



LABORATOIRE



INFORMATIQUE, SIGNAUX ET SYSTÈMES  
DE SOPHIA ANTIPOLIS  
UMR 6070

# MODÉLISATION DES ÉTATS ÉMOTIONNELS PAR UN ESPACE VECTORIEL MULTIDIMENSIONNEL

*Imen TAYARI, Nhan LE THANH, Chokri BEN AMAR*

*Equipe KEWI*

Rapport de recherche  
ISRN I3S/RR-2009-19-FR

Decembre 2009

---

RÉSUMÉ :

Dans ce rapport, nous présentons une nouvelle vision de la modélisation des états émotionnels différente des approches traditionnelles qui utilisent une représentation ontologique. Notre approche propose une représentation algébrique des émotions. Il s'agit d'un modèle multidimensionnel qui se base sur la représentation algébrique des émotions dans un espace vectoriel. Chaque état émotionnel correspond à un vecteur dans un espace à 8 dimensions dont chacune représente une émotion de base. Ainsi chaque émotion sera décrite par un vecteur formé de huit composantes exprimé dans une base à huit axes où chaque axe représente une émotion de base. Une fois que les émotions auront été représentées par des vecteurs dans un espace vectoriel approprié, on pourra les traiter grâce aux opérations usuelles sur les vecteurs. Nous abordons aussi la notion de l'intensité de l'émotion ainsi que les techniques de compositions et décompositions d'états émotionnels complexes.

MOTS CLÉS :

Etat émotionnel, Modèle multidimensionnel, représentation algébrique

---

ABSTRACT:

In this study, we present a new vision of modeling emotional states. Indeed, the proposed model is different from traditional approaches like ontological representation. It is based on an algebraic representation of emotions. We represent every emotion as a vector in a space of 8 dimensions where every axis represents a basic emotion. This multidimensional model provides to represent infinity of emotion and provide powerful mathematical tools for the analysis and the processing of these emotions.

KEY WORDS :

Emotional states, multidimensional model, algebraic representation

## Table of Contents

Introduction générale.....	5
Objectifs de recherche : .....	5
Le phénomène émotionnel .....	6
Introduction.....	6
Classification des émotions : .....	7
Approche Catégorielle.....	7
Approche dimensionnelle .....	9
Les émotions dans les applications : .....	10
Annotation des émotions .....	11
Langage EARL (Emotion Annotation and Representation Language) .....	11
Représentation catégorielle : .....	11
Représentation dimensionnelle : .....	12
Émotions complexes.....	12
Emotion Markup Language EmotionML.....	12
Langage EMMA (Multimodal Annotation Markup Language) .....	14
Approche proposée pour la représentation, et l'échange d'emotion .....	16
Opération sur les émotions .....	19
Addition .....	19
La multiplication par un scalaire .....	22
Décomposition des émotions.....	22
La distance euclidienne .....	23
Conclusion et perspectives.....	27

## Liste des figures

FIGURE 1: LE MODELE DE CIRCUMPLEX(PLUTCHIK 1980).....	9
FIGURE 2: REPRESENTATIONS DIMENSIONNELLES DES EMOTIONS VARIANTE DE LA ROUE DES EMOTIONS DE GENEVE [SCHERER 2005] .....	10
FIGURE 3 : LE PROCESSUS POUR LE SIGNAL DE PAROLE ENTRANT .....	15
FIGURE 4: EMMA: EXEMPLE D'ANNOTATION.....	16
FIGURE 5: LES COMBINAISONS DES EMOTIONS (PLUTCHIK) .....	20
FIGURE 6: DETECTION DE L'EMOTION A L'AIDE DE PLUSIEURS MODALITES.....	21
FIGURE 7: EMOTION BASIQUE, SIMILARITE, INTENSITE (PLUTCHIK).....	24
FIGURE 8: REPRESENTATION VECTORIELLE DE QUELQUES EMOTIONS .....	25
FIGURE 9: ECHANGE EMOTIONNEL ENTRE APPLICATION .....	26

## **Introduction générale**

Depuis la fin des années 80, les processus émotionnels connaissent un regain d'intérêt aux yeux des sciences, compte tenu de leur rôle dans la communication, la prise de décision, le comportement ou la régulation sociale. Le développement de l'interactivité dans les technologies nourrit quant à lui l'intérêt de la recherche pour les systèmes de communication homme-machine et le développement de l' « affective computing » (Picard, 1997), visant à donner aux ordinateurs les capacités de reconnaître, d'exprimer et de modéliser les émotions.

Plusieurs domaines tels que la surveillance de santé de personne, jeu vidéo interactif, communication ou sondage s'intéressent de plus en plus à l'état émotionnels des utilisateurs. En effet la reconnaissance de l'état émotionnel des individus permet de mieux gérer l'interactivité entre le système et les différents utilisateurs en modifiant le comportement en fonction de l'état de ces derniers. Dans notre travail on s'intéresse à l'étude du comportement des individus c'est-à-dire déterminer pour les utilisateurs, le potentiel émotionnel d'un événement donné et obtenir des connaissances sur son comportement et ensuite assurer l'échange d'états émotionnel entre machine. D'où notre objectif est de faire une modélisation des états émotionnels afin de pouvoir effectuer des échanges émotionnels entre différents systèmes et améliorer la crédibilité des interactions.

### ***Objectifs de recherche :***

Bien qu'il y a des progrès très significatifs ces dernières années dans le développement de l'interactivité dans les technologies, la relation émotionnelle reste toujours unilatérale, dans la plupart des interactions homme-machine. En effet, la machine n'est pas capable d'exprimer ou de prendre en compte les émotions de l'utilisateur. Aussi la diversification des outils de captures des émotions et la dépendance du traitement de ces capteurs physique rendent plus difficile la communication entre les applications. Autrement dit on ne peut pas échanger facilement des données émotionnelles entre machines. Aussi la plupart des études sur les états émotionnels est limitée aux émotions de base. Donc notre objectif consiste à modéliser des émotions plus complexes que les émotions de base : y comporte les émotions complexes, masquages, simulation, conflit entre plusieurs émotions. L'objectif de recherche à travers cette thèse, est de définir en un premier temps un modèle émotionnel pour la représentation des émotions (basiques et complexes). Il s'agit d'un modèle générale permettant de décrire le phénomène émotionnel pour qu'il soit à la fois naturel pour l'homme et assimilable par la

machine afin de pouvoir faire l'échange entre différents systèmes multimodales et améliorer, voir optimiser l'interaction humain-machine.

## **Le phénomène émotionnel**

### ***Introduction***

L'émotion est une notion floue et elle est difficilement définissable. De ce fait, Il existe plusieurs définitions du mot « émotion ». Mais le seul point sur lequel tous les psychologues s'accordent, c'est que le concept est difficile à définir. Le mot « émotion » vient du latin «*emovere, emotum*» (enlever, secouer) et de «*movere*» (se mouvoir) signifie mouvement vers l'extérieur. D'après l'étymologie, les émotions produisent donc des changements, psychiques ou comportementaux, qui provoquent des états subjectifs internes. Ces états internes peuvent être positifs agréables, comme la joie ou négatives, désagréables, comme la colère. Dans ce sens Ekman et Davidson (Ekman et al 94) définissent l'émotion comme une réaction aiguë et transitoire, provoquée par un stimulus spécifique et caractérisée par un ensemble cohérent de réponses cognitives, physiologiques et comportementales [Petropoulou 2006].

Plusieurs définitions et rôles ont été donnés à l'émotion. Ces définitions diffèrent en fonction des différentes approches proposées. Déjà en 1879, Charles Darwin [Darwin 72], fondateur de la théorie de l'évolution, la définit comme une qualité innée, universelle et communicative, liée au passé de l'évolution de notre espèce. Ekman [Ekman 82], Izard [IZARD 77], Plutchik [PLUTCHIK 80], Tomkins (1980) [TOMKINS 80] et Mac Lean (1993) ont développé la théorie des émotions de bases ou fondamentales, mais seules 5 émotions de base sont communes aux divers auteurs (Tristesse, Colère, Joie, Dégoût, Peur).

