner's emotional state, i.e, to be able to transform the emotional state of a learner to another emotional state and in particular to the optimal emotional state.

We wish to determine which functions are necessary to realize the previous abilities for implementing into an ITS. In the following we intend to (1) clarify the functions in question and (2) determine more precisely how these functions can be implemented into the architecture of an Emotionally Intelligent Tutoring System.

**Condition 1.** The first condition aims to identify the current emotional state of the learner. Since emotions can vary at any time, the knowledge about learner's emotions has to be updated constantly during the learning session. To achieve Condition 1 means that the ITS is able to determine  $E_i$  for all  $i$ .

**Condition 2.** The second condition is the ITS' ability to determine the most advantageous emotional state for learning. There is, however, no unique "best emotional state" valid for any person. In fact, some people might have a much better performance when under stress, whereas the same condition can reduce the performance of others'. The optimal emotional state  $OE_i$  of a learner depends on his current emotions and his performance. The functions to develop should be able to determine this optimal state for each learner individually and at any time. For achieving this, it can take into account the learner's current emotions and his performance (denoted by  $P_i$ ).

So we can write that to achieve Condition 2 is equivalent to being able to evaluate the function  $Sup$  which determines, from  $E_i$  and  $P_i$ , the optimal emotional state  $OE_i$  at a given time  $i$ :

$$OE_i = \text{Sup} (E_i, P_i) \quad (1)$$

**Condition 3.** The third condition allows to predict the impact of a specific pedagogical action  $PA_i$  on the learner's emotions. The perception by the learner of an action and therefore its impact on the learner's emotions depends on his cognitive state  $C_i$  [Ortony, Collins & Clore, 1988] and his current emotional state  $E_i$  [Bower, 1981]. To achieve the Condition 3 means to be able to evaluate the function  $Res$  which determines the emotional state  $E_{i+1}$  resulting from the action  $PA_i$  of a learner with emotional state  $E_i$  and cognitive state  $C_i$ :

$$E_{i+1} = \text{Res}(E_i, C_i, PA_i) \quad (2)$$

So, the problem of an emotionally intelligent tutoring system satisfying the three conditions can be stated as follows:

Given

- An initial emotional state  $E_i$  and a cognitive state  $C_i$
- Performance at the same time  $P_i$

We should apply a pedagogical action  $A_i$  to reach the optimal emotional state; which can be written

$$\text{Res}(E_i, C_i, A_i) = \text{Sup}(E_i, P_i) \quad (3)$$

where  $A_i$  is the only parameter unknown.

Various approaches are possible towards finding its values. For instance, we can make a series of successive experiments which will allow for determining which action leads a given learner to his optimal emotional state at this time. Since the emotional process is highly individual and depends on personal parameters such as personality, past experience, or standards and moral, all the above has to be done for each learner separately. By solving the above equation for each learner we know which action to apply given a precise situation in term of previous performance and emotional state.

### 3. Related Work

*Affective computing* is a relatively new area of research in computer science which takes into account emotions in the conception of both software and hardware systems. The domain of affective computing includes the simulation of emotions in virtual characters as well as the integration of one or several capabilities of emotional intelligence, such as the recognition of emotions and the management of the user's emotions.

Numerous researchers currently work in the domain of affective computing. For instance, work is under way on the conception of computer systems allowing for the recognition of a user's emotions based on their physiological manifestations. For instance, an *affective wearable computer* has been developed—in the form of jewelry,

watches, glasses, or a jacket—which can detect physiological changes and use them to constantly determine and update the current emotions of the users [Picard, 1997].

There exist several theories on emotions in psychology. Most work in affective computing is based on the OCC model developed by Ortony, Collins, and Clore [Ortony, Collins & Clore, 1988], which defines 22 different types of emotions. Their classification is with respect to situations (composed of events, agents, and objects) the appraisal of which leads to the corresponding emotions. Although this model is obviously a simplification of the human emotional process, it allows for understand which emotions people experience under what conditions.

The OCC model has also been used to simulate an emotional process in virtual characters, e.g., with the objective of creating a virtual world populated by agents with all sorts of emotions. Bates and Reilly have developed the “Em” model which is based on the model OCC and defines how to implement an emotional process in a virtual agent, i.e, when, how, and what sort of emotions a virtual agent expresses during his interaction with others agents [Reilly, Bates, 1992].

As a further application, researchers have used the OCC model to create a computational model of a user’s emotions, in particular in the context of ITS. For instance, the application *DUFFY* is able to determine the emotional reactions of a learner upon his interaction with a virtual tutor and a troublemaker based on a computational matrix [Abou-Jaoude & Frasson, 1999]. Faivre *et al.* [Faivre *et al.*, 2002] have proposed to incorporate in an ITS an agent able to recognize the learner’s emotions according to his actions, and according to his expressions of emotions by his facial expression. In the context of educational games, researchers have developed a probabilistic model, based on dynamic decision networks, for assessing the emotional state of a user [Conati, 2002].

In conclusion, several ITS have been realized that generally possess *one* of the three above-mentioned capabilities of emotional intelligence. Having indicated which functions to develop for completing the three conditions, we can now precise the architecture and modules to develop to create an Emotionally Intelligent Tutoring System.

## 4. The Concept of Emotionally Intelligent Tutoring Systems (EITS)

An *Emotionally Intelligent Tutoring System (EITS)* has all the functionalities of a traditional ITS, but possesses, in addition, capabilities from emotional intelligence.

A traditional ITS is usually composed of three modules, namely an *expert module*, which contains the expert knowledge in the domain it is designed to teach, the *learner module*, which includes the ITS' knowledge on the current learner such as his performance characteristics or his pedagogical preferences, and finally the *tutor module* which knows the pedagogical strategy to be applied and decides on the pedagogical actions to be taken by the ITS.

The mentioned capacities from emotional intelligence can be given to the ITS, in a modular way, by an additional external agent—called *Emotionally Intelligent Agent (EIA)*—supporting these capacities.

**Definition 7.** An *Emotionally Intelligent Agent (EIA)* is an agent which is emotionally intelligent, i.e, able to suggest to the ITS which pedagogical actions  $PA_i$  are to be taken at the time  $i$  in order to evolve the learner from his current emotional state  $E_i$  to the optimal emotional state  $OE_i$ . An EIA is composed of 5 modules: the *EIA Solver*, the *Emotional Recognizer*, the *Emotional Optimizer*, the *Emotional Predictor*, and the *Learner Emotional Model*. Figure 1 shows the architecture of an EITS and, in particular, of the EIA. In the following, we will describe the functionality of these components.

**Emotional Recognizer.** The first condition for an EIA to be emotionally intelligent is achieved by the Emotional Recognizer, which determines the current emotional state  $E_i$  of the learner at any time  $i$ . It will use as input the data on the learner's emotions

collected by the *Emotional Detector*, such as for instance information on his facial expression or voice characteristics, and produces as output the learner's emotional state  $E_i$ . We describe in Section 5 several methods for implementing the Emotional Recognizer.

**Emotional Optimizer.** The second conditions for an EIA to be emotionally intelligent is achieved by the Emotional Optimizer, which determines the optimal emotional state  $OE_i$  at any time  $i$ . The *Emotional Optimizer* use as input the current emotional state  $E_i$  of the learner and his current performance  $P_i$  to evaluate the function Sub (1) in order to produces as output the learner's optimal emotional state  $OE_i$ . We propose in the Section 5 a method based on Case Based Reasoning to implement the function Sub (1).

**Emotional Predictor.** This component allows for predicting the effect of actions on learner's emotions, i.e, to achieve the third conditions for an EIA to be emotionally intelligent. Indeed, the *Emotional Predictor* evaluates—given a cognitive state  $C_i$ , an emotional state  $E_i$ , and a specific action  $PA_i$  as input—the function Res (2), i.e., predicts the resulting emotional state  $E_{i+1}$  of the learner with the current emotional state  $E_i$  and cognitive state  $C_i$  after the action  $PA_i$ . To determine the effect of an action on the learner's emotions, the *Emotional Predictor* uses the *Learner Emotional Model*. In the Section 5, we describe a method to predict the impact of specific pedagogical actions on learner's emotions.

**Learner Emotional Model.** The *Learner Emotional Model* contains all the information the EIA has collected about the learner's emotional process. In the next Section, we propose a method to represent the emotional process of a learner.

**EIA Solver.** This component has a central role in the EIA. The EIA solver will indeed solves Equation (3), i.e, determines which pedagogical action  $PA_i$  has to be taken by the ITS to evolve the learner from his current emotional state  $E_i$  to the optimal emotional state  $OE_i$ . It use as input the current emotional state  $E_i$  of the learner, his cognitive state

$C_i$ , and his current performance  $P_i$ , and then transfers to the *Tutor Module* of the ITS the action  $PA_i$  to executed.

We will now describe methods to realize each of the described components of the EIA.

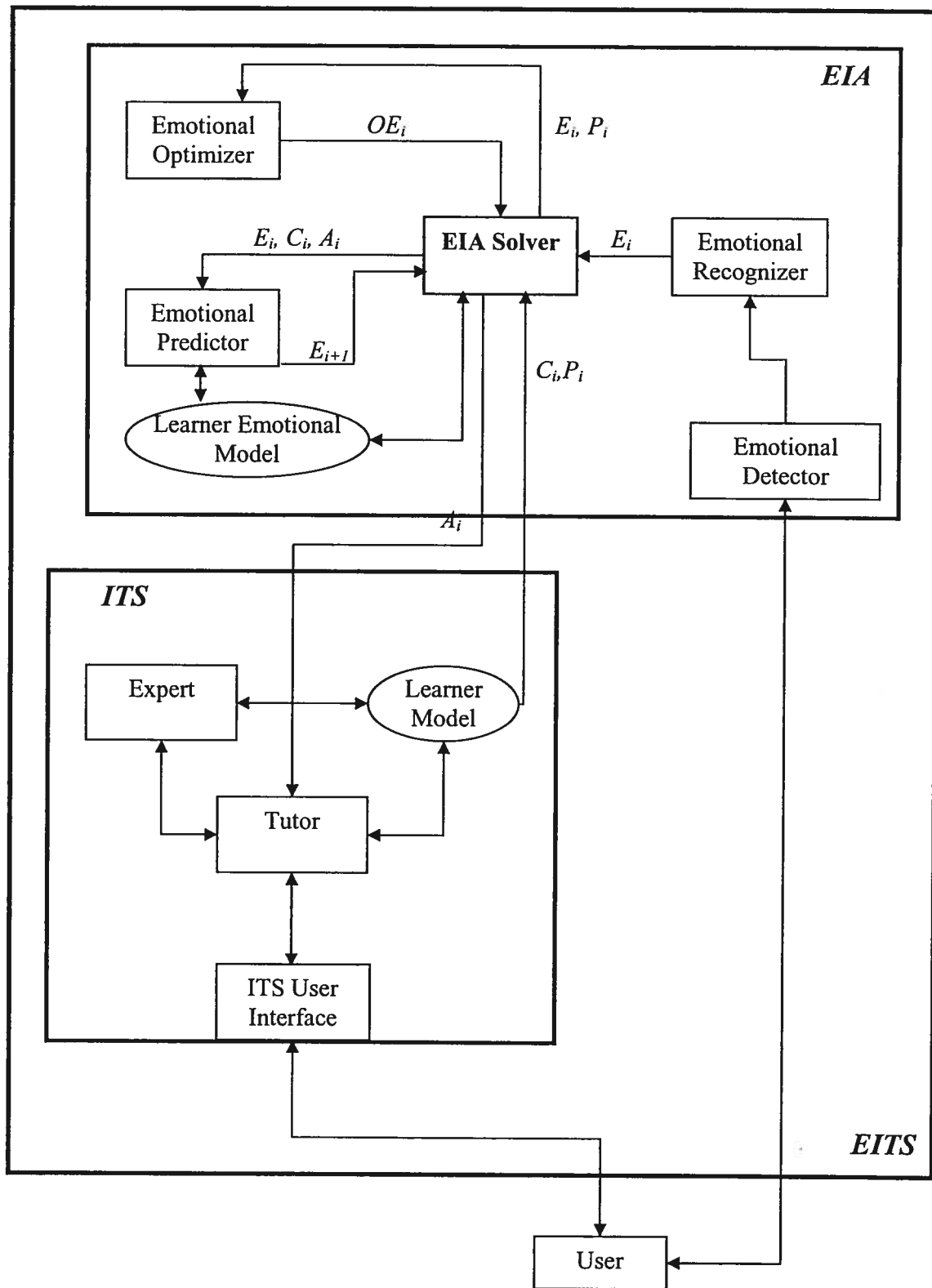


Figure 1: Architecture of an EITS



## 5. Towards the Realization of an EIA

### 5.1 The Emotional Recognizer

The functionality of the *Emotional Recognizer* is to determine at any time  $i$  the learner's emotional state  $E_i$ . Many researchers have developed methods for determining the emotions of a user. They can be grouped into two categories, namely *passive* and *active methods* [Reynolds & Picard, 2001].

