

---

# Expressions Intelligentes des Emotions

**Magalie Ochs<sup>\*,\*\*\*</sup> – Radoslaw Niewiadomski<sup>\*\*</sup> – Catherine Pelachaud<sup>\*\*\*</sup> – David Sadek<sup>\*</sup>**

<sup>\*</sup>France Télécom, Division R&D, France  
{magalie.ochs, [davis.sadek@francetelecom.com](mailto:davis.sadek@francetelecom.com)Service}

<sup>\*\*</sup>Département d'informatique, Université de Pérouges, Italie  
[radek@dipmat.inupg.it](mailto:radek@dipmat.inupg.it)

<sup>\*\*\*</sup>Laboratoire LINC, IUT de Montreuil, Université Paris 8, France  
[c.pelachaud@iut.univ-paris8.fr](mailto:c.pelachaud@iut.univ-paris8.fr)

---

*RÉSUMÉ. Dans cet article, nous proposons un modèle computationnel d'émotions distinguant les émotions déclenchées par un évènement (les émotions ressenties) des émotions exprimées, souvent différentes lors d'interactions interpersonnelles. Plus précisément, nous présentons une modélisation et une formalisation des émotions déclenchées fondées sur un modèle d'état mental d'un agent rationnel composé de croyances, désirs et incertitudes. Ceci permet d'identifier à tout moment l'état émotionnel de l'agent. De plus, nous introduisons un modèle pour calculer les expressions faciales de compositions des différentes émotions à partir de règles de logique floue. Enfin, des exemples d'expressions faciales résultant de l'implémentation de notre modèle sont présentés.*

*ABSTRACT. We propose a computational model of emotions that take into account two aspects of emotions: the emotions triggered by an event (the felt emotions) and the expressed emotions (the displayed ones), which may differ in the real life. More particularly, we present a formalization of emotion eliciting-events based on a model of the agent's mental state composed of beliefs, choices, and uncertainties, which enable one to identify the emotional state of an agent at any time. We also introduce a fuzzy logic based model that computes facial expressions of blending of the different kinds of emotions. Finally, examples of facial expressions resulting from the implementation of our model are shown.*

*MOTS-CLÉS : Emotions, expressions faciales, combinaisons d'émotions, agent rationnel, état mental, logique floue.*

*KEYWORDS: Emotions, facial expressions, blending of emotions, rational agent, mental state of an emotion, fuzzy logic.*

---

## 1. Introduction

Ces dernières années, les personnages virtuels animés utilisés comme intermédiaire entre l'utilisateur et les systèmes informatiques ont fait naître un intérêt grandissant. Ils incarnent généralement des rôles typiquement joués par des humains, tels que par exemple celui de tuteur (Johnson *et al.*, 2000), d'acteur (Paiva *et al.*, 2001), ou d'animateur (André *et al.*, 2001). Face à ses interlocuteurs virtuels, l'utilisateur a une propension à interagir de la même manière que lors d'une communication interpersonnelle (Reeves *et al.*, 1996). L'un des objectifs des chercheurs est alors de doter ces personnages virtuels d'une intelligence sociale (Kihlstorm *et al.*, 2000) pour leur permettre d'interagir naturellement et aisément avec l'utilisateur.

Des recherches récentes ont fait apparaître un nouveau versant de l'intelligence sociale appelé *intelligence émotionnelle*. Elle se définit comme la capacité d'une part, d'exprimer, de comprendre et de gérer ses propres émotions et d'autres part de percevoir et d'interpréter 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).

Introduire une intelligence émotionnelle dans un personnage virtuel animé signifie, tout d'abord, lui donner les capacités d'exprimer des émotions. Ceci nécessite que l'agent connaisse à la fois dans quelles circonstances elles sont déclenchées et comment les exprimer.

Cependant, l'expression d'une émotion ne révèle pas toujours celle ressentie. En effet, la plupart du temps, un individu feint une émotion particulière pour être conforme à certaines conventions socioculturelles (définies par Ekman comme des règles d'expression d'émotions (Ekman *et al.*, 1975)), ou pour atteindre un but particulier. Par conséquent, nous distinguons les émotions ressenties appelées *émotions déclenchées* des *émotions exprimées*. Suivant les théories cognitivistes, une émotion déclenchée est issue de l'évaluation subjective d'un événement significatif (Scherer, 2000). Un individu peut alors décider de la supprimer, l'intensifier, la désintensifier, la masquer ou la remplacer pour exprimer une émotion consistante avec des règles conventionnelles d'expression d'émotions (Ekman *et al.*, 1975). La plupart des recherches portent sur les émotions déclenchées des personnages virtuels animés. Cependant, il existe aujourd'hui peu de modèles émotionnels d'agents distinguant les émotions déclenchées de celles exprimées.

