



HAL
open science

Conception et réalisation d'un robot compagnon expressif basé sur un modèle calculatoire des émotions

Sébastien Saint-Aimé

► **To cite this version:**

Sébastien Saint-Aimé. Conception et réalisation d'un robot compagnon expressif basé sur un modèle calculatoire des émotions. Interface homme-machine [cs.HC]. Université Européenne de Bretagne; Université de Bretagne Sud, 2009. Français. NNT: . tel-00589294

HAL Id: tel-00589294

<https://theses.hal.science/tel-00589294>

Submitted on 28 Apr 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE / UNIVERSITÉ DE BRETAGNE SUD

UFR Sciences et Sciences de l'Ingénieur
sous le sceau de l'Université Européenne de Bretagne

Pour obtenir le grade de :
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE BRETAGNE SUD
Mention : Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication
École Doctorale SICMA

présentée par

Sébastien Saint-Aimé

Laboratoire de Recherche Informatique et ses Applications
de Vannes et Lorient

Conception et réalisation d'un robot compagnon expressif basé sur un modèle calculatoire des émotions

Thèse soutenue le 9 Juillet 2010,
devant la commission d'examen composée de :

Mr. Jacques Tisseau
Pr. LISYC -- ENIB de Brest / Président

Mr. Pascal Estrailhier
Pr. L3i -- université de La Rochelle / Rapporteur

Mr. Rachid Alami
Pr, directeur de recherche CNRS, LAAS -- CNRS Toulouse / Rapporteur

Mr. Mohamed Chetouani
Mcf. ISIR -- UPMC Paris / Examineur

Mr. Dominique Duhaut
Pr. Université de Bretagne Sud / Directeur de thèse

Mme. Brigitte Le-Pévédic
Mcf. Université de Bretagne Sud / Responsable de thèse

Résumé

Abstract

Les robots à vocation sociale ou *robotique sociale*, au départ très limités dans leur mécanique et leurs capacités intellectuelles, avaient la plupart du temps pour but la distraction et l'amusement de personnes. De nos jours, les scientifiques s'intéressent aux relations psychologiques qu'il est possible d'entretenir avec ce type de nouveau média de communication.

La Robotothérapie, qui reprend les règles de la robotique sociale, a pour but d'améliorer l'état psychologique et physiologique de personnes malades, marginalisées ou atteintes de handicaps physiques ou mentaux. Il apparaît que les robots peuvent jouer un rôle d'accompagnement et d'éveil. Il faut pour cela les doter de capacités de communications.

Le nouveau défi du domaine des robots compagnons consiste à offrir un enrichissement du comportement par leur interaction avec les humains. Quelques études existent déjà dans le domaine de la RAA : « Robot Assisted Activity » et, plus précisément, dans le domaine du RAT : Le « Robot Assisted Therapy ». Les premières expérimentations dans ce domaine de la robotique ont prouvé que les robots compagnons peuvent donner un certain confort moral et psychologique aux personnes fragiles.

Dans ce contexte, le projet MAPH (Média Actif Pour le Handicap) a pour objectif d'apporter un réconfort psychologique aux enfants fragilisés (ex. longue hospitalisation ou difficultés d'intégration sociale) à l'aide du robot compagnon. L'objectif de mon travail de recherche tend vers la réalisation d'un robot avec un contact agréable et qui sera doté de capacités d'expression corporelle, de perception et de compréhension du langage naturel de sorte qu'il puisse établir une représentation formelle de l'état émotif de son interlocuteur. Il s'agit de définir et concevoir un modèle des états émotifs du robot et de son évolution, afin que ses réactions semblent les plus naturelles possibles.

Ce manuscrit présentera les méthodes utilisées et permettant d'atteindre l'objectif fixé. Nous présenterons les définitions utilisées pour la modélisation du processus émotionnel, la réalisation du modèle de calcul des émotions permettant de générer un état émotionnel ressenti et la construction du robot compagnon expressif.

Robototherapy, which incorporates rules of social robotics, has to improve psychological and physiological state of people sick, marginalized or suffering from physical or mental disabilities. It appears that robots can be used for companionship and awakening. This requires providing them with communications capabilities.

The new challenge in the field of companion robots is to provide enrichment of behavior by their interaction with humans. Some studies already exist in the field of RAA : "Robot Assisted Activity" and specifically in the field RAT : The "Robot Assisted Therapy. The first experiments in the field of robotics have proven that robots can give some moral and psychological comfort for frail people.

In this context, MAPH (Active Media For Handicap) project has aims to provide psychological comfort to vulnerable children (eg, prolonged hospitalization or difficulties of social integration) using the robot companion. The aim of my research work tends to the realization of a robot with a pleasant contact and capacity of body language, perception and natural language understanding so that it can establish a representation of the emotional state of his interlocutor. We have to define and develop a computational model of emotional states of the robot and its evolution, so that his reactions seem more natural as possible.

This manuscript will present the methods using to achieve the objective. We present definitions used for modeling the emotional process, implementation of the computational model of emotions to generate emotional state and the construction of an expressive robot companion.



n d'ordre : 188

Université de Bretagne Sud

Centre d'Enseignement et de Recherche Y. Coppens - rue Yves Mainguy - 56000 VANNES

Tél : + 33(0)2 97 01 70 70 Fax : + 33(0)2 97 01 70 70

Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude à Dominique Duhaut, professeur des universités, et Brigitte le Pévédic, maître de conférences, pour avoir encadré et dirigé mes recherches. Je les remercie de m'avoir offert l'opportunité d'effectuer cette thèse dans les meilleures conditions, et pour la gentillesse et la disponibilité dont ils ont fait preuve à mon égard. Leurs conseils et remarques constructives m'ont permis d'améliorer grandement la qualité de mes travaux et de ce mémoire.

Je remercie également mes deux rapporteurs : Monsieur Pascal Estrailier, professeur à l'Université de la Rochelle et Monsieur Rachid Alami, directeur de recherche CNRS au LAAS à Toulouse.

Je tiens également à remercier Monsieur Jacques Tisseau, professeur à l'école nationale d'ingénieurs de Brest (ENIB) et Monsieur Mohamed Chetouani, maître de conférences à l'université Pierre et Marie Curie (UPMC) pour avoir accepté de participer à mon jury de thèse.

J'adresse également mes remerciements à Sabine Letellier pour son aide et ses excellents conseils lors des divers évaluations que j'ai pu mener. Par ailleurs, cela me permet de remercier toutes les personnes qui ont acceptées de participer à ces expérimentations et particulièrement les proviseurs, institutrices, parents et élèves de l'école maternelle Saint-Gérard (Cléguer) et l'école primaire du Sacré-Cœur (Vannes).

Un grand merci également à tous mes amis et collègues du laboratoire Valoria pour cette magnifique ambiance qu'ils font régner au sein du laboratoire.

Enfin, je tiens à remercier toute ma famille et surtout mes parents pour leur soutien constant malgré la grande distance. J'exprime également ici toute ma reconnaissance à Magali pour sa présence et sa persévérance.

Table des matières

Table des matières	iv
Table des figures	vi
Liste des tableaux	vii
Chapitre 1	
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1.1 Contexte et problématique	2
1.2 Objectifs de recherche	3
1.3 Organisation du document	4
Chapitre 2	
ÉMOTIONS HUMAINES	7
2.1 Définition et rôle des émotions	7
2.2 Théorie des émotions	10
2.2.1 Théories fondatrices	10
2.2.2 Théorie de l'évolution et des émotions de base	11
2.2.3 Théories de l'évaluation cognitive ou de <i>l'appraisal</i>	11
2.3 Modélisation des émotions	12
2.3.1 Modèle de Roseman	12
2.3.2 Modèle OCC (Ortony, Clore and Collins)	13
2.3.3 Modèle de Lazarus	15
2.3.4 Modèle de composant de Scherer	16
2.3.5 Modèles computationnels des émotions	16
2.4 Expression des émotions	21
2.4.1 Émotions à travers les expressions faciales	21
2.4.1.1 Définition des expressions faciales	21
2.4.1.2 Mesure des expressions faciales	21
2.4.1.3 Expression des émotions primaires	23
2.4.2 Émotions dans le discours	25
2.4.3 Émotions à travers la musique	26
2.5 Discussion	27
Chapitre 3	
INTERACTION SOCIALE	29
3.1 Comportement humain	29
3.2 Théorie de la personnalité	30

Table des matières

3.2.1	Théorie du trait	30
3.2.2	Théorie du type	31
3.2.2.1	Le type psychologiques	31
3.2.2.2	Les fonctions psychologiques	32
3.2.3	Les modèles psychologiques	32
3.2.3.1	Big Five	33
3.2.3.2	MBTI	33
3.2.3.3	RIASEC	34
3.3	Humeur	35
3.4	Expériences émotives	36
3.4.1	Les émotions simples	36
3.4.2	Les émotions mixtes	36
3.4.3	Les émotions repoussées	37
3.4.4	Les pseudo-émotions	37
3.5	Discussion	37
Chapitre 4		
ROBOTIQUE SOCIALE & ASSISTANCE		39
4.1	Robotique	39
4.1.1	Définition	39
4.1.2	Domaines d'utilisation	39
4.2	Robotique pour l'assistance	40
4.3	Émotions en robotique	40
4.3.1	Émotions pour l'interaction robot-humain	41
4.3.2	Émotions pour le contrôle du robot	41
4.3.3	Émotions pour l'apprentissage	42
4.4	Exemples de robots compagnons expressif	42
4.4.1	iCat	42
4.4.2	Paro	43
4.4.3	CosmoBot	44
4.4.4	Nao	45
4.4.5	Probo	46
4.4.6	Nexi	47
4.5	Discussion	48
Chapitre 5		
MAPH -- EmotiRob		49
5.1	Introduction	49

5.2	Compréhension du langage et détection des émotions	50
5.3	Interaction émotionnelle entre l'enfant et le robot	52
5.3.1	Représentation de l'état émotionnel	53
5.3.2	Expression des émotions	55
5.4	Interaction cognitive entre l'enfant et le robot	57
5.5	Évaluation	59
5.5.1	Les caractéristiques de l'émotion	59
5.5.2	Les paramètres mesurables	60
5.5.3	Mise en place de protocoles	60
5.6	Modèle d'émotion retenu pour EmotiRob : GRACE	61
5.7	Discussion	65
Chapitre 6		
iGrace -- MODÈLE CALCULATOIRE D'ÉMOTIONS		67
6.1	Construction Robotique d'EmI	67
6.1.1	Architecture mécanique	68
6.1.2	Architecture informatique	74
6.2	Modèle calculatoire des émotions -- iGrace	75
6.3	« Entrée »	76
6.4	« Interaction émotionnelle »	77
6.4.1	Module « Modérateur »	78
6.4.2	Module « Sélecteur d'expériences émotives »	80
6.4.3	Module « Générateur d'expériences émotives »	82
6.4.4	Module « Comportement »	82
6.5	« Expression des émotions »	83
6.6	Limites et perspectives	85
6.7	Discussion	86
Chapitre 7		
EXPÉRIMENTATIONS		87
7.1	Évaluation du modèle calculatoire émotionnel statique iGrace	87
7.1.1	Interface de simulation	88
7.1.2	Protocole	89
7.1.3	Grille d'évaluation	89
7.1.4	Résultats et discussion	90
7.2	Évaluation du modèle calculatoire émotionnel dynamique iGrace	91
7.2.1	Protocole	92

Table des matières

7.2.2	Grille d'évaluation	94
7.2.3	Résultats et discussion	94
7.3	Évaluation de la version 2 du robot EmI	96
7.3.1	Protocole	97
7.3.2	Grille d'évaluation	99
7.3.3	Résultats et discussion	99
7.4	Évaluation de la version 3 du robot EmI	101
7.4.1	Protocole	101
7.4.2	Grille d'évaluation	102
7.4.3	Résultats et discussion	103
CONCLUSION & PERSPECTIVES		107
Bibliographie		109
Représentation des données		119
.1	Données du discours	119
.1.1	Relation entre actions et émotions	119
.1.2	Relation entre concepts et émotions	121
.1.3	Paramètres du langage	124
.2	Gestion des émotions	124
.2.1	Relation entre expériences émotives et émotions	124
.2.2	Relation entre personnalité et émotions	127
.3	Expression des émotions	128
.3.1	Expressions faciale	128
.3.1.1	Réaction au discours	129
Expérimentations		133
.4	Évaluation du modèle calculatoire émotionnel iGrace en simulation statique	133
.5	Évaluation de la version 2 du robot EmI	134
.5.1	Grille d'évaluation	134
.5.2	Histoire de Bouba	135

Table des figures

2.1	Structure du système d'émotion de Roseman [104]	13
2.2	Typologie de la théorie d'Ortony et al. (OCC)	14
2.3	Model Coping selon Lazarus	15
2.4	Architecture de FLAME	17
2.5	Architecture de ParleE	17
2.6	Architecture de Kismet	18
2.7	Architecture de EMA	19
2.8	Architecture de GALAAD	19
2.9	Architecture de Greta	20
2.10	exemples de visage pour l'unité d'action 4 de FACS (Brow lowered)	22
2.11	exemple des expressions faciales	24
2.12	Approche pseudo-phonétique pour la reconnaissance automatique des émotions	26
2.13	Association de notes de piano à des émotions primaires	27
3.1	Les types psychologiques selon C. G. Jung	32
3.2	Dimensions du MBTI	34
3.3	Type d'intérêt du RIASEC	34
4.1	Quelques expressions du robot Leonardo	41
4.2	Quelques expressions du robot iCat	43
4.3	Exemple d'interaction avec iCat	43
4.4	Utilisation de Paro dans un centre hospitalier	43
4.5	Utilisation de Paro dans une maison de retraite	43
4.6	CosmoBot et son ami Kevin	44
4.7	Exemples d'utilisation de Nao	45
4.8	Architecture du robot Probo	46
4.9	Architecture et expressions du robot Nexi	47
5.1	Synoptique général du projet MAPH	50
5.2	Patterns d'expressions faciales pour EmI	56
5.3	Architecture de GRACE	62
6.1	Exemple d'expressions faciales résultants des expérimentations	68
6.2	Mouvements du visage résultants des expérimentations	69
6.3	Mouvements du visage résultants de la première conception	70
6.4	Réalisation de la première version d'EmI	71
6.5	EmI sous ses trois versions	71

Table des figures

6.6	Réalisation de la troisième version d'EmI	72
6.7	Exemples d'expressions faciales de la version 2 d'EmI	73
6.8	Exemples d'expressions faciales de la version 3 d'EmI	73
6.9	Architecture informatique des versions 1 et 2 d'EmI	74
6.10	Architecture informatique de la version 3 d'EmI	75
6.11	Modèle calculatoire émotionnel iGrace	76
6.12	Traitement de l'évènement perçu du module de compréhension en 6 étapes	77
6.13	Fusion des listes L_{mod} , L_{sel} et L_{etat} en L_{gen}	83
6.14	Avatar ArtE	84
7.1	Interface de simulation statique du modèle calculatoire iGrace	88
7.2	Résultats de l'évaluation du modèle calculatoire iGrace en simulation statique	91
7.3	Site Web de simulation statique du modèle calculatoire iGrace	92
7.4	Formulaire de saisie du discours	93
7.5	Résultats de l'évaluation du modèle calculatoire iGrace en simulation dynamique	95
7.6	Taux de satisfaction sur la vitesse d'expression de l'état émotionnel	96
7.7	Expérimentation de la version 2 d'EmI avec les élèves de Cléguer	97
7.8	Taux de reconnaissance des émotions exprimées par EmI	99
7.9	Taux de satisfaction sur l'aspect physique d'EmI	100
7.10	Expérimentation de la version 3 d'EmI avec deux enfants	101
7.11	Taux de reconnaissance global des émotions	103
7.12	Comparaison du taux de reconnaissance entre l'acteur et l'observateur	104
7.13	Autres résultats obtenus pour l'expérimentation	105
14	Liste des expériences émotives selon Larivey [74]	131
15	Grille d'évaluation en simulation statique	133
16	Grille d'évaluation de la version 2 et 3 d'EmI	134
17	Fiche d'aide à la reconnaissance des émotions	135

Liste des tableaux

2.1	Définitions des émotions	8
5.1	Définitions des coefficients du vecteur d'émotion.	55
5.2	Extrait d'association entre les émotions et les expériences émotives.	56
5.3	Comparaison des modèles computationnel d'émotions	65
6.1	Extrait du vecteur d'émotions pour les mots (action ou concept).	80
6.2	Extrait d'association entre les émotions et les expériences émotives.	81
7.1	Phrases de l'évaluation et représentations en <i>actions</i> et <i>concepts</i>	89
7.2	Tableau de comparaison des émotions reconnues pour une émotion exprimée.	90
7.3	Tableau de comparaison des émotions reconnues pour une émotion exprimée.	95
7.4	Phrases extraites de l'histoire de Bouba pour lesquelles EmI avait une réaction	98
7.5	Tableau de comparaison des émotions reconnues pour une émotion exprimée. Élèves de CP--CE1	100
7.6	Tableau de comparaison des émotions reconnues pour une émotion exprimée. Élèves de maternelle	100
7.7	Phrases pour lesquelles EmI avait une réaction	102
7.8	Tableau de comparaison des émotions reconnues pour une émotion exprimée.	104

1

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis de nombreuses années, les systèmes interactifs ont cherché à reproduire les bases de la communication humaine. Mais qui dit communication dit compréhension et réaction. Permettre à une machine de comprendre son interlocuteur et de réagir par rapport à celui-ci a toujours été un grand défi dans le domaine de l'interaction. Et c'est pour cet intérêt commun que se réunissent, différentes communautés scientifiques telles que :

- Le traitement du signal : aussi bien audio, utilisé par le traitement automatique des langues, que vidéo permettant le suivi et la reconnaissance visuelle d'objets, de personnes, d'expressions faciales et autres.
- Le traitement automatique des langues : permettant d'obtenir le discours de l'interlocuteur et son contexte.
- L'intelligence artificielle : permettant l'apprentissage des systèmes, les prises de décision et la planification.
- La robotique : pour la mécanique robotique tant dans l'expressivité, que la fluidité du mouvement.
- L'interaction homme-machine : pour la réalisation de méthodes d'interaction des systèmes.