**Passive Methods.** In interaction with a method of the first group, the user is *passive*. Such systems use one of the various physical manifestations of emotions: facial expression, physiological parameters such as heart rate, blood pressure, respiration frequency, voice tonality, or skin conductivity [Picard, 1997]. These systems use sophisticated technologies and sensors and can, hence, be inadequate in certain contexts—such as web-based systems.

**Active Methods.** *Active* methods, on the other hand, recognize the user's emotions based on his self-evaluation. Psychologists have developed questionnaires in which the user directly reports his emotions. However, the recognition of one's own emotions is difficult and depends on each individual.

The methods used to recognize emotions depend on the types of emotions chosen for defining the emotional state of the learner.

**Emotional Scales.** In our work we have, based on [Ortony, Collins & Clore, 1988], represented the emotional state of the learner  $E_i$  with respect nine antipodal emotional couples ( $E_{j1}, E_{j2}$ ) shown in Figure 2.

**Tableau 1: Antipodal Emotional Couples**

$(E_{11}, E_{12})$	Distress vs. Joy
$(E_{21}, E_{22})$	Disappointment vs. Relief
$(E_{31}, E_{32})$	Anxious vs. Confident
$(E_{41}, E_{42})$	Boredom vs. Intrigue
$(E_{51}, E_{52})$	Self-reproach vs. Pride
$(E_{61}, E_{62})$	Reproach vs. Appreciation
$(E_{71}, E_{72})$	Resentment vs. Sorry-for
$(E_{81}, E_{82})$	Anger vs. Gratitude
$(E_{91}, E_{92})$	Remorse vs. Self-gratification

In this representation, the emotional state at time  $i$  is a 9-vector

$$E_i = (e_{i,1}, e_{i,2}, \dots, e_{i,9}),$$

where the value  $e_{i,j}$ —with respect to the emotional couple  $(E_{j1}, E_{j2})$ —is a real number between  $-1$  and  $+1$ . The limit values  $-1$  and  $+1$  indicate that the emotion on the left and right hand side, respectively, of the couple is being experienced to the maximum. The value zero indicates that no emotion of the couple is currently being felt. The emotional state  $E_i$  of a learner at the time  $i$  is thus entirely represented by a  $E_i = (e_{i,1}, e_{i,2}, \dots, e_{i,9})$ , and the emotional state can be represented as a point in the 9-dimensional real space.

We determine the current emotional state of the learner  $E_i$  by having him give the nine values  $e_{i,j}$  himself. In order to simplify this task, make it more intuitive and user-friendly, we use nine *emotional scales* (Figure 3), into which the learner simply enters his current state by positioning the cursors. The scales are graduated with different adjectives

based on the work about the classification of emotional terms [Ortony, Clore & Collins 1988].

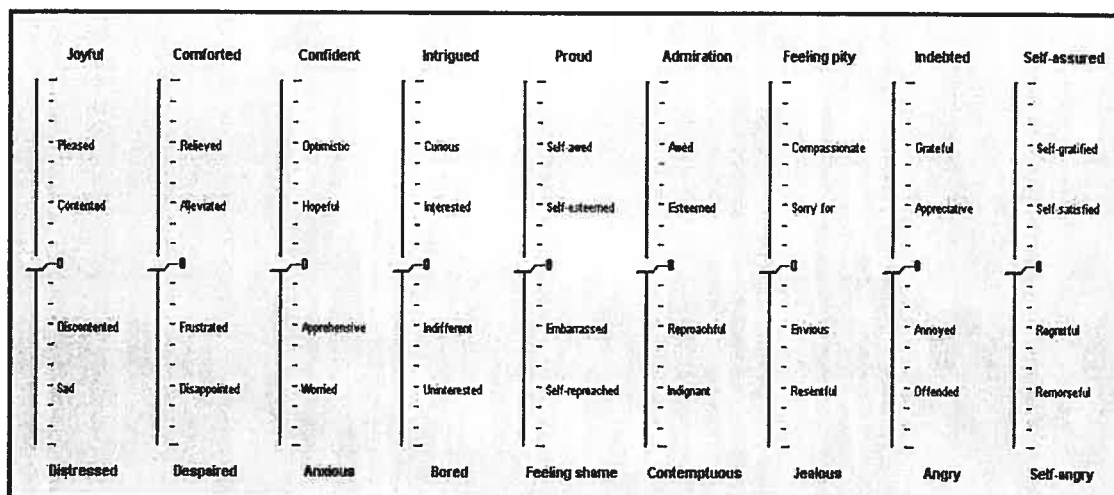


Figure 2: Emotional Scales

## 5.2 The Emotional Optimizer

The functionality of the *Emotional Optimizer* is to determine at any time  $i$  the learner's optimal emotional state  $OE_i$ . Recent research in psychology has analyzed the influence of emotions on cognitive abilities. In learning, the following three cognitive processes are of central importance: *attention*, *memorization*, and *reasoning* [Gagné, 1984], [Bloom, 1994]. The cognitive abilities in each of them strongly depend on emotions. First, a learner with negative emotions has difficulties to switch his focus and his *attention* from one subject to another [Compton, 2000]. Positive emotions enhance *memory* performance in general, whereas any other type of emotions can improve it as well if these emotions are related to the emotional content of the objects to be memorized [Bower, 1992]. *Reasoning* will be improved by positive emotions; indeed, they lead to a more creative, flexible, and divergent thinking process. Conversely, negative emotions are commonly related to a more linear, convergent, and sequential thinking [Isen, 2000]. However,

certain specific negative emotions—e.g., anxiety, stress, or jealousy—can be a motivator for acting towards avoiding an unpleasant situation [Ortony, Collins, Clore, 1988], and, in the context of learning, motivate the learner to work harder.

As a consequence, there is not necessarily *one unique* optimal emotional state for learning. Indeed, both positive and negative emotions can be beneficial for learning, and the emotions optimizing the learning process depend on each learner and time. In fact, certain people work better under stress, whereas others need calm and positive emotions.

A natural method to determine the optimal emotional state for learning is to analyze, for each learner, the relationship between his emotions and his performance. During the learning session, past emotional states and the corresponding performances inform us on the general optimal emotional state for learning. For instance, if a good performance of the learner is always related to positive emotions, then the condition for learning are positive emotions. However, a different emotional state can be appropriate in certain situations. We propose a method for determining the optimal emotional state  $OE_i$  at time  $i$  based, on one hand, on past performance of a learner and related past emotions as well as, on the other, on his present emotional state and performance.

First, we will analyse a method based on Case Based Reasoning which used the past performances and emotions of the learner to determine the optimal emotional state.

**Case-Based Reasoning.** Our method for determining the optimal emotional state for learning uses a problem-solving method known as *Case-Based Reasoning (CBR)*. The main idea of CBR is to use past experiences to solve new problems or instances [Kolodner, 1993]. The problem of determining the optimal emotional state for learning for a particular learner is very complex, and the CBR method allows for solving problems without a complete understanding of the domain.

**The Cases Library.** The elements of the past experience, called *cases*, are stored in the *cases library*, which is updated constantly during the learning session, and from which

the necessary information for solving new instances is retrieved. In our context, the knowledge we want to represent and use is the influence of emotions on performance. However, in order to interpret a certain performance and, in particular, the effect of emotions on it, other factors potentially influencing the someone's performance at some point also have to be taken into account.

**Definition 8.** The *Performance Influence Factors*, denoted by  $E_p$ , is a set of all factors which can influence the learner's performance (except the learner's emotions) during his interaction with the ITS.

*Example 2:* An example of such set of factors is:  $E_p = \{\text{difficulty of an exercise, the type of a task, the learning content, the time of the day, the learning environment, time constraints}\}$ .

**Definition 9.** The *Influence Factors Vector*  $F_i$  at a given time  $i$  is a vector of values of all the factors in the set  $E_p$ :

$$F_i = \langle \text{factor}_{1,i}, \dots, \text{factor}_{n,i} \rangle$$

where

$n$  is the number of factors, i.e, the number of element in  $E_p$ .

$\text{factor}_{j,i}$  is the value of the  $j^{\text{th}}$  factor at the time  $i$ .

$$j = 1, \dots, n$$

A case in our library will be a vector consisting of the influence factors vector  $F_i$ , his emotional state  $E_i$ , as well as his performance  $P_i$  at the same time, i.e., a case is of the form:

$$\langle E_p, E_i, P_i \rangle .$$

This vector represents the fact that in the emotional state  $E_i$  and given the influence factors vector  $F_i$ , the performance of the learner has been observed to be  $P_i$ . Hereby,  $P_i$  is normalized to be a value between 0 and 100.

New cases can be solved based on the cases stored in the library. The assumption needed is that if in the future, a situation with identical or similar parameters as in a case stored in the library occurs, then the corresponding performance will be identical or close to the then observed performance. In this sense, a case in the library represents a solved case, and their collection allows for solving new ones that are not stored in the library yet.

The library will then be used to solve two types of queries:

- The first type of query corresponds to the question “Given an influence factors vector, what is, based on all past experience, the optimal emotional state in this situation, i.e., the emotional state which will maximise the performance of the learner?”
- The second type of queries answers to the question “Given an influence factors vector, what performance can we, based on all past experience, expect the learner to deliver without the influence of emotions?”.

We describe in detail the two queries and retrieval algorithms for solving them. The input to both queries is a vector

$$\text{query} = \langle F_i \rangle.$$

We will first define a distance measure between two such queries.

**Query Distance.** The distance between two vectors  $F_i$  and  $F_i'$  is the sum of the distances of the entries in each of the  $n$  components of the vector:

$$\begin{aligned} D(F_i, F_i') &= D(\langle \text{factor}_1, \dots, \text{factor}_n \rangle, \langle \text{factor}_1', \dots, \text{factor}_n' \rangle) \\ &= \sum_{i=1 \dots n} D_i(\text{factor}_i, \text{factor}_i'). \end{aligned}$$

Hence, we have to define a distance  $D_j$  between the possible values taken by the  $j^{\text{th}}$  factor. These distance measures will be normalized with respect to each other in such a way that if we vary one of the coordinates by a certain value  $d$ , then the effect on the performance is roughly the same, whatever coordinates position we choose.

These  $n$  distance measures for the factors can be determined as follows. Once the database has a certain size, the functions

$$P(\text{factor}_j), \quad \text{for } j = 1, \dots, n,$$

which describe the dependency of the performance from each of the factors separately, can be evaluated, for each value of the factor $_j$ , by averaging over all other factors.

The resulting distance measure, or *metric*,  $D_j$  reflects the influence of the corresponding factor on the learner's performance: If small changes lead to a large distance, then this factor is important for determining the performance. Given all these distances  $D_j$  for the  $n$  factors, we immediately have a distance  $D$  between the vectors, i.e., queries, as defined above.

**Definition 10.** We denote  $OE_{p,i}$  the optimal emotional state at the time  $i$  determined based on past performances of the learner and related past emotions stored in the library the cases library.