De plus, les individus ressentent généralement plusieurs émotions au même moment (Scherer, 2000). En effet, l'évaluation d'un événement amène souvent au déclenchement d'une combinaison d'émotions. Par exemple, l'obtention d'une mauvaise note peut conduire un étudiant à ressentir à la fois de la peur d'échouer son année et de la colère contre le professeur qui a préparé un test trop difficile.

Ainsi, une combinaison d'émotions peut être issue de deux phénomènes distincts : le déclenchement de plusieurs émotions ou l'existence d'une émotion déclenchée différente de celle exprimée. Dans les relations interpersonnelles, les émotions sont principalement communiquées à travers l'expression faciale. L'effet visuel d'une

combinaison d'émotions dépend des émotions impliquées et plus particulièrement de leur véracité (ressentie ou feinte). Dans le contexte des personnages virtuels animés, plusieurs modèles permettent de déterminer l'expression d'une émotion. Cependant, les expressions de combinaison d'émotions et plus particulièrement de celles déclenchées et feintes ont été peu étudiées.

Dans cet article, nous proposons un modèle permettant à un agent d'exprimer *intelligemment* des émotions. Le type et l'intensité de celles-ci doivent alors être consistants non seulement avec l'évènement déclencheur d'émotions mais aussi avec le contexte socioculturel de l'interaction. Ceci nécessite de distinguer les émotions déclenchées de celles exprimées et d'élargir les capacités d'expression de l'agent en ajoutant aux expressions faciales des émotions basiques celles des différents types de combinaisons d'émotions. Nous étudions plus particulièrement deux composantes du modèle : dans la première partie nous proposons une méthode permettant l'identification, la modélisation et la formalisation des émotions déclenchées, et, dans la deuxième partie, un modèle fondé sur la logique floue permettant le calcul des expressions faciales de combinaison d'émotions est présenté.

## **2. La représentation des émotions déclenchées en tant qu'états mentaux**

Un agent doit être capable d'identifier la signification émotionnelle d'une situation pour exprimer l'émotion appropriée. Suivant les théories cognitivistes, une émotion est issue de l'évaluation cognitive d'un évènement faite à partir d'un ensemble de variables (appelé *variable d'évaluation*). Les valeurs de celle-ci dépendent tant de facteurs situationnels et culturels que de l'état mental de l'individu (but, croyances,...) et de son profil (personnalité, préférences,...) (Lazarus, 1991; Scherer, 2000).

Dans la section suivante, nous présentons des modèles computationnels d'émotions fondés sur cette théorie. Puis, nous proposons à partir du concept d'état mental d'agent rationnel, une modélisation et formalisation des émotions déclenchées par un évènement.

### **2.1. Modèles computationnels d'émotions**

La plupart des modèles de processus émotionnel d'agents sont fondés sur le modèle OCC (Ortony *et al.*, 1988). Selon ses auteurs, les émotions peuvent être issues de l'évaluation de trois aspects différents du monde : les conséquences d'évènements, l'action d'agents et la perception d'un objet. Par exemple, un évènement permettant de réaliser un but déclenche de la joie ; une action de l'agent contraire à ses principes déclenche de la honte ; la perception d'un objet peut déclencher du dégoût suivant les préférences de l'agent. Le modèle OCC définit ainsi trois classes d'émotions, chacune regroupant des *émotions types* déclenchées par le même aspect du monde. Une variable d'évaluation (appelé *variable centrale*) est associée à chaque classe et permet de déterminer le type et l'intensité de l'émotion

déclenchée suivant les buts, principes<sup>1</sup> et préférences de l'agent. D'autres variables d'évaluation (appelés *variables d'intensité*) influençant l'intensité des émotions sont définis. Les auteurs spécifient dans ce modèle les conditions de déclenchement de 22 émotions types.