La robotique, habituellement utilisée pour la construction de produits, le déplacement et la transformation d'objets, se concentre sur les systèmes coopératifs permettant d'exécuter des tâches complexes avec des humains. Ces systèmes doivent aussi offrir un enrichissement du comportement par leur interaction avec les humains.

Les robots à vocation sociale ou *robotique sociale*, au départ très limités dans leur mécanique et leurs capacités intellectuelles, avaient la plupart du temps pour but la distraction et l'amusement de personnes. De nos jours, les scientifiques s'intéressent aux relations psychologiques qu'il est possible d'entretenir avec ce type de nouveau média de communication.

La Robotothérapie, qui reprend les règles de la robotique sociale, a pour but d'améliorer l'état psychologique et physiologique de personnes malades, marginalisées ou atteintes de handicaps physiques ou mentaux. Il apparaît que les robots peuvent jouer un rôle d'accompagnement et d'éveil. Il faut pour cela les doter d'un maximum de capacités de communication.

Il semble que la capacité d'exprimer, de simuler et d'identifier des émotions, des intentions ou des attitudes, est fondamentale dans la communication humaine. Les travaux de recherche en psychologie ont démontré que les expressions faciales jouent un rôle essentiel dans la coordination de la conversation humaine et constitue une modalité essentielle de la communication humaine.

En outre, les émotions jouent un rôle clé dans tous processus d'apprentissage en agissant sur la capacité de mémorisation de l'apprenant, sur sa rétention de l'information et sur son attention. Lors de l'acquisition des connaissances, les émotions agissent à différents niveaux sur l'esprit humain et sont intimement liées à la cognition.

1.1 Contexte et problématique

Les premières utilisations de la robotique dans le milieu du handicap avaient pour objectif l'assistance des personnes avec un handicap physique (ex. bras manipulateur) et l'assistance au personnel médical pour réaliser des tâches précises et complexes (ex. chirurgie robotique). Avec l'évolution de la technologie, le milieu du handicap applique une nouvelle utilisation de celle-ci, notamment comme médiateur ou compagnon pour l'insertion sociale et l'apprentissage ou l'éveil cognitif. Même si les adultes sont encore réticents à cette nouvelle utilisation, les résultats sont très encourageants avec des enfants. Et dans certaines cultures, comme le Japon, cette même utilisation avec des personnes âgées l'est tout autant.

Mais le robot a une autre application dans ce type de milieu. Il n'est pas rare de voir des enfants ou adultes recherchant de la compagnie durant de longs séjours hospitaliers, car les parents et les proches ne peuvent pas être constamment disponibles. Une alternative à cette solitude est l'utilisation d'animaux de compagnie durant ces séjours. Mais cette idée n'est pas systématique applicable, pour cause d'hygiène et par manque de temps pour prendre soin de ces animaux. Il est donc nécessaire de trouver une alternative.

Et c'est dans ce contexte qu'intervient l'utilisation du robot compagnon. Les premiers compagnons robotisés, souvent avec une aspect métallique ou plastique, avaient pour objectif d'interagir oralement avec un interlocuteur. Mais les difficultés rencontrées avec les systèmes de compréhension du discours n'ont pas permis d'aboutir à des systèmes stables. De plus l'aspect visuel de ceux-ci, souvent assimilé à un automate, n'encourageait pas au discours.

Les recherches qui ont suivi, ont à ce moment essayé de copier l'animal domestique de tous les jours. Cela permettait donc de substituer les systèmes de dialogue complexes par des systèmes copiant le comportement de l'animal qu'il devait représenter. Il en est essentiellement ressorti deux critiques majeures :

- La copie comportementale de l'animal que l'on souhaite représenter est souvent bien éloignée de la réalité.
- Le robot compagnon, même avec des mouvements et des gestes assez riches, reste très peu expressif.

La première problématique a vite été contournée par la communauté scientifique. Si on connaît parfaitement le comportement d'un animal fréquemment utilisé pour la compagnie tels que le chat ou le chien, il n'en est pas de même pour certains animaux. Et c'est avec son robot phoque : Paro, que T. Shibata a fait les premières expérimentations dans le domaine, donnant lieu à des résultats prometteurs.

Si une alternative a été trouvée pour le problème de copie, il n'en est pas encore de même pour l'expressivité. De nombreux travaux de recherche traitent cette nouvelle thématique qu'est l'interaction émotionnelle en robotique. Cependant, la majorité des travaux actuels visent à maximiser l'expressivité, favorisant l'augmentation des degrés de libertés. La complexité des

systèmes et du matériel utilisé engendre une augmentation du poids et de la consommation du robot, dédiant ceux-ci à une utilisation en condition de laboratoire. Il est donc évident que ce type d'outils est à proscrire pour toute utilisation en cas réel avec des enfants souffrants de handicaps lourds.

1.2 Objectifs de recherche

Le nouveau défi du domaine des robots compagnons consiste à offrir un enrichissement du comportement par leur interaction avec les humains. Quelques études existent déjà dans le domaine de la RAA : « Robot Assisted Activity » et, plus précisément, dans le domaine du RAT : Le « Robot Assisted Therapy ». Les premières expérimentations dans ce domaine de la robotique ont été effectuées avec des personnes âgées, dans une maison de retraite, et Paro¹, réalisé par T. Shibata (AIST, le Japon). Ces expérimentations ont clairement prouvé que les robots compagnons peuvent donner un certain confort moral et psychologique aux personnes fragiles.

Dans ce contexte, une expérimentation a été menée à l'aide de robots Paro, prêtés par T. Shibata, pour vérifier si la réaction/interaction avec les robots dépendait du contexte culturel. Les français sont en général plus distants envers les robots que les japonais. L'expérience a eu lieu dans deux endroits différents :

- Kerpape², où Paro a été employé par des thérapeutes avec des enfants handicapés (6 à 12 ans). Certains étaient dans des chaises roulantes.
- IEA3³, où Paro a été employé avec des adolescents (12 à 14 ans) autistes.

Ces expériences nous ont montré deux principales directions vers lesquelles il serait intéressant de travailler. La première concerne les problèmes mécaniques : le robot doit être très léger, facile à prendre et à manipuler, plus facile que Paro ; d'ailleurs, il doit avoir plus d'autonomie de batterie. La seconde concerne l'interaction homme-machine : le confort psychologique que le robot peut fournir est relatif au lien émotionnel entre le robot et l'enfant. Il semble évident que ce lien peut être considérablement renforcé si le robot compagnon est doté d'un minimum de capacités de compréhension des mots humains et s'il peut exprimer des émotions en retour. Il est ainsi recommandé de réconcilier les contraintes du robot léger et autonome aux capacités de compréhension et d'expression.

Ainsi notre objectif tend vers la réalisation d'un robot qui reprends certaines qualités fondamentales de Paro (un robot avec un contact agréable) et qui sera doté de capacités d'expression corporelle, de perception et de compréhension du langage naturel de sorte qu'il puisse établir une représentation formelle de l'état émotif de son interlocuteur. Il s'agit de définir et concevoir un modèle des états émotifs du robot et de son évolution, afin que ses réactions semblent les plus naturelles possibles.

1. <http://paro.jp>

2. Centre Mutualiste de Rééducation et de Réadaptation Fonctionnelles de Kerpape, BP 78, 56275 Ploemeur Cedex, France. <http://www.kerpape.mutualite56.fr>

3. Centre IEA : Institut d'Éducation Adaptée, Le Bondon, Association Renouveau, Vannes. 26-32 rue Georges Caldray, BP 278, 56007 Vannes. +33297405740

Après une étude des avancées de la recherche sur la perception et la synthèse émotionnelle, il s'est avéré important de déterminer la façon la plus appropriée d'exprimer les émotions afin d'avoir un taux de reconnaissance acceptable pour nos travaux. Suite à une expérimentation sur ce sujet, nous avons pu déterminer les degrés de libertés nécessaires et minimums au robot afin d'exprimer les 6 émotions primaires. La seconde étape fût la définition et la description de notre modèle calculatoire émotionnel iGrace. Les expérimentations réalisées permettent de valider les hypothèses du modèle qui sera intégré sur EmI - Emotional Model of Interaction. Les futures étapes du projet permettront d'évaluer le robot, tant dans son expression que dans l'apport de réconfort aux enfants.

Cette contribution s'intègre dans le cadre du projet ANR EmotiRob (voir chapitre 5), qui a pour objectif la conception d'un robot compagnon autonome en peluche réagissant au discours de son utilisateur/interlocuteur et doté de capacité d'expression émotionnelle.

1.3 Organisation du document

Le chapitre 2 est un état de l'art sur la psychologie émotionnelle. Il présente un ensemble de définitions des émotions (issues de la psychologie, philosophie et neurologie) et le rôle de celles-ci pour l'Homme. Elles sont la base des théories utilisées pour la modélisation du processus émotionnel. Chacune de ces théories propose un processus ou système de fonctionnement et de gestion des émotions pour un individu, décrivant les éléments qui le caractérisent, qui l'influencent ou qu'il influence. Ces modèles que nous présentons comme modèles théoriques des émotions sont la base des modèles computationnels utilisés dans les systèmes interactifs. Ceux-ci essaient de prendre en compte tous les paramètres qui caractérisent le processus émotionnel afin de réagir à un événement donné. Nous terminerons ce chapitre par une présentation des méthodes de détection et d'expression des émotions à travers les expressions faciales et le son. Nous concluons que la notion d'émotion n'est pas unanime et apparaît comme polysémique. Il est difficile de donner une définition claire et univoque de celle-ci. Il nous faut définir les caractéristiques nécessaires à la modélisation du processus émotionnel en définissant ce qu'est une émotion, comment la modéliser et comment l'exprimer.

Le chapitre 3 présente les composantes qui influencent notre comportement et notre interaction. Nous expliquerons comment l'humeur et la personnalité influent sur notre comportement. Nous présenterons les différents outils existants permettant de définir nos types ou nos traits de personnalité. Comme pour les émotions, nous concluons qu'il n'existe pas de modèle unanime et implémentable permettant à l'humeur et la personnalité d'agir sur notre réaction. Il nous faut donc déterminer la méthode d'influence de ces états internes sur l'état émotionnel pour un événement.

Le chapitre 4 est un état de l'art sur la robotique. Il présente une définition de celle-ci, ses domaines d'application et l'utilisation de l'émotion pour l'interaction, le contrôle et l'apprentissage. Quelques exemples de robots expressifs seront décrits ainsi que les expérimentations réalisées. Nous concluons en positionnant le travail de recherche effectué et en comparant notre objectif aux robots présentés.

Le chapitre 5 présente les projets MAPH et EmotiRob. Il décrit le contexte de l'étude et l'application des thématiques de recherche scientifique que sont la compréhension du discours,

l'expression des émotions et l'évaluation de l'interaction. Puis, nous présenterons les définitions permettant de caractériser le processus émotionnel, ainsi que le modèle générique émotionnel retenu pour le projet : GRACE. Ce modèle applique les théories présentées dans le chapitre 2 permettant de définir le processus émotionnel.

Le chapitre 6 présente le modèle calculatoire d'émotions iGrace, instance du modèle GRACE. Il permet de générer un état émotionnel en fonction du discours de l'interlocuteur. Le traitement des informations permet de construire des listes d'expériences émotives ressenties à partir de son état cognitif interne, son état émotionnel pour le discours et l'état émotionnel de l'interlocuteur. Puis, nous présenterons la plateforme robotique EmI que nous avons réalisée. C'est un ourson en peluche capable d'exprimer la joie, la peur, la colère, la tristesse, le dégoût et la surprise avec six degrés de liberté. Les deux premières versions construites ont montré les limites de la conception mécanique. Ces erreurs ont été corrigées avec la troisième version d'EmI, actuellement en cours d'évaluation.

Le chapitre 7 présente les expérimentations réalisées dans le cadre du projet. La première expérimentation avait pour objectif d'évaluer l'état émotionnel généré par le modèle calculatoire iGrace et la reconnaissance des émotions en simulation statique. Les bons résultats obtenus pour le projet ont permis de valider partiellement nos choix de conceptions et d'intégrer la dynamique du mouvement. La deuxième expérimentation a permis d'évaluer la réaction émotionnelle générée par iGrace et la reconnaissance de l'émotion exprimée en simulation dynamique. Les résultats concluant permettent d'intégrer la dynamique sur EmI. La troisième expérimentation a permis d'évaluer l'expressivité d'EmI et son aspect physique en statique. Les résultats obtenus ont montré de gros problèmes liés à la conception nécessitant la réalisation d'une nouvelle architecture. Celle-ci a également été expérimentée lors d'une quatrième évaluation et a permis de valider les nouveaux choix de conception. La prochaine expérimentation intégrera la dynamique du mouvement.

Nous terminerons ce mémoire par la conclusion et les perspectives du travail réalisé.

2

ÉMOTIONS HUMAINES

La première partie de mes travaux vise à modéliser une interaction émotionnelle avec un interlocuteur. Il s'agit de déterminer les caractéristiques nécessaires à la modélisation du processus émotionnel en définissant ce qu'est une émotion, son rôle, comment elle est modélisée et comment l'exprimer. Ce chapitre présente un état de l'art sur les émotions en abordant les différentes notions et théories sur lesquelles nos travaux se basent.

La section 2.1 présente un ensemble de définitions des émotions (issues de la psychologie, philosophie et neurologie) et le rôle de celles-ci pour l'Homme. Il en ressort que la notion d'émotion n'est pas unanime et apparaît comme polysémique. Il est difficile de donner une définition claire et univoque de l'émotion. Cependant, les psychologues et philosophes s'accordent à dire que l'émotion est en rapport avec nos décisions et nos actions. Elles agissent sur nos comportements, nos choix et nos perceptions. Elles rendent la communication plus efficace et lui donnent un haut niveau d'impact.

Les sections 2.2 et 2.3 présentent les théories utilisées pour la modélisation du processus émotionnel. Chacune de ces théories propose un processus ou système de fonctionnement et de gestion des émotions pour un individu, décrivant les éléments qui le caractérisent, qui l'influencent ou qu'il influence. Ces modèles que nous présentons comme modèles théoriques des émotions sont la base des modèles computationnels utilisés dans les systèmes interactifs. Ceux-ci essaient de prendre en compte tous les paramètres qui caractérisent le processus émotionnel afin de réagir à un événement donné. Nous en concluons que comme pour la définition des émotions, il n'existe pas de consensus pour la modélisation des émotions et que pour atteindre notre objectif un choix entre les différents modèles existants s'impose.

La section 2.4 décrit les différentes méthodes d'expression et de détection des émotions. Nous présenterons le codage permettant de mesurer et d'exprimer les émotions à l'aide d'expressions faciales. Ces méthodes sont caractérisées par des Unités d'Action (Actions Units -- AU) qui représentent le nombre minimum de muscles du visage nécessaires à l'expression d'une émotion. Nous discuterons également des méthodes d'expressions et de détection des émotions à travers le son, que ce soit pour un discours que pour de la musique.

2.1 Définition et rôle des émotions

Depuis de nombreuses années, l'émotion humaine est la source de recherches scientifiques aussi bien sur sa définition que sa composition. A l'origine, l'émotion est une notion de l'esprit, et est donc analysée et étudiée par les psychologues, philosophes et physiologistes. Au

cours du temps, les recherches ont prouvé que les activités humaines étaient influencées par l'état émotionnel. Cette théorie donne lieu à l'intégration de la notion d'émotion dans diverses activités telles que la communication, la négociation, l'apprentissage, etc. Et c'est naturellement que la recherche en informatique vise à intégrer l'aspect émotionnel dans ses applications pour une meilleure interaction homme-machine. Cette section présente sous forme de tableau 2.1 quelques définitions des émotions sur lesquelles se basent les travaux de recherche actuels.

Table 2.1 – Définitions des émotions

Auteur	Définition
D. Westen [132]	L'émotion est une réponse d'évaluation (un sentiment positif ou négatif) qui se caractérise par une combinaison d'activation physiologique, d'expérience subjective et d'expression comportementale ou émotionnelle.
D.T. Stuss et al. [125]	L'émotion est un terme large qui normalement a plusieurs connotations cognitives qui affecte l'humeur et qui inclut l'expérience tout en ayant conscience de la perception de la sensation interne.
A.R. Damasio [30]	C'est la combinaison d'un processus mental évaluatif simple ou complexe, avec des réponses dispositionnelles à ce processus pour la plupart vers le corps, ce qui produit comme résultat un état corporel émotionnel, mais aussi vers le cerveau même (noyau neurotransmetteur du tronc cérébral) ce qui produit comme résultat des changements mentaux supplémentaires....
G. Mandler [84]	L'émotion est un événement conscient créé par la combinaison d'évaluations cognitives (bon, mauvais, plaisant, déplaisant, nocif, désirable, etc.) et de l'activation physiologique.
J. Chalifour [26]	C'est un état fonctionnel de l'organisme qui implique une activation physiologique (réactions neuroendocriniennes) un comportement expressif (réactions neuromusculaires, posturales et faciales) et une expérience subjective (le sentiment).
C. Hagger [59]	Les émotions sont les réactions causées par un stimulus évocateur. Ces réactions sont expressives, comme par exemple le sourire dans l'expression de la joie. Elles sont cognitives, c'est-à-dire que l'on attribue un nom à l'émotion que l'on perçoit. Elles sont objectives, c'est-à-dire causées par des changements dans le système nerveux.
G. Kirouac [71]	On désigne habituellement par processus affectifs tous les états impliquant des sensations de plaisir/déplaisir ou encore liées à la tonalité agréable/désagréable. C'est donc dire que les émotions, les sentiments et les humeurs sont regroupés sous le vocable « états affectifs ».
D. Goleman [53]	On désigne l'émotion comme étant « à la fois un sentiment et les pensées, les états psychologiques et biologiques particuliers, ainsi que la gamme de tendance à l'action qu'elle suscite ».