**Query 1.** The first type of queries takes as input a vector  $F_i$  and outputs  $OE_{p,i}$ . One retrieval algorithm for this query is as follows.

### Retrieval Algorithm 1.

1. Compute the distance between the query vector  $F_i$  and the vector composed by the values of the influence factors vector of each case stored in the library.
2. Select all the cases closer than at a distance  $d$  (where  $d$  is chosen depending on the size of the database).
3. Among the cases chosen in Step 2, choose the one with the highest performance. The emotional state of this case is the algorithm's output  $OE_{p,i}$ .

**Definition 11.** We denote  $P_{exp,i}$  the *expected performance* of the learner at the time  $i$ .

**Query 2.** The second type of queries takes as input a vector  $F_i$  as well, but outputs the expected performance  $P_{exp,i}$ . A way to retrieve this information is to search the cases library for all cases with “close” influence factors vector, just as above, and then to take the average  $P_{exp,i}$  over all performances stored in these cases. This averaging allows for eliminating the performance's dependency of the different emotional states.

### Retrieval Algorithm 2.

1. Compute the distance between the query vector and the vector composed by the values of the influence factors vector of each case stored in the library.
2. Select all the cases closer than at a distance  $d$  (where  $d$  depends on the size of the database).
3. Determine the average of all the performances  $P_{exp,i}$  of the cases chosen in Step 2. This value is the algorithms output.

**Finding the Optimal Emotional State.** We can use the optimal emotional state  $OE_{p,i}$  based on past experience as well as the expected and the actual performances  $P_{exp,i}$  and  $P_i$ , respectively, to determine the optimal emotional state  $OE_i$ . The effect of the current emotional state  $E_i$  on the actual performance is manifested in the difference between the expected and actual performance.



**Definition 12.** We define the *emotional coefficient* which expresses the effect of the current emotion  $E_i$  based on the gap between expected performance  $P_{exp,i}$  and actual performance  $P_i$ .

Formally, the emotional coefficient  $EC_i$  at time  $i$  is

$$EC_i = (P_i - P_{exp,i} + 100) / 200 .$$

This value of  $EC_i$  can vary between

0 : “current emotions are very bad for performance”

and

1 : “current emotions very favourable for performance”.

The value of  $EC_i$  quantifies the impact of the current emotions on performance. In other words, this value expresses how suitable the current emotional state is for learning, and this can be taken into account for determining the optimal emotional state. If, for instance,  $EC_i = 1$  holds, then there is no reason to change the current optimal state ( $P_i = 100$  and  $P_{exp,i} = 0$ ), whereas  $EC_i = 0$  indicates that the current state is very unfavourable and should be changed, namely to  $OE_{p,i}$ , which is the estimate of the optimal state based on all past experience. In general, we define the *optimal emotional state*  $OE_i$  as a weighted sum, the weights depending on the emotional coefficient. Formally, the optimal emotional state  $OE_i$  at some time  $i$  is determined as

$$OE_i = EC_i * E_i + (1 - EC_i) * OE_{p,i} . \quad (4)$$

In this context it is important to note that the system will, at any time, use feedback in order to verify its predictions. If some change in the emotional state has been recommended by the emotions optimizer and carried out by the EIA, and if this state

turns out to be highly favourable for the learner's performance, then the EITS will leave the learner in this state because of (4), even if it does not actually correspond the best prediction based on the past.

### 5.3 The Emotions Predictor

In order to be able to change a learner's emotional state from the current emotional state to another state—the optimal state determined by the emotions optimizer—the EITS must know the emotional effect of its actions, i.e., be able to evaluate the function  $Res$  introduced earlier.

The emotional process of an individual is, however, very complicated. For instance, the reaction to a specific action is the result not directly of the event but of how it is perceived by the learner and his appraisal of the situation. We can, therefore, not expect to be able to predict emotional reactions analytically, i.e., by a simple algorithm or closed formula. We will, instead, apply methods from *Case-Based Reasoning (CBR)*, as we did already for determining the optimal emotional state. The main idea is, as described above, to solve new instances based on the collection of all past experience. This allows, in a generic way, for making predictions about the behaviour of complex systems—such as the emotional process of a person—without having to understand the system.

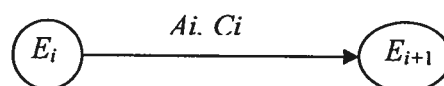
**The Cases Library.** The main components of the CBR method are the collection and representation of all past experience in a *cases library*, as well as methods for locating information in this library that is relevant for solving new instances. The *cases* stored in the library are emotional reactions that have been observed for a specific learner. More precisely, such a reaction is represented by a quadruple as

$$\langle E_i, C_i, PA_i, E_{i+1} \rangle .$$

This case represents the fact that if the learner is in the emotional state  $E_i$  and the cognitive state  $C_i$ , then after the pedagogical action  $PA_i$  occurs, the learner will be in the emotional state  $E_{i+1}$ . Since the emotional effect of a situation depends on its appraisal, and the latter not only on the current emotional state  $E_i$  but also on the cognitive state of the learner including his beliefs, goals and preferences [Ortony, Collins, & Clore, 1988], this cognitive state  $C_i$  must also be part of the case. For instance, the pedagogical action can be the EITS announcing to the learner his performance in an exercise; the emotional effect of this action strongly depends not only on how he performed in this exercise, but also on *how he believes he did*, since this determines whether learning the result is a positive or a negative surprise for him (or no surprise at all).

**Cases Library Representation.** The cases stored in the library are represented by a labelled directed graph. The vertices are labelled with emotional states, and the edges to pairs of an action and a cognitive state<sup>1</sup>. An edge labelled with a cognitive state  $C_i$  and an action  $PA_i$  connects two vertices labelled by the emotional states  $E_i$  and  $E_{i+1}$  (See Figure 4), respectively, represents the case:

$$\langle E_i, C_i, PA_i, E_{i+1} \rangle .$$



**Figure 3: Graph Representation of Cases**

<sup>1</sup> The reason for coupling together actions and cognitive states is natural, since an action is often defined with respect to the latter. For instance, an action—having a certain well-known impact on the emotions—can be “reveal to the learner that he did much better in the previous exercise than he thought”, in order to comfort an insecure learner. The problem is that the learner might in fact have done much worse than he thought. In that case, the action, with respect to the cognitive state which contains the learner’s beliefs, for instance with respect to his performance, will be adapted to this cognitive state. In our example, the EITS would not reveal the entire test result to the learner, but just tell reveal him certain chosen strong points of his performance.

Formally, the graph  $G$  representing the learner emotional model is

$$G = (V, E),$$

where the set of vertices of the graph is

$$V = \{ \text{possible emotional states} \},$$

and the edges, each labelled by an action  $PA_i \in A$  and a cognitive state  $C_i \in C$ , are

$$E \subseteq V \times V \times A \times C,$$

where

$$(E_i, E_{i+1}, PA_i, C_i) \in E$$

holds if and only if the following emotional reaction has been observed: Given an initial emotional state  $E_i$  and cognitive state  $C_i$ , the action  $PA_i$  has changed the emotional state to  $E_{i+1}$ .

**Sequences of Actions.** This graph representation is useful since the effect of a *sequence* of several actions are represented in a natural way: Indeed, a path in the graph between two vertices represents the fact that the sequence of actions associated with the connecting edges leads the learner from one emotional state to the other. More precisely, if  $G$  contains the path

$$P = [ (E_i, E_{i+1}, PA_i, C_i), (E_{i+1}, E_{i+2}, PA_{i+1}, C_{i+1}), \dots, (E_{i+r}, E_{i+r+1}, PA_{i+r}, C_{i+r}) ]$$

of length  $r+1$ , then the sequence of actions

$$(PA_i, PA_{i+1}, \dots, PA_{i+r})$$

leads the learner from state  $E_i$  to  $E_{i+r+1}$ , given that the corresponding cognitive states are the correct ones in each step.

In this sense, the cases library represents much more knowledge than the single cases (i.e., the edges), since every path represents a combination of cases that forms a new case.

In conclusion, the graph  $G$  represents all the collected knowledge on transformations between emotional states caused by actions to which the learner is faced, and depending on his cognitive state at the time the actions occur. Examples of actions representing the edges of the graph are any kind of feedback on the learner's performance in an exercise, e.g., felicitation or criticism, or adjustments of the continuation of the exercise, such as the choice of the kind of exercise or learning subject, or the degree of difficulty.

During the learning session, this graph  $G$  is constructed and dynamically updated by adding new cases observed, i.e., when a change in the emotional state of the learner is detected. The new case is then inserted into the graph by, if necessary, adding the corresponding vertices and edges.

This graph  $G$ , representing the emotional process known by the EIA, is contained in the *Learner Emotional Model*.

**The Queries.** New instances to be solved with the help of the cases library are of the following form. First, questions of the type “Given a learner's current emotional state, what is the effect of a specific action on it?”. This query allows the *Emotional Predictor* to predict the effect of an action on the learner's emotions. Secondly, the EITS has to know “Given the learner's current emotional state and the optimal state for learning, what action or sequence of actions—as short as possible—will bring him from one to the other?”. The *EIA Solver* uses this type of query to determine which actions to use in order to change the learner's emotions to another, namely one that is more beneficial for learning.

We describe an example of a possible retrieval algorithm for both types of queries.

**Query 1.** For the first query, the input is a triple consisting of an emotional state  $E_i$ , a cognitive state  $C_i$ , and an action  $PA_i$ :

$$\text{query}_1 = \langle E_i, C_i, PA_i \rangle .$$

It is unlikely that the exact same case with these parameters is already stored in the library, and we, hence, use the following approximation to find the resulting state  $E_{i+1}$ .

**Retrieval Algorithm 1.** First, we search the graph for the vertex (i.e., initial emotional state)  $E_{init}$  that is closest to  $E_i$  and for which the effect of action  $PA_i$  is known. Let the resulting state for that case be  $E_{res}$ . We then predict the resulting emotional state to be

$$E_{i+1} = E_{res} + (E_i - E_{init}) ,$$

i.e., we transform the resulting state of the stored case by the same “vector” by which the two initial states differ.

**Query 2.** The second type of queries is for searching the graph for an action or a sequence of actions that leads the learner from one state—his current emotional state—to another—the optimal state determined by the emotions optimizer. The input for such a query consists of a pair of emotional states  $E_i$  and  $OE_i$  as well as a cognitive state  $C_i$ :

$$\text{query}_2 = \langle E_i, OE_i, C_i \rangle .$$

**Retrieval Algorithm 2.** The retrieval algorithm first searches the graph’s vertices for the closest approximations  $E_{init}$  and  $E_{res}$  of  $E_i$  and  $OE_i$ , respectively. Since the emotional effect of a short sequence of actions is much more predictable than the one of a long sequence, we then look for the shortest path between the two vertices and corresponding

to the correct cognitive state. This can be done very efficiently by the well-known *breadth-first-search* algorithm.

As a variant of this method, it is possible to assign weights to edges corresponding to the “uncertainty” of a specific action (taking into account that the effect of certain actions has been observed to be more precisely predictable than of others). In this case, the retrieval algorithm will find the path between the two vertices that minimizes the sum of the weights of the connecting edges. In this case, the applied algorithm is *Dijkstra’s* very efficient shortest path algorithm.

## 6. Concluding Remarks

We have proposed in this paper a new generation of educational systems, namely *Emotionally Intelligent Tutoring Systems (EITS)*. An EITS is, in a nutshell, a traditional ITS in interaction with an *Emotionally Intelligent Agent (EIA)* giving different capabilities of emotional intelligence to the ITS. The proposed architecture of the EIA combines several components that correspond to different functionalities and abilities from emotional intelligence, such as the recognition of a user's current emotional state, the optimal emotional state for learning for some user at a given time during the learning session, or the ability to influence the learner's emotions in a desired way. We have shown in this article the feasibility to realize each component of the EIA using known techniques, methods, and algorithms. In particular, we have described how Case-Based Reasoning methods and graph algorithms can be of use for giving capabilities of emotional intelligence to an ITS.