De manière générale, dans les modèles computationnels d'émotions, l'agent calcule les valeurs d'une ou plusieurs variables d'évaluation du modèle OCC pour déterminer quelle émotion déclencher et avec quelle intensité à partir de ses buts, plans, principes et préférences. Par exemple, dans le modèle développé par Prendinger *et al.* (Prendinger *et al.*, 2002), l'architecture du système émotionnel contient un module d'évaluation chargé de déterminer la signification émotionnelle d'un événement pour l'agent. Celle-ci correspond à la relation entre l'évènement et les buts (ex : l'évènement permet de réaliser un but), les principes (ex : l'évènement est conforme aux principes) et les préférences (ex : l'évènement implique un autre agent ami) de l'agent. Un ensemble de règles permet de déterminer l'émotion déclenchée suivant la signification émotionnelle de l'évènement perçu. L'intensité de l'émotion déclenchée dépend de l'intensité du but, principe ou préférence impliqués par l'évènement. La notion d'incertitude de l'évènement est cependant absente du modèle et, de ce fait, les émotions telles que l'espoir ou la peur ne peuvent être déclenchées. Dans le modèle de l'agent PETEEI (PET with Evolving Emotional Intelligence) (El-Nasr *et al.*, 1998), l'émotion est déclenchée suivant la valeur de désirabilité d'un événement perçu et sa probabilité d'être réalisé. Cette valeur est calculée par des règles de logique floue suivant l'importance du but impliqué par l'évènement et l'impact de l'évènement sur le but. Dans le modèle EMA (EMotion and Adaptation) (Gratch *et al.*, 2004), l'émotion déclenchée est déterminée à partir des valeurs de variables d'évaluation telles que la désirabilité de l'évènement et sa probabilité, mais aussi par le type d'agent responsable de l'évènement et le degré de contrôle de l'agent sur la situation. Une représentation causale entre les événements (passés, présents et futurs) et les états résultant de l'agent, ainsi qu'un système de planification de décisions de l'agent permettent le calcul de ces variables. Dans le modèle de Rosis *et al.* (Rosis *et al.*, 2003), les émotions sont déclenchées par un changement dans les croyances de l'agent concernant la réalisation ou la menace d'un de ses buts. Les changements des croyances de l'agent, et donc le déclenchement des émotions, sont modélisés par un réseau dynamique de croyances. L'intensité de l'émotion déclenchée dépend à la fois de l'incertitude des croyances de l'agent et de l'importance du but.

La plupart des modèles computationnels d'émotions intègrent un module pour le calcul des critères d'évaluation, ou une forme de représentation du monde spécifiquement destinée à déterminer quelle émotion déclencher dans quelle situation. Les agents cognitifs dotés d'une représentation explicite de la notion d'état mental (comme dans les approches de type BDI) offrent un cadre formel permettant,

---

<sup>1</sup> Les *principes* d'un agent (appelés standards dans le modèle OCC) correspondent à un ensemble de conventions morales personnelles ou sociales auxquels l'agent adhère.

comme nous le montrons dans la suite, de représenter directement les émotions au sein de leurs états mentaux.

## 2.2. L'état mental d'un agent rationnel

Les agents rationnels BDI sont dotés d'*états mentaux* composés d'attitudes mentales, telles que les croyances, les désirs et les intentions, qui vont leur permettre de raisonner et d'agir sur leur environnement. Nous nous appuyons sur un modèle d'agent rationnel fondé sur une théorie formelle de l'interaction (appelé la Théorie de l'Interaction Rationnelle) reposant sur l'approche BDI et sur laquelle sont basés les travaux de France Télécom (Sadek, 1991). La mise en oeuvre de cette théorie a donné naissance à la technologie ARTIMIS (Sadek *et al.*, 1997) qui permet d'implémenter des agents capables de dialoguer aussi bien avec un interlocuteur humain qu'avec d'autres agents logiciels.

Dans la Théorie de l'Interaction Rationnelle sont définies trois attitudes mentales primitives qui composent l'état mental d'un agent rationnel :

- La *croyance* : une proposition, constitue une croyance d'un agent si celui-ci considère que cette proposition est vraie. La croyance est l'attitude mentale par laquelle un agent dispose d'un modèle du monde dans lequel il évolue. Elle est formalisée par l'opérateur modal  $B$  tel que  $Bp$  signifie comme "l'agent  $i$  pense que  $p$  est vraie".
- L'*incertitude* : une proposition constitue une incertitude d'un agent si celui-ci n'est pas tout à fait certain que cette proposition est vraie. Formellement,  $U_{i,pr}p$  peut être lue comme "l'agent  $i$  considère que  $p$  a une probabilité  $pr$  d'être vraie". Si  $pr$  est égale à 1 alors l'incertitude correspond à une croyance. L'attitude mentale de croyance est donc un cas particulier d'incertitude.
- Le *choix* : une proposition constitue un choix d'un agent si celui-ci préfère que le monde actuel satisfasse cette proposition. (Cette attitude mentale correspond au désir dans le modèle BDI). Elle est formalisée par l'opérateur modal  $C$  tel que  $Cp$  signifie "l'agent  $i$  a le désir que  $p$  soit vraie"

Plusieurs autres opérateurs ont été introduit pour formaliser l'occurrence d'action et la notion de temps (pour plus de détails voir (Sadek, 1991; Sadek *et al.*, 1997)).