Pour James (p 68, traduction G.Dumas) « il n'y a pas de limite au nombre des différentes émotions qui peuvent exister, et c'est pourquoi les émotions des différents individus peuvent varier indéfiniment à la fois quant à leur constitution et quant aux objets qui les engendrent, car il n'y a rien de fixe de toute éternité dans l'action réflexe [De Bonis 96]. Ce point de vue se retrouve chez un certain nombre de spécialistes contemporains de l'émotion (Mandler 1984, Frijda, 1986).

Au regard de ces définitions, le concept d'émotion apparaît comme polysémique. Il est, en effet, difficile de donner une définition claire et univoque de l'émotion. Cependant malgré ces divergences, la majorité des auteurs contemporains retiennent une définition consensuelle des états émotionnels. Ils décrivent l'émotion comme un système de réponses complexes, qui intègre trois aspects : (1) l'aspect physiologique/ biologique qui couvre les réactions

physiologiques(rythme cardiaque, fréquence respiratoire..), (2) l'aspect comportementale qui couvre les réactions comportementales et expressives, très influencées par la personnalité du sujet(expression faciles et vocales) et (3) l'aspect cognitive qui couvre les réactions cognitives et expérientielles [Luminet, 2002](état interne/ sentiment).

### ***Classification des émotions :***

La description des émotions a ouvert de nouvelles perspectives de recherche dans les quelles on a quelquefois à séparer de façon tranchée la description de l'explication. Plusieurs modèles ont été présentés pour décrire l'ensemble des émotions.

### **Approche Catégorielle**

Ce modèle à eu beaucoup de succès car il permet de représenter une infinité d'émotions, il permet également la représentation facile des émotions nuancées par contre ce modèle ne propose pas de règles pour traiter et analyser les émotions

L'approche catégorielle est basée sur un ensemble d'émotions dites "basiques", universelles, non réductible et innées. Ces émotions seraient apparues au cours de l'évolution (Darwin en 1872 [DAR 72]) et auraient un rôle adaptatif, c'est-à-dire qu'elles permettraient de réagir de manière adaptée aux événements extérieurs potentiellement dangereux pour la survie. Le caractère universel des émotions entraîne la définition d'un petit nombre d'émotions basiques (la peur, la colère, etc.), qui ont pu être observées chez tous les individus, quelque soit leur nationalité ou leur culture.

Dans la continuité des travaux de Darwin, plusieurs théories qui font référence aux émotions basiques ont été développées. Parmi ces théories, on trouve le modèle de Tomkins [Tomkin - 62] qui se base sur 9 émotion de base dont 2 sont positives (la joie et l'intérêt), un qui est neutre la surprise et enfin six émotion négatifs qui sont la colère, le dégoût, l'anxiété, la peur, la honte et le mépris. De même, Izard [Izard 71] y ajoutait la tristesse, la culpabilité et la timidité. Par contre il ne considéra pas le mépris comme une émotion basique. Plutchik (1980) compara les émotions à une palette de couleurs, De la même façon que les couleurs, il a tenté d'établir un dictionnaire des émotions qui permettrait, sur la base d'émotions fondamentales, de dériver les différentes nuances de l'expérience émotionnelle. Nous allons bien détailler l'approche de Plutchik, car nous allons l'utiliser pour définir notre modèle par la suite.

## **Approche de Plutchik**

Le modèle de Plutchik a abordé le problème d'analogie avec les couleurs en proposant un dictionnaire d'émotion similaire au dictionnaire de couleur. En Effet comme il y'a des couleurs primaires et des nuances de ces couleurs qui varient en intensité et constituent le spectre des couleurs, il y'aurait des émotions primaires, des nuances qui varieraient en intensité, des combinaisons possibles entre certaines émotion de base. « A une science de la colorimétrie, on pourrait faire correspondre une science de l'émotionométrie » [Plutchik 1980]

Le modèle de Plutchik est défini par le circumplex qui est un modèle multidimensionnel basé sur des émotions primaires de base dont vont dériver des émotions secondaires.

Au fait, Selon Plutchik, il y a 8 émotions de base faites de 4 paires opposées : joie-tristesse, acceptation-dégoût, peur-colère, surprise et anticipation. Les huit dimensions des émotions fondamentales sont disposées comme un cône, avec au sommet les termes qui désignent chaque émotion à son intensité maximale.

La figure 1 montre bien que l'axe vertical représente l'intensité et que la coupe horizontale montre les émotions intenses : la rage, la vigilance, l'extase, l'adoration, la terreur, l'étonnement, le chagrin et l'aversion. Si on regarde le cône de Plutchik on constate que plus on s'oriente vers le bas et plus les différentes nuances des émotions sont difficiles à distinguer. Ainsi, par exemple la distinction entre l'ennui et la contrariété est plus difficile que son équivalent à l'étage supérieur : le dégoût et la colère.



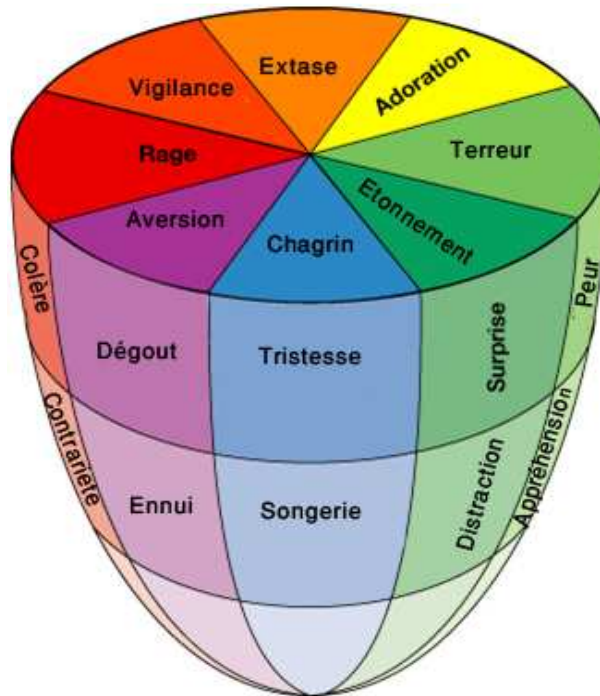


Figure 1: le modèle de Circumplex(Plutchik 1980).

Les mots indiqués dans chaque cadron n'ont qu'une valeur indicative. Ce sont des traductions du dictionnaire

Plutchik a défini des règles d'associations des émotions fondamentales pour former des émotions mixtes. En effet les émotions ne s'associent pas n'importe comment et leur combinatoire répond à des règles fondées sur la méthode des dyades et des triades [De Bonis 96]. Donc Plutchik a défini les dyades primaires comme étant la combinaison de deux émotions adjacentes, les dyades secondaires comme étant la combinaison d'émotions proches à une émotion près et les dyades tertiaires comme étant la combinaison d'émotions voisines à deux émotions près. Ainsi pour prendre quelques exemples, deux émotions adjacentes la joie et l'admiration, forment un composé primaire : l'amour. Un composé secondaire : le désespoir, sera formé de la peur et de la tristesse, si l'on saute un élément. Enfin un composé tertiaire sera formé de l'association de la peur au dégoût (si l'on saute deux éléments adjacents), composé qui aboutira à la honte.

### Approche dimensionnelle

L'approche dimensionnelle est basée sur le principe que les émotions résultent d'un nombre fixé de concepts, et propose donc de les représenter dans un espace multidimensionnel. Par exemple, les dimensions peuvent être un axe de plaisir et de déplaisir, d'éveil ou d'ennui, de nervosité, de puissance, de maîtrise de soi et bien d'autres au besoin du modèle.