Our experiments, involving a group of people interacting with a prototype of the emotions predictor and the emotions optimizer several times a day, showed that the described methods for estimating the effect of certain actions on one hand and for finding the optimal emotional state of a specific learner at a given time during the learning session is in fact highly accurate.

In conclusion, EITS—a new paradigm in the context of educational technology—are potentially much more powerful and efficient automated ITS than the ones known up-

to-date. Furthermore, an EITS can be implemented and realized based on existing sensor technology, methods from artificial intelligence, and well-known algorithms.

## Acknowledgements

We address our thanks to the Ministry of Research, Sciences and the Technology of Quebec which supports this project within the framework of Valorisation-Recherche Québec (VRQ).

## References

[Abou-Jaoude & Frasson, 1999] Abou-Jaoude, S., Frasson, C., 1999. *Integrating a Believable Layer into Traditional ITS*. AIED'99: 9th International Conference on Artificial Intelligence in Education, Le Mans, France, p. 315-324.

[Bloom, 1994] Bloom, B.S., 1994. *Bloom's Taxonomy*. University of Chicago Press.

[Bower, 1981] Bower, G., 1981. *Mood and memory*. *American Psychologist* 36(2): 129-148.

[Bower, 1992] Bower, G., 1992. *How Might emotions affect learning ?*. *Handbook of Emotion and Memory*, Ed. Sven-Ake Christianson, p. 3-31.

[Compton, 2000] Compton, R., 2000. *Ability to disengage attention predicts negative affect*. *Cognition and Emotion* 14, p. 401-415.



[Conati, 2002] Conati, C., 2002. *Probabilistic Assessment of User's Emotion in Educational Games*. Journal of Applied Artificial Intelligence, special issue on "Merging Cognition and Affect in HCI", vol. 16 (7-8), pp. 555-575.

[Damasio, 1995] Damasio, A.R., Eds., 1995. *L'erreur de Descartes: La raison des émotions*. Edition Odile Jacob.

[Ekman, 1993] Ekman, P., 1993. *Facial Expression and Emotion*. American Psychologist. Vol. 48, pp. 384-392.

[Faivre *et al.*, 2002] Faivre, J., Frasson, C., Nkambou, R., 2002. *Gestion Émotionnelle dans les Systèmes Tuteurs Intelligents*. Technologies de l'Information et de la Communication dans les Enseignements d'Ingénieurs et dans l'Industrie (TICE), p. 101, 110.

[Gagné, 1984] Gagné, R., 1984. *The conditions of Learning*, 4th Ed. Les Éditions HRW Ltée., Montréal.

[Goleman, 1997] Goleman, D., 1997. *L'intelligence Émotionnelle 1*. Edition Robert Laffont.

[Hargreaves, 2002] Hargreaves, A., 2002. *Mixed emotions: teacher's perceptions of their interactions with students*. Teaching and Teacher Education, Vol. 16, pp. 811-826.

[Isen, 2000] Isen, A. M., 2000. *Positive Affect and Decision making*. Handbook of Emotions, Second Edition, Guilford Press, p. 417-435.

[Kolodner, 1993] Kolodner, J., 1993. *Case-Based Reasoning*. Morgan Kaufmann Publishers.

[Lester et al., 2000] Lester, J.C., Towns, S.G., Callaway, C.B., Voerman, J.L., and Fitzgerald, P.J., 2000. *Deictic en Emotive Communication in Animated Pedagogical Agents*. In *Embodied Conversational Agents*, pp. 123-154 - MIT Press, Cambridge.

[Mayer et al., 2000] Mayer, J.D., Salovey, P. & Caruso, D.R., 2000. *Models of emotional intelligence*. In R. J. Sternberg (Ed.). *Handbook of Human Intelligence* (2nd ed), pp 396-420. New York, Cambridge.

[Ortony, Collins & Clore, 1988] Ortony, A., Clore, G.L., Collins, A., 1998. *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge University Press.

[Picard, 1997] Picard, W. R., 1997. *Affective computing*. MIT Press. See also <http://affect.media.mit.edu/>

[Reeves & Nass, 1996] Reeves, B., Nass, C., 1996. *The Media Equation: How People Treat Computers, Television, and New Media Like Real People and Places*. Cambridge University Press.

[Reynolds & Picard, 2001] Reynolds C., Picard W.R. 2001. *Designing for Affective Interactions*. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Human Computer Interaction, New Orleans, p. 499.

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

[Salovey et al., 2000] Salovey, P., Bedell, B., Detweiler J., Mayer, J., 2000. *Current Directions in Emotional Intelligence Research*. *Handbook of Emotions*. Second Edition. Guilford Press, p. 504-520.

[Watzlawick, 1976] Watzlawick, P., 1976. *How Real is Real ? Communication, Desinformation, Confusion*. Twaine Publisher.

# Chapitre 4

## Expérimentations et Résultats

### 4.1 Objectifs des expérimentations

Dans la modélisation du système de raisonnement à base de cas utilisé pour prédire la réaction émotionnelle d'un individu (*Emotional Predictor*), nous avons supposé qu'un tel système doit être individualisé. En effet, nous sommes parti de l'hypothèse que la réaction émotionnelle dans une même situation pouvait varier suivant l'individu. L'objectif de nos expérimentations est de vérifier cette première hypothèse.

De plus, nous avons supposé qu'il est possible de prédire la réaction émotionnelle d'un individu à partir d'un ensemble de cas connus et d'un algorithme d'approximation. Les expérimentations décrites ci-dessous vont nous permettre de vérifier cette deuxième hypothèse.

En résumé, nous souhaitons vérifier à l'aide d'expérimentations les hypothèses suivantes :

**Hypothèse 1.** La réaction émotionnelle dans une situation dépend de l'individu.

**Hypothèse 2.** La réaction émotionnelle d'un individu est prédictible efficacement par un algorithme d'approximation à partir d'un nombre suffisant de cas.

## 4.2 Description des expérimentations

Nous avons développé un site Internet en Flash, appelé *CBE Web Experience*, permettant aux individus sélectionnés de participer aisément à nos expérimentations. Lorsque qu'un participant entre sur le site, il commence tout d'abord par indiquer son état émotionnel courant en positionnant des curseurs sur 9 échelles d'émotions (Figure 4). En tous temps, il a accès à un dictionnaire d'émotions lui permettant de chercher la définition d'une émotion indiquée sur les échelles d'émotions.

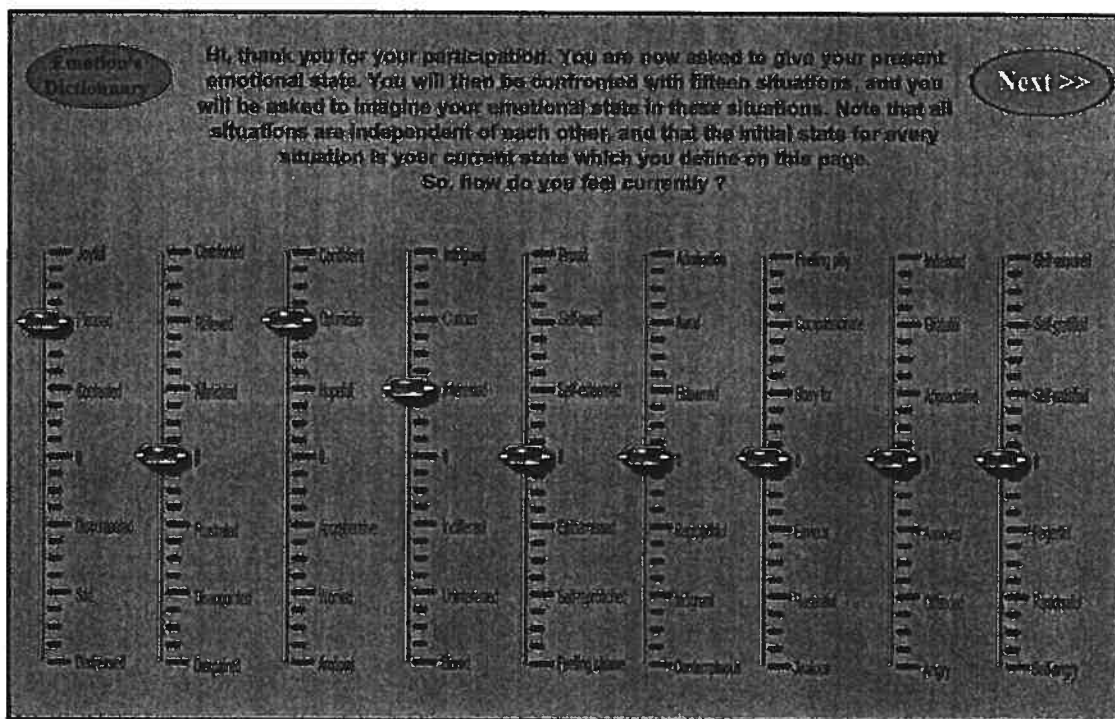


Figure 4: Image d'écran du *CBE Web Experience* où l'utilisateur indique son état émotionnel initial

Ensuite, quinze situations sont décrites aux participants (description des situations dans l'annexe 1), et pour chacune d'elle, le participant doit s'imaginer dans une telle situation, et indiquer quel serait alors son état émotionnel (Figure 5). Les situations

décrites correspondent à des situations pouvant se dérouler dans un contexte professionnel. Il est facile d'imaginer des situations similaires dans le contexte d'un STI, où le superviseur est remplacé par le tuteur, et le collègue de travail suivant ses caractéristiques par un co-apprenant, un compagnon ou un perturbateur. Par exemple, la situation décrite sur la Figure 5 correspond dans le contexte d'un STI à la situation où le tuteur veut que l'apprenant travaille pour le reste de la journée avec un perturbateur. Pour que les situations soient plus facilement imaginables pour les participants nous avons préféré décrire les situations dans un contexte professionnel et interpersonnel.

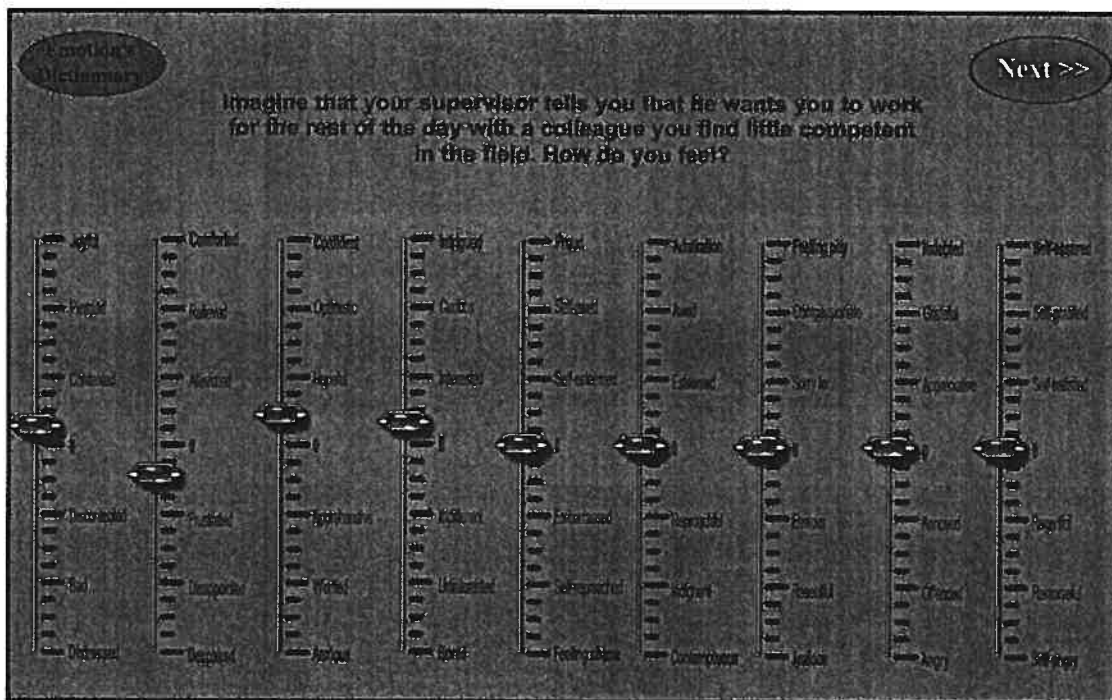


Figure 5: Image d'écran du *CBE Web Experience* où l'utilisateur indique sa réaction émotionnelle dans une situation spécifique

Lorsqu'un participant indique sa réaction émotionnelle dans une situation décrite, un cas, composé de l'identifiant du participant, de son état émotionnel initial, de la situation décrite et son état émotionnel résultant (l'état émotionnel dans la situation décrite), est enregistré dans une base de données MySQL. Un état émotionnel est représenté dans la base de données par un vecteur de 9 réels appartenant à l'intervalle  $[-1, 1]$ .