## 2.3. Les états mentaux des émotions

Un état mental correspond à une représentation cognitive du monde à un instant donné. Celui-ci inclut une représentation des événements perçus (ou attendus) dans son environnement. Par conséquent, un événement potentiellement inducteur d'émotions est aussi représenté par des attitudes mentales. Nous appelons *état mental d'une émotion* la configuration d'attitudes mentales représentant un événement déclenchant cette émotion. Celui-ci se définit suivant la théorie de l'évaluation cognitive comme une combinaison particulière de valeurs des variables d'évaluation.

L'état mental d'une émotion correspond alors à une représentation de ses valeurs par des attitudes mentales.

Parmi les différentes théories de l'évaluation cognitive des émotions, nous avons choisi de fonder nos travaux sur le modèle OCC (Ortony *et al.*, 1988) (cf. section précédente). Dans les travaux présentés ici, nous nous limitons à l'étude des états mentaux d'émotions de la première classe du modèle OCC et plus particulièrement aux émotions de joie, de tristesse, d'espoir et de peur.

Ces émotions sont déclenchées par l'évaluation des conséquences d'un évènement qui vient juste de se produire ou qui peut se produire dans le futur. La variable d'évaluation centrale déterminant le type d'émotion déclenchée et son intensité est la *désirabilité* (Ortony *et al.*, 1988). Dans le modèle OCC, un évènement est défini comme désirable (resp. indésirable) s'il permet d'augmenter (resp. diminuer) le degré de réalisation d'un (ou de plusieurs) but(s) de l'agent. En termes d'attitudes mentales primitives, le but de l'agent correspond au choix de l'agent. Le degré de réalisation est exprimé par la probabilité (*pr*) associée à l'incertitude ( $U_{i,pr}$ ). Un choix de l'agent est totalement réalisé si le degré de réalisation est égale à 1 (*i.e.*, s'il fait partie de ses croyances), et partiellement réalisé s'il est inférieur à 1. On distingue quatre valeurs littérales pour la variable de désirabilité:

- (1) **La désirabilité présente d'un évènement *e* pour un choix *p* de l'agent *i***: Cette valeur peut être représentée par la croyance de l'agent *i* qu'un évènement *e* venant de se réaliser a permis d'augmenter la vraisemblance (*i.e.*, le degré de réalisation) d'un choix *p* de l'agent. Voici un exemple pour illustrer la *désirabilité présente* : supposons que l'agent *i* souhaite recevoir un mail (choix *p* de l'agent *i* :  $C_p$ ) qu'un ami devait lui envoyer. Tant qu'il n'a pas consulté sa boîte mail, il n'est pas certain de l'avoir reçu (*p* est une incertitude avec une probabilité *pr\_passe* :  $U_{i,pr\_passe}$ ). Après avoir consulté sa boîte (évènement *e*), il réalise qu'il l'a bien reçu (*i.e.*,  $U_{i,pr\_presente}$  et  $pr\_presente > pr\_passe$ ). Dans ce cas, la combinaison d'attitudes mentales primitives correspond alors à une *désirabilité présente* de l'évènement *e* pour le choix *p*.
- (2) **La désirabilité future d'un évènement *e* pour un choix *p* de l'agent *i***: Cette valeur correspond à la configuration d'attitudes mentales où l'agent *i* croit qu'un évènement *e* faisable avec certaine probabilité *pr\_faisabilite* peut augmenter la vraisemblance d'un choix *p*. En reprenant l'exemple précédent, si l'agent pense qu'en consultant ses mails (évènement *e* qu'il pense faisable avec une probabilité *pr\_faisabilite*) il va réaliser que son ami le lui a bien envoyer alors l'état mental de l'agent correspond à une *désirabilité future*.
- (3) **L'indésirabilité présente** et (4) **future d'un évènement *e* pour un choix *p* de l'agent** correspondent au cas où la probabilité du choix *p* diminue étant donné (l'occurrence/la perspective) de l'évènement *e*.

A chacune de ces valeurs littérales est associée une valeur numérique appelée *degré de désirabilité*. Celle-ci est fonction de la variation du degré de réalisation et de la probabilité de faisabilité (*pr\_faisabilite*) dans le cas de la perspective d'un évènement. Par conséquent, plus le degré de réalisation d'un choix de l'agent augmente suite à un évènement et plus cet évènement est probable de se réaliser,

plus il est désirable. Le degré de désirabilité permet de calculer l'intensité des émotions.