Auteur	Définition
Magda Arnold [7]	Une émotion est une tendance vers un objet intuitivement jugé bon (bénéfique) ou s'éloignant d'un objet intuitivement jugé mauvais (nocif). Cette attraction ou aversion est accompagnée par un patron de changements physiologiques visant l'approche ou l'évitement. Les patrons changent en fonction des différentes émotions. (introduction ici de la notion d'appraisal ou évaluation).
Solomon [123]	Les émotions sont des jugements caractérisés par leur mode temporel et leur contenu d'évaluation ; les émotions sont aussi des choix stratégiques dirigés par le but de se protéger et d'améliorer le respect de soi-même (inspiré de la théorie de Sartre 1938 [118]).
James [63] et Lange [73]	L'émotion est une réponse causée par des changements physiologiques. « Nous nous sentons triste parce que nous pleurons, en colère parce que nous frappons quelqu'un et effrayés parce que nous tremblons ».
Greenspan [56]	L'émotion est un processus mental conscient entraînant un composant important du corps ; elle a aussi une influence importante à la pensée et à l'action de l'individu, notamment pour former des stratégies dans l'interaction sociale.
Scherer [119]	En général, l'émotion pourrait être vue comme un processus impliquant cinq composants différents, comprenant le sentiment subjectif, la cognition, l'expression physique, la tendance d'action ou désirs, et les processus neurologiques.

Comme on peut le voir dans ce tableau, la notion d'émotion ne semble pas unanime et apparaît comme polysémique. Il est difficile de donner une définition claire et univoque de l'émotion.

Rôle des émotions

Les émotions ont eu un rôle essentiel dans l'évolution de l'espèce humaine. L'exemple le plus simple est encore le sentiment de peur ressenti face au danger et qui nous impose de réagir par une action appropriée pour faire disparaître ce danger. L'émotion de peur nous préserve du danger en nous en éloignant. Ces émotions que nous appellerons émotions ordinaires sont partagées avec les animaux supérieurs (primates, grands mammifères) et sont des processus adaptatifs favorisant la survie de l'individu et de l'espèce [130].

Ce qui nous distingue des animaux, c'est que nous utilisons des émotions plus complexes (les émotions « primordiales ») pour communiquer et interagir socialement. L'expression visuelle des émotions me permet de rencontrer l'autre. Nos émotions sont immédiatement ressenties par notre interlocuteur qui nous regarde ou nous écoute. Intonations, gestes, expressions du visage, postures sont scannés et interprétés par ces cellules grises aussi efficacement que s'il s'agissait de communication verbale. La tristesse de l'un incite l'autre à adapter son comportement et à ne pas le « bousculer ». La colère fait comprendre que ce n'est pas le moment de réclamer plus d'attention, etc. L'expérience du « visage fixe » où l'on demande à une mère de regarder son bébé sans laisser transparaître la moindre émotion et où le bébé finit toujours

par pleurer, perturbé par cette figure qui n'exprime plus rien démontre l'importance prise par l'interprétation des émotions dans la communication entre les individus.

Un nouveau concept a d'ailleurs vu le jour aux états-Unis pour mesurer notre capacité à « émotionnaliser » nos relations : Daniel Goleman oppose au quotient intellectuel (QI) le quotient émotionnel (QE), testant la capacité d'un individu à comprendre les états d'âme de ses interlocuteurs et à réagir de façon appropriée. A l'heure du coaching personnel, cette intelligence émotionnelle vient à coup sûr renforcer la panoplie d'outils des futurs managers [52].

2.2 Théorie des émotions

Les sections qui suivent présentent les théories utilisées pour la modélisation du processus émotionnel. Chacune de ces théories propose un processus de fonctionnement et de gestion des émotions par un individu, décrivant les éléments qui le caractérisent, qui l'influencent ou qu'il influence, etc.

La section 2.2.1 décrit les premières théories élaborées au sujet des émotions. Elle est la base des théories émotionnelles et contient des concepts clés sur le processus émotionnel. La section 2.2.2 présente la théorie de l'évolution et des émotions de base. Cette approche se base sur des mécanismes communs entre les émotions, les définissant comme universelles pour certaines. Enfin, la section 2.2.3 décrit un courant plus récent qui regroupe de nombreux travaux, soit : les approches cognitives des émotions. Les émotions, ainsi que leurs expressions, dépendent fortement de l'évaluation que l'on fait de l'évènement perçu. Elles sont donc issues d'une réflexion et non innées comme peuvent penser les *évolutionnistes*.

2.2.1 Théories fondatrices

Strongman [124] présente les premières théories, établies entre la fin du dix-neuvième siècle et la fin des années trente par James et Lange, Cannon et Bard, Papez et Watson. Il explique que ces théories contiennent des concepts essentiels qui n'ont pas été remis en question par les théories plus modernes :

- Les émotions forment un système qui est influencé et qui influence d'autres systèmes.
- Des émotions différentes peuvent avoir des points communs, c'est-à-dire qu'elles possèdent des composantes non spécifiques.
- Il existe deux classes d'émotions : les émotions primaires ou fondamentales, et les émotions secondaires, dérivées des émotions primaires.
- Les émotions ont des niveaux d'intensité qui changent leur nature lorsque ce niveau passe un certain seuil.
- Les émotions influencent le reste du système en modifiant l'état des motivations ou l'aspect énergétique du comportement.
- Les émotions et la cognition sont intimement liées.
- Les émotions peuvent avoir une influence sur le système moteur et donc sur les expressions, faciales ou corporelles.

Malgré leurs points communs, ces théories ont un point de désaccord qui persiste encore. La théorie développée successivement par James [63] et Lange [73] postule que les réactions physiologiques suivent immédiatement la perception d'un stimulus et que les modifications au niveau cognitif proviennent de la perception subjective de ces modifications. A l'inverse, Cannon [23] et Bard [9] affirment que les modifications physiologiques se produisent en même temps que les modifications cognitives et surtout n'en sont pas la cause.

Bien qu'elles ne soient pas unanimes, ces théories fournissent des éléments pour identifier quelles caractéristiques doivent posséder des approches robotiques utilisant le concept d'émotion. La section 4.3 présente les différentes approches en robotique qui utilisent le concept d'émotion et dans quelle mesure les modèles proposés possèdent les caractéristiques présentées ci-dessus.

2.2.2 Théorie de l'évolution et des émotions de base

Le courant évolutionniste, en psychologie des émotions, tire son origine des travaux de Charles Darwin [35]. Il décrit les émotions comme innées, universelles et communicatives. Cette théorie suppose qu'il existe des mécanismes communs à toutes les émotions.

À l'époque, lors de ces déplacements pour la recherche de nourriture, l'Homme se retrouvait confronté à des phénomènes inattendus (ex. : changements climatiques, prédateurs, etc.) qui demandaient une réponse adaptée et rapide. C'est donc lors de ses déplacements que vont se développer les émotions, comme réponse à l'ensemble des situations récurrentes. Au départ volontaires, ces réactions deviendront au fil des générations innées puis réflexes.

En se basant sur cette théorie de l'évolution, Ekman poursuivi le travail entamé par Darwin et détermina dans un premier temps les émotions dites de base [45]. Elle sont au nombre de six : la peur, la joie, la colère, le dégoût, la surprise et la tristesse. Il considère que celles-ci sont universelles et complètement indépendantes de la culture de l'individu.

Par la suite, il élargira sa liste d'émotions à 15, notamment avec un plus large panel d'émotions positives [43].

2.2.3 Théories de l'évaluation cognitive ou de l'appraisal

Parmi les théories plus récentes, il est possible de distinguer un courant de pensée bien particulier : « *les approches cognitives* » ou théorie de « *l'appraisal* ». Les principaux représentants de cette école de pensée sont Bull, Simonov, Leventhal, Scherer, Schachter, Arnold et Lazarus. Ces approches sont caractérisées par le fait qu'elles considèrent que des traitements cognitifs jouent un grand rôle dans les émotions. Ainsi, les émotions dépendent fortement de notre évaluation ou de notre appréciation, interne ou externe, de la situation présente [124].

Pour Leventhal [83], les émotions sont une forme de cognition car elles fournissent de l'information sur la situation courante et que cette fonction caractérise la cognition.

Scherer présente une séquence d'évaluation des stimuli (Stimulus Evaluation Checks) qui serait à l'origine des émotions. Cette séquence est constituée de cinq étapes qui évaluent :

1. la nouveauté ou le caractère inattendu du stimulus.

2. la qualité plaisante ou déplaisante.
3. le rapport aux buts courants.
4. la possibilité de s'adapter, de réagir.
5. l'accord avec les normes sociales et le concept de soi.

Lazarus considère une émotion comme étant la combinaison d'une évaluation cognitive, d'une tendance à l'action et d'une réaction physiologique particulière. Il insiste sur le fait que ces différentes réactions sont perçues comme un seul et même phénomène. Il introduira par la suite, avec Folkman [75], la notion de « coping » ou adaptation à la théorie de l'évaluation cognitive. Cette notion désigne la façon de s'ajuster aux situations difficiles.

Frijda [50] résume la position des théories cognitive comme suit : « *Les émotions dépendent des appréciations, et les appréciations incluent les représentations de ce qui est présent et désiré.* »

Comme ces représentations sont considérées comme une forme de cognition, les émotions dépendent de la cognition. Cependant, Frijda va plus loin : il affirme que les émotions ne sont pas seulement un processus cognitif. Pour justifier cette proposition, il explique que :

- les appréciations conscientes et les attributions ne constituent pas l'essentiel de l'émotion.
- les évaluations hédoniques¹, qui ont un grand rôle dans le processus émotionnel, ne sont pas cognitives.
- les modifications de la préparation à l'action se font de manière involontaire la plupart du temps.

Pour lui, le processus à l'origine d'une émotion fait intervenir non seulement l'évaluation cognitive de la situation ainsi que les buts courants du système, mais aussi la disponibilité de ses ressources matérielles. Enfin, il considère qu'un des rôles des émotions est d'améliorer les capacités d'adaptation du système.

2.3 Modélisation des émotions

2.3.1 Modèle de Roseman

Le modèle de Roseman a été développé en se basant sur les théories de l'évaluation cognitive et sur une série de rapports d'expériences sur les émotions [102]. Ce modèle définit 5 critères d'évaluation qui, suivant leurs valeurs, permettent de représenter les états mentaux de 17 émotions distinctes :

1. indique la motivation positive ou négative du sujet pour la situation.
2. indique si la situation correspond ou non aux objectifs de l'agent.
3. indique si l'évènement est une possibilité ou une certitude
4. indique si l'évènement est perçu mérité ou pas.
5. indique la source de l'évènement parmi l'une des trois valeurs :

1. Qui se rapporte à l'hédonisme, à la recherche du plaisir. Hédonisme : Doctrine philosophique qui considère le plaisir comme un bien essentiel, but de l'existence, et qui fait de sa recherche le mobile principal de l'activité humaine ; tendance à rechercher le maximum de satisfactions.

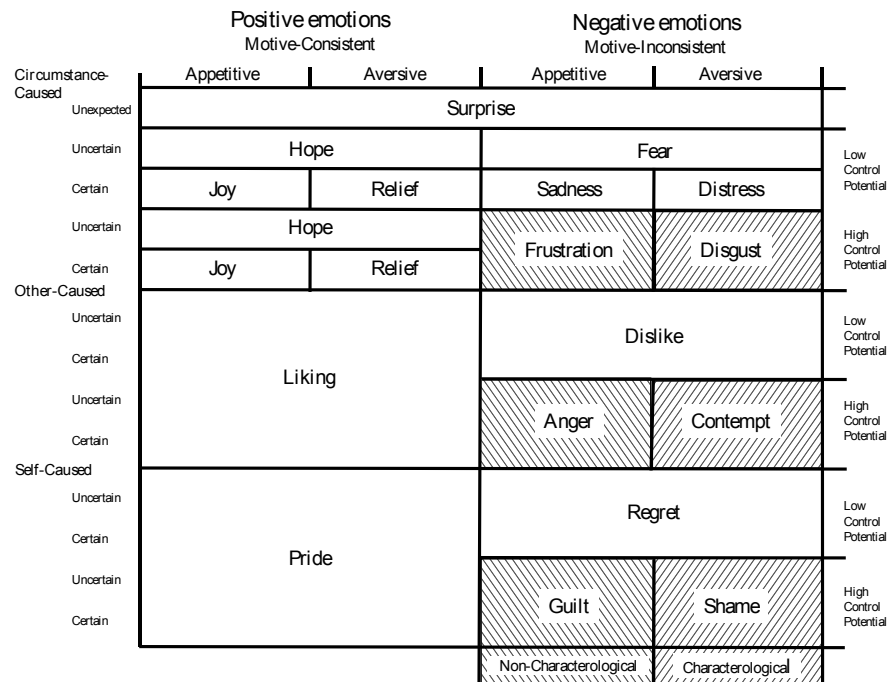


Figure 2.1 – Structure du système d'émotion de Roseman [104]

- circonstances
- autres
- soi-même

Par la suite, ce modèle (voir figure 2.1) a fait l'objet de diverses modifications [103, 104] afin de le rendre plus représentatif [99]. La simplicité du modèle permet de le traduire facilement en un ensemble de règles déterminant quels états mentaux déclenchent quelles émotions chez un agent (par exemple [20]).

2.3.2 Modèle OCC (Ortony, Clore and Collins)

Le modèle OCC [92], basé sur la théorie de l'évaluation cognitive, est le modèle de référence le plus utilisé actuellement. Développé par Ortony, Clore et Collins ou *OCC*, il visait à fournir un modèle susceptible d'être implémenté sur un ordinateur. Il peut donc être facilement exprimé dans un langage de programmation.

Les émotions étant la conséquence de certains processus cognitifs, le modèle est donc constitué de la description de ces différents processus. Ceux-ci sont regroupés autour de trois sujets :

- les événements et leurs conséquences (« *events* »)
- les actions des agents (ou intervenants) (« *agents* »)
- la perception des objets (« *objects* »)

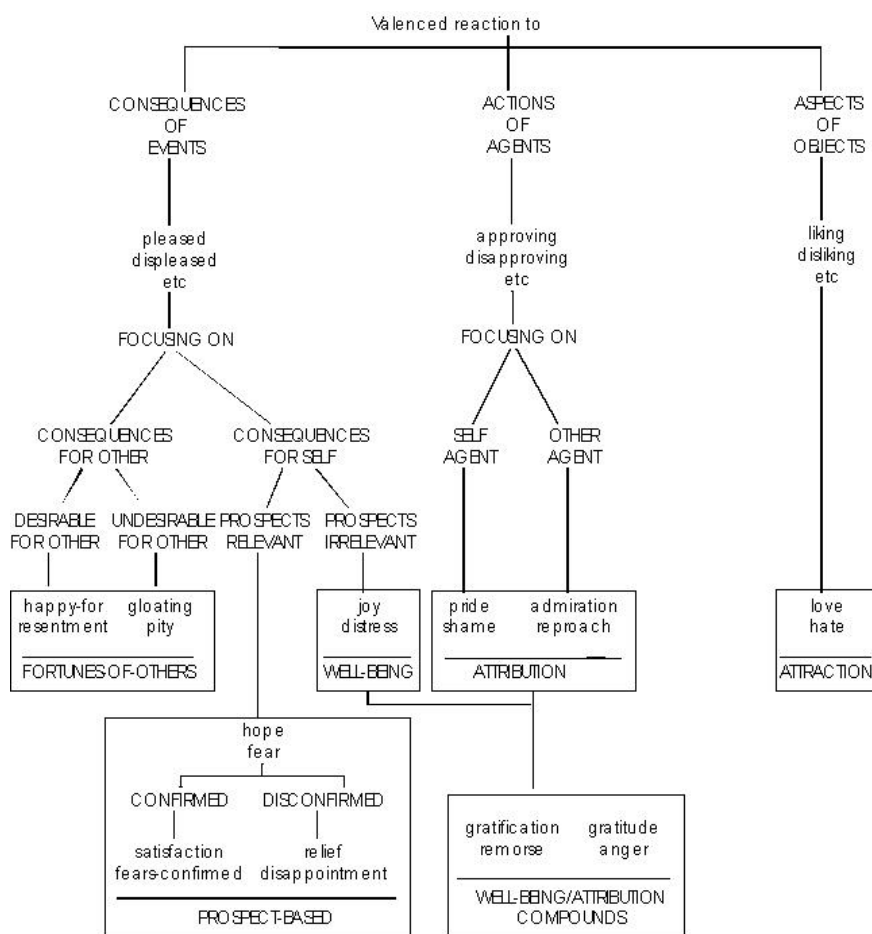


Figure 2.2 – Typologie de la théorie d'Ortony et al. (OCC)

Ces événements, agents et objets sont évalués à partir de buts (événements), normes (actions d'agents) et goûts (objets) individuels. Le modèle OCC définit ainsi trois classes d'émotions, chacune regroupant des émotions types déclenchées par le même aspect du monde.

- Émotions liées aux buts : joie, détresse, espoir, peur, soulagement, déception, etc.
- Émotions liées aux normes : fierté, honte, admiration, reproche, etc.
- Émotions liées aux goûts : amour, haine, etc.

Un critère d'évaluation (appelé variable centrale) est associé à chaque classe et permet de déterminer le type et l'intensité de l'émotion déclenchée suivant les buts, principes et préférences de l'agent. D'autres critères d'évaluation (appelés variables d'intensité) influençant l'intensité des émotions sont définis. Les auteurs spécifient dans ce modèle les états mentaux de 22 émotions types.

2.3.3 Modèle de Lazarus

« L'individu éveillé évalue en permanence sa relation à l'environnement, et ce relativement aux implications que celle-ci peut avoir pour son bien-être personnel » [77].