De nos jours, à l'instar de Russell [Russell 80], la plupart des chercheurs qui s'inscrivent dans cette approche s'accordent sur les deux premières dimensions : la valence et l'activation (ou arousal). La valence permet de distinguer les émotions positives, agréables, comme la joie, des émotions négatives, désagréables, comme la colère. L'activation représente le niveau d'excitation corporelle, qui transparait par nombre de réactions physiologiques, comme l'accélération du cœur, la transpiration.

Ce modèle à eu beaucoup de succès car il permet de représenter une infinité d'émotions, il permet également la représentation facile des émotions nuancées par contre ce modèle ne propose pas de règles pour traiter et analyser les émotions.

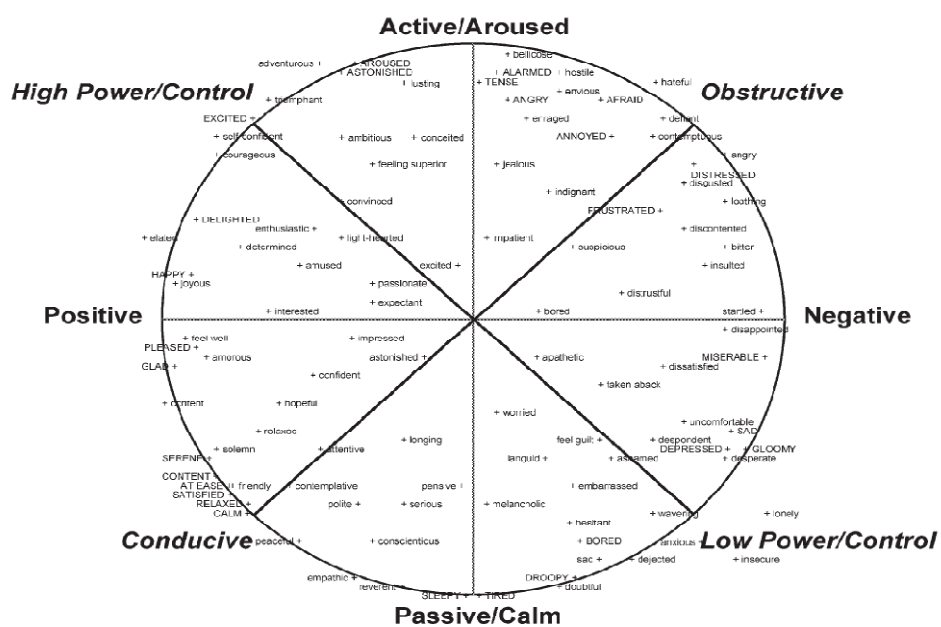


Figure 2: Représentations dimensionnelles des émotions Variante de la roue des émotions de Genève [Scherer 2005]

## Les émotions dans les applications :

Tout comme son importance pour la raison, dans le domaine des sciences cognitives et de la philosophie, l'émotion a aussi vue son intérêt croître dans le champ de l'intelligence artificielle. En effet le récent courant de recherche de l'Informatique Affective intègre de plus en plus la dimension émotionnelle dans les personnages virtuels ou les robots dont le but d'améliorer l'interaction humain-machine.

L'étude des émotions fait ressortir deux courants de recherches. Le premier s'attache à la détection et à la reconnaissance des émotions d'une part et à l'évaluation des états émotionnels d'autre part et le second se concentre sur la modélisation et l'annotation des états

émotionnels. Dans ce rapport on va s'intéresser à la deuxième branche de recherche, en effet la modélisation des émotions est très importante, elle permet d'enrichir la communication entre l'homme et la machine comme par exemple un programme de chat ou les émotions peuvent donner une autre dimension à la conversation. Elle permet aussi d'élaborer des systèmes de plus en plus performants comme par exemple les systèmes d'aides à la décision, où l'émotion joue un rôle très important. Dans cette partie on va présenter quelques langages de représentation et d'annotation des émotions.

### ***Annotation des émotions***

De nombreuses études ont montré que la modélisation et la détection des émotions peuvent améliorer les systèmes de dialogues Homme-Machine. En effet pour étudier les émotions dans des contextes réels, beaucoup de recherches ont été menées en vue de proposer un protocole d'annotation et de validation. Jusqu'à présent il n'y a pas un modèle unifié pour représenter les émotions. «La richesse de ces données rend leur classification extrêmement complexe », d'après Laurence Devillers.

En fait l'annotation est de trouver des indices robustes à différents niveaux linguistiques: prosodique, lexical et dialogique, pour identifier les émotions dans des échanges verbaux.

### ***Langage EARL (Emotion Annotation and Representation Language)***

Le langage de représentation et d'annotation des émotions EARL [EARL 2006] a été proposé dont le but est de permettre l'échange des données émotionnelles et la réutilisation des ressources. C'est un langage pour la représentation des émotions basé sur XML.

En effet, il n'y a pas un modèle unifié pour représenter les émotions, c'est pour cela le réseau d'excellence Humaine a proposé EARL comme une première suggestion, qui permet d'annoter les états émotionnels. Ce langage utilise une variété de représentation pour décrire les émotions, on trouve la description catégorielle, la description dimensionnelle et la description évaluation cognitive ce qui permet à l'utilisateur de choisir la représentation convenable. Aussi la possibilité de relier une représentation à une autre rend le format utilisable dans des environnements hétérogènes où il y a une variété de représentation des émotions [EARL 2006].

**Représentation catégorielle :** c'est la représentation la plus simple, qui utilise un mot pour décrire un état émotionnel, en effet elle permet la représentation des émotions en se

basant sur l'approche catégorielle. Cette représentation permet de représenter une émotion en utilisant un texte avec des balises de catégories.

Exemple : `<emotion category='pleasure' />`

**Représentation dimensionnelle :** Il s'agit de représenter les émotions en se basant sur l'approche dimensionnelle, d'où cette description présente les propriétés essentielles de l'état émotionnel comme l'activation (excitation) et la valence (négatif/positif)

Exemple : `<emotion xlink:href="face12.jpg" arousal="-0.2" valence="0.5" power="0.2"/>`

### **Émotions complexes**

Le langage EARL permet de représenter des émotions complexes, autrement dit ce langage permet d'annoter deux émotions qui se produisent ensemble, la variation des émotions dans le temps, ...).

Il permet également de fournir des moyens pour encoder les types d'information [EARL 2006] suivante :

- L'intensité d'une émotion qui est exprimé avec des valeurs numériques ou bien avec des labels discrets.
- Types de régulation : il permet de décrire si la personne essaye de masquer son émotion, la simuler, l'amplifier...
- Combinaison de multiples émotions
- Exprimer la probabilité pour l'émotion (degré de confiance)

Cependant ce langage ne permet pas d'exprimer les nuances sémantiques et pragmatiques des émotions, en fait il ne permet pas d'identifier les qualités sémantiques des données émotionnels et par la suite il ne permet pas l'échange du concept émotionnel entre application. Aussi ce langage ne prends pas en compte des éléments qui peuvent avoir un impact important sur les émotions, des informations qui concerne la personne en question (son environnement sociale, sa culture, ses objectifs,...). EARL ne propose pas aussi des règles pour traiter et analyser les émotions.

### ***Emotion Markup Language EmotionML***

Les émotions humaines interviennent de plus en plus dans les systèmes interactifs homme-machine. Surtout pour des utilisateurs non experts où les réactions à des systèmes intelligents complexes ressemblent à des interactions sociales, impliquant des sentiments. En outre, la

technologie est de plus en plus utilisée pour observer les interactions humaines, comme la frustration des clients dans les applications de centre d'appels. Le traitement de ces types d'états dans les systèmes technologiques exige une représentation appropriée, qui devrait rendre les concepts et les descriptions élaborées dans les sciences humaines disponibles pour une utilisation dans des contextes technologiques.