A partir de la formalisation décrite ci-dessus des différentes valeurs de désirabilité et suivant le modèle OCC, nous représentons les états mentaux des émotions de joie, de tristesse, d'espoir et de peur par des configurations d'attitudes mentales primitives. La joie est déclenchée par l'occurrence d'un événement désirable. L'état mental de joie correspond alors à la configuration d'attitudes mentales de *désirabilité présente*. L'agent va déclencher cette émotion lorsque son état mental va contenir l'état mental de joie. Dans l'exemple précédent, l'agent qui reçoit le mail sera dans un état mental de joie. De la même manière, étant donné que la tristesse est issue de l'occurrence d'un événement indésirable, l'état mental associé à cette émotion est une configuration d'attitudes mentales d'*indésirabilité présente*. L'espoir et la peur sont déclenchés par la perspective d'un événement respectivement désirable et indésirable. Leurs états mentaux correspondent respectivement à une désirabilité et indésirabilité future. L'intensité des émotions est fonction du degré de désirabilité.

Etant donné la formalisation décrite, un agent rationnel peut déclencher différentes émotions au même moment. En effet, chaque émotion est déclenchée par rapport à un choix et un événement particulier. L'état mental d'un agent peut faire référence à plusieurs événements (réalisés et/ou attendus) dont l'un peut par exemple permettre la réalisation d'un de ces choix (et déclencher de la joie) et un autre rendre plus incertain un autre de ces choix (et déclencher de la tristesse). Dans la section suivante, nous proposons un modèle pour exprimer des combinaisons de plusieurs émotions à travers l'expression faciale de l'agent.

### 3. Modélisation de la combinaison des émotions

Le terme *combinaison d'émotions* réfère dans la littérature à différents phénomènes. Dans (Richmond *et al.*, 1995), il se définit comme l'apparition "d'expressions faciales multiples et simultanées". Un individu peut en effet exprimer à un instant donné plusieurs émotions (Ekman *et al.*, 1975). Elles sont révélées à travers différentes régions du visage, chacune reflétant généralement une émotion. Ces dernières peuvent apparaître simultanément ou séquentiellement. La combinaison se produit lorsque leurs expressions se chevauchent dans le temps. Elle peut ainsi être issue d'une séquence rapide ou d'une superposition de plusieurs émotions mais aussi du masquage d'une émotion par une autre. Différentes sortes de combinaisons peuvent être distinguées suivant les types des émotions impliquées (émotion ressentie ou émotion feinte) et leur apparition dans le temps (séquence, superposition...) (Ekman *et al.*, 1975; Ekman, 2003). Dans cette section, nous proposons un modèle fondé sur la logique floue permettant de calculer les expressions faciales résultant des différentes sortes de combinaisons d'émotions.

### 3.1. *Les différentes approches pour l'expression de combinaisons d'émotions*

Alors que la plupart des personnages virtuels animés utilisent des expressions faciales pour exprimer des émotions, peu de travaux portent sur l'expression de combinaisons d'émotions. Il existe cependant quelques méthodes pour leur calcul. Par exemple, Tsapatsoulis et Albrecht (Tsapatsoulis *et al.*, 2002; Albrecht *et al.*, 2005) appliquent, à partir d'une représentation dimensionnelle des émotions, une interpolation entre les paramètres d'expressions de deux émotions pour calculer l'expression résultant de leur combinaison. Fondé sur les résultats de Schlosberg (Schlosberg, 1952) suivant lesquels l'expression d'émotions peut être décrite dans un espace bidimensionnel, le modèle du disque émotionnel (Ruttkay *et al.*, 2003) utilise une interpolation bilinéaire entre les deux expressions à combiner. Paradiso (Paradiso, 2002) introduit une structure algébrique avec des opérateurs choisis arbitrairement pour identifier les transformations d'expressions faciales. Enfin, en s'appuyant sur les des travaux d'Ekman, Duy Bui (Duy Bui, 2004) propose des règles de logique floue pour chaque paire d'émotions possible afin d'identifier l'expression de leur combinaison suivant l'intensité des émotions impliquées.

Contrairement aux méthodes décrites utilisant une représentation basée sur les contractions musculaires faciales, nous proposons un modèle s'appuyant sur une partition du visage. A partir de règles de logique floue, il permet le calcul non seulement des expressions faciales issues de la superposition de deux émotions déclenchées mais aussi celles résultantes du masquage d'une émotion par une autre, mettant ainsi en évidence la distinction entre émotions déclenchées et émotions exprimées.