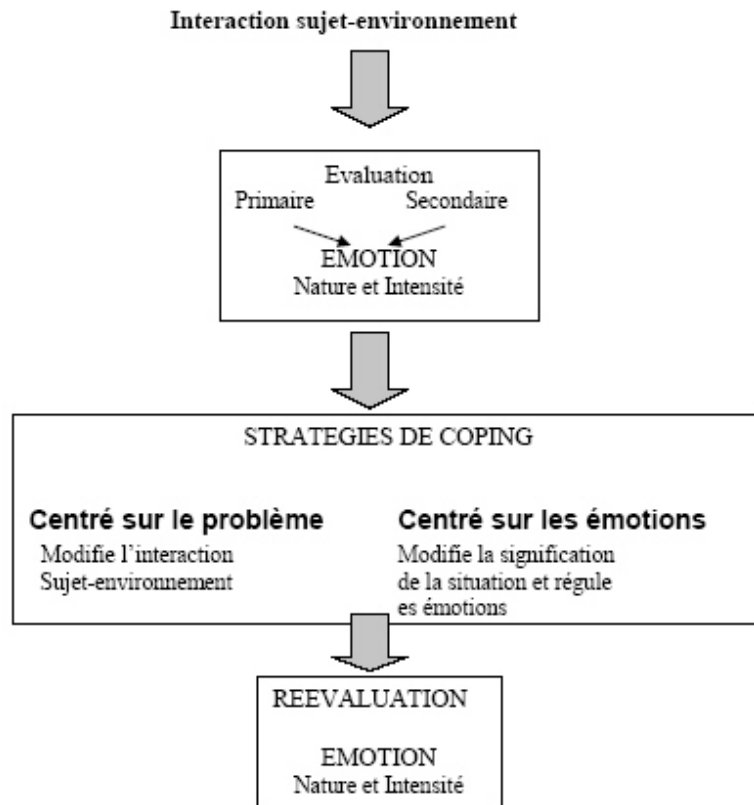


Figure 2.3 – Model Coping selon Lazarus

Selon Lazarus [76] il existe deux processus permettant à l'individu de stabiliser sa relation avec l'environnement :

1. Évaluation cognitive ou appraisal : processus adaptatif permettant de conserver ou modifier la relation entre l'agent et ses buts, et le monde et ses contraintes, de manière à maintenir l'équilibre. Il distingue deux types d'évaluation :
 - Évaluation primaire : représente la pertinence d'un événement et la congruence de l'évènement ou pas au but.
 - Évaluation secondaire : représente ce qui pourrait ou devrait être fait en réponse à l'évènement.
2. Adaptation ou concept de coping : c'est « l'ensemble des efforts cognitifs et comportementaux destinés à maîtriser, réduire ou tolérer les exigences internes ou externes qui menacent ou dépassent les ressources de l'individu » [75]. En d'autres termes, le coping est la façon de s'adapter aux situations difficiles. On note deux types de coping :

- Coping centré sur le problème : c'est l'action : on essaie de résoudre le problème ou de le nier pour en réduire l'effet.
- Coping centré sur l'émotion : c'est la réflexion : on ne nie pas les événements, mais on fait un effort afin de répondre émotionnellement au problème.

2.3.4 Modèle de composant de Scherer

Le modèle de composant proposé par Scherer [119] définit l'émotion comme une séquence de changements d'états en réponse à un stimulus externe, ou interne, par rapport à l'intérêt de l'individu. Ces changements interviennent dans cinq systèmes organiques :

- Cognitif : traitement de l'information. évaluation du stimulus par la perception, la mémoire, la prévision et l'évaluation d'informations disponibles.
- Psychophysiologique : ajustement de l'état interne.
- Motivationnel : réponse à l'évènement en préparant les actions.
- Moteur : Expression et comportement de l'individu.
- Sentiment subjectif.

Ces composants opèrent indépendamment les uns des autres durant des épisodes non-émotionnels, mais travaillent à l'unisson dans des situations d'urgences ou épisodes émotionnels.

Scherer s'est aussi focalisé sur le traitement de l'information et l'évaluation du stimulus. Durant le processus émotionnel, l'individu évalue séquentiellement l'évènement en fonction d'un ensemble de critères ou SECs (Sequential Evaluation Checks). Ces critères sont organisés autour de quatre objectifs principaux qui se subdivisent en objectifs secondaires. Les critères majeurs correspondent aux informations les plus importantes dont à besoin l'organisme :

- Nouveauté : détermine si le stimulus externe ou interne a changé.
- Agrément : détermine si l'attraction est plaisante ou pas et produit des conduites d'attirances ou de rejets appropriés.
- Rapport au but : détermine les implications et les conséquences de cet évènement. à quel point vont-elles affecter le bien-être ou les buts à court et long terme ?
- Potentiel de maîtrise : détermine si l'individu peut faire face ou pas à ces conséquences.
- Compatibilité : détermine si cet évènement est significatif par rapport aux convictions personnelles, normes et valeurs sociales.

Le résultat de cette évaluation permet de prédire le type et l'intensité de l'émotion élicite par l'évènement. Chaque émotion doit pouvoir être déterminée par une combinaison de SECs et subchecks.

2.3.5 Modèles computationnels des émotions

FLAME -- Fuzzy Logic Adaptative Model des émotions

Le modèle FLAME [48] est un modèle informatique émotionnel basé sur l'évaluation d'évènements. Il incorpore quelques composants d'apprentissage pour améliorer l'adaptation pour la modélisation des émotions. Il emploie également un composant de filtrage d'émotion, qui tient compte des états de motivation, pour résoudre des émotions contradictoires. FLAME emploie des règles de la logique floue pour faire un mapping de l'impact des événements sur des buts à des intensités émotionnelles. Le modèle contient trois composants : composant émotionnelle, composant d'apprentissage et composant de prise de décision.

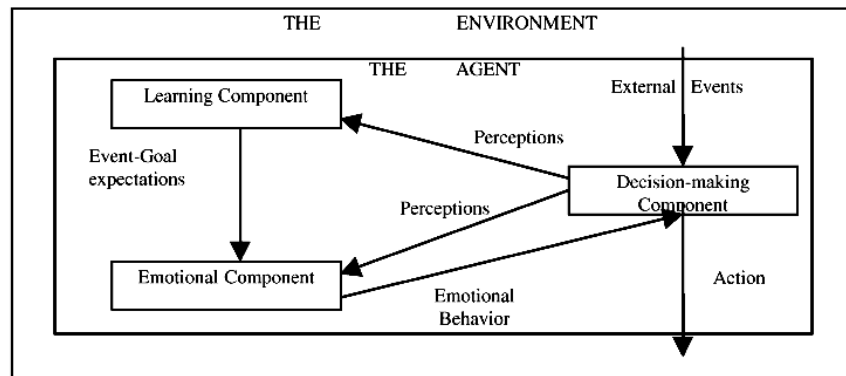


Figure 2.4 – Architecture de FLAME

ParleE -- Adaptive Plan Based Event Appraisal Model of Emotions

ParleE [21] est un modèle quantitatif, flexible et adaptatif des émotions pour un agent conversationnel dans un environnement multiagent ayant la capacité de communication multimodale. ParleE évalue des événements basés sur l'apprentissage et sur un algorithme probabiliste de planification. Il modélise également la personnalité et les états de motivation et leur rôle pour déterminer la manière dont un agent éprouve l'émotion.

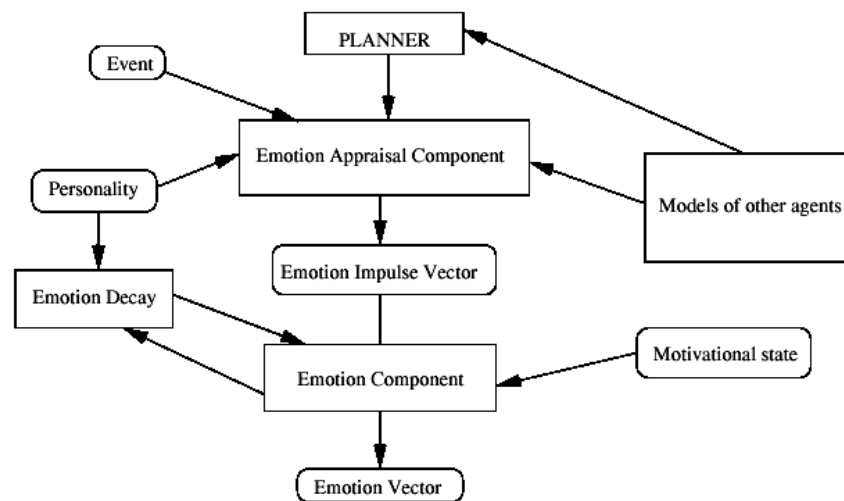


Figure 2.5 – Architecture de ParleE

La personnalité utilisée dans ce modèle est le modèle de personnalité de Rousseau [106] classifié selon les différents processus qu'un agent peut effectuer : perception, raisonnement, apprentissage, décision, action, interaction, indication, et sensation - tout en relevant de l'émotion. Cependant, le modèle manque des spécifications de l'influence exacte des émotions sur le

processus de planification. D'ailleurs, le composant les modèles des autres agents semble rendre le modèle pas aussi flexible que les auteurs ont supposé.

Kismet -- robot avec des émotions artificielles

Ce modèle tend à établir une interaction entre un robot, Kismet [15], et un humain inspirant la relation entre les parents et leur enfant dans les premières communications. Cynthia Breazeal qui a proposé ce modèle d'émotions en 2002 a situé son approche dans l'architecture basée-agent : les différents composants du système fonctionnent en parallèle et s'influencent mutuellement. Ce modèle a été expérimenté avec 5 émotions de base (colère, dégoût, peur, tristesse, joie) et trois celles additionnelles (surprise, intérêt, et excitation). Puisque ce modèle a inspiré la relation entre les parents et les enfants, la personnalité n'a pas été modélisée.

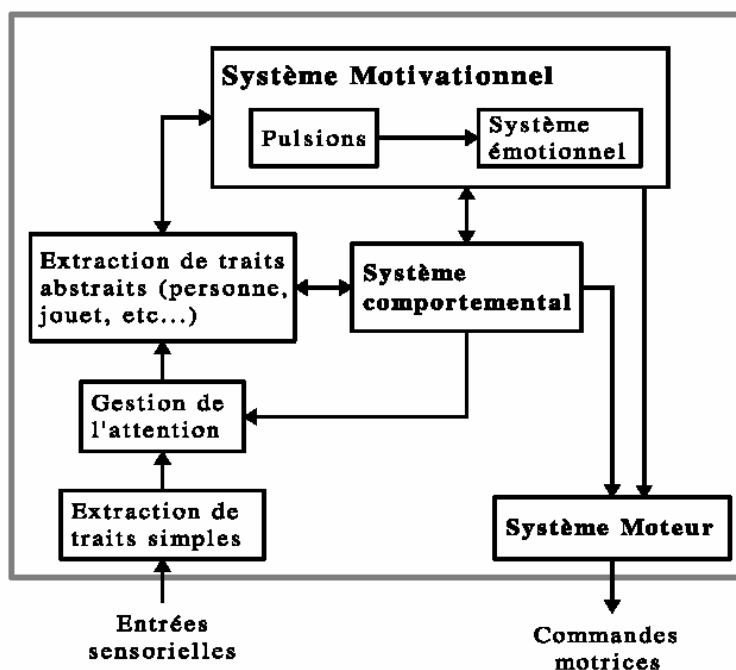


Figure 2.6 – Architecture de Kismet

EMA -- Emotion and Adaptation

Dans le modèle EMA [55], 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 évènements (passés, présents et futurs) et les états résultants de l'agent, ainsi qu'un système de planification de décisions de l'agent permettent le calcul de ces variables. Cependant, les auteurs n'ont pas modélisé la personnalité dans le modèle.

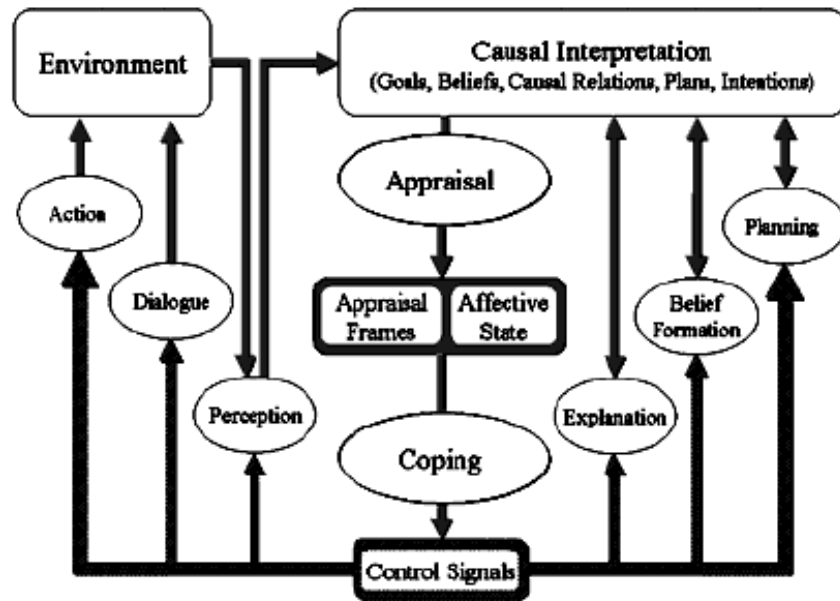


Figure 2.7 – Architecture de EMA

GALAAD -- GRAAL Affective and Logical Agent for Argumentation and Dialog

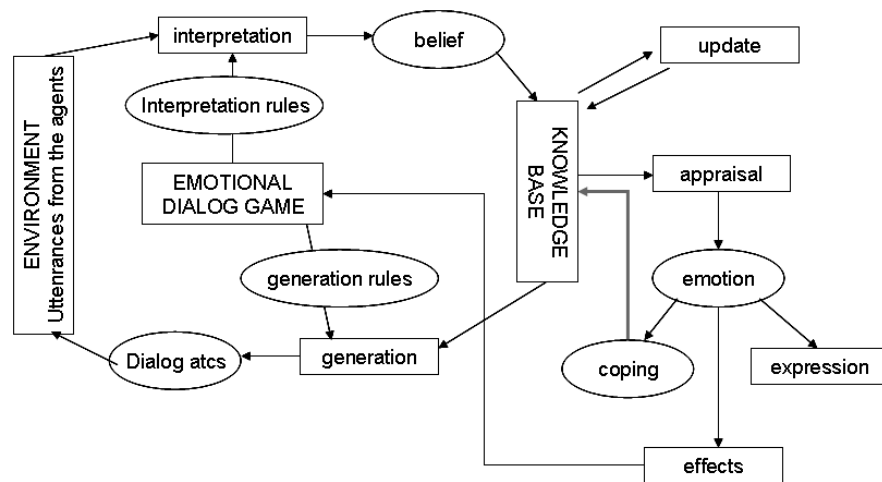


Figure 2.8 – Architecture de GALAAD

GALAAD [3] est un agent BDI (Belief Desire Intention) conversationnel émotionnel dont l'architecture est basée sur le modèle OCC. Les émotions influencent les règles du jeu de dialogue et permettent un processus d'adaptation défini par Lazarus. La stratégie de " coping " a pour but de maintenir les équilibres de l'agent en diminuant l'intensité des émotions négatives ou sensibles qui pourraient causer de mauvais effets sur son comportement. Quoi qu'il en soit, ce

modèle essaie d'intégrer une vraie évaluation et adaptation du comportement à l'architecture de l'agent conversationnel dans des jeux de dialogue, mais il ne tient pas compte de la personnalité et des états de motivation dans le raisonnement émotionnel.

Un autre modèle de Carole Adam est le modèle PLEIAD [4] qui semble être une autre version de GALAAD. Dans ce modèle, l'auteur s'est concentré sur la mise à jour de la base de connaissance de l'agent en introduisant un module de démonstration logique et de gestion de l'activation. Comme GALAAD, PLEIAD n'intègre pas de personnalité à leur agent.

Greta -- La dynamique de l'état affectif d'un agent conversationnel animé

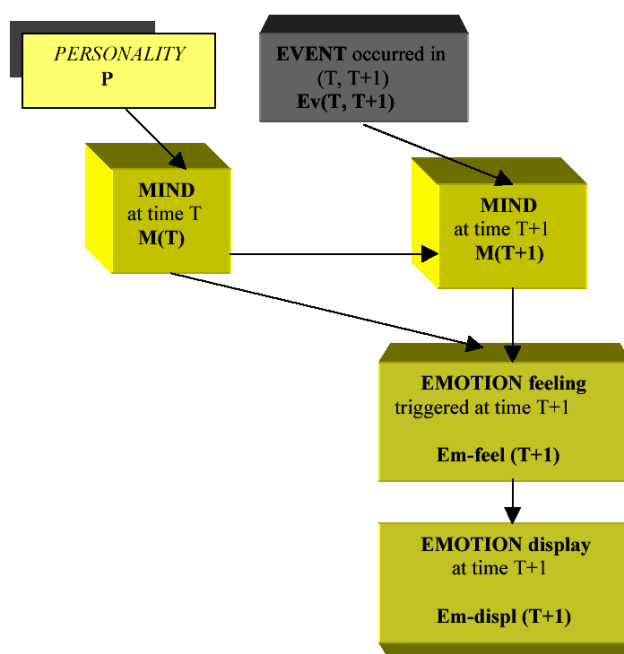


Figure 2.9 – Architecture de Greta

En visant à établir une interface homme-machine, basée sur un agent conversationnel animé, C. Pelachaud et I. Poggi ont proposé le modèle Greta [37]. Leur modèle d'agent inclut deux composants étroitement en corrélation :

- Une représentation de l'esprit d'agents avec un mécanisme dynamique pour la mise à jour.
- Une traduction de l'état cognitif de l'agent par une expression faciale qui utilise les divers canaux disponibles (direction de regard fixe, forme de sourcil, direction principale et mouvement de la tête, etc.).

Quoiqu'une mise en application de la personnalité ait été faite dans leur modèle, cette notion n'est pas décrite clairement. En outre, la relation concrète entre la personnalité et l'émotion ou les influences de l'émotion sur l'esprit de Greta ne sont pas vraiment identifiées.