Mis en place par le World Wide Web Consortium (W3C) le groupe de travail sur l'Emotion Markup Language (EmotionML) 1.0, vient de rendre public son premier rapport qui décrit un langage conçu pour être utilisable dans une grande variété de contextes technologiques tout en tenant compte des concepts issus des sciences humaines [EmotionML 2008] .

L'objectif du Emotion Markup Language (ou EmotionML) est de permettre l'expression des émotions via le langage XML. En effet ce langage de balise permet de représenter et traiter les données émotionnelles ce qui permet l'interopérabilité entre les différentes composantes d'un système multimodale. Ce langage permet de faire une annotation des différents états émotionnels, Aussi il est capable de représenter plusieurs types d'émotion (non seulement les émotions basiques mais aussi les émotions secondaires et les émotions complexes comme par exemple la combinaison de plusieurs émotions). Ce langage permet, Non seulement de décrire la nature des émotions mais il permet également de définir leurs intensités, les comportements associés et les liens avec le monde réel (comme la source et la cible des émotions). Ce langage n'est pas spécifique à un modèle et à une approche, il est assez simple, et il définit les balises(<category>, <dimensions>, <appraisals>), puisqu'il utilise le vocabulaire défini dans la littérature des émotions pour la représentation des états émotionnels. Le langage EmotionML prend en charge les différents types de modalités, en effet il utilise la balise <modality> pour l'annotation des modalités. Dans l'exemple ci dessous l'émotion a été reconnue par la voix, qui fait partie des modalités basiques.

```
<emotionml xmlns="http://www.w3.org/2008/11/emotionml">
  <emotion>
    <category set="everydayEmotions" name="satisfaction"/>
    <modality set="basicModalities" mode="voice"/>
  </emotion>
</emotionml>
```

Ainsi EmotionML permet également de couvrir l'aspect temporaire en fournissant des informations sur le début et la fin de l'émotion et la variation de l'émotion au cours du temps comme par exemple l'affaiblissement et l'amplification.

Exemple :

Dans l'exemple suivant, Fred a été annoté comme étant triste le 23 Novembre 2001 à 14:39, trois minutes après l'élément de référence absolue [EmotionML 2008] .

```
<emotion id="annasJoy" date="2001-11-23T14:36Z">
  <category set="everydayEmotions" name="joy"/>
</emotion>
<emotion id="fredsSadness" timeRefURI="#annasJoy"
  timeRefAnchor="end" offsetToStart="3min">
  <category set="everydayEmotions" name="sadness"/>
</emotion>
```

### ***Langage EMMA (Multimodal Annotation Markup Language)***

Nous allons donner la définition d'un système multimodal en entrée, avant de présenter le langage EMMA. Au fait, Un système multimodal en entrée est un système capable de traiter des informations provenant de plusieurs modalités : par exemple l'utilisateur peut communiquer par la modalité orale (parole), la modalité oculaire (direction du regard), la modalité gestuelle, ou encore corporelle (déplacements, changements de posture).

EMMA (Extensible MultiModal Annotation Markup Language) est un langage de balise pour l'annotation multimodale. Il fait partie des normes du W3C pour les interactions multimodales [Emma 2009]. Il est utilisé par les systèmes pour faire la représentation sémantiques des variétés des informations récupérées en entrée (la parole, les gestes, link...) pour les intégrer au sein d'une application multimodale. Ce langage est utilisé comme une norme d'échange de données entre les composants du système multimodal.

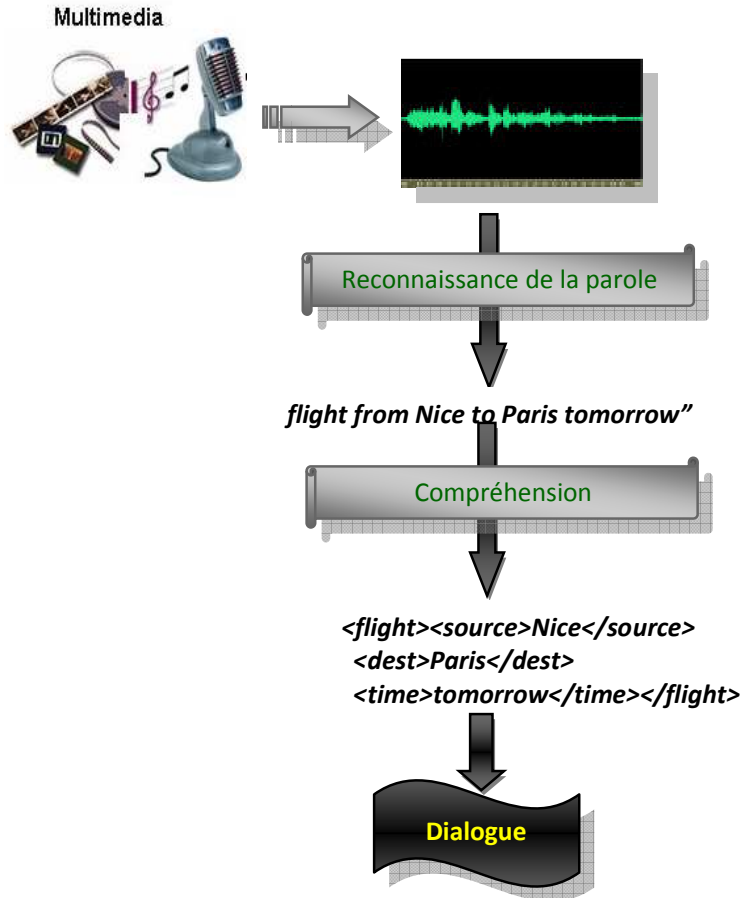


Figure 3 : Le processus pour le signal de parole entrant

Il permet de représenter et structurer les entrées de l'utilisateur avec leurs interprétations c'est à dire le résultat de la reconnaissance. Par exemple dans un système multimodal, chacune des entrées récupérées sera reconnue et interprétée par sa modalité spécifique (reconnaissance vocale, gestuelle...). Ensuite, toutes les informations, qui sont propres à chacune des modalités seront représenté par un langage commun qui est EMMA. Donc le langage EMMA Permet l'interopérabilité entre les composants de différents fournisseurs. Aussi il Fournit une représentation standard pour la communication entre les composants multimodale, et il fournit un conteneur pour les applications sémantiques ainsi pour les annotations multimodales.

```
<emma:emma version="1.0" xmlns="http://www.w3.org/2003/04/emma">
  <emma:interpretation id="interp1"
    emma:start="1087995961542"
    emma:end="1087995963542"
    emma:tokens="flights from Nice to Paris"
    emma:confidence="0.6"
```

```
emma:medium="acoustic"  
emma:mode="speech"  
emma:function="dialog"  
emma:source="http://example.com/microphone/NC-61"  
emma:signal="http://example.com/signals/sg23.wav"  
emma:media-type= "audio/dsr-202212; rate:8000; maxptime:40">  
    <origin>Nice</origin>  
    <destination>Paris</destination>  
</emma:interpretation>  
</emma:emma>
```

Figure 4: EMMA: exemple d'annotation

Par contre EMMA ne standardise pas la représentation des données entrantes d'interprétations des utilisateurs. En effet il permet seulement l'annotation de différentes données entrantes des utilisateurs, mais il ne permet pas de définir les notions annoté. C'est un langage générique pour l'annotation des données. Aussi ce langage est monodispositifs et plus orienté vers les entrées que vers les sorties [Rouillard 2008]. En effet, d'après les travaux de José Rouillard rien n'est prévu dans l'architecture proposée par le W3C pour supporter l'interaction dans des systèmes à la fois multimodaux, multidispositifs et multicanaux.