Les expérimentations se sont déroulées pendant trois jours, durant lesquels quatre participants (deux femmes et deux hommes) se sont connecté au site trois fois par jour. La bibliothèque de cas, individualisée, est ainsi composée de 135 cas (9 cas pour chacune des 15 situations) pour chaque participant.

### 4.3 Analyse des résultats

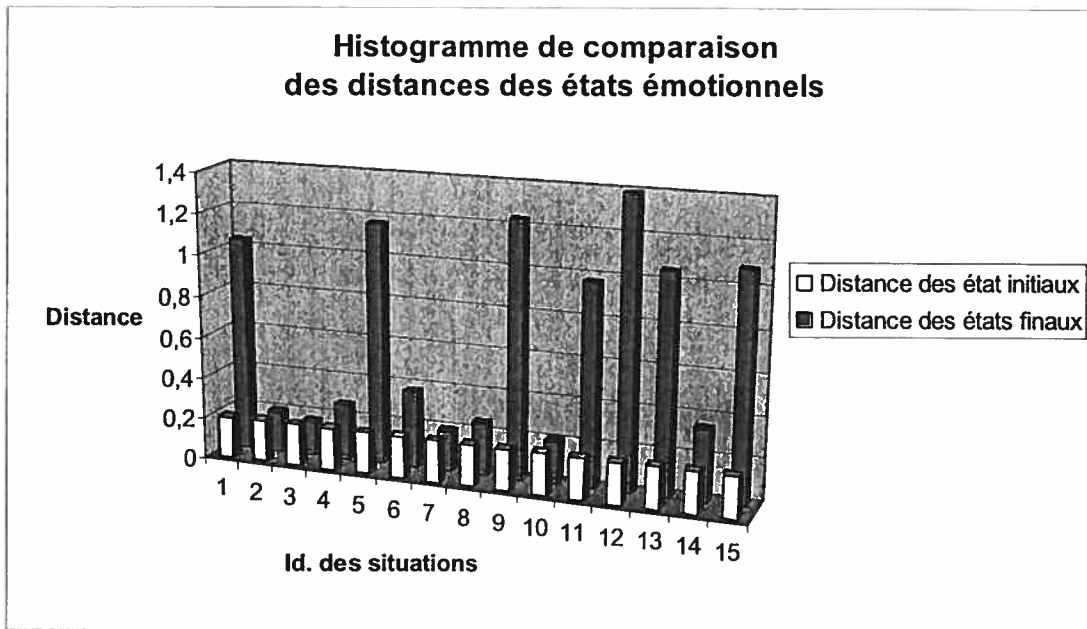
#### 4.3.1 Hypothèse 1

Tous d'abord, afin de vérifier l'hypothèse 1 – selon laquelle la réaction émotionnelle dans une même situation dépend de chaque individu – nous avons comparé la réaction émotionnelle dans chacune des quinze situations décrites (annexe 1) de deux participants différents. Pour ce faire, nous avons sélectionné pour chaque situation deux cas par participant tel que la distance euclidienne entre les états émotionnels initiaux soit la plus petite. Nous avons alors calculé la distance euclidienne entre les états émotionnels résultants.

Le tableau 3 et la figure 6 montre les résultats obtenus.

**Tableau 3: Distances des états émotionnels entre deux participants pour chaque situation**

<b>Identifiant de la situation</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	
<b>Distance des états initiaux</b>	0,204	0,204	0,204	0,204	0,204	0,204	0,204	
<b>Distance des états résultants</b>	1,038	0,193	0,164	0,268	1,167	0,37	0,193	
<b>Identifiant de la situation</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
<b>Distance des états initiaux</b>	0,204	0,204	0,204	0,204	0,204	0,204	0,204	0,204
<b>Distance des états résultants</b>	0,252	1,237	0,205	0,977	1,39	1,054	0,344	1,089



**Figure 6: Histogramme de comparaison des distances des états émotionnels de deux participants**

Les résultats obtenus montrent que dans la plupart des situations, la distance entre les états émotionnels résultants des deux participants est nettement supérieure à la distance entre leurs états émotionnels initiaux. Cela signifie que pour deux individus, même si leurs états émotionnels initiaux sont proches, la réaction émotionnelle de chacun des individus peut être nettement différentes. Ceci nous permet donc de valider l'hypothèse 1 et d'ainsi prouver qu'un système de raisonnement à base de cas sur les réactions émotionnelles doit être individualisé.



### 4.3.2 Hypothèse 2

De plus, nous avons voulu vérifier qu'il était possible de prédire, à partir d'une bibliothèque de cas, la réaction émotionnelle d'un individu dans une situation spécifique à partir de son état émotionnel courant, c.-à-d. vérifier l'hypothèse 2.

Pour ce faire nous avons programmé un algorithme d'approximation en php. Cet algorithme reçoit en entrée l'identifiant de l'utilisateur  $Id$ , son état émotionnel initial  $E_i$ , et une situation  $S_i$ , soit le triplet suivant :

$$requête = \langle Id, E_i, S_i \rangle .$$

Le but de l'algorithme est de fournir l'état émotionnel  $E_r$  dans lequel serait l'utilisateur d'identifiant  $Id$  dans la situation  $S_i$  s'il a comme état émotionnel initial  $E_i$ .

Pour chaque participant, une bibliothèque de 135 cas a été créée durant les expérimentations, soit 9 cas par situation.

L'algorithme d'approximation que nous avons choisi fonctionne comme suit :

1. Recherche dans la bibliothèque de cas, le cas contenant l'identifiant  $Id$ , la situation  $S_i$ , et l'état émotionnel  $E_{init}$  le plus proche (en terme de distance euclidienne) de l'état initial  $E_i$ .
2. Soit  $E_{res}$  l'état émotionnel résultant du cas trouvé, le résultat  $E_r$  fournie par l'algorithme est :

$$E_r = E_{res} + (E_i - E_{init})$$

Nous avons appliqué cet algorithme en utilisant les cas collectés durant les expérimentations pour construire les bibliothèques de cas de chaque participant.

Afin de tester l'efficacité de l'algorithme d'approximation, pour chaque participant, dans la bibliothèque de cas composé des 135 cas collectés durant les expérimentations, chaque

cas est extrait momentanément de la bibliothèque afin d'être testé par l'algorithme d'approximation. Le résultat obtenu par l'algorithme est comparé au résultat fourni par le participant durant les expérimentations et l'écart entre le résultat obtenu et le résultat attendu est calculé.

Nous avons ainsi obtenu les résultats suivants :

**Tableau 4: Moyenne des écarts entre les résultats obtenus par l'algorithme d'approximation et les résultats réel**

Participant	Nbr de cas analysé	Taille la bibliothèque de cas (nbr cas)	Moyenne des écarts ([0,1])
Part1	135	198	0.1496
Part2	135	198	0.0692
Part3	135	198	0.0584
Part4	135	198	0.0419
		<b>Moyenne</b>	<b>0.07745</b>

Les résultats indiquent que de manière générale il est possible de prédire la réaction émotionnelle d'un participant avec une marge d'erreur d'en moyenne 0,077, ce qui correspond 1,28 % de la distance maximale de deux états émotionnels. Cette marge peut varier suivant chaque participant mais n'atteints au maximum que 0,15.

Les résultats obtenus nous permettent de valider l'hypothèse 2, selon laquelle il est possible de prédire la réaction émotionnelle d'un individu à partir d'un algorithme d'approximation.

En conclusion, les expérimentations ont pu tout d'abord montrer que la réaction émotionnelle dans une situation dépend de chaque individu et donc qu'un système de raisonnement à base de cas sur les réactions émotionnelles doit être individualisé. Il serait intéressant de déterminer en quoi l'individualité de chacun influe sur ses réactions émotionnelles. Par exemple, un test psychologique de personnalité pourrait être utilisé afin de déterminer la relation entre la personnalité d'un individu et ses réactions émotionnelles. Un test tout a fait adapté à cette recherche est le test 16PF de Cattell

[Cattell, 1989] mettant en évidence non seulement la personnalité mais aussi la tendance à ressentir certaines émotions.

Nous avons montré qu'il était possible à partir d'une bibliothèque de cas d'environ 200 cas de prédire à l'aide d'un algorithme d'approximation la réaction émotionnelle d'un individu à partir de son état émotionnel initial. Malgré que l'algorithme d'approximation soit très simple, nous avons obtenu une marge moyenne d'erreur faible. Il serait intéressant de tester la précision d'autres algorithmes. De plus, nous pouvons supposer qu'un nombre plus important permettrait de diminuer la marge d'erreur.

En poursuivant nos expérimentations avec plus de participants et surtout sur une plus longue durée, il serait intéressant d'analyser les états émotionnels obtenus afin de déterminer à l'aide d'un algorithme d'apprentissage non supervisé s'il existe des « clusters » d'état émotionnel.

## *Conclusion*

Nous avons introduit dans ce mémoire le concept de Système Tutoriel Emotionnellement Intelligent (STEI). Ce concept constitue une nouvelle génération de systèmes tutoriels intelligents. Dans de tels systèmes une autre forme d'intelligence, *l'intelligence émotionnelle*, est en effet ajoutée à l'intelligence traditionnelle des systèmes tutoriels actuels. L'intégration de ces nouvelles capacités permet, par la gestion *intelligente* des émotions de l'utilisateur, d'améliorer les performances d'un apprenant et ainsi d'augmenter l'efficacité de l'enseignement. Un STEI est capable de reconnaître en tout temps les émotions de l'apprenant et d'induire chez celui-ci les émotions qui optimisent ses capacités cognitives.

Nous avons proposé le concept d'*Agent Emotionnellement Intelligent (AEI)* capable d'ajouter, de façon modulaire, des capacités de l'intelligence émotionnelle à tout STI. Tout d'abord, un AEI doit être capable de déterminer en tout temps les émotions de l'utilisateur. Pour ce faire, un AEI peut utiliser soit des senseurs externes permettant de capter une ou plusieurs manifestations physiologiques des émotions de l'apprenant (telles que l'expression faciale, la pression du sang ou les caractéristiques de la voix), soit l'autoévaluation de l'apprenant de ses émotions. Nous avons proposé, pour une meilleure portabilité, des *échelles d'émotions* permettant à l'apprenant d'indiquer ses émotions et leurs intensités en positionnant des curseurs sur neuf échelles graduées par chacune six émotions d'intensité différentes.