2.4 Expression des émotions

2.4.1 Émotions à travers les expressions faciales

2.4.1.1 Définition des expressions faciales

Une expression faciale résulte d'un mouvement ou d'un positionnement des muscles du visage. Très fortement liés aux émotions, les expressions faciales sont utilisées pour communiquer une humeur, une attitude, une opinion, un sentiment ou toute autre forme de message [133].

Charles Darwin fut le premier à étudier les émotions chez l'homme et l'animal. Après ses études d'anthropologie animale et humaine, portant particulièrement sur l'utilisation des expressions, il conclut dans son ouvrage « *The expression of the emotion in Man and Animal* » [34] que les jeunes et personnes âgées de différentes ethnies ainsi que les animaux mammifères terrestres expriment d'une façon ou d'une autre leur état d'esprit par des mimiques ou des expressions faciales.

Après des études anthropologiques au milieu du vingtième siècle, l'usage des expressions faciales est reconnu comme universel et indépendante du milieu culturel. Paul Ekman poursuit l'expérience en concluant que six émotions : la peur, la colère, le dégoût, la tristesse, la joie et la surprise s'expriment de la même manière partout, sans qu'il n'y ait besoin d'apprentissage. Ekman pose comme hypothèse l'universalité de ces six expressions (elles deviennent les émotions primaires ou « *de base* » de sa théorie des émotions). Le langage universel des expressions faciales semble toutefois s'arrêter aux émotions primaires, toutes les compositions d'émotions plus complexes dépendent fortement du contexte ethnique et à l'intérieur même d'une ethnie, du contexte social, de la localisation, etc.

2.4.1.2 Mesure des expressions faciales

FACS

FACS [46] est un guide de mesure et de codage des expressions et comportements du visage mis au point dans sa première version par Ekman, Friesen et Hager. De par l'exhaustivité descriptive qu'il propose, il est devenu l'outil principal des psychologues, animateurs, et de tout chercheur s'intéressant aux mécanismes de productions des expressions faciales. On utilise FACS quand il s'agit de savoir exactement quels muscles sont mis en jeu dans la production d'une expression ou à l'inverse, s'il s'agit de savoir quelle expression est produite en bougeant certains muscles faciaux. L'idée de Ekman et Friesen est d'étudier les expressions faciales et de décomposer chacune des figures en unités de base, les unités d'action (AU - Actions Units). Celles-ci peuvent être liées à la contraction ou à la détente d'un muscle simple ou d'un groupe de muscles. Certains muscles du visage peuvent ainsi agir dans plusieurs unités d'action.

Une unité d'action est un mouvement simple qui peut être variable en intensité, en mélangeant plusieurs unités d'actions, d'intensités différentes, on compose l'expression d'un visage.

Le répertoire FACS compte 46 unités d'actions différentes classées par zones du visage, soit dans le visage haut, soit dans le visage bas (au dessus ou en dessous du nez). La base de données contient pour chaque unité d'actions des illustrations photographiques et vidéos, présentant en détail la variation du visage liée à l'unité d'action (figure 2.10).

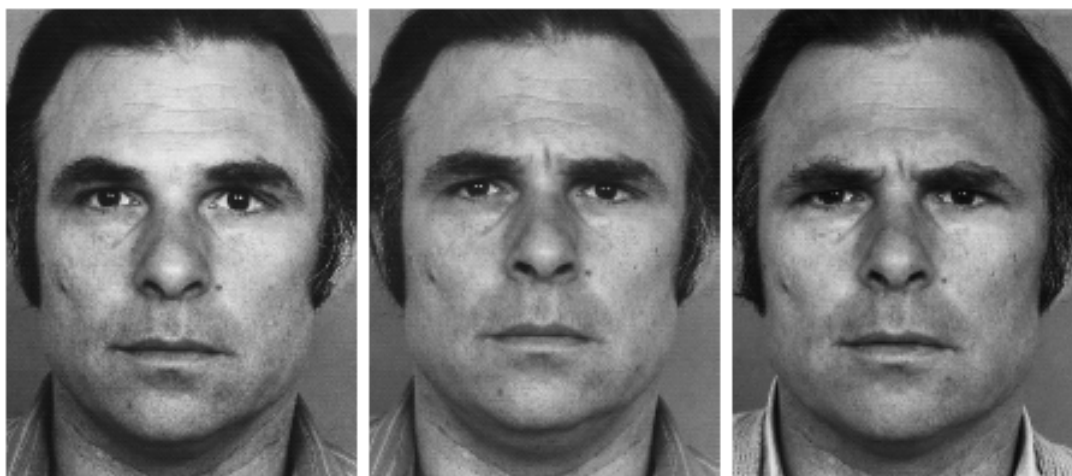


Figure 2.10 – exemples de visage pour l'unité d'action 4 de FACS (Brow lowered)

A chaque unité d'action est associé un score qui varie en fonction de l'intensité, de la durée ou encore de l'asymétrie. L'association des scores de chaque AU pour un visage produit un code d'identification unique pour l'expression de ce visage. Il est ainsi très simple d'exprimer ou de synthétiser un visage en utilisant ce système. On peut par exemple différencier un sourire forcé (type « Pan American ») et un sourire sincère (de type « Duchène ») car ils n'utilisent pas les mêmes unités d'actions.

7000 combinaisons d'unités d'actions sont répertoriées dans FACS [120]. Pour le moment, les données sont entrées à la main mais des tentatives d'enregistrements automatiques des unités d'actions FACS par vision et analyse informatique de visages voient le jour [122]. FACS ne permet pas d'associer un ensemble d'unités d'actions à l'expression d'une émotion. Le système n'est pas du tout annoté, il s'agit juste d'une description des visages sans y associer des étiquettes émotionnelles.

FACSAID

FACSAID (Facial Action Coding System Affect Interpretation Dictionary) [36] est une surcouche de FACS qui associe les expressions faciales décrites en scores FACS avec une étiquette décrivant la signification (si elle existe) psychologique de la combinaison. La base de données actuelle donne surtout des informations sur la nature émotionnelle d'un visage FACS plutôt que suivant d'autres critères psychologiques.

La base de données FACSAID consiste en une compilation des scores de visages par des experts humains. Ces experts (psychologues, chercheurs) annotent une combinaison avec son interprétation en terme de sens, de fréquence d'apparition, de représentation graphique, etc. Même si plusieurs sens peuvent être donnés à une même expression, seul le jugement de l'expert permet de décider quel devra être celui stocké dans la base. La consultation de FACSAID se fait par entrée de la combinaison de scores FACS.

EMFACS

C'est le système de codage FACS réduit à l'utilisation des unités d'actions utiles à l'expression des émotions [44]. La simplification de EMFACS par rapport à FACS permet de réduire

les temps d'analyse d'une expression en terme d'unité d'action par dix. Seules sont répertoriées les unités d'actions jouant un rôle visible dans l'expression d'une émotion. Pour les six émotions primaires, EMFACS considère en fait uniquement quatorze unités d'actions sur les quarante-six répertoriées dans FACS. Les AUs de EMFACS sont localisés par de simples points de contrôle positionnés sur le visage.

MAX

Max (Maximally Discriminative Facial Movement Coding System) [62] est un système de mesure des expressions émotive particulièrement adapté aux jeunes enfants. Max code une réponse émotionnelle chez l'enfant lors de l'apparition d'un certain nombre de primitives sur le visage. Par exemple, la peur est codée si les yeux louchent, que les sourcils sont froncés et orientés vers le bas et que la bouche est ouverte en forme de carré arrondi. Les expressions des émotions chez l'enfant n'apparaissent que progressivement vers l'âge de 4 mois et nécessitent un codage différents de FACS, les unités d'actions ne sont pas forcément les mêmes.

2.4.1.3 Expression des émotions primaires

Principal support de la communication non verbale, les expressions faciales se déclinent en d'innombrables mimiques rapportant l'état mental d'une personne. Le dénominateur commun de toutes ces expressions est l'utilisation universelle comme palette primaire des six expressions faciales liées aux six émotions primaires : la peur, le dégoût, la surprise, la joie, la colère et la tristesse. Ces expressions sont inscrites dans notre cerveau et ont été reconnues depuis de nombreuses années comme universelles et indépendantes du contexte culturel ou social.

La peur

La peur (figure 2.11(d)) se discerne principalement dans la région des yeux [47]. Ceux-ci peuvent être largement ouverts et accompagnés d'un battement rapide des paupières. La pupille se dilate. Devant une situation jugée dangereuse, le cerveau commande la surproduction d'adrénaline qui augmente le rythme cardiaque et respiratoire forçant une ouverture de la bouche et une respiration haletante. La tension musculaire générale provoque au niveau du visage un tremblement des dents et des narines. Les muscles du cou, menton et épaules qui jouaient autrefois un rôle dans la respiration ou la digestion se tendent. Arrêt de la production de salive, sensation d'assèchement de la bouche s'accompagnent d'une production de sueur au niveau du visage en réaction à l'élévation de la température corporelle.

L'expression faciale de peur apparaît chez l'enfant entre cinq et sept mois [22].

La tristesse

Les signes de la tristesse (figure 2.11(b)) sur le visage sont au niveau des yeux une semi-fermeture des paupières, un regard fuyant ou partant vers le bas, des sourcils lourds et tombants. En fonction de l'intensité, la tristesse s'accompagne de pleurs qui seraient une résurgence d'un moyen d'expression utilisé par les nouveaux-nés pour exprimer un manque (nourriture ou sommeil chez le bébé, plutôt un manque de nature affective chez l'adulte) [58]. Les mouvements des



Figure 2.11 – exemple des expressions faciales

paupières s'accompagnent d'une détente musculaire des joues, des lèvres. La bouche dessine un sourire inversé et est close. Les muscles du visage tombent en fait sous leur poids, donnant un visage tiré par le bas. Nous partageons l'expression de tristesse avec les mammifères organisés socialement. Elle se manifeste chez les animaux lors d'une séparation mère-enfant ou lors d'une défaite dans une lutte de rang [54].

Le dégoût

Les signes de dégoût(figure 2.11(f)) incluent des gargarismes et une série d'effets de bouche précédant d'une expectation. Lèvre haute courbée en « \approx », les coins des lèvres sont tournés et tirés vers le bas, saillie de la langue. Les sourcils se froncent à l'intérieur, la tête subit des secousses depuis la nuque et des tremblements de côté. Le nez, rarement actif dans les expressions est retroussé vers le haut, plissé sur le dessus, les narines sont ouvertes [35].

La joie

Le sourire est une marque de fabrique de l'expression de joie (figure 2.11(a)). Il peut s'accompagner de rires, de mouvement ineptes, d'une activité musculaire fébrile. La bouche forme un sourire qui peut laisser apparaître les dents. Les paupières sont largement ouvertes, la pupille est dilatée. Le sous-ensemble oeil joue toutefois un rôle moins important que les éléments du bas-visage, en particulier la bouche [47]. La joie est une émotion naturellement simulable, elle repose largement sur la bouche et l'utilisation des sourires, que nous apprenons tous à contrôler.

L'expression de joie apparaît chez l'enfant entre 5 et 7 mois [22].

La colère

Exprimée sur le visage, la colère (figure 2.11(c)) se caractérise par l'ouverture large de la bouche, comme pour mordre, et une tension des joues. Les yeux sont fixes, presque cachés par les sourcils, la tête suit le regard. Les sourcils jouent un rôle prédominant, ils sont froncés à l'intérieur, le repliement des sourcils entraîne la contraction de la peau du front qui forme un bourrelet au dessus du nez. La respiration est forte et complète, les narines sont grandes ouvertes. La colère se manifeste chez les mammifères lors d'une lutte ou pour exprimer sa dominance (on parle alors de mimique de colère).

L'expression de colère apparaît chez l'enfant entre 3 et 4 mois [22].

La surprise

La surprise (figure 2.11(e)) ou l'étonnement se traduit par une élévation des sourcils, les yeux sont écarquillés, la bouche ouverte en rond, laissant paraître un léger sourire si la surprise est associée à un sentiment positif. S'il s'agit d'une association négative, la surprise se transforme en effroi (émotion composée, à mi chemin entre la surprise et la peur) et en peur [34].

Il est difficile de décrire clairement les positionnements musculaires de la surprise, celle-ci se transformant inmanquablement en une autre émotion. Elle est considérée par Ekman comme une micro-expression, dont la dynamique est très importante, plus que la description statique des positions musculaires [69].

2.4.2 Émotions dans le discours

Le discours humain est un moyen de communication qui comporte de nombreuses informations. Il véhicule non seulement les messages référentiels [40] (prosodique, lexical et dialogique) mais aussi des informations sur la personnalité et l'état émotionnel du locuteur [27]. La plupart des études psychologiques de l'émotion sont basées sur des données faciales plutôt que vocales car celles-ci sont plus difficiles à acquérir. Selon Scherer [66], le problème dans l'analyse des émotions est lié à sa difficulté d'isoler les facteurs qui en sont responsables car celle-ci est dépendante de la personnalité, des attitudes et de l'état d'esprit de l'individu.

Récemment, les chercheurs réalisent de plus en plus l'importance de la parole émotionnelle et de nombreuses études sont faites, notamment dans le domaine du traitement du signal. Ces

études sont consacrées à l'analyse des émotions dans la parole et font référence à un nombre minimum d'émotions (colère, peur, tristesse, joie), voire à une opposition entre émotions négatives versus positives [11, 81] ou encore à une parole produite dans des conditions de stress ou non [49].

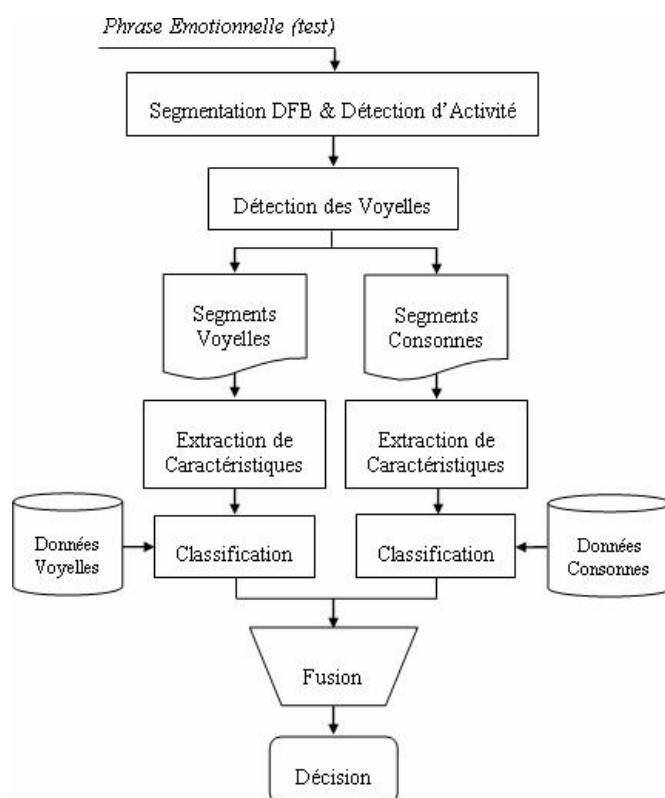


Figure 2.12 – Approche pseudo-phonétique pour la reconnaissance automatique des émotions

Dans ces travaux M. Chetouani et al. présente une approche basée voyelle pour la reconnaissance d'émotions actées [101]. Il propose un nouveau schéma d'extraction de caractéristiques basé sur une approche pseudo-phonétique (voir figure 2.12). Il s'agit d'extraire les caractéristiques selon différents segments tels que les voyelles et les consonnes. Ces segments peuvent être courts, transitoires et quasi-stationnaires. Les segments obtenus lors de cette phase sont alors qualifiés d'unités pseudo-phonétiques.

En utilisant le discours du locuteur, il nous est donc possible d'en extraire des informations sur son état émotionnel. Celles-ci permettront lors de l'analyse sémantique d'en déduire l'affect principal qui en ressort et si possible l'émotion associée au discours.

2.4.3 Émotions à travers la musique

Nous avons vu dans les sections précédentes que les expressions faciales et le discours permettaient une représentation des émotions. Cependant, ce n'est pas le seul moyen d'expression

utilisé lors d'une communication verbale ou non-verbale. Comme pour le discours humain, la musique est un moyen de communication qui comporte de nombreuses informations. Les relations entre la musique et son influence émotionnelle est un domaine très étudié. Hevner [60], étudie cette relation en menant une expérimentation où une personne devait associer un adjectif décrivant le mieux possible la musique qu'il écoutait. Les résultats ont prouvé que la musique portait une information émotionnelle.

Dans un autre contexte, Kayla Cornale [29] effectue une expérimentation avec son cousin autiste dont elle voulait se rapprocher. L'objectif était de pouvoir lui apprendre à parler, lire et exprimer des émotions à travers des mélodies jouées sur un piano. Elle identifie chaque émotion par une ou plusieurs notes de piano (voir figure 2.13). Les bons résultats obtenus ont permis de développer le système d'apprentissage interactif « *Sounds into Syllables* » .

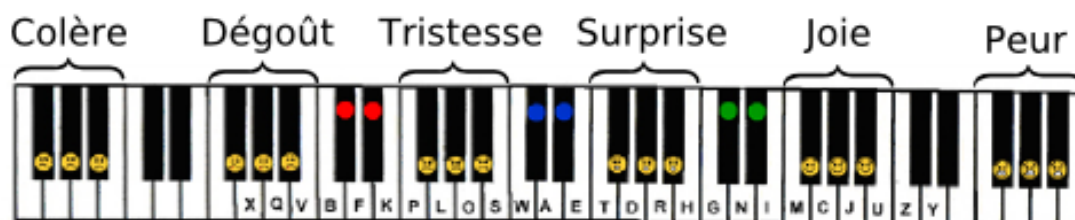


Figure 2.13 – Association de notes de piano à des émotions primaires

2.5 Discussion

Ce chapitre a présenté un état de l'art sur l'émotion humaine avec ses définitions, théories et modèles computationnels existants. Comme nous avons pu le constater, il n'existe de consensus ni pour la définition de l'émotion, ni pour la modélisation de celle-ci. Un de nos objectifs étant de modéliser une interaction émotionnelle, il s'agissait maintenant de définir les caractéristiques nécessaires à la modélisation de notre processus émotionnel. Ces différentes définitions seront présentées dans le chapitre 5.