## **Approche proposée pour la représentation, et l'échange d'emotion**

Dans ce travail, nous proposons une nouvelle vision de la modélisation des états émotionnels. Contraire aux approches traditionnelles visant une représentation symbolique (ontologique), notre approche propose une représentation algébrique des états émotionnels. Il s'agit d'un modèle multidimensionnel qui se base sur la représentation algébrique des émotions dans un espace vectoriel. Chaque état émotionnel correspond à un vecteur dans un espace à 8 dimensions dont chacune représente une émotion de base. Ainsi chaque émotion est décrite par un vecteur formé de huit composantes exprimé dans une base à huit axes où chaque axe représente une émotion de base. Cela nous permet à la fois de représenter une infinité d'émotions car notre modèle est un modèle continue et d'autre part de proposer des outils mathématiques très performants pour l'analyse et le traitement de ces émotions.

Le modèle que nous proposons est similaire au modèle de représentation des couleurs qui se base sur trois couleurs de bases (Rouge, Vert, Bleu) pour exprimer toutes les couleurs du spectre visible. Donc notre modèle, par analogie, va se baser sur un ensemble d'émotions basiques qui vont être utilisées pour exprimer toutes les émotions possibles. Pour l'élaboration



de notre modèle nous sommes basés sur le modèle de Plutchik qui a abordé ce problème d'analogie avec les couleurs en proposant un dictionnaire d'émotion similaire au dictionnaire de couleur. Plusieurs éléments paraissent importants dans le modèle multidimensionnel de Plutchik parmi les quelles on peut d'une part citer la prise en compte d'un différentiel d'intensité entre des états émotionnels relativement similaire (Terreur (intensité forte), Peur (intensité moyenne), Appréhension (intensité faible), ou encore Extase, Joie, Sérénité), ce qui rend ce modèle continue et extensible, et d'autre part la prise en considération de l'aspect de similitude entre les émotions (la honte est plus proche de la culpabilité que de la joie) . Aussi, dans son modèle, plutchik a défini les émotions mixtes ou composées par la combinaison d'émotions primaires.

Donc après avoir étudié le modèle de Plutchik nous proposons de reprendre les mêmes émotions basiques pour définir la dimension de notre base. Par conséquent, la dimension de notre base d'émotion est égale à huit et elle est défini formellement par  $(\mathbf{B}) = (\text{Joie, tristesse, Acceptation, dégoût, peur, colère, Surprise, anticipation})$ . Ainsi toute émotion peut être réalisée à partir d'une combinaison des autres émotions fondamentales qui définissent notre Base  $\mathbf{B}$ .

Ainsi toute émotion  $(e)$  s'écrit sous forme unique comme combinaison linéaire des  $u_i = (\text{Joie, tristesse, Acceptation, dégoût, peur, colère, Surprise, anticipation})$ . C'est-à-dire que toute émotion  $(e)$  représentée par le vecteur  $E$  s'écrit sous la forme suivante :

$$(e) = \sum_{i=1}^8 \langle E, u_i \rangle u_i$$

Donc  $(e) = \alpha_1 \text{Joie} + \alpha_2 \text{Tristesse} + \alpha_3 \text{Acceptation} + \dots + \alpha_7 \text{Surprise} + \alpha_8 \text{anticipation}$   
 Où les réels  $\alpha_i$  sont uniques dans la base  $(\mathbf{B})$ .

Où  $E = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_8 \end{pmatrix} (\text{Joie, tristesse, Acceptation, dégoût, peur, colère, Surprise, anticipation})$

Ces réels  $\alpha_i$  sont appelés coordonnées (ou composantes) de  $(e)$  dans la base  $(\mathbf{B})$ . Les  $\alpha_i$  sont comprises dans l'intervalle  $[0,1]$  dénotent La valeur de l'émotion  $(i)$  de la base  $(\mathbf{B})$  dans l'émotion composée  $(e)$ . Plus la valeur se rapproche de 1, plus l'émotion est ressentie, plus elle est proche de 0, moins l'émotion est ressentie.

Nous pouvons facilement montrer que B est une base. En effet, toutes les émotions aussi complexes qu'elles soient sont des combinaisons d'émotions basiques, donc on peut obtenir toutes les émotions possibles à partir de ces huit émotions de base. D'où notre base est génératrice. D'un autre côté, nous pouvons montrer qu'elle est aussi libre. Si notre base n'est pas libre on aura forcément deux décompositions différentes d'une même émotion (e).

$$\text{Donc } e = \alpha_1 \text{ Joie} + \alpha_2 \text{ Tristesse} + \alpha_3 \text{ Acceptation} + \dots + \alpha_7 \text{ Surprise} + \alpha_8 \text{ anticipation} \quad (1)$$

$$\text{Et } e = \gamma_1 \text{ Joie} + \gamma_2 \text{ Tristesse} + \gamma_3 \text{ Acceptation} + \dots + \gamma_7 \text{ Surprise} + \gamma_8 \text{ anticipation} \quad (2)$$

$$\text{Avec } \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_8 \end{pmatrix} \neq \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \dots \\ \gamma_8 \end{pmatrix}$$

$$(1) - (2) \text{ donne } 0 = (\alpha_1 - \gamma_1) \text{ Joie} + (\alpha_2 - \gamma_2) \text{ Tristesse} + \dots + (\alpha_8 - \gamma_8) \text{ anticipation}$$

D'où  $\alpha_1 = \gamma_1$ ;  $\alpha_2 = \gamma_2$ ; ... ;  $\alpha_8 = \gamma_8$ . D'où notre hypothèse est fautive donc notre base est libre.

Une émotion de base est décrite par un vecteur qui contient un seul coefficient non nul. Ainsi la représentation vectorielle de quelques émotions basiques est de la forme suivante :

$$E_{\text{ Joie}} = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ avec } \alpha_1 \neq 0 ; E_{\text{ Tristesse}} = \begin{pmatrix} 0 \\ \alpha_2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ avec } \alpha_2 \neq 0 ; E_{\text{ Colère}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \alpha_6 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ avec } \alpha_6 \neq 0$$

Un vecteur représente une émotion basique si et seulement si il vérifie la propriété suivante :

$$\forall i \in [1..8], \quad \exists \alpha_i \text{ telque } \frac{\alpha_i}{\sum_{j=1}^8 \alpha_j} = 1$$

Ainsi pour prendre un exemple,  $E_{\text{ Joie}}$  est la représentation vectorielle de l'émotion Joie qui est une émotion basique donc nécessairement il doit vérifier la propriété précédente, avec  $\alpha_i$  représente la première composante du vecteur  $E_{\text{ Joie}}$  «  $\alpha_i = \alpha_1$  ».

La structure de notre modèle s'appuie sur la prise en considération de la propriété de l'intensité des émotions. En effet la composante  $\alpha_i$  détermine l'intensité de l'émotion basique appropriée, d'où selon la valeur de la variable  $\alpha_i$  on peut faire la différenciation entre appréhension, peur et terreur, ou bien entre rage, colère et contrariété. Donc on peut dire que la rage est l'émotion basique colère avec une forte intensité ( $0.75 < i < 1$ ). Ainsi les différents valeurs de  $\alpha_i$  permet de distinguer les émotions d'un état d'excitation maximal à un état de profond sommeil.

Une fois que des émotions seront représentées par des vecteurs dans un espace vectoriel approprié, on pourra les traiter grâce aux opérations usuelles sur les vecteurs. Les opérations de base qu'on va détailler dans notre travail sont l'addition vectorielle, la multiplication par un scalaire, la projection et le calcul de distance entre vecteur.