L'AEI doit alors être capable d'interpréter les émotions de l'apprenant, c.-à-d. de déterminer si ces émotions sont favorables pour l'apprentissage. Nous avons pour ce faire distingué les émotions suivant leur origine, leur type et leur intensité pour déterminer leurs influences sur les processus cognitifs fondamentaux pour l'apprentissage : l'attention, la mémorisation et le raisonnement. De manière générale, les émotions fortes vont bloquer les processus cognitifs d'un individu. Les émotions positives d'intensité modérée induites lors d'une session d'apprentissage permettent d'améliorer les capacités

cognitives de l'apprenant alors que les émotions négatives générées en dehors de la session d'apprentissage vont les diminuer. Certaines émotions négatives induites par un STI lors de l'apprentissage peuvent motiver l'apprenant et ainsi augmenter ses performances. Il est alors difficile de déterminer un *unique* état émotionnel optimal pour l'apprentissage. De manière générale, l'AEI peut utiliser la relation entre les émotions et les performances de l'apprenant pour déterminer cet état. Une méthode est alors de mettre en place un ensemble de règles dynamiquement mise à jour suivant l'expérience émotionnelle de l'apprenant et ses performances. Cependant, cet état peut dépendre non seulement de chaque apprenant, mais aussi de la situation d'apprentissage. Pour déterminer quel est l'état émotionnel optimal pour un apprenant particulier à un instant donné, nous avons proposé une méthode individualisée utilisant la relation entre les émotions et les performances de l'apprenant tant dans le passé que dans la situation courante. Cette méthode combine une méthode de *raisonnement à base de cas* pour la détermination du meilleur état émotionnel à partir de la relation *passée* entre les performances et les émotions, et une approximation linéaire permettant de prendre en compte les émotions et les performances *courantes* de l'apprenant.

Enfin, un AEI doit être capable de prédire l'impact d'une action sur les émotions d'un apprenant. Le processus émotionnel d'un apprenant peut être représenté par un graphe dans lequel les nœuds représentent des états émotionnels et les arcs correspondent à des actions. A l'aide d'une méthode de raisonnement à base de cas – un cas est représenté par un arc ou un chemin dans le graphe – un AEI peut approximer la réaction émotionnelle d'un apprenant dans une situation donnée.

L'objectif de l'AEI est de déterminer l'action permettant d'amener l'apprenant dans l'état optimal pour l'apprentissage et d'améliorer les performances de celui-ci en influençant ses émotions afin d'optimiser ses capacités cognitives.

Un type d'actions qu'un AEI peut utiliser est l'expression d'émotions. La capacité d'exprimer des émotions constitue une caractéristique de l'intelligence émotionnelle que nous n'avons pas explorée dans ce mémoire. Les recherches en psychologie ont montré que les émotions sont contagieuses [Cosnier, 1997] et qu'ainsi l'expression d'une émotion peut permettre son induction chez un individu. Étant donné la propension qu'a un individu à réagir face à une machine de la même manière que face à un humain

[Reeves & Nass, 1996], la capacité d'exprimer des émotions pourrait constituer un outil pour l'AEI pour générer des émotions particulières chez un utilisateur. L'apparence d'un AEI serait donc idéalement un personnage virtuel doté d'un visage permettant la représentation de différentes expressions faciales et d'une voix pouvant varier suivant l'émotion à exprimer ; un exemple est un « embodied conversational agent » [Cassell *et al.*, 2000].

Dans notre recherche, nous avons montré la faisabilité d'un STEI. En effet, nous avons présenté et décrit des méthodes, algorithmes et techniques permettant d'intégrer des capacités de l'intelligence émotionnelle dans un STI. La suite de cette recherche serait la réalisation concrète d'un STEI à travers l'implémentation d'un AEI.

Potentiellement, l'intelligence émotionnelle de tels systèmes peut être plus élevée que l'intelligence émotionnelle de n'importe quel humain. Tout d'abord, un ordinateur émotionnellement intelligent a la capacité de simuler des émotions. Pour un individu – qui n'est pas un acteur – il est nettement plus difficile d'exprimer une émotion qu'il ne ressent pas. Par exemple, un sourire spontané – le sourire de Duchenne [Duchenne, 1990] – chez un individu est différent et peut être distingué d'un sourire exprimé intentionnellement; contrairement à une machine, un individu ne peut volontairement exprimer un sourire spontané. De plus, si un ordinateur utilise pour déterminer les émotions d'un utilisateur des capteurs mesurant des paramètres physiologiques, il sera capable de reconnaître des émotions mieux qu'un humain. La mémoire, la capacité de raisonnement et d'apprentissage à travers diverses méthodes et algorithmes permet à un ordinateur de comprendre et modéliser efficacement le processus émotionnel d'un individu, potentiellement mieux qu'un humain.

Ces capacités de l'intelligence émotionnelle vont alors permettre à un ordinateur d'influencer les émotions d'un utilisateur. La réalisation de tels systèmes soulève alors des questions d'éthique et de morales : Doit-on vraiment donner la capacité à un ordinateur de générer des émotions négatives chez un utilisateur ? Peut-on donner la capacité à un ordinateur d'utiliser les émotions pour influencer les processus cognitifs

d'un utilisateur tels que la prise de décisions ? Et enfin, donner des capacités de l'intelligence émotionnelle à un ordinateur signifie-t-il lui donner la capacité de manipuler l'utilisateur ?

## *Références*

Abou-Jaoude S., Frasson C. 1999. *Integrating a Believable Layer into Traditional ITS*. AIED'99: 9th International Conference on Artificial Intelligence in Education, Le Mans, France, p. 315-324.

Abou-Jaoude S. 2000. *Agent Émotif dans un Système Tutoriel Intelligent*. Mémoire de maîtrise. Département d'informatique et de recherche opérationnelle, Montréal.

Aïmeur E., Frasson C. 1996. *Analysing A New Learning Strategy According To Different Knowledge Levels*. Computers Education. Vol. 27, No. 2, p. 115- 127.

Bloom B.S.1994. *Bloom's Taxonomy*. University of Chicago Press.

Boucouvalas A.C., Zhe X. 2002. *Text-to-Emotion Engine for Real Time Internet Communication*. International Symposium on CSNDSP, Staffordshire University, p. 164-168.

Burns H.L., Capps C.G. 1988. *Foundations of Intelligent Tutoring System : an Introduction*. In Polson, M.V and Richardson, J.J (Eds) *Foundation of Intelligent Tutoring Systems*, p. 21-53, Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Bower G. 1981. *Mood and Memory*. American Psychologist. No 32, p. 129-148.

Bower G. 1992. *How Might emotions affect learning?*. Handbook of emotion and memory, edited by Sven-Ake Christianson, p. 3-31.

Cattell H.B. 1989. *The 16PF: Personality in Depth*, Institute for Personality and Ability Testing.



Champin P.A, Solnon C. 2003. *Measuring the similarity of labeled graphs*. Proceedings of the 5th International Conference on Case-Based Reasoning – ICCBR, p. 80-95.

Chan T.W, Baskin A.B. 1990. *Learning Companion Systems*. In Frasson C. and Gauthier G. (eds), *Intelligent Tutoring Systems: At the crossroads of Artificial Intelligence and Education*, p. 6-33. New Jersey: Ablex Publishing Corporation.

Cassell J., Sullivan J., Prevost S., Churchill E., 2000. *Embodied conversational agents*. MIT Press.

Compton R. 2000. *Ability to disengage attention predicts negative affect*. *Cognition and Emotion* 14, p. 401-415.

Conati C. 2002. Probabilistic Assessment of User's Emotion in Educational Games. *Journal of Applied Artificial Intelligence*. Vol 16. p 555-575.

Cosnier J., 1997. *Empathie et Communication*. *Les sciences humaines*. No. 68, p. 24-26.

Damasio A.R. 1995. *L'erreur de Descartes: La raison des émotions*. Edition Odile Jacob.

Duchenne G.B. 1990. *The mechanism of Human Facial Expression*. Cambridge University Press, New York.

Ekman P. 1993. *Facial Expression and Emotion*. *American psychologist*. No. 48, p. 384-392.

Elliot C. 1992. *The Affective Reasoner : A process Model of Emotions in a Multi-Agent System*. Phd Dissertation, Northwestern University. The institute of Learning Sciences, Technical Repor No. 32.

Faivre J, Frasson C, Nkambou R. 2002. *Gestion Émotionnelle dans les Systèmes Tuteurs Intelligents*. Technologies de l'Information et de la Communication dans les Enseignements d'ingénieurs et dans l'industrie, p. 101-110.

Festinger L. 1962. *A theory of cognitive dissonance*. Stanford University Press.

Finin T, Fritzson R, McKay D, McEntire R. 1994. *KQML as an Agent Communication Language*. Proceedings of the Third International Conference on Information and Knowledge Management, CIKM'94, Gaithersburg, Maryland, p. 456-463.

Gagné R. 1984. *The conditions of Learning*, 4 ed. Les éditions HRW Ltée. Montréal.

Gilbert D, Aparicio M, Atkinson B. 1995. *Intelligent Agent Strategy*. Technical Report, Research Triangle Park, IBM Corporation.

Goleman D. eds. 1997. *L'intelligence Émotionnelle 1*. Edition Robert Laffont.

Hargreaves A. 2002. *Mixed emotions: teacher's perceptions of their interactions with students*. Teaching and teacher education 16, p. 811-826.

Hess U. 2001. *The experience of emotion: situational influences on the elicitation and experience of emotions*. A. Kaszniak Emotions, Qualia, and Consciousness, p. 386-396. Singapore: World Scientific Publishing.

Isen A.M. 2000. *Positive Affect and Decision making*. Handbook of emotions, second edition, Guilford Press, p. 417-435.

Keller K. 1987. <http://www.ittheory.com/keller1.htm>

Kihlstorm J.F, Cantor N. eds 2000. *Social Intelligence*. Handbook of Intelligence, Cambridge University Press, p. 359-379.

Klein J., Youngme M. Picard W.R. 2002. *This Computer Responds to User Frustration*. Technical Report TR 502, MIT Media Laboratory on Affect Computing.

Kolodner J. 1993. *Case-Based Reasoning*. Morgan Kaufmann Publishers.

Kort B, Reilly R., Picard W.R. 2002. *The Program Summary and the Program Description for the Learning Companion*. Submitted to the National Science Foundation.

Lester J.C., Towns S.G., Callaway C.B., Voerman J.L., FitzGerald P.J. 2000. *Deictic en Emotive Communication in Animated Pedagogical Agents*. In *Embodied Conversational Agents* p. 123-154 - MIT Press, Cambridge

Lisetti C., Schiano D. 2002. *Automatic Facial Expression Interpretation : Where Human-Computer Interaction, Artificial Intelligence and Cognitive Science Intersect*. *Pragmatics and Cognition*, Vol 8, No. 1, p.185-235.

Loarger T.R., John Y., El-Nasr M.S. 1999. *Peteei: A pet with evolving Emotional Intelligence*. *Proceedings of Autonomous Agents Conference*, p. 9-15.

Maes P. 1995. *Artificial Life meets Entertainments: Life Like Autonomous Agents*. *Communication of the ACM*, Vol 38, No 11, p. 108-114.

Mayer J.D., Cobb C.D. 2000. *Educational Policy on Emotional Intelligence: Does it make Sense?* In *educational Psychology Review*,12, No 2, p. 163-183.

Mayer J.D., Salovey P., Caruso D.R. 2000. *Models of emotional intelligence*. In R. J. Sternberg (Ed.). *Handbook of Human Intelligence* (2nd ed), p. 396-420. New York: Cambridge.

Niedenthal P, Dalle N., Rohmann A. 2002. *Emotion et Cognition Sociale*. Emotion et Cognition. Edition Neuroscience et cognition, p. 141-166.

Ochs M., Frasson C. 2004. *Emotionally Intelligent Tutoring System*. Proceedings of International Conference Flairs 2004, p. 251-255.

Ochs M., Frasson C. 2004. *Optimal Emotional Conditions for Learning with an ITS*.  
Va paraître dans le Proceedings of the Workshop Emotional and Social Intelligence in Learning Environments in the International Conference of Intelligent Tutoring System (ITS) 2004.

Ortony A., Clore G.L, Collins A. 1988. *The cognitive Structure of Emotions*. Cambridge University Press.

Picard W. R. eds. 1997. *Affective computing*. MIT Press. Voir aussi <http://affect.media.mit.edu/>

Reeves B., Nass C. 1996. *The media Equation: How people Treat Computers, Television, and New Media Like Real People and Places*. Cambridge University Press.

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

Reynolds C., Picard W.R. 2001. *Designing for Affective Interactions*. In proceedings from the 9<sup>th</sup> International Conference on Human Computer Interaction, New Orleans, p. 499.