Nous avons également présenté les méthodes les plus courantes pour exprimer les émotions. Si l'expression faciale est la plus utilisée, il convient de dire que le discours et la musique transmettent tout autant d'émotion. Notre objectif est d'appliquer ces trois modes d'expressions à notre modèle calculatoire afin de maximiser l'expressivité.

3

INTERACTION SOCIALE

Le chapitre précédent nous a présenté les différentes notions, théories et modèles permettant d'avoir une réaction émotionnelle en fonction d'un événement perçu. Cependant l'émotion n'est pas le seul paramètre à prendre en compte lors d'une interaction, l'humeur et la personnalité de l'individu ont également une influence sur le comportement humain.

La section 3.1 donne une définition du comportement humain. Les sections 3.2 et 3.3 présentent les notions d'humeur et de personnalité et expliquent leur influence sur le comportement humain. Ces notions nous permettront de déterminer les éléments qui caractérisent le comportement généré par notre modèle et les paramètres qui l'influence.

La section 3.4 donne une définition des expériences émotives. Afin d'augmenter l'expressivité du robot nous utilisons cette composante de l'émotion qui peut être liée à plusieurs émotions primaires. Sachant que l'émotion est représentée par plusieurs expressions faciales, ce système nous permet d'obtenir un ensemble de réactions plus importants qu'une simple association émotion \iff expressions faciales.

3.1 Comportement humain

Il existe plusieurs définitions du concept de « comportement » dans la littérature actuelle [13] :

- C'est un ensemble de phénomènes observables de façon externe.
- Manière d'être et d'agir des Animaux et des Hommes, manifestations objectives de leur activité globale.
- Le comportement est l'ensemble des réactions objectivement observables qu'un organisme généralement pourvu d'un système nerveux exécute en réponse aux stimulations du milieu, elles-mêmes objectivement observables.
- Le comportement est une réalité appréhendable sous la forme d'unités d'observation, les actes, dont la fréquence et les enchaînements sont susceptibles de se modifier ; il traduit en action l'image de la situation telle qu'elle est élaborée, avec ses outils propres, par l'être que l'on étudie : le comportement exprime une forme de représentation et de construction d'un monde particulier.

Le comportement peut être défini comme l'ensemble des mouvements organisés externes à l'organisme [24]. Il peut être décrit pour les humains comme l'ensemble des actions et réactions (mouvement, modification physiologique, expression verbale, etc.) d'un individu dans une situation donnée.

3.2 Théorie de la personnalité

La personnalité joue un rôle très important sur les réactions à un événement et influence notre comportement. Selon le type de personnalité auquel on appartient, il est possible de prédire, ou de définir dans notre cas, certains comportements humains. On pourra donc associer une personnalité au robot afin que son jugement et ses réactions en soient dépendants.

L'idée de personnalité [64] est encore assez complexe et il est difficile de trouver un concept unanime pour tous ceux qui en font usage. L'idée générale aboutissant des différentes visions est qu'elle représente l'ensemble des comportements qui constituent l'individu. Elle est comparée à une sorte de synthèse complexe et évolutive des données innées (gènes) et des éléments disponibles dans le milieu social et l'environnement en général. La connaissance de la personnalité permet de prévoir avec une marge d'erreur limitée le comportement de la personne dans des situations ordinaires, par exemple professionnelles. Elle est aussi l'objectif de la connaissance de soi.

Il ne faut tout de même pas oublier de distinguer tempérament, caractère et personnalité. La notion de personnalité est souvent comparée à celle de caractère. Celle-ci est la manière « les façons d'agir » et les attitudes qui sont propres à un individu et qui permettent de le distinguer des autres. Longtemps synonyme de personnalité, le terme de caractère n'est plus guère utilisé en psychologie et par les auteurs car il est associé à des connotations morales, et fait référence à un jugement de valeur souvent négatif, « mauvais caractère » « caractère de cochon ». Il faut tout de même signaler que Cloninger intègre la dimension de caractère, dans son modèle de la personnalité. Le caractère alors opposé au tempérament serait « les dimensions de la personnalité déterminées par l'apprentissage social, et l'apprentissage cognitif, et il n'est donc pas influencé par des facteurs héréditaires ». Le tempérament fait référence aux correspondances physiologiques du caractère plus directement lié à la tradition morphopsychologique antique (théorie des humeurs) ou constitutionnelle moderne.

Il existe au moins deux approches de la personnalité :

- Approche dans la psychologie sociale : Théorie du trait
- Approche dans la psychologie analytique : Théorie du type

3.2.1 Théorie du trait

Dans les théories de la psychologie sociale [39, 128] un trait de personnalité est un adjectif qui décrit un comportement, des états affectifs, mais aussi des formulations sur la valeur des individus. Pour chaque trait, des outils psychométriques peuvent être élaborés, qui permettent de situer un individu par rapport au reste de la population de référence. Cette théorie est issue de la théorie implicite de la personnalité (T.I.P.) qui considère que certains traits de la personnalité vont généralement ensemble ou non.

Les théories implicites de la personnalité [12] sont un système de représentation supposé rendre compte des conduites humaines à partir d'ensembles de traits se rapportant à l'intelligence, l'intégrité, la sociabilité, l'attractivité, la maturité, etc. Selon Rosenberg et Sedlack [105], elles se révèlent de deux façons :

- C'est la façon dont une personne décrit les autres ou se décrit elle-même dans ses conversations ou ses écrits. Exemple : *Les personnes attirantes sur le plan physique ont généralement la tête creuse*. Il apparaît que les traits physiques sont incompatibles avec les traits intellectuels. Certains vont donc bien ensemble et d'autres non.
- Elle est issue des attentes que peuvent avoir les individus sur la base d'informations incomplètes. Exemple : *Mon collègue de boulot est très ambitieux*. On s'attend donc à ce qu'il soit dynamique et non flegmatique.

Ainsi dans la théorie dite des 2D [93], les traits de personnalité sont répartis en deux groupes :

- les traits appartenant à la notion de la sociabilité (ex : sympathique, malhonnêtes).
- les traits appartenant à la notion d'évaluation des compétences (ex : compétent, dynamique).

Dans la théorie dite des 5D [86], les traits de personnalités sont regroupés en cinq groupes : l'extraversion, l'amabilité, l'application, la stabilité émotionnelle et l'ouverture à l'expérience. Ces catégories proviennent des corrélations fortes observées entre les différents traits de différents tests.

3.2.2 Théorie du type

La théorie du type issue de la psychologie analytique, élaborée par le psychiatre Carl Gustav Jung [68], définit trois grandes caractéristiques de la psyché¹ humaine :

- Introversiion / Extraversiion,
- Intuitif / Factuel,
- Intellectuel / Affectif.

La préférence d'une personne pour un des deux pôles, sur les trois axes, fondent le type psychologique.

3.2.2.1 Le type psychologiques

On peut distinguer deux grands types de personnalité, qui représentent l'orientation de l'énergie :

- L'introverti : « I »
- L'extraverti : « E »

Pour une personnalité introvertie, les processus subjectifs et psychologiques constituent le centre d'intérêt : il prend son énergie principalement de lui-même. L'attitude introvertie est une attitude de retrait. La libido s'écoule à l'intérieur. Elle se concentre sur des facteurs subjectifs. La nécessité intime est l'influence prédominante. Le sujet manque d'assurance dans son rapport aux autres et aux choses, il a tendance à être asocial et préfère la réflexion à l'action.

La personnalité extravertie est quant à elle, attirée prioritairement par l'objet : il prend son énergie principalement du monde. L'attitude extravertie se caractérise par un écoulement extérieur de la libido, un intérêt pour les événements, les êtres et les choses, une relation, une dépendance vis-à-vis d'eux. L'extraverti est sociable. Dans un milieu qu'il ne connaît pas, il

1. Psyché, en psychologie analytique : l'intégralité des manifestations conscientes de la personnalité et de l'intellect humain.

montre de l'assurance. Il est généralement en bon terme avec le monde. En cas de désaccord, au lieu de se retirer, selon la tendance du type opposé, il préfère argumenter et chercher querelle ou essayer de reconstruire selon ses propres critères.

La conséquence psychologique de ces deux attitudes se traduit par deux orientations radicalement différentes : l'une considère tout en terme d'événement objectif (l'extraverti), l'autre envisage tout en fonction de sa propre position (l'introverti).

3.2.2.2 Les fonctions psychologiques

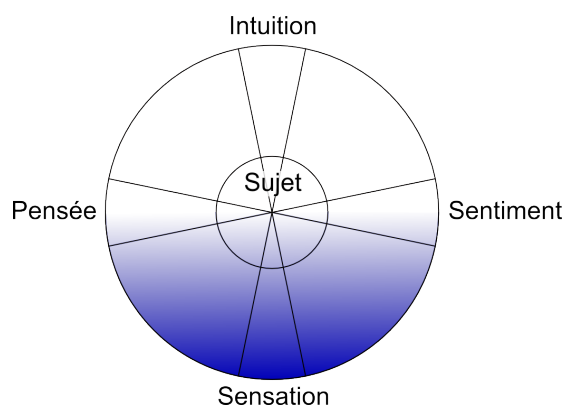


Figure 3.1 – Les types psychologiques selon C. G. Jung

Il existe une deuxième série de types psychologiques déterminés par quatre fonctions psychologiques fondamentales (voir figure 3.1) que l'on peut trouver chez l'introverti comme chez l'extraverti :

- La sensation : « S » pour Sensation. Ce processus permet d'avoir conscience de l'information sensorielle et implique de répondre à cette information sans aucun jugement ou évaluation de celle-ci. L'accent est mis sur l'expérience, les faits et les données.
- L'intuition : « N » pour iNtuition. Ce processus, parfois appelé sixième sens, permet de percevoir les renseignements abstraits, comme les symboles, les formes conceptuelles et les sens.
- La pensée : « T » pour Thinking. Processus d'évaluation des faits et d'élaboration de jugements basés sur des critères objectifs. Il permet de prendre des décisions basées sur des règles et des principes.
- Le sentiment : « F » pour Feeling. Processus permettant de rendre des évaluations basées sur ce qui est important, soit les valeurs personnelles, interpersonnelles ou universelles. Le processus cognitif du sentiment évalue les situations et les renseignements subjectivement.

3.2.3 Les modèles psychologiques

Les modèles décrits ci-dessous classent les individus en se basant sur les fonctions psychologiques détaillées ci-dessus. Ils sont catégorisés en plusieurs dimensions qui définissent des

types ou traits de la personnalité, ou encore des orientations professionnelles. Les différentes dimensions restent assez semblables dans l'ensemble, mais se différencient sur un point ou deux. Ce point de divergence est en général dû au besoin d'utilisation du modèle.

Même si nous décrivons 3 modèles très utilisés actuellement, notre choix de conception se portera sur le modèle MBTI. Il est le seul à porter une description détaillée de la personnalité d'un individu.

3.2.3.1 Big Five

Basés sur la théorie des traits, les « Big Five » [86, 65] sont cinq traits centraux de la personnalité empiriquement mis en évidence par la recherche. Ils constituent un repère pour la description et l'étude théorique de la personnalité. On parle parfois du modèle « OCEAN », suivant les différentes dimensions du modèle :

- Ouverture à l'expérience (O) -- appréciation de l'art, de l'émotion, de l'aventure, des idées peu communes, curiosité et imagination
- Caractère consciencieux (C) -- autodiscipline, respect des obligations, organisation plutôt que spontanéité ; orienté vers des buts
- Extraversion (E) -- énergie, émotions positives, tendance à chercher la stimulation et la compagnie des autres, fonceur
- Caractère agréable ou agréabilité (A) -- une tendance à être compatissant et coopératif plutôt que soupçonneux et antagonique envers les autres
- Névrosisme ou neuroticisme (N) -- contraire de stabilité émotionnelle : tendance à éprouver facilement des émotions désagréables comme la colère, l'inquiétude ou la dépression, vulnérabilité.

3.2.3.2 MBTI

A partir de la théorie du type, Myers et Briggs [88], ont ajouté une dimension aux travaux de Jung. Cette dimension juge la capacité d'organisation de la personne et son aptitude à respecter les lois. Elle rajoute deux fonctions psychologiques à celles déjà existantes : jugement et perception. En réorganisant ces fonctions et préférences sous quatre dimensions (voir figure 3.2), Myers et Briggs créent l'indicateur MBTI [89]. Celui-ci identifie alors 16 grands types de personnalités [25] à partir des deux préférences possibles sur chacune des quatre dimensions.

Ce modèle permet de décrire la personnalité d'un individu de façon dynamique et détaillée. C'est actuellement l'un des modèles les plus utilisés.

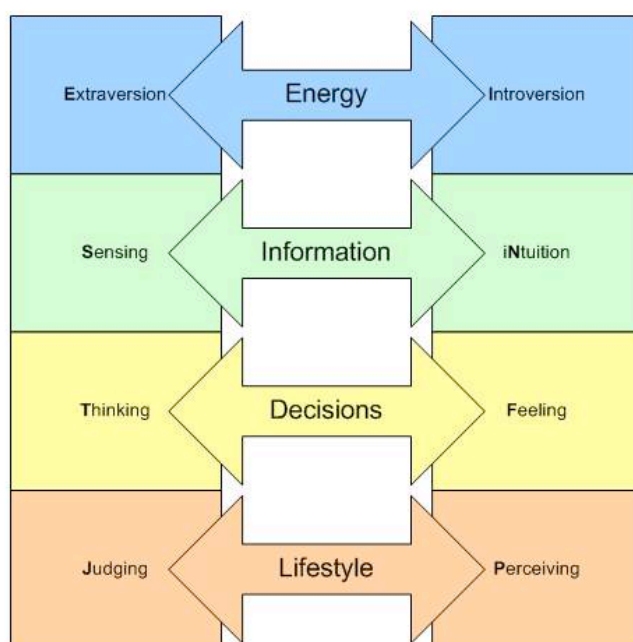


Figure 3.2 – Dimensions du MBTI

3.2.3.3 RIASEC

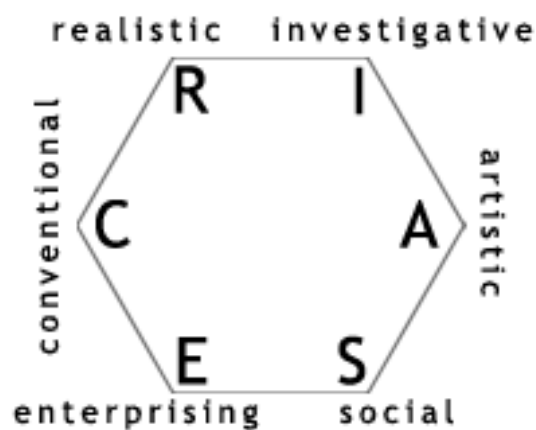


Figure 3.3 – Type d'intérêt du RIASEC

Le modèle RIASEC de John Holland [61] est un outil d'évaluation en matière d'orientation professionnelle, représenté sous forme d'hexagone (voir figure 3.3). Selon lui, les individus appartiennent tous à l'un ou l'autre des six différents types d'intérêts :

- Réaliste : ce sont des personnes qui exercent surtout des tâches concrètes. Habiles de leurs mains et sachant coordonner leurs gestes, ils ont le sens de la mécanique et le souci

de la précision. Ils sont dotés d'une bonne endurance physique, et même de capacités athlétiques.

- Investigateur : se sont des observateurs qui ont besoin de connaître pour agir. Leur principale compétence réside dans la compréhension qu'ils ont des phénomènes. Ils accordent beaucoup d'importance aux idées, à la réflexion, au jeu des idées et qui valorisent le savoir faire.
- Artistique : ce sont des créatifs qui choisissent des activités dans lesquelles ils peuvent libérer leurs perceptions, leur sensibilité et même leur intuition. Dotés d'une grande sensibilité et d'imagination, les créatifs sortent de l'ordinaire et cultivent leur côté non conformiste, indépendant. Peu à l'aise dans les activités répétitives, ces personnes peuvent néanmoins travailler avec discipline.
- Social : ils apprécient le contact avec les autres. Ils s'intéressent aux comportements humains et sont soucieux de la qualité de leurs relations avec les autres. A l'aise en communication, ils utilisent leurs émotions pour agir et pour interagir.
- Entreprenant : ce sont des personnes enthousiastes dotées d'une grande capacité de décision et d'action. Ces personnes savent faire preuve d'audace et d'efficacité : elles ont le sens de l'organisation, de la planification et de l'initiative pour mener à bien leurs idées, leurs projets.
- Conventionnel : ils sont efficaces dans des activités qui nécessitent de l'exactitude et à l'aise dans les tâches routinières. Précises, méthodiques, ces personnes préfèrent la rationalité, le respect des consignes au hasard et à l'improvisation. Elles aiment calculer, classer, tenir à jour des registres ou des dossiers.

La théorie de John Holland propose de déterminer par ordre croissant les trois types dominants qui correspondent à la personnalité de l'individu pour ainsi identifier les professions qui lui conviennent le mieux. Le choix d'une profession ou d'un métier serait donc toujours lié à la combinaison de plusieurs types.

3.3 Humeur

Nous avons vu précédemment que la personnalité avait une grande influence sur le comportement humain. Cependant ce n'est pas le seul facteur qui peut être pris en compte, l'humeur joue également un rôle non négligeable. La personnalité pré-définit le comportement d'une personne alors que l'humeur nous permet de définir l'intensité du comportement pour cet événement.

En psychologie, l'humeur est l'état thymique originel régissant les émotions et l'affectif [28]. Thymie est un synonyme d'humeur propre à la psychologie, l'étymologie de ce mot vient du grec *thumos* qui signifie siège des passions. Dans le langage courant l'humeur a plutôt pour synonyme le terme tempérament. Le terme humeur est banalement usité pour évoquer une disposition affective ou émotionnelle comme la tristesse ou la joie.