### 3.2. *La représentation des combinaisons d'émotions*

L'apparition simultanée de plusieurs émotions amène à une expression faciale particulière qui peut résulter d'une combinaison des expressions de chacune des émotions ou en différer. L'effet visuel dépend à la fois du type et de l'intensité des émotions ainsi que de leur véracité, i.e. si elles sont ou non ressenties. En effet, l'expression de deux émotions déclenchées peut être différente de la combinaison de ces deux mêmes émotions lorsque l'une est ressentie et l'autre feint. Les individus ne sont généralement pas à même de contrôler efficacement l'ensemble des muscles de leur visage. Par exemple, l'expression issue du masquage de la tristesse par la colère est différente de celle où ces deux émotions sont ressenties (Ekman *et al.*, 1975). Dans les travaux présentés ici, nous nous limitons à l'étude de ces deux cas de combinaison : la superposition de deux émotions déclenchées et le masquage d'une émotion déclenchée par une émotion exprimée différente. Nous étudions plus particulièrement la combinaison des expressions faciales des six émotions basiques (Ekman, 1993) : la surprise, la colère, la peur, la tristesse, le dégoût et la joie.

**Superposition.** Dans (Ekman *et al.*, 1975; Ekman, 2003) est proposé un modèle de composition d'expressions faciales par combinaison de la partie supérieure d'une expression du visage avec celle inférieure d'une autre. A partir de ces résultats, nous



considérons une partition binaire en distinguant la région supérieure (noté S) de la région inférieure (noté I) (Figure 1).

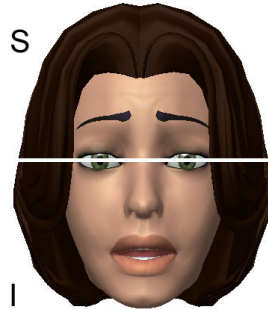


Figure 1. *Partition binaire du visage*

Bassili (Bassili, 1979) et Gouta (Gouta *et al.*, 2000) ont montré que les émotions négatives (resp. positives) sont principalement perçues à travers la région supérieure (resp. inférieure). Nous appliquons les résultats de ces études de perception dans notre modèle. Dans le cas d'une superposition de deux émotions contraires, afin que chacune d'elle soit perceptible par l'utilisateur, l'expression faciale résultante est construite par combinaison de la région supérieure de l'expression faciale de l'émotion négative et de la région inférieure de l'expression de l'émotion positive. Pour combiner les émotions de même valence, nous introduisons l'opérateur de priorité noté ">" et d'équivalence noté "≡". " $E_i > E_j$ " signifie que  $E_i$  est exprimée à travers la région supérieure lors de sa combinaison avec  $E_j$ , alors que " $E_i \equiv E_j$ " signifie qu'il n'existe pas de prédominance pour cette partie du visage (par exemple dans le cas de superposition de la surprise et de la peur (Ekman *et al.*, 1975)). Les opérateurs décrits sont transitifs. Par exemple, les émotions de joie, peur et colère sont ordonnées de la manière suivante:  $E_{\text{anger}} > E_{\text{fear}} > E_{\text{joy}}$  (Ekman *et al.*, 1975). Cela signifie que la colère est exprimée par la région supérieure et la peur par la région inférieure lors de leur superposition. De même, la superposition de la peur et la joie résulte en une expression faciale composée de la partie supérieure de l'expression de peur et inférieure de celle de joie. Enfin, l'expression faciale de superposition de la colère et la joie correspond à une combinaison de la partie supérieure de la colère et inférieure de la joie.

**Masquage.** La région supérieure du visage est généralement difficilement contrôlable (Ekman *et al.*, 1975). Nous pouvons ainsi partir du postulat que la partie supérieure montre l'émotion ressentie alors que celle inférieure est utilisée pour la masquer. De plus, Ekman met en évidence les composantes d'une expression particulièrement caractéristiques d'une émotion ressentie et absent pour une émotion simulée, comme par exemple les sourcils de la peur et de la tristesse ou les yeux de la colère. Le masquage peut être ainsi vue comme une fonction asymétrique de communication d'émotions alors que la superposition est symétrique. En effet, étant donnée les deux émotions  $E_i$  et  $E_j$ , le masquage de  $E_i$  par  $E_j$  correspond à une

expression faciale différente du masquage de  $E_j$  par  $E_i$  (Ekman *et al.*, 1975), ce qui n'est pas le cas pour la superposition de ces deux émotions.

### 3.3. *Modèle computationnel d'expressions de combinaisons d'émotions*

Nous avons implémenté différents modèles computationnels pour les deux types de combinaisons d'émotions décrits dans la section précédente : la superposition et la masquage.