## ***Opération sur les émotions***

### **Addition**

Nous avons vu dans ce qui précède que les émotions complexes résultent de la combinaison de plusieurs émotions simples. Selon le schéma, proposé par Plutchik (Figure 4), l'amour, par exemple, serait un mélange de joie et d'acceptation, la culpabilité, un mélange de joie et de peur (1980). Dans cette partie nous définissons la combinaison entre les émotions comme étant l'addition des vecteurs représentant de ces émotions. Cette addition est défini par la valeur maximale des composants (termes à terme) de chaque vecteur (les deux vecteurs ont la même dimension puisqu'ils sont exprimé dans la même base).

soient  $E_{1_u}$  et  $E_{2_u}$  deux émotions exprimées respectivement dans la base  $B$  par  $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_8)$  et  $(\lambda'_1, \lambda'_2, \lambda'_3, \dots, \lambda'_8)$ , l'addition de ces deux vecteur est défini par le vecteur  $E'_u$

$$E' = E_1 \oplus E_2 = \max(\lambda_i, \lambda'_i)_{0 \leq i \leq 8} \quad (1)$$

D'où la représentation vectorielle de l'émotion Amour qui a été défini par Plutchik comme l'association des deux émotions basique joie et admiration est donnée par le vecteur  $E_{Amour}$  trouvé en faisant l'addition de  $E_{Joie}$  et  $E_{Admiration}$  en appliquant la formule (1) :

$$E_{Amour} = E_{Joie} \oplus E_{Admiration} = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \oplus \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \alpha_3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ 0 \\ \alpha_3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{avec } \alpha_1 \neq 0 \text{ et } \alpha_3 \neq 0$$

De la même façon on obtiendra la représentation vectorielle des autres émotions secondaire défini par Plutchik. La figure suivante montre toutes les combinaisons possibles des émotions qui ont été défini par ce psychologue américain.

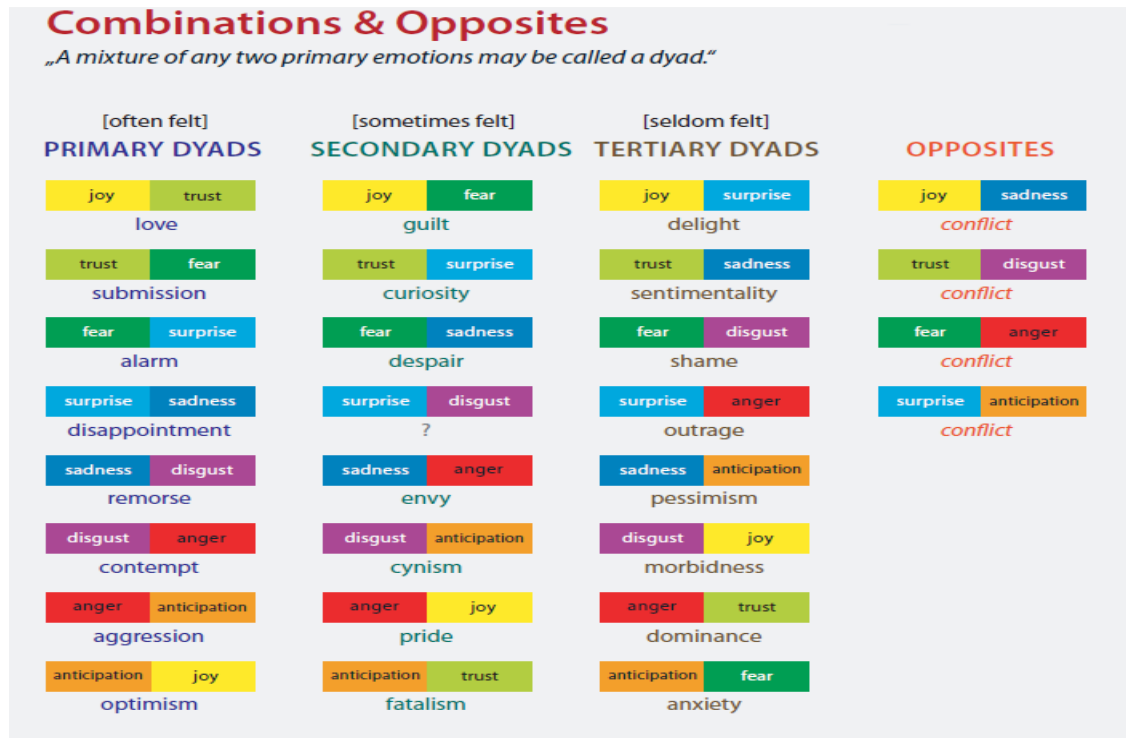


Figure 5: les combinaisons des émotions (Plutchik)

Cependant, Plutchik dans son modèle, considère les associations entre les émotions opposées comme par exemple l'association entre joie et tristesse, trust et dégoût... comme étant des combinaisons conflictuelles interdites. Ce qui va l'amener à ne pas les considérer dans sa théorie. Cependant, dans notre modèle on va les prendre en considération. On va donc étendre le modèle de Plutchik on y ajoutant les combinaisons qu'il appel de conflit car l'association de deux émotions opposé n'est pas seulement possible mais en plus a du sens. Prenons comme exemple quelqu'un qui est triste mais qui quand même sourit ou bien quelqu'un qui simule un sentiment alors qu'il ressent le sentiment opposé. Dans ces cas de figures on peut avoir en même temps une association de deux sentiments opposés qui donne naissance à un sentiment composé complexe et non pas un conflit. Notre modèle doit être capable de représenter tout ces types d'émotions. L'association de deux émotions de base donne donc

une émotion qui sera représenté par un vecteur qui va contenir de composante  $\alpha$  non nuls. D'autre part, les émotions composées ne sont pas limités à l'association de seulement deux émotions basiques. En effet, le phénomène émotionnel est tellement riche qu'on peut avoir des sentiments combinant plusieurs émotions de base. Ainsi on peut avoir des vecteurs où tous les  $\alpha_i$  sont non nulle. En utilisant notre modèle, ces émotions complexes sont aussi faciles à manipuler que les émotions basiques.

La figure 5 montre un exemple d'addition de deux émotions dans une application de détection d'émotions. Dans ce cas, la détection de l'émotion est effectuée à l'aide de plusieurs modalités. Chaque modalité va donner son propre vecteur représentant l'émotion détectée. Par exemple on va avoir un premier vecteur E1 comme émotion capté par les expressions faciales et un autre vecteur E2 représentant l'émotion trouvée en utilisant la modalité physiologique. D'où l'émotion globale sera l'addition des deux vecteurs trouvés à partir des deux différentes modalités. Cet exemple montre la facilité avec la quel on trouve l'émotion global avec notre modèle et qui consiste juste à faire une opération mathématique sans aucune intervention humaine. Ce qui n'est pas le cas avec d'autre modèle continue comme le modèle Valence-arousal ou l'addition des valeurs de deux points différents représentant deux émotions différentes donne un autre point qui n'a pas de sens émotionnel dans ce modèle.

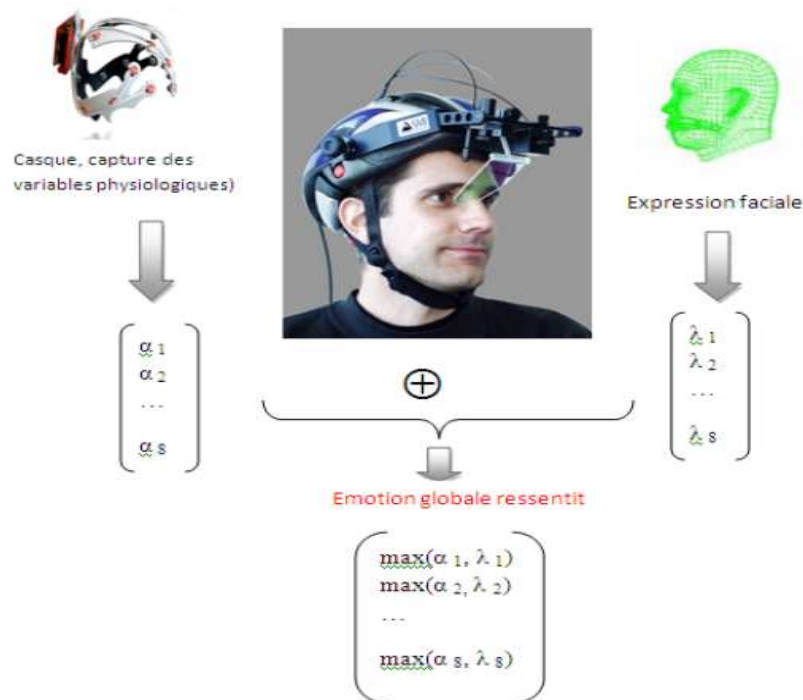


Figure 6: Détection de l'émotion a l'aide de plusieurs modalités

## La multiplication par un scalaire

La multiplication par un scalaire consiste à multiplier chacune des composantes du vecteur représentant l'émotion par un scalaire. Cette multiplication va produire un nouveau vecteur émotionnel mais avec des nouvelles valeurs  $\alpha_i$  qui seront toujours comprise entre 0 et 1.