Salovey P., Bedell B., Detweiler J., Mayer J. 2000. *Current Directions in Emotional Intelligence Research*. *Handbook of Emotions*, second Edition. Guilford Press, p. 504-520.

Self, J.A. 1988. *Bypassing the intractable problem of student modelling*. In Proceedings of the first international conference on Intelligent Tutoring System ITS-88, p. 18-24, Montréal.

Smith D, Cypher A, Sopher J – Kidsim. 1994. *Programming Agents without a Programming Language*. Communication of the ACM, 37, 7, p. 54-67.

VanLehn K., Ohlsson, Nason R. 1994. *Application of simulated students: an exploration*. Journal of artificial intelligence in education, Vol. 5, No. 2, p. 135-175.

Velasquez Juan D. 1997. *Modeling Emotion-Based Decision-Making*. Proceedings AAAI, AAAI Press and the MIT Press, p. 10-15.

Wagner. 2000. *Practical Intelligence*. Handbook of Intelligence, Cambridge University Press, p. 380-395.

Watzlawick P. 1996. *How real is Real ? Communication, Desinformation, Confusion*. Twaine Publisher.

# *Annexe 1*

## Descriptions des situations utilisées pour les expérimentations

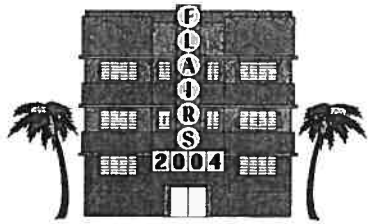
1. Imagine that your supervisor tells you that he wants you to work for the rest of the day with a colleague you find little competent in the field. How do you feel?
2. Imagine that your supervisor calls you to tell you that he wants you to work on your own from now on. How do you feel?
3. Imagine that you work on a subject that you find quite easy, but that nevertheless a colleague is joining you to help. How do you feel?
4. Imagine that you are presenting your work to your supervisor who does not stop asking you questions. How do you feel?
5. Imagine that your supervisor stops at your office to ask you to realize a project that you find difficult. How do you feel?
6. Imagine that you work on a project that you find easy and that one of your colleague stops at your office to tell you that you will not succeed. How do you feel?
7. Imagine that a colleague you know as being brilliant asks you a question about a project that you consider easy. How do you feel?
8. Imagine that you are working on a project, and that your supervisor interrupts you by telling you a joke. How do you feel?

9. Imagine that you are working with a colleague you consider brilliant, and that he does not stop giving you bad advice. How do you feel?
10. Imagine that you are working with a colleague you consider brilliant, and that he does not stop congratulating you for your work. How do you feel?
11. Imagine that you are working with a colleague, and that whenever you start thinking on a problem, he tells you the solution. How do you feel?
12. Imagine now that you are confronted with a problem you cannot solve.  
How do you feel?
13. Imagine now that your supervisor asks you to work in a field that you do not know at all. How do you feel?
14. Imagine now that your supervisor reprimands in front of you one of your colleagues you consider brilliant. How do you feel?
15. Imagine that your supervisor asks you do some work that is very similar to another work that you have done only a little while ago. How do you feel?

## *Annexe 2*

Article *Emotionally Intelligent  
Tutoring Systems (EITS)* extrait des  
actes de la conférence FLAIRS 2004.





**FLAIRS 2004  
PROCEEDINGS**

# Emotionally Intelligent Tutoring Systems (EITS)

Magalie Ochs, Claude Frasson

Département d'informatique et de recherche opérationnelle Université de Montréal  
C.P. 6128, Succ. Centre-ville  
Montréal, Québec Canada H3C 3J7

## Abstract

It is well-known that emotions have a strong influence on a person's cognitive abilities; a fact which can be used by a tutor to improve a student's learning capacities. Conditions are that the tutor knows the current emotional state of the learner as well as the emotional impact of certain actions taken and, finally, how the student's learning capacities depend on his emotions.

In this article, we propose the concept of an *Emotionally Intelligent Tutoring System (EITS)* and make a step towards its practical realization: We develop a tool allowing an Intelligent Tutoring System for improving a learner's capacities by actively influencing his emotions. More specifically, we combine Case-Based Reasoning methods with graph knowledge representation for modeling and predicting efficiently a learner's emotional reaction to specific situations which can occur during a learning lesson, with the final objective of promoting any particular users learning capacities.

## Motivation and Introduction

### Emotional Intelligence

Emotional intelligence is a form of intelligence providing the capacity to monitor one's own and other's emotions, and to use it to guide one's thinking and actions. The concept of emotional intelligence is based on to the relation between "thinking" and "feeling". Indeed, emotions are narrowly linked to the cognitive process. Without emotions, we are unable to make even the simplest decision (Damasio 1995). Moreover, some strong emotions, like anger or anxiety, can prevent us from concentrating on our every day tasks (Goleman 1997). People who have positive emotions will think in a more creative, expansive, and divergent way. On the other hand, negative emotions will more likely lead to a conservative, linear, and sequential

thought process (Lisetti & Schiano 2000). In particular, being emotionally intelligent means to act in a way that takes into account someone's emotions in order to improve his cognitive abilities. In schools, teachers should be emotionally intelligent to improve students learning capacities. Similarly, Intelligent Tutoring Systems (ITS) should integrate emotional intelligence for improving the learner's performance.

### Emotionally Intelligent Tutoring Systems (EITS)

Giving emotional intelligence to a computing system means enabling it to determine a person's emotional reactions, i.e., to anticipate how his emotions will vary in given situations. Recently, some systems have been proposed for modeling a generic learner's emotional reactions in interaction with an ITS. For instance, Abou-Jaoude and Frasson (1999) have developed a computational matrix to compute and constantly update learner's emotions. At the MIT Media laboratory, works are under way to create an "affective learning companion" which adapts to the user, for instance by adjusting the difficulty of an exercise (Picard, Kort & Reilly, 2002). The main drawback of most previous approaches is that they are based on a model of a *generic* learner's emotional reactions. However, emotional experience is a complex process which depends on each person and each situation (Hess, 2001). In order to integrate this human variability we propose an *individualized* system able to predict the emotional reaction of each specific learner in various situations. This system, called *Case Based Emotioning System (CBE)*, uses a Case Based Reasoning method to model a learner's emotional reactions.

We give an outline of the rest of the paper. We first describe how to represent and assess the learner's emotions. We then give the architecture of the CBE System and subsequently describe its different components. Finally, we give some experimental results.

## Towards Realizing Emotionally Intelligent Tutoring Systems

### Quantifying and Measuring Emotional States

Currently, there is no consensual definition of the concept of emotions. For instance, there are more than 600 terms which refer to emotions. In our work, the learner's emotions felt at a given moment are represented by his *emotional state*, which we represent – based on (Ortony, Clore & Collins, 1988) – with respect to nine antipodal emotional couples ( $E_{i1}, E_{i2}$ ) shown in Figure 1.

( $E_{11}, E_{12}$ )	Distress vs Joy
( $E_{21}, E_{22}$ )	Disappointment vs Relief
( $E_{31}, E_{32}$ )	Anxious vs Confident
( $E_{41}, E_{42}$ )	Boredom vs Intrigue
( $E_{51}, E_{52}$ )	Self-reproach vs Pride
( $E_{61}, E_{62}$ )	Reproach vs Appreciation
( $E_{71}, E_{72}$ )	Resentment vs Sorry-for
( $E_{81}, E_{82}$ )	Anger vs Gratitude
( $E_{91}, E_{92}$ )	Remorse vs Self gratification

Figure 1: Antipodal Emotional Couples

The value  $e_i$  with respect to the emotional couple ( $E_{i1}, E_{i2}$ ) is a real number which varies between  $-1$  and  $+1$  inclusively. The values  $-1$  and  $+1$  indicate that the emotion on the left and right hand side, respectively, of the couple is being experienced to the maximum. The value zero indicates that no emotion of the couple is currently being felt. The emotional state  $E$  of a learner is thus represented by a vector of nine values:  $E=(e_1, e_2, \dots, e_9)$ .

To determine the emotional state of a learner, we use nine *emotional scales* (Figure 2), into which the learner enters his current state by positioning the cursors. Based on some work about the classification of emotional terms (Ortony, Clore & Collins 1988) (Kort, Reilly & Picard 2001), we have graduated each emotional scale with different adjectives to make the learner's evaluation of his emotions more intuitive.

### Predicting Emotional Reactions: The Case Based Emotioning System (CBE)

Emotions are present in any form of education: learners worry, hope, become bored, embarrassed, envy, get anxious, feel proud, become frustrated, and so on. Teaching in traditional contexts can be viewed as an emotional practice in which the emotional practitioners, like the teachers, can lead a person to feeling specific emotions by using different behaviors and actions (Hargreaves, 2000). Similarly, pedagogical agents, such as tutors in an ITS, are emotional practitioners. Moreover, recent research has shown that people display a natural propensity for interacting with machines as if they were other humans (Picard, 1997).

These facts serve as a motivation for exploiting the emotional control of a pedagogical agent for the benefit of learning efficiency.

Recent research has shown that whereas certain emotions reduce our capacity to learn, others improve it (Goleman 1997) (Klein, Youngme & Picard 2002) (Lisetti & Schiano 2000) (Keller 1987). The problem of determining the best emotional learning state of a specific learner is subject to ongoing research.

We propose a tool, called Case Based Emotioning System (CBE), enabling any ITS to control the learner's emotions. The CBE system predicts the emotional reaction of a learner in given situations which can occur during a learning session in ITS, and is able to propose a particular situation in order to change the learner's current emotions to another. To create this system, we use a problem solving methodology known as Case Based Reasoning (CBR). The main idea of CBR is to solve new problems by using solutions of cases stored in a library – this allows for finding a solution to a new problem for which no algorithm is known. However, the emotional process of a person is very complex and we cannot define an algorithm to determine the emotional reactions of a person in any case. The CBR allows making predictions based on experienced situations (cases) without having a complete understanding of the domain (Kolodner, 1993). Our system is composed of four modules (Figure 3) and predicts emotional reactions using an emotional reaction database: the *Emotional Cases Library* constructed by the *Emotional Simulator*. This module will ask the learner to evaluate his emotional reaction to several situations from the *Situations' Library*. Whenever a new problem occurs, the *Retrieval Module* searches the Emotional Cases Library for a solution to solve it.

### Modeling Emotional Reactions: The Emotional Cases Library

The basis of CBR is a collection of cases representing knowledge, each with respect to a particular situation (Kolodner 1993). In our system, the knowledge we represent is how a person's emotional reaction depends on an occurring situation and the current emotional state. The initial state is an important parameter in this context. Indeed, someone's emotion depends on the appraisal of a situation (Ortony, Clore & Collins 1988), while, on the other hand, the appraisal of the situation depends on the emotional state at the time the situation occurs (Lisetti & Schiano 2000).

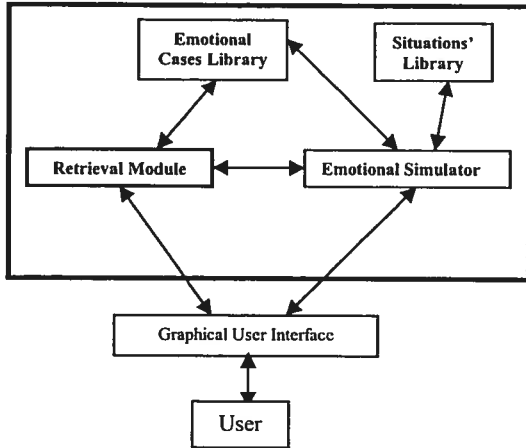


Figure 3: Architecture of the CBE System

We hence represent an emotional reaction by the triplet  $\langle \text{Current Emotional State } E, \text{ Specific Situation } S, \text{ Resulting Emotional State } E' \rangle$  representing the fact that if the learner is in the emotional state  $E$ , then given the situation  $S$  he will be in the emotional state  $E'$ .