**Superposition.** L'inférence floue est utilisée ici pour modéliser la combinaison d'expressions faciales de deux émotions déclenchées. Les émotions sont ordonnées en utilisant l'opérateur “>” et “≡”. Cet ordonnancement précise la prépondérance d'une expression dans la région supérieure du visage lors de la combinaison de deux émotions. Ainsi, cette description des émotions permet d'éviter de considérer séparément toutes les paires d'émotions possibles en utilisant une règle de logique floue fondée sur cette représentation. Pour la superposition de deux émotions,  $E_i$  et  $E_j$ , les règles de logique floue déterminent, à partir de leur ordonnancement relatif avec l'opérateur “>”, quelle région de  $E_i$  et  $E_j$  est utilisée pour l'expression de leur combinaison (Figure 2b). Le système d'inférence est basé sur le modèle de Mamdani (Mamdani *et al.*, 1974).



**Figure 2.** Expressions faciales de l'ECA Greta (Pelachaud *et al.*, 2002) correspondant (de la gauche vers la droite) à : a) colère, b) superposition de tristesse et colère, c) tristesse masquée par la colère, et d) tristesse.

**Masquage.** Suivant les travaux d'Ekman (Ekman *et al.*, 1975), nous avons identifié la région du visage contenant les composantes des expressions particulièrement caractéristiques des émotions ressenties et absent pour les émotions feint. Généralement, elle correspond à la partie supérieure du visage. Ainsi, dans notre modèle, cette région est utilisée pour l'expression des émotions déclenchées alors que la région inférieure révèle l'émotion exprimée (Figure 2c); ceci nous permettant de modéliser la propriété d'asymétrie du masquage. Par exemple, dans le cas du masquage de la peur (émotion ressentie) par la tristesse (émotion feint), la région supérieure du visage exprimera la peur alors que celle inférieure montrera la tristesse, et inversement dans le cas du masquage de la tristesse par la peur.

### 3. Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé, à travers la notion d'état mental de l'émotion, une formalisation des événements déclencheurs d'émotions par des attitudes mentales primitives. Ceci permet de doter un agent d'une représentation des conditions de déclenchement d'une émotion. Il peut alors à tout moment identifier l'état émotionnel correspondant à son état mental. De plus, nous avons présenté un modèle pour le calcul des expressions faciales de combinaison d'émotions. Fondé sur une partition binaire du visage, celui-ci permet d'identifier l'expression faciale résultant de la superposition de deux émotions et le masquage d'une émotion déclenchée (ressentie) par une autre feinte. Notre travail porte actuellement sur l'évaluation de ce modèle et plus particulièrement sur la perception par l'utilisateur des combinaisons d'émotions. La prochaine étape dans nos travaux est d'apporter à l'agent les connaissances nécessaires pour déterminer l'émotion la plus appropriée à exprimer étant donné le contexte socioculturel et ses buts. De plus, les développements futurs visent à étudier une partition plus fine du visage afin d'améliorer l'expressivité et la crédibilité de l'agent.

### Remerciements

Nous remercions Susanne Kaiser pour son apport sur les expressions faciales et Nédra Mellouli pour son aide sur le modèle de logique floue. Nous remercions aussi Elisabetta Bevacqua et Maurizio Mancini pour l'implémentation du système Greta. Une partie de cette recherche est soutenue par le réseau d'excellence HUMAINE EU FP6, IST contrat 507422.

### 4. Bibliographie

- Albrecht, I., Schroder, M., Haber, J. and Seidel, H. "Mixed feelings: Expression of non-basic emotions in a muscle-based talking head". *Special issue of Journal of Virtual Reality on Language, Speech & Gesture*. 2005.
- André, E., Klesen, P., Gebhard, P., Allen, S. and Rist, T. "Integrating models of personality and emotions into lifelike characters". *Affective interactions: towards a new generation of computer interfaces*. A. Paiva, Springer-Verlag, 150-165. 2001.
- Bassili, J. N. "Emotion recognition: the role of facial movement and the relative importance of upper and lower areas of the face". *Jour. Pers. Soc. Psychol.*, 37 (11), 2049-2058. 1979.
- Bui, T. D. *Creating Emotions and Facial Expressions for Embodied Agents*. Thèse informatique, Center for Telematics and Information Technology, University of Twente, 2004.
- Ekman, P. "Facial Expression and Emotion". *American Psychologist*, 48, 384-392. 1993.