Cette opération de multiplication des composantes de notre vecteur correspond à l'amplification ou l'affaiblissement de l'émotion. Ce qui correspond physiquement à l'augmentation ou l'affaiblissement de l'intensité de l'émotion. La multiplication par un

$$\text{scalaire } \beta \text{ d'un vecteur } E = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_8 \end{pmatrix} \text{ donne un vecteur } \beta \cdot \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta \cdot \alpha_1 \\ \beta \cdot \alpha_2 \\ \dots \\ \beta \cdot \alpha_8 \end{pmatrix}$$

Ainsi nous obtiendrons un nouveau vecteur qui représente l'émotion amplifier ou bien affaiblit, et ceci dépend du contexte. En effet l'intensité de l'émotion déclenchée dépend de l'intensité du but, principe ou préférence impliqués par l'évènement approprié.

Cette opération (multiplication par un scalaire) peut être utilisée par exemple dans une application d'agent émotionnel ou l'intensité de l'émotion décroît voir croît au cours du temps selon la désirabilité de l'évènement et sa probabilité

## Décomposition des émotions

Il s'agit de décomposer une émotion complexe en émotions de base, en effet les émotions complexes sont des émotions mixtes qui sont composées de plusieurs expériences émotives de base. Elles contiennent habituellement une ou plusieurs émotions. Donc pour s'informer correctement sur l'émotion il faut donc la décomposer en émotion élémentaires afin de pouvoir ressentir la ou les émotions et traiter adéquatement les autres expériences qui la composent. Pour cela nous allons utiliser la projection pour la décomposition des émotions.

### Projection

Soit E le vecteur représentant d'une émotion (e) dans la base (B)  $E =$

$$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_8 \end{pmatrix}$$

On définit la projection du vecteur E selon la composante i par

$$\Pi_i(E) = \alpha_i \quad i \in [1 \dots 8]$$

Exemple :

$$\Pi_3 \begin{pmatrix} 0,7 \\ 0,3 \\ 0,1 \\ 0,9 \\ 0,0 \\ 0,2 \\ 0,0 \\ 0,0 \end{pmatrix} = 0,9$$

Au fait, la projection nous permet d'isoler une composante donnée du vecteur E, et nous donner par la suite l'intensité de la composante choisie. Ainsi cette opération nous permettra de faciliter l'interprétation des vecteurs représentant des émotions.

### **La distance euclidienne**

Le modèle que nous proposons est un modèle continue, c'est à dire, nous pouvons représenter une infinité d'émotions dans notre base. Mais pour faciliter l'interprétation de ces vecteurs, nous proposons une méthode utilisant un outil mathématique qui est la distance euclidienne et qui permettra de déterminer l'émotion correspondante dans le domaine discret (ensemble fini d'émotions connues).

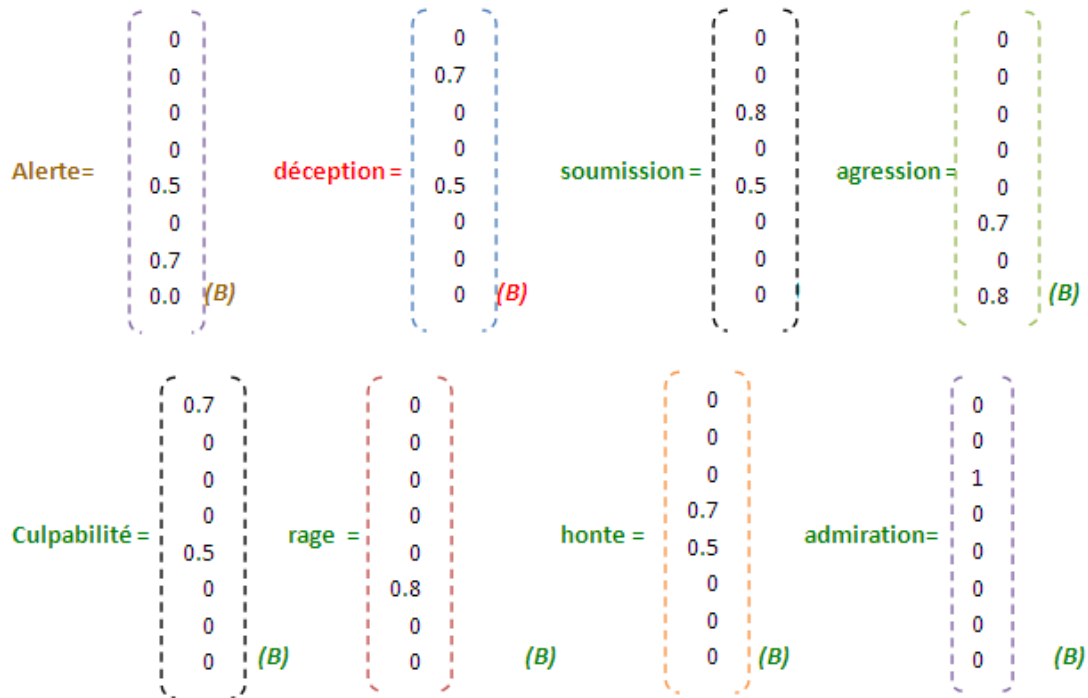
La première étape de notre méthode consiste à la création d'un dictionnaire d'émotions. Ce dictionnaire est formé par des vecteurs représentants l'ensemble des émotions proposées par Plutchik.



Figure 7: Emotion basique, similarité, intensité (Plutchik)

La figure précédente montre l'ensemble des émotions qui définissent une première partie du dictionnaire de Plutchik. L'autre partie est composée des émotions illustrées dans la figure 4 et qui résultent de la combinaison des différentes émotions des bases. Par exemple les émotions déception, soumission, honte,...etc seront représentée respectivement dans notre dictionnaire par les vecteurs suivants.





(B)= (Joie, tristesse, Acceptation, dégoût, peur, colère, Surprise, anticipation)

Figure 8: Représentation vectorielle de quelques émotions

Au finale, notre base sera composée de 70 émotions qui peut être enrichit en y ajoutant d'autres vecteurs représentant d'autres émotions non présentes dans notre base. Lors de l'interprétation d'un vecteur représentant une émotion quelconque, nous allons calculer la distance entre son vecteur et tous les vecteurs de notre dictionnaire. L'émotion la plus proche de notre vecteur (émotion recherché) sera l'émotion qui va minimiser cette distance.

Ainsi, nous cherchons à mesurer la ressemblance ou la similitude d'un vecteur quelconque à tous les vecteurs de la base d'émotion, pour déterminer l'émotion qui correspond le plus à ce vecteur. En effet lors de la détection des émotions, nous allons obtenir un vecteur qui représente l'émotion ressentie par le sujet. Pour déterminer la signification émotionnelle de ce vecteur nous allons calculer la distance euclidienne pour trouver l'émotion la plus proche à cette émotion.

La distance euclidienne entre un vecteur E ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) et un autre vecteur Y ( $y_1, y_2, \dots, y_n$ ) est défini par :

$$d(E, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}$$

Donc l'interprétation émotionnelle de n'importe quel vecteur exprimé dans notre base se fait d'une façon automatique sans aucune intervention d'expert et cela a l'aide des outils mathématiques qui sont facile à implémenter et qui donnent de très bons résultats.