Dans le langage courant sans référence à la psychologie le terme humeur est utilisé pour évoquer un état affectif ou émotionnel passager. Exemples : Être de mauvaise humeur, Être de bonne humeur, etc.

Une personne de bonne humeur tend à avoir une interprétation positive d'une situation donnée d'où une modération pour les émotions négatives qu'elle peut ressentir. Inversement, une

personne de mauvaise humeur aura tendance à interpréter négativement des événements positifs et accentuer les émotions négatives ressenties.

3.4 Expériences émotives

Les émotions sont généralement caractérisées par des expériences subjectives de certains types [95]. Malgré la complexité des émotions et le désaccord entre les théoriciens sur leur nature, il existe un consensus sur le fait que l'expérience subjective ou « feelings » (sentiment) est un aspect important de l'émotion chez l'Homme. Selon certains théoriciens, cette expérience subjective émotionnelle est en partie le résultat de changements corporels internes ou de l'activation de zones « primitives » ou « non-cognitives » du cerveau. Cependant, Parrot [94] voit le « feeling » comme résultant d'activités de zones cérébrales de haut niveau. Et inexorablement, l'expérience émotionnelle est aussi liée à ces zones d'activité.

Michelle Larivey [74] distingue quatre types d'expériences émotives qui représentent notre type d'émotion : les émotions simples, mixtes, repoussées et les pseudo-émotions. Vous trouverez ici des explications précises concernant la signification et l'utilité des différentes expériences émotives.

3.4.1 Les émotions simples

Ce sont les seules vraies émotions. Elles nous informent directement sur l'état de nos besoins et sur la façon de les satisfaire. Les émotions servent à nous informer de l'état de nos besoins. Sont-ils satisfaits ? à quel degré ? De quel besoin s'agit-il ?

Il est important de reconnaître nos émotions et de les ressentir. En permettant au processus naturel de l'émotion de se dérouler, on s'assure de pouvoir prendre en main la satisfaction de nos besoins.

Les émotions simples se divisent en deux grandes classes :

- Positives : elles indiquent que le besoin est comblé.
- Négatives : elles signalent que le besoin n'est pas comblé.

Dans chacune de ces classes, il y a trois catégories :

- Par rapport au besoin : quel est le besoin en cause
- Par rapport au responsable : qu'est-ce ou qui aide ou nuit à la satisfaction du besoin
- D'anticipation : mes réactions à ce qui pourrait survenir

3.4.2 Les émotions mixtes

Ce sont des expériences défensives qui ont l'apparence d'émotions. En fait, elles sont un mélange d'émotions et de subterfuges qui ont l'effet de nous berner nous-mêmes et notre interlocuteur. Elles tentent de nous « désinformer » (contrairement aux émotions simples). Exemple : la culpabilité, la jalousie, le mépris, la pitié, la honte, etc.

3.4.3 Les émotions repoussées

Ce sont des expériences habituellement à dominance corporelle. Elles prennent place lorsqu'on repousse une émotion ou que l'on évite son expression. Il faut retrouver l'émotion refoulée. Exemple : l'anxiété, l'angoisse, la fébrilité, la gêne, le vide, les tensions musculaires, la surexcitation, la migraine, le noeud à l'estomac, le bégaiement, la boule dans la gorge, etc.

3.4.4 Les pseudo-émotions

Nous confondons souvent avec des émotions des concepts qui traduisent notre réalité, des images utilisées comme métaphores, des états d'âme, des attitudes ou des évaluations. En fait, ce ne sont pas des émotions, ce sont plutôt des pseudo-émotions. Les types de pseudo-émotions sont :

- *Concepts* : le rejet, par exemple, est une action. Je suis l'objet du rejet de quelqu'un. Je ne peux donc « me sentir rejeté ». Par contre, le fait d'être rejeté provoque des sentiments chez moi.
- *Images* : ce sont des approximations de sentiments. Nous employons très souvent des images pour traduire ce que nous ressentons. Se sentir « au-dessus », « petit », « loin », « étouffé », « écrasé », etc.
- *États* : je suis calme, serein, fatigué, déprimé, etc. Contrairement aux émotions, les états sont relativement stables. De plus, ceux-ci sont inévitablement teintés d'une saveur émotionnelle. Je puis être calme et m'ennuyer, calme et triste.
- *Attitudes* : il s'agit de prédispositions à agir dans un sens ou dans un autre. Être curieux, ouvert, chaleureux, hostile sont des façons d'être. Être curieux fait que je suis toujours prêt à connaître et expérimenter de nouvelles choses.
- *Évaluations* : enfin, le type de pseudo-émotions le plus pernicious est sans doute l'évaluation. Par exemple, je me sens stupide. Il serait plus juste de dire « je me trouve », car la stupidité est impossible à ressentir. Or, par définition, une émotion se ressent.

3.5 Discussion

Nous avons présenté dans ce chapitre les paramètres internes pouvant influencer le comportement lors d'une interaction. Il a été montré le rôle de l'humeur et de la personnalité. Ceux-ci déterminent notre comportement et son intensité. Il devront être pris en compte dans le processus émotionnel. Ces états internes devront être associés à l'émotion lors du calcul de l'état émotionnel par le modèle.

Comme pour les émotions, il n'existe pas de modèle implémentable permettant à l'humeur et la personnalité d'agir sur notre réaction. Il nous faut donc déterminer la méthode d'influence de ces états internes sur l'état émotionnel pour un événement.

4

ROBOTIQUE SOCIALE & ASSISTANCE

Le chapitre qui suit donne une définition de la robotique ainsi que les domaines d'utilisation les plus courants pour cette science. Il présente l'importance des émotions en robotique, les méthodes d'intégration et quelques exemples de robots les plus marquants dans la communauté. Ce chapitre permettra également de nous positionner en terme de recherche dans le domaine de la robotique sociale.

4.1 Robotique

4.1.1 Définition

La robotique est une science qui étudie les systèmes électro-mécaniques actionnés et contrôlés par le biais d'un ensemble de logiciels leur conférant une intelligence dite artificielle. Ce domaine scientifique étudie les mécanismes, les capteurs, les actionneurs, les méthodes de commande et le traitement de l'information nécessaires à la conception et l'utilisation des robots y compris leurs déplacements.

Le robot est donc un dispositif mécatronique¹ poly-articulé mû par des actionneurs et commandé par un ordinateur qui est destiné à effectuer une grande variété de tâches.

4.1.2 Domaines d'utilisation

La grande majorité des robots est utilisée dans l'industrie pour des tâches simples et répétitives (soudure, peinture, positionnement, etc.). Ces robots sont programmés une fois pour toute au cours de la procédure dite *d'apprentissage*.

Grâce aux divers progrès technologiques, les robots sont actuellement capables de réaliser des tâches beaucoup plus complexes demandant une précision extrême. Ils sont généralement utilisés en collaboration avec l'Homme. L'exemple le plus significatif de nos jours est l'utilisation de la robotique dans le milieu médical, tant pour l'assistance lors d'une intervention chirurgicale, que pour l'assistance au handicap.

Ces progrès technologiques ont ensuite donné lieu à la dernière génération de robot que l'on trouve actuellement. Ceux-ci, contrairement aux générations d'avant, sont entièrement autonomes, et capables d'apprendre en fonction de leur environnement, à la fois interne et externe.

1. alliant mécanique, électronique et informatique

Ils sont capables d'évaluer une situation, d'apprendre et de réagir de façon appropriée. Ils sont essentiellement utilisés dans les domaines de l'exploration (spatiale, sous-marine, etc.) et médicale (assistant autonome, etc.). Les travaux de R. Alami et al. [6] présentent la réalisation d'un robot personnel « Diligent ». C'est un robot capable d'interaction basée sur des commandes. Il intègre un système de navigation lui permettant de se déplacer aisément dans son environnement en prenant en compte des personnes autour.

Puis, grâce à l'évolution des mentalités, une nouvelle utilisation de la robotique a vu le jour dans le domaine médical (comme médiateur) et surtout dans le domestique (tâches ménagères, compagnon, etc.).

Les sections qui vont suivre détailleront exclusivement l'utilisation du robot autonome dans le milieu médical : robot médiateur et à domicile : robot compagnon.

4.2 Robotique pour l'assistance

La robotique pour l'assistance a fait ses premiers pas pour l'aide au handicap. Les robots assistants sont maintenant capables de remplacer ou renforcer la grande majorité des parties du corps humain. Leur autonomie est un grand atout, car plus besoin de leur dire quoi faire et de manette de commande. Ils sont capables de prendre seul cette décision en analysant leur environnement (y compris leur interlocuteur). L'aide que peut apporter ce type de robot est donc essentiellement physiologique.

Actuellement de nouveaux types de robots sont utilisés pour l'aide psychologique et cognitif. Ces robots *sociaux* sont essentiellement dédiés à la médiation ou à l'accompagnement et permettent une meilleure intégration sociale, un réconfort moral et psychologique, et un développement cognitif de son utilisateur.

Les premières expérimentations dans ce domaine de la robotique ont été réalisées par T. Shibata avec un robot phoque Paro et des personnes âgées en maison de retraite. Ces expérimentations ont clairement prouvé que les robots compagnons peuvent donner un certain confort moral et psychologique aux personnes fragiles. Cependant, elles ont aussi montré que le point faible de ce type de robot était majoritairement son manque d'expressivité. Comme nous avons pu le voir en introduction de ce mémoire, une bonne interaction nécessite un maximum d'expressivité de la part des deux interlocuteurs. L'expressivité de l'Homme étant naturellement innée, les travaux de recherche se sont donc penchés sur l'expressivité artificielle des robots.

Les prochaines sections de ce chapitre aborderont la notion d'émotion en robotique qui, comme nous l'avons déjà dit, est un élément déterminant pour l'interaction et la communication aussi bien Homme-Homme que Homme-Robot.

4.3 Émotions en robotique

Le concept d'émotion est de plus en plus utilisé en robotique, notamment pour rendre plus naturelle l'interaction humain-robot, pour améliorer le contrôle d'un robot ainsi que pour faciliter l'apprentissage. Les sous-sections 4.3.1, 4.3.2 et 4.3.3 présentent quelques exemples de projets intégrant l'émotion pour le contrôle, l'interaction et l'apprentissage

4.3.1 Émotions pour l'interaction robot-humain

Les travaux de Breazeal [19, 14, 18, 17] visent à établir une interaction sociale entre un robot, Kismet, et une personne. Pour ce faire, Breazeal s'inspire de la relation qui existe entre un parent et un enfant lorsque s'établissent les premières formes de communication. Pour atteindre son objectif, elle fournit à Kismet des capacités d'expression de son état émotionnel. L'accent est mis sur le rôle de la posture et des expressions du visage pour maintenir un niveau d'interaction sociale élevé. En effet, le tuteur peut savoir si Kismet est trop ou, au contraire, pas assez stimulé en observant les traits de son visage. Ces actes de communication permettent à Kismet de modifier le comportement de sa tutrice en vue de satisfaire ses propres besoins ou envies, sans toutefois demander un gros effort d'interprétation à celle-ci. Kismet possède donc les bases nécessaires à l'établissement d'une communication sociale chargée de sens.

4.3.2 Émotions pour le contrôle du robot

Leonardo est un robot compagnon développé par le Media Lab du MIT. Il est capable d'exprimer des émotions attendrissantes (voir figure 4.1), de reconnaissance faciale et de suivi, et d'apprentissage sociale en étudiant son environnement et à travers ses interlocuteurs. Avec 69 degrés de liberté, dont 32 pour le visage, il est la peluche la plus expressive de nos jours.



Figure 4.1 – Quelques expressions du robot Leonardo

Il a été utilisé lors d'une expérimentation [16] permettant d'évaluer sa collaboration avec un humain. Leonardo devait réaliser des tâches ou séquences de tâches ordonnées par son collaborateur. Il s'agissait d'appuyer sur un ou plusieurs boutons en fonction de l'ordre verbal. Un système de compréhension du discours sur un vocabulaire se limitant aux commandes qu'il pouvait réaliser lui permettait de comprendre les ordres donnés par son collaborateur. N'étant pas doté de parole, il exprime la bonne ou mauvaise compréhension du discours à l'aide d'expressions faciales et corporelles tels que le haussement des épaules, le pointage des boutons à manipuler

et la fixation du regard de son collaborateur après l'exécution d'une tâche. Les résultats obtenus ont été concluant et ont montré une collaboration naturelle.

4.3.3 Émotions pour l'apprentissage

L'émotion pour l'apprentissage est souvent utilisée pour des troubles du comportement ou psychologique. L'utilisation de la robotique permet d'établir un système de jeux permettant de stimuler son utilisateur.

Le projet RobAutistic [100] a pour objectif de répondre aux questions suivantes : comment favoriser l'intérêt d'un enfant autiste par l'utilisation d'un robot mobile dans le cadre du jeu, seul et avec partenaire ? Peut-on déterminer des indices et des réactions significatifs de l'enfant dans le jeu ? Comment déduire du répertoire des comportements du robot ceux qui favorisent ces réactions et le jeu de l'enfant ? Quelle est l'architecture d'un robot dédié à cette application ? Comment évaluer qualitativement et quantitativement les interactions observées et leurs relations avec la modification des intérêts de l'enfant ? Ce projet RobAutiSTIC définira les modèles, architectures et outils mettant en oeuvre un environnement robotique paramétrable, personnalisable et reconfigurable pour la conception et l'exécution adaptative d'activités ludiques interactives. L'architecture est reprise des travaux de P. Estrailier et al. [117] sur la configuration de jeux thérapeutiques destinés à des enfants autistes. Il s'agit de réaliser une architecture qui fait évoluer dynamiquement l'exécution de jeu à partir du profil de l'utilisateur.

4.4 Exemples de robots compagnons expressif

4.4.1 iCat

iCat, développé par Philips, est un robot chat émotionnel qui peut être utilisé comme jeu, assistant TV, etc. Sa plateforme interactive lui permet de réagir émotionnellement, à l'aide d'expressions faciales et de mouvements du corps, afin de donner un aspect social à son interaction. Il est capable d'exprimer 22 émotions tels que la colère, le désespoir, la gratitude, la peur, la joie, etc (voir figure 4.2). Il est équipé de 13 moteurs lui permettant de bouger les éléments du visage et du corps :

- 2 pour les paupières
- 2 pour les sourcils
- 3 pour les yeux
- 4 pour la bouche
- 1 pour le corps
- 1 pour la tête

Une expérimentation [97] a été réalisée avec iCat afin de déterminer si la rencontre avec un adversaire virtuel ou robotique lors d'une partie d'échecs avait une influence sur le plaisir du jeu. Pour cette étude, les participants avaient l'opportunité de choisir son adversaire virtuel ou robotique. 9 participants ont évalué l'adversaire virtuel et 9 autres le robot. Pour mesurer le plaisir de l'utilisateur durant le jeu, le modèle GameFlow [126] a été utilisé. Les résultats en ont conclu que le personnage robotique était préféré au personnage virtuel et que le plaisir y était plus élevé lors de l'interaction car considérée comme plus sociale.



Figure 4.2 – Quelques expressions du robot iCat



Figure 4.3 – Exemple d'interaction avec iCat

4.4.2 Paro

Paro, actuellement sur sa huitième version, est un robot interactif développé par l'AIIST au Japon. Il est utilisé avec des patients dans des environnements tels que les hôpitaux et établissements de soins prolongés lorsque les animaux vivants ne sont pas admis (voir figure 4.4 et 4.5). Il permet entre autre :

- de réduire le stress des patients et leurs soignants
- de stimuler l'interaction entre les patients et les aides soignants
- d'amélioration l'état psychologique des patients en les relaxant et motivant
- d'améliorer la socialisation des patients

Il est équipé de cinq sortes de capteurs (sensoriel, lumière, micro, température et de position) avec laquelle il peut percevoir les gens et son environnement. Il peut aussi reconnaître la direction de la voix et des mots tels que son nom, les salutations et les félicitations. Il est aussi équipé d'un système d'apprentissage permettant d'apprendre les gestes qui ont provoqué du plaisir ou de la colère avec son utilisateur. Enfin, il est capable de bouger sa tête et ses jambes, et faire des sons avec la voix d'un vrai bébé phoque du Groenland.



Figure 4.4 – Utilisation de Paro dans un centre hospitalier



Figure 4.5 – Utilisation de Paro dans une maison de retraite

En 2007, une étude a été menée sur l'influence socio-psychologique et physiologique de Paro sur les personnes âgées [131]. L'étude s'est déroulée dans la maison de retraite Mori-no-Ie à Tsukuba city au Japon avec 12 résidents âgés de 67 à 89 ans (1 homme et 7 femmes) et le personnel médical. Elle a nécessité l'utilisation de deux robots durant plus d'un mois dans des zones communes, permettant aux utilisateurs d'interagir avec lui selon leur envie. Pour mesurer l'amélioration des utilisateurs, il leur était demandé chaque jour un prélèvement d'urine afin de mesurer leur taux d'hormone 17-OHCS et 17-KS-S². En outre, l'indice 17-KS-S permet de mesurer l'évolution socio-psychologique et le ratio 17-Ks-S/17-OHCS l'évolution physiologique. Après cinq semaines d'évaluation, les mesures ont montré une augmentation des deux indices de mesure et très significatif pour l'indice de mesure de l'évolution physiologique. Cette étude permet d'affirmer que l'interaction avec Paro sur une longue période a été bénéfique pour ces utilisateurs.

4.4.3 CosmoBot

CosmoBot est un petit robot compagnon de 50 cm de haut développé par AnthroTronix. C'est un robot interaction pouvant être commandé par une télécommande adaptée à son utilisateur. Il a été conçu pour une utilisation avec des enfants âgés de 5-12 souffrant de troubles du développement cognitif. Cette utilisation étant faite sous la direction d'un thérapeute ou d'un éducateur. CosmoBot fait partie d'un système d'assistance et éducatif incluant le robot, le dispositif de contrôle et un logiciel éducatif.