- Ekman, P. *Emotions Revealed: Recognizing Faces and Feelings to Improve Communication and Emotional Life*, Times Books, 2003.
- Ekman, P. and Friesen, W. V. *Unmasking the face. A guide to recognizing emotions from facial clues*, Prentice Hall Trade, 1975.
- El-Nasr, M. S., Ioerger, T. R. and Yen, J. "Learning and Emotional Intelligence in Agents". In: *Proceedings of AAAI (American Association for Artificial Intelligence) Fall Symposium on Emotional Intelligence*, Florida, USA. 1998.
- Goleman, D. *L'intelligence Emotionnelle 1*, Robert Laffont, 1997.
- Gouta, K. and Miyamoto, M. "Emotion recognition, facial components associated with various emotions". *Shinrigaku Kenkyu*, 71 (3).2000.
- Gratch, J. and Marsella, S. "A domain-independent Framework for modeling emotion". *Journal of Cognitive Systems Research*, 5 (4), 269-306.2004.
- Johnson, W. L., Rickel, J. W. and Lester, J. C. "Animated pedagogical agents: Face-to-face interaction in interactive learning environments". *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11, 47-78.2000.
- Kihlstorm, J. F. and Cantor, N. "Social Intelligence". *Handbook of Intelligence*, Cambridge University Press, 359-379. 2000.
- Lazarus, R. S. *Emotion and adaptation*, Oxford University Press, 1991.
- Mamdani, E. H. and Assilian, S. "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller". *International Journal of Man-Machine Studies*, 7, 1-13.1974.
- Ortony, A., Clore, G. L. and A., C. *The cognitive structure of emotions*, Cambridge University Press, 1988.
- Paiva, A., Machado, I. and Prada, R. "Heroes, villains, magicians,...: Dramatic personae in a virtual story creation environment". In: *Proceedings of Conference on Intelligent User Interfaces*, Sanata Fe, New Mexico, USA, 129-136. 2001.
- Paradiso, A. "An Algebra for combining MPEG-4 compliant Facial Animations". In: *Proceedings of Workshop Lifelike Animated Agents-Tools, Affective Functions and Applications*, Tokyo, Japan. 2002.
- Pelachaud, C., Carofiglio, V., Carolis, B. D., Rosis, F. d. and Poggi, I. "Embodied Contextual Agent in Information Delivering Application". In: *Proceedings of First International Joint Conference on Autonomous Agents & Multi-Agent Systems*, Bologne. 2002.
- Prendinger, H., Descamps, S. and Ishizuka, M. "Scripting Affective Communication with Life-like Characters in Web-based Interaction Systems". *Applied Artificial Intelligence Journal*, 16 (7-8), 519-553.2002.
- Reeves, B. and Nass, C. *The media equation: how people treat computers, television, and new media like real people and places*, Cambridge University Press, 1996.
- Richmond, V. P. and Croskey, J. C. *Non Verbal Behavior in Interpersonal relations*, Allyn & Bacon, 1995.
- Rosis, F. d., Pelachaud, C., Poggi, I., Carofiglio, V. and Carolis, B. D. "From Greta's mind to her face: modelling the dynamics of affective states in a conversational embodied agent". *International Journal of Human-Computer Studies*, 59 (1-2), 81-118.2003.

- Ruttkay, Z., Noot, H. and Hagen, P. T. "Emotion Disc and Emotion Squares: tools to explore the facial expression face". *Computer Graphics Forum*, 22 (1), 49-53.2003.
- Sadek, D. Attitudes mentales et interaction rationnelle: vers une théorie formelle de la communication. Thèse, informatique, Université de Rennes I, 1991.
- Sadek, D., Bretier, P. and Panaget, F. "ARTIMIS: Natural Dialogue Meets Rational Agency". In: *Proceedings of 15th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'97)*, Nagoya, Japon, 1030-1035. 1997.
- Salovey, P., Bedell, B., Detweiler, J. and Mayer, J. "Current Directions in Emotional Intelligence Research". *Handbook of Emotions*, Guilford Press, 504-520. 2000.
- Scherer, K. "Emotion". *Introduction to Social Psychology: A European perspective*. M. Hewstone and W. Stroebe, Oxford, 151-191. 2000.
- Schlosberg, H. "The description of facial expression in terms of two dimensions, Journal of Experimental Psychology". *Journal of Experimental Psychology*, 44 (4), 229-237.1952.
- Tsapatsoulis, N., Raouzaïou, A., Kollias, S., Crowie, R. and Douglas-Cowie, E. "Emotion Recognition and Synthesis Based on MPEG-4 FAPs". *MPEG-4 Facial Animation*. I. S. Pandzic and R. Forchheimer, 141-167. 2002.