La figure montre un exemple complet d'échange émotionnel entre application. En effet le premier utilisateur utilise une caméra pour la détection des émotions, l'émotion détecté à l'aide des expressions faciales sera représenté par le vecteur E1, et transmis à l'autre utilisateur sous forme vectoriel. La machine du deuxième utilisateur va utiliser notre algorithme pour trouver l'émotion correspondante à ce vecteur, qui est l'amour.

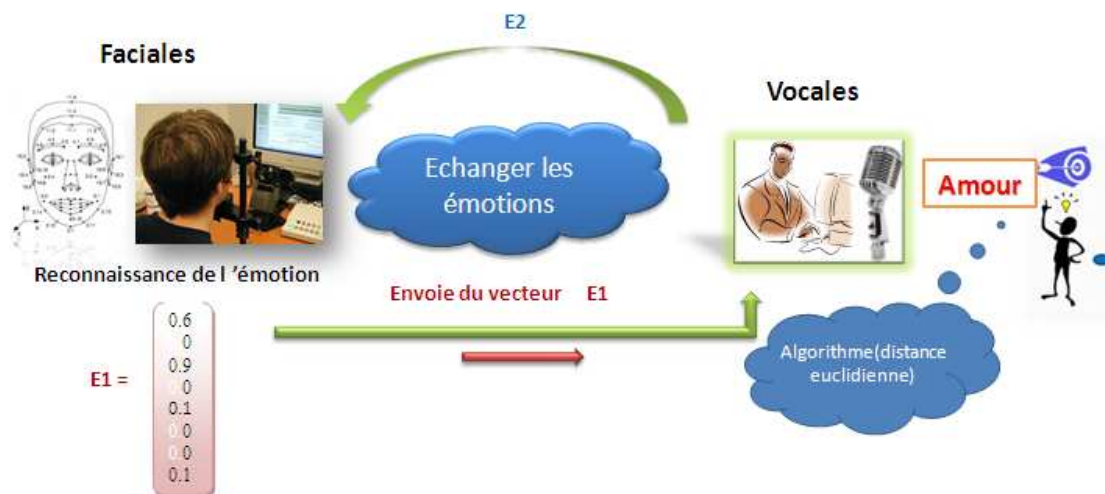


Figure 9: Echange émotionnel entre application

Le deuxième utilisateur va réagir en voyant l'émotion à l'aide d'un avatar ou d'autre techniques de restitution d'émotion, et l'émotion ressentit va être captée à l'aide d'un micro (la tonalité de sa voix) et va être envoyé de la même façon sous forme vectorielle au premier utilisateur. Nous remarquons que la transmission de l'émotion se fait d'une manière indépendante de la modalité utilisée. A l'aide du modèle que nous proposons l'échange d'émotions devient plus facile car les données échangées ont des représentations algébriques indépendantes de la définition du concept de l'émotion.

## **Conclusion et perspectives**

L'étude bibliographique des travaux concernant la modélisation et l'annotation des états émotionnels, nous a permis de montrer que le problème d'échange d'émotions entre application n'est pas suffisamment traité et qu'il est limité à des langages de modélisation comme EARL et EmotionML qui permettent d'effectuer l'échanges émotionnels entre application en utilisant le dictionnaires de langues naturelles pour la définition des émotions. En effet ces langages ne permettent pas d'identifier les qualités sémantiques de données émotionnelles et par la suite ne permettent pas l'échange du concept émotionnel entre application. Notre travail s'inscrit dans le domaine de modélisation des états émotionnels. Notre objectif est d'étudier et de modéliser les émotions afin d'assurer l'échanges entre applications multimodales. Il s'agit de pouvoir réutiliser et échanger des connaissances émotionnelles entre applications indépendamment de la modalité utilisée.

Nous avons donc proposé une nouvelle approche, inspirée du modèle de Plutchik pour la modélisation des états émotionnels. Notre modèle multidimensionnel se base sur la représentation algébrique des émotions dans un espace vectoriel. L'idée de base consiste à représenter une émotion par un vecteur dans un espace approprié, puis à lui appliquer toute une gamme de traitements algébriques. Cela nous a permis de représenter une infinité d'émotions et de proposer des outils mathématiques très performants pour l'analyse et le traitement de ces émotions.

Pour les travaux futurs, nous pouvons étendre notre modèle pour qu'il tienne compte de la notion de temps, autrement dit pouvoir prétendre l'état émotionnel à l'instant suivant et définir des fonctions d'affaiblissement des émotions au cours du temps comme dans les travaux de Sahaba [SEHABA 2007]. On peut également envisager à tester notre modèle avec des applications réelles afin de dégager les apports et les limitations.

# Bibliographie

[De Bonis 96] **M. de Bonis**, “ *Connaitre les motions humaines, Editions Mardaga, Psychologie et sciences humaines*”, 1996, vol. 212, 240 pages.

[DARWIN 72] **DARWIN C.**, “*The expression of the emotions in man and animals*”, John Murray, London, 1872.

[EARL 2006] **HUMAINE** *Emotion Annotation and Representation Language (EARL): Proposal Version 0.4.0*, 30 June 2006

[Ekman 82] **EKMAN, P.** (1982). *Emotion in the human face*. New-York : Cambridge University Press.

[Ekman et al 94] **EKMAN, P., DAVIDSON, R. J.** (1994). “*The nature of emotion : Fundamental questions*”.New York : Oxford University Press.

[Emma 2009] *Extensible MultiModal Annotation markup language, W3C*, W3C Recommendation 10 February 2009, <http://www.w3.org/TR/emma/>

[EmotionML 2008] *Elements of an EmotionML 1.0- W3C* Incubator Group Report 20 November 2008, <http://www.w3.org/2005/Incubator/emotion/XGR-emotionml/>

[FRIJDA] **FRIJDA, N. H.** (1986). *The emotions*. Cambridge : Cambridge University Press.

[IZARD 71] **Carroll Ellis Izard**, 1971 - “*The face of emotion*”.

[IZARD 77] **IZARD, C. E.** (1977). *Human Emotions*. New-York : Plenum Press.

[LUMINET 2002] **LUMINET, O.** (2002). *Psychologie des émotions : confrontation et évitement*. Bruxelles :De Boeck Université.

[Petropoulou 2006] **G. Alonso, F. Casati, H. Kuno, and V. Machiraju**, “*Profil émotionnel et cognitif au début de la sclérose en plaques :Effets différentiels des émotions sur les performances cognitives*”, THESE , L’UNIVERSITE PARIS 8, 2006.

[PICARD 97] **PICARD R. W.** (1997). *Affective computing*. MIT Press.

[PLUTCHIK 80] **PLUTCHIK, R.** (1980). *Emotion : A Psycho-evolutionary synthesis*. New-York : Harper and Row.

[Rouillard 2008] **J. Rouillard**, *Adaptation en contexte : contribution aux interfaces multimodales et multicanal*, HABILITATION, décembre 2008

[Russell 80] **James A. Russell**, 1980 - *A circumplex model of affect*.

[SEHABA 2007] **K. SEHABA**, *Modélisation des émotions et de la personnalité pour l'amélioration de la crédibilité des interactions*, Contexte: Jeux d'aventure, Projet Deep Mars 2007

[Scherer 2005] **K. R. Scherer**. *What are emotions ? And how can they be measured ?* *Social Science Information*, vol. 44(4), pages 695–729, 2005.

[Tomkin 62] **Silvan S. Tomkins**, 1962/1963 - *Affect, imagery, consciousness*.

[TOMKINS 80] **TOMKINS, S. S.** (1980). *Affect as amplification : some modifications in theory*. In R. Plutchik & H. Kellerman (Eds.), *Emotion, theory, research and experience : Theory of emotions* (pp. 141-165). New York : Academic Press.