Figure 4.6 – CosmoBot et son ami Kevin

Il a été utilisé [5] par un enfant de 6 ans souffrant de troubles du développement, dans une clinique de Crofton, banlieue de Washington. Cosmobot l'aide à combattre sa dyspraxie, maladie qui l'empêche de prononcer les consonnes, à relier les effets et les causes ou à comprendre des concepts simples tels que « plus vite » ou « mieux ». L'enfant le contrôle en langage des signes à l'aide d'un gant équipé de capteurs. Selon son proche entourage (parents et maîtresse d'école)

2. Le taux de 17-OHCS augmente durant une période de stress alors celui du 17-KS-S est élevé pour un sujet sain et bas pour un sujet avec une santé défaillante

après un an d'utilisation du robot, l'enfant a fait des progrès étonnants facilitant la vie de tous les jours.

4.4.4 Nao

Nao est un robot humanoïde autonome, d'environ 58 cm, développé par la société Aldebaran Robotics. Il dispose de 21 degrés de liberté dans la version RoboCup (qui n'a pas de main préhensile), 25 dans la version Academics. Il est équipé d'une centrale inertielle 5 axes, de capteurs à ultrason allant dans deux directions différentes et de capteurs de pressions sous les pieds. Il dispose également d'un système multimédia évolué (4 microphones, 2 haut-parleurs, 2 caméras CMOS) pour la synthèse vocale, la localisation de sons dans l'espace ou encore la reconnaissance de visage ou d'objet. Il a aussi des capteurs d'interactions tels que 3 zones tactiles sur le dessus de la tête, 2 LED infrarouges ainsi que 2 bumpers sur l'avant des pieds.

La palette des usages potentiels de Nao est très vaste, à condition de les programmer : on peut l'imaginer comme robot de compagnie, partenaire de jeu, garde-malade, objet communiquant, etc.



Figure 4.7 – Exemples d'utilisation de Nao

Nao a été utilisé lors d'une expérimentation [38] permettant de recueillir des données audio émotionnelles lors d'une interaction homme-robot dans le cadre du projet ROMEO. Le robot est commandé à distance (technique du magicien d'Oz) afin d'obtenir des expressions vocales émotionnelles de l'enfant. L'expérimentation s'est déroulée dans une salle avec Nao, deux garçons (âgés de 7 à 13 ans) équipés de micro haute définition et un superviseur. Elle a été réalisée en trois phases :

1. Trivial poursuite : à tour de rôle, chaque joueur pose une question écrite sur une carte et les deux autres joueurs doivent trouver la réponse
2. Blind test : Le robot doit découvrir la musique chantonnée ou chantée par l'un des enfants

3. Imitation : l'enfant doit exprimé une émotion que le robot reconnait

Ces enregistrements ont pour but de développer un module de détection des émotions en temps réel pour le robot. Ils seront également le point de départ d'une étude sur un modèle émotionnel d'échange lors d'une interaction avec un robot.

4.4.5 Probo

Probo est un robot câlineur de 80 cm destiné à réconforter les enfants durant leur séjour à l'hôpital. Il est mis au point par le laboratoire de la section Robotics & Multibody Mechanics Group VUB. Ce robot à l'apparence d'un pachyderme vert est doté de 20 moteurs qui lui permettent d'exprimer des émotions quand on le touche, de percevoir son entourage et d'interagir à l'aide d'un écran tactile dans son ventre. Contrôlé par un software dirigé pour l'instant par un opérateur, il évolue d'une émotion à une autre comme l'étonnement, la joie, la colère, la tristesse.

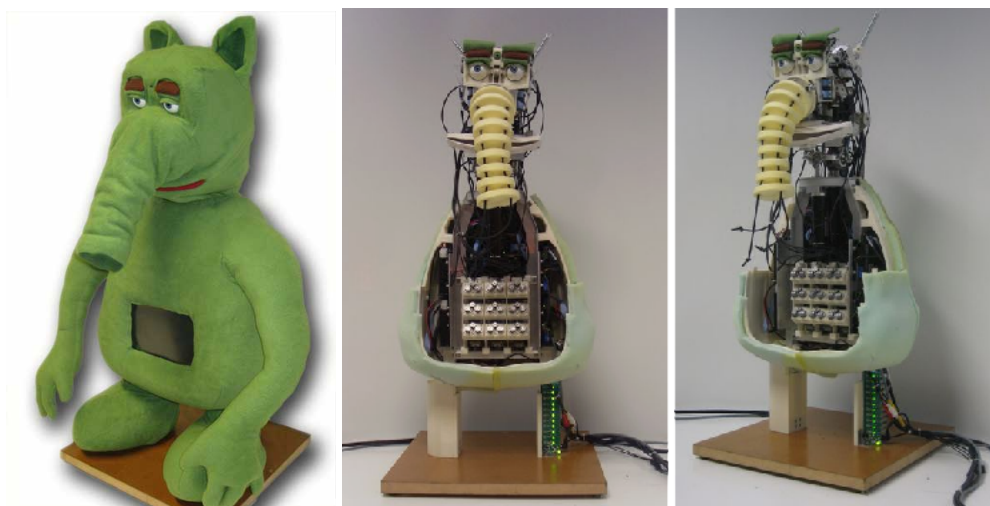


Figure 4.8 – Architecture du robot Probo

Probo n'a actuellement pas encore été évalué mais un modèle virtuel de celui-ci a permis d'évaluer son design et son expressivité. Ce modèle combine la mécanique à l'aspect physique du robot. Lors de l'évaluation, il a été demandé à 25 utilisateurs, âgés de 6 à 8 ans, de comparer les 8 émotions exprimées par le modèle virtuel (colère, dégoût, peur, joie, tristesse, surprise, fatigue, neutre) à un panel d'expressions humaines. Pour chaque émotion exprimée par le modèle virtuel, il leur était demandé de choisir l'expression humaine la plus représentative. Les résultats ont montré une faible ressemblance pour les émotions de peur, joie et surprise avec le panel d'expressions humaines.

La même expérimentation a été réalisée avec 15 adultes de 20 à 35 ans. Les résultats sont similaires aux précédents hormis pour l'émotion de surprise.

4.4.6 Nexi

Nexi un robot mobile monté sur roues développé par le MIT et issu des technologies de la réalité virtuelle. Il est doté de bras lui permettant de ramasser et manipuler des objets et surtout d'un visage capable d'exprimer des sentiments grâce à ses yeux (équipés de caméras), ses paupières et sa bouche. Ses oreilles (des micros) lui permettent également d'enregistrer ce qu'on lui dit et de participer à une conversation. Ses systèmes vidéos, informatiques et électroniques lui permettent de reconstituer numériquement son environnement et de réagir aux personnes autour de lui. A terme, il est censé pouvoir se déplacer comme un humain le fait sur un Segway.

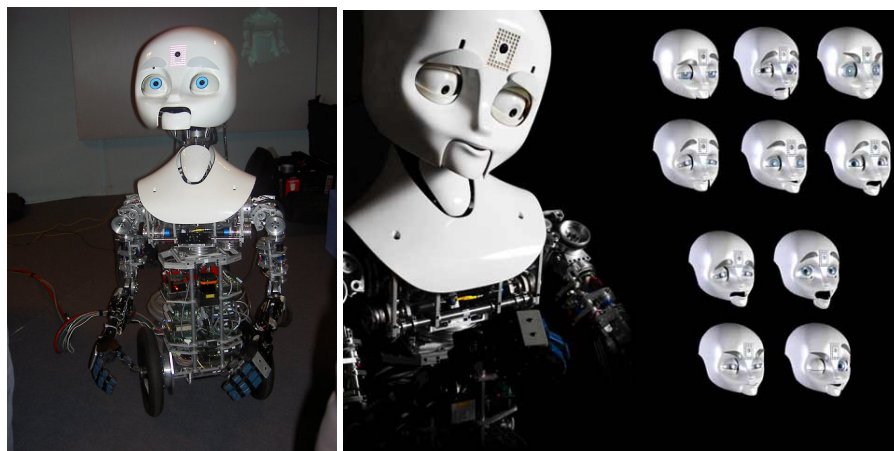


Figure 4.9 – Architecture et expressions du robot Nexi

Il a été utilisé lors d'une étude [82] afin d'examiner la modification de la réponse sociale en fonction de l'expressivité de la tête et du visage d'un humanoïde. Cette expérimentation a été réalisée en deux étapes avec 84 personnes âgées ayant une moyenne d'âge de 74 ans. Le contrôle et la commande du robot se faisaient à distance (technique du magicien d'Oz). Le robot devait poser des questions sur l'intimité des participants à des degrés plus ou moins importants. Selon les conditions expérimentales, le robot peut bouger ses bras, réaliser des gestes expressifs avec sa tête, bouger ses sourcils, ses yeux et ses paupières.

La première expérimentation a permis d'étudier l'impact de l'ajout d'un mouvement du cou (4 degrés de libertés) pour un visage non expressif (yeux, sourcils et paupières masquées). Pour cette étude, deux cas d'utilisation ont été comparés. Dans le premier cas, seul le mouvement des bras était autorisé. Dans le deuxième, combinaison du mouvement de bras et de la tête. 15 participants ont été choisis pour la première condition et 15 autres pour la deuxième. L'hypothèse de cette étude était que les participants révéleraient plus d'informations à l'ajout du mouvement de la tête. Les résultats de l'expérimentation ont permis de valider l'hypothèse et ont conclu que l'interaction était plus importante si la tête et les mouvements du robot étaient plus expressifs.

La deuxième expérimentation a permis d'étudier et comparer l'impact entre un affect exprimé par les sourcils, une attention exprimée par les yeux, un affect et une attention exprimés par les yeux et les paupières. Pour cette étude, trois configurations du visage ont été comparées. Pour toutes les configurations, le robot avait la possibilité de bouger ses bras et sa tête.

Le premier cas était identique à la deuxième condition de la première expérimentation. Dans le deuxième cas, seuls les yeux et les paupières du robot étaient masqués. Dans le troisième, tout le visage était visible. 17 participants ont été choisis pour la première condition, 13 pour la deuxième et 17 pour la troisième. L'hypothèse de cette étude était que les participants révéleraient plus d'informations quand les éléments du visage permettraient une meilleure expressivité. Les résultats de la deuxième expérimentation n'ont actuellement pas permis de valider cette hypothèse et ne sont pas encore été divulgués.

4.5 Discussion

Ce chapitre a présenté l'utilisation de l'émotion en robotique et quelques robots compagnons permettant une réaction émotionnelle. Cependant, les domaines et les conditions d'utilisation de ces derniers ne sont pas toujours les mêmes. On retrouve essentiellement trois types d'utilisation :

- Pour le divertissement ou le jeu.
- Pour la thérapie et le réconfort.
- Pour le défi et l'avancée technologique.

Le robot que nous avons réalisé doit être utilisé comme compagnon pour le réconfort en milieu hospitalier avec des enfants. Une mécanique légère et peu gourmande en énergie est donc primordiale pour maximiser sa durée d'utilisation. L'objectif de la recherche n'est donc pas de maximiser l'expressivité du comportement en augmentant le nombre de degrés de libertés, mais plutôt en le diminuant, soit 6 degrés de liberté dans notre cas. Il ne sera donc pas possible de comparer son expressivité avec des robots tels que Nexi et Leonardo. De plus, celui-ci ayant une texture de peluche, la conception robotique n'est pas identique à celle de robots tels que iCat, Cosmobot, Nao, Nexi.

Le projet EmotiRob se positionne donc sur le même domaine d'utilisation et type de robot que Paro et Probo. Soit un animal robotisé en peluche ayant une capacité d'expression.

5

MAPH -- EmotiRob

5.1 Introduction

Le projet MAPH (Média Actif Pour le Handicap) [1, 115] a pour objectif d'apporter un réconfort psychologique aux enfants fragilisés (ex. longue hospitalisation ou difficultés d'intégration sociale) à l'aide du robot compagnon. Dans ces différents cas, le robot peut être utilisé de deux façons différentes :

- Seul avec son interlocuteur. Dans ce cas le robot est seul avec l'enfant et devient donc son confident et/ou compagnon.
- Avec le personnel médical. Dans ce cas, l'interaction se fait avec l'enfant ou un groupe, le robot et le personnel médical. Le robot est donc utilisé comme élément, souvent de jeu pour les enfants, permettant d'atteindre un but thérapeutique spécifique (ex. engager un dialogue social) ; c'est un médiateur.

Outre le fait que l'interaction enfant/robot doive être réconfortante, nous sollicitons également que celle-ci suive une ligne directrice cognitive dans le but d'emmener progressivement l'enfant vers un but donné (ex. thérapeutique).

Le projet ANR EmotiRob, composante du projet MAPH, a pour objectif la modélisation, la conception et l'évaluation du robot compagnon utilisé pour le projet MAPH. Il s'agit d'équiper le robot de capacités de perception et de compréhension du langage naturel de sorte qu'il puisse établir une représentation formelle de l'état émotif de son interlocuteur.

Ce projet, centré sur la détection et la simulation des émotions, se situe à l'interface de la robotique, de la communication homme-machine et du traitement du signal. Il pose en particulier plusieurs problèmes scientifiques intéressants :

- « Comprendre » le langage d'un enfant qui parle à sa peluche (en l'occurrence, le robot) et détecter son état émotionnel à travers son discours et ses expressions faciales.
- Doter le robot d'une capacité de réactions émotionnelles pertinentes, et faire exprimer de manière intelligible ces émotions par le robot.
- Évaluer l'apport de cette interaction : comment mesurer le réconfort d'un enfant.

Le synoptique du projet MAPH (voir figure 5.1) se compose de quatre modules interdépendants que nous décrivons dans les sections suivantes :

- Compréhension (section 5.2)
- Interaction émotionnelle (section 5.3)
- Évaluation (section 5.5)
- Interaction cognitive (section 5.4)

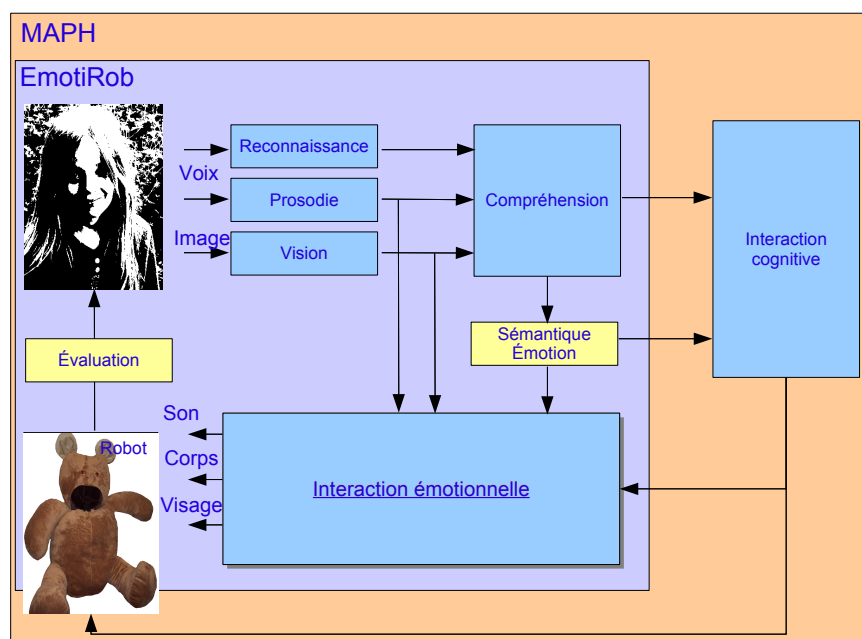


Figure 5.1 – Synoptique général du projet MAPH

5.2 Compréhension du langage et détection des émotions

Dans cette première partie du projet, le but est de détecter ce que l'enfant a voulu exprimer et dans quel état émotionnel il se trouve. Pour la détection d'émotions nous tentons de coupler une reconnaissance basée sur la prosodie, que nous ne faisons qu'utiliser, à un modèle basé sur des indices linguistiques que nous développons.

Dans la perspective de notre modèle de détection linguistique des émotions, la compréhension doit caractériser les relations prédicatives au sein de l'énoncé. On sait que la compréhension de la parole spontanée requiert des méthodes d'analyse robustes. La plupart des systèmes actuellement opérationnels sont destinés à des tâches très finalisées qui permettent de définir une liste de patrons sémantiques que l'on remplit par extraction de mots ou de séquences clefs. Ici, les productions de l'enfant ne sont pas restreintes à un domaine spécifique. La tâche peut donc, a priori, sembler hors de portée. Plusieurs considérations la rendent néanmoins accessible. Tout d'abord, le public concerné (très jeunes enfants) permet de restreindre la taille du vocabulaire et le nombre de concepts à considérer.

Pour réaliser cette « compréhension », nous avons choisi d'adapter le système LOGUS, mise en œuvre d'une approche logique permettant une compréhension robuste sur des tâches complexes [129]. LOGUS n'utilise pas de patrons sémantiques prédéfinis : les associations possibles entre concepts reposent sur une connaissance sémantique qui autorise ou non leur regroupement. Le système étant originellement dédié au renseignement touristique, la construction d'une ontologie du nouveau domaine couvert par le projet EmotiRob a constitué la plus grande part du travail d'adaptation.

La première modification essentielle a concerné le langage source. Pour déterminer l'ensemble des mots que doit comprendre le système, nous avons fait une sélection d'environ 8000 lemmes dans les bases lexicales Manulex et Novlex, constituées à partir de manuels scolaires [80]. Pour définir le langage cible, c'est à dire l'ensemble des concepts présents en sortie du système, nous nous sommes basés sur l'étude de [10] sur le développement du langage chez l'enfant. Au final, le système fournit en sortie une formule logique qui utilise exclusivement les concepts présents dans ce vocabulaire d'environ 1200 mots.

Dans LOGUS, l'analyse débute par une segmentation en groupe de mots (chunking), qui rattache les mots grammaticaux à leur tête lexicale. Cette