A case indicates how to resolve a similar situation in the future and can hence be seen as a solved problem. Given such an emotional case  $\langle E, S, E' \rangle$  we are able to solve two sorts of problems:

What will the emotional state of the learner be in the situation  $S$  if he is in the emotional state  $E$ ? The solution is  $E'$ .

How to modify the emotional state  $E$  to  $E'$ ? The solution is  $S$  (or "putting the learner in the situation  $S$ ").

In summary, emotional cases will allow us to determine the emotional reaction of a learner in specific situations and moreover how to change the learner's emotional state to another.

The collected emotional cases are stored in a cases library, which – given the structure of a case – we can represent as a directed graph, the vertices and edges of which are labeled (Champin & Solnon 2003). More precisely, a vertex is labeled with an emotional state and an edge with a specific situation; an edge labeled with  $S$  and connecting the vertices labeled by the emotional states  $E$  and  $E'$ , respectively, represents the case  $\langle E, S, E' \rangle$ .

More formally, given a set of vertex labels  $L_v$  and a set of edge labels  $L_e$ , a labeled directed graph is a triple  $G=(V, r_v, r_e)$  such that:

$V$  is a set of vertices,

$r_v \subseteq V * L_v$  is the relation that associates vertices with labels:

$r_v$  is the set of couples  $(v_i, E)$  such that vertex  $v_i$  has label  $E$ ,

$r_e \subseteq V * V * L_e$  is the relation that associates edges with labels:  $r_e$  is the set of triples  $(v_i, v_j, S)$  such as the edge  $(v_i, v_j)$  has label  $S$ .

The advantage of this graph representation is the possibility to easily create compositions of cases. For example, the two cases  $\langle E_1, S_1, E_1' \rangle$  and  $\langle E_2, S_2, E_2' \rangle$ ,

where  $E_1' = E_2$  holds, can be composed and are represented in the graph as shown in Figure 4.



Figure 4: Example of Emotional Cases Graph Representation

Therefore, the larger space, including the combined cases, is  $\{ \langle E_1, S_1, E_1' \rangle, \langle E_2, S_2, E_2' \rangle, \langle E_1, S_1 : S_2, E_2' \rangle \}$ , where " $S_1 : S_2$ " represents the temporal sequence of situations: first  $S_1$ , then  $S_2$ .

In the context of problem solving, a larger space of cases means that we can solve more problems to find a solution.

### Retrieving Cases from the Emotional Cases Library: The Retrieval Module

CBR methods solve new problems using solutions of cases stored in the cases library. When a new problem arises, the system retrieves the cases the solutions of which are relevant for the new problem (Kolodner 1993).

Our system solves two sorts of problems, each requiring a different retrieval algorithm. First, the CBE system is able to determine what the emotional reaction of a learner will be in a specific situation  $S$  given his current emotional state  $E$  (which the learner will enter using the emotional scales (Figure 2)). The new problem is therefore defined by an emotional state  $E$  and a specific situation  $S$ . We will represent it by the couple  $(E, S)$ . The solution is an emotional state  $E'$ . After retrieving the case(s) relevant to the new problem, the Retrieval Module derives the solution from these old cases by using some adaptation algorithm. A (simple) example of such an algorithm is to search the vertex  $v$  labeled with the emotional state that closest – with respect to the Euclidean distance – to the initial state  $E$  of the new problem and such that there exists an edge  $e=(v, v')$  labeled by  $S$ ; the solution  $E'$  is then the label of  $v'$ .

The second type of tasks the CBE system is able to do is to suggest specific situations which will change the current emotional state  $E$  of the learner to the emotional state  $E'$  that is best for learning. This task is defined by a current emotional state  $E$  (entered by the learner using the emotions scales) and the target state  $E'$  (that we suppose to be known). We will represent it by the couple  $(E, E')$ . The solution is a temporal sequence of specific situations  $\{S_1 : S_2 : \dots : S_n\}$  ( $n \geq 1$ ). A simple example of an adaptation algorithm for this problem would be to search the cases library for the vertices labeled by emotional states closest to  $E$  and  $E'$ , respectively, and to determine a path of minimum length connecting these two vertices. The sequence of the situations labeling the edges in this path is the output of the algorithm.

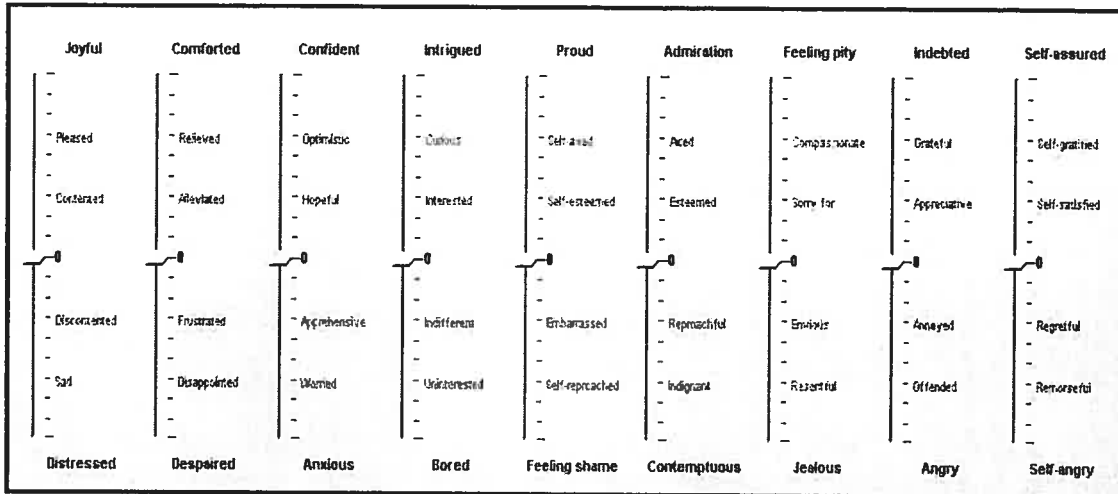


Figure 2: Emotional scales

### Construction of the Emotional Cases Library: The Emotional Simulator

The initialization of the Emotional Cases Library is done by a tool called Emotional Simulator, which determines the emotional reaction of a learner in different specific situations. For implementing such an Emotional Simulator, we have first defined a set of situations that can occur in an ITS employing different possible pedagogical strategies. A situation depends on the actions of pedagogical agents and on the learning environment which is composed of different actors. For example, the actions of a tutor are to criticize, encourage, felicitate, give good or bad advice, ask questions, and so on. It is important to note that the effect of a certain action taken depends on the specific (learning) environment and context. For example, in the classical tutor strategy the learning environment is composed of the learner and the tutor; in the troublemaker strategy the learning environment is composed of a troublemaker, a tutor, and a learner. Moreover, the action of each pedagogical agent can be directed to the learner or to another pedagogical agent (a companion, a troublemaker,...). We hence represent a situation by the quadruple:  $\langle \text{Environment } e_v, \text{Action } a, \text{Agent actor } a_c, \text{Action's recipient } r \rangle$ , where  $e_v$  is the set of agents in the learning environment and  $a$  is the action performed by the agent  $a_c$  ( $a_c \in e_v$ ) and directed to  $r$  (the learner or an agent that belongs to  $e_v$ ). For example, the situation "The tutor criticizes the troublemaker" is represented by the quadruple  $\langle \{\text{Tutor } t, \text{Learner } l, \text{Troublemaker } m\}, \text{criticize}, \text{Tutor } t, \text{Troublemaker } m \rangle$ .

We associate each of these situations to a similar situation in a professional context. For example, the situation where the tutor criticizes the learner in front of a group of unknown people can be similar to a situation where a superior criticizes the learner in a meeting with a group of unknown people. This way we end up with a set of situations from a professional context and more

familiar to the learner than the corresponding ITS situations. We have built a database of couples of situations ( $s_{11}, s_{12}$ ), where  $s_{11}$  is a specific situation in an ITS context and  $s_{12}$  is a similar situation in a professional context.

New cases will be constructed according to the current emotional state of the learner. First of all, when the emotional simulator is triggered, it asks the learner to enter his current emotional state with the emotional scales (Figure 2). Then, the emotional simulator presents successively the professional situation  $s_{12}$  for each couple ( $s_{11}, s_{12}$ ) of the situations' database. It asks the learner to imagine what his emotional state  $E'$  would be in each situation. The emotional simulator can then create a new case  $\langle E, s_{11}, E' \rangle$  and inserts it in the emotional cases library.

### Experimental Results

We have implemented the Emotional Simulator and the Retrieval Module of the proposed system in order to test its validity. We then carried out an experiment involving a group of people. In a first phase, the Emotional Simulator asked each participant to enter his present emotional state, and then to imagine a number of situations and project his resulting emotional state in each case.

In the second phase, the Emotional Cases Library that had been constructed for each participant in the first phase was accessed by a Retrieval Module with the objective of solving new cases.

Although only simple adaptation algorithms were used in this pilot test, the predictions made by the Retrieval Module turned out to be highly accurate.

### Concluding Remarks

In the context of learning in general – and of intelligent tutoring systems in particular – the learner's emotions are

of paramount importance. As a novel paradigm, we propose Emotionally Intelligent Tutoring Systems (EITS) which take this fact into account and use it for the learner's benefit.

In particular, we have developed a tool, called The Case Based Emotioning System, enabling an ITS to manage these emotions. More precisely, this system is able to predict for a given learner his emotional reactions in several situations. It can furthermore suggest which situations to use in order to change the learner's emotional state to another.

Our future objective is to integrate the CBE system into an ITS in order to assist pedagogical agents in their actions, improve the learner's performances, and hereby create an EITS.

### Acknowledgments

We thank VRQ (Valorisation Recherche Québec) for funding part of this project.

### References

Abou-Jaoude, S., Frasson, C. 1999. *Integrating a Believable Layer into Traditional ITS*. AIED'99: 9th International Conference on Artificial Intelligence in Education, Le Mans, France.

Champin P.A. & Solnon C. 2003. *Measuring the similarity of labeled graphs*. Proceedings of the 5th International Conference on Case-Based Reasoning – ICCBR.

Damasio. Eds. 1995. *L'erreur de Descartes: La raison des émotions*. Edition Odile Jacob.

Faivre J, Frasson C, Nkambou R. 2002. *Gestion Émotionnelle dans les Systèmes Tuteurs Intelligents*. Technologies de l'Information et de la Communication dans les Enseignements d'ingénieurs et dans l'industrie.

Goleman D. eds. 1997. *L'intelligence Émotionnelle 1*. Edition Robert Laffont.

Hargreaves. 2002. *Mixed emotions: teacher's perceptions of their interactions with students*. Teaching and teacher education 16: 811-826.

Hess U. 2001. *The experience of emotion: situational influences on the elicitation and experience of emotions*. A. Kaszniak Emotions, Qualia, and Consciousness, pp. 386-396. Singapore: World Scientific Publishing.

Keller. 1987. <http://www.ittheory.com/keller1.htm>

Klein J., Youngme M. Picard W.R. 2002. *This Computer Responds to User Frustration*. Technical Report TR 502, MIT Media Laboratory on Affect Computing.

Kolodner J. 1993. *Case-Based Reasoning*. Morgan Kaufmann Publishers.

Kort B, Reilly R., Picard W.R. 2001. *External Representation of Learning Process and domain Knowledge: Affective State as a determinate of its Structure and function*. In Proceedings of Artificial Intelligence in Education Workshop, San Antonio, Texas.

Kort B, Reilly R., Picard W.R. 2002. *The Program Summary and the Program Description for the Learning Companion*. Submitted to the National Science Foundation.

Lisetti, Schiano. Automatic Facial. 2002. *Expression Interpretation : Where Human-Computer Interaction, Artificial Intelligence and Cognitive Science Intersect*. Pragmatics and Cognition, Vol 8(1): 185-235.

Ortony A., Clore G.L, Collins A. eds. 1998. *The cognitive Structure of Emotions*. Cambridge University Press.

Picard W. R. eds. 1997. *Affective computing*. MIT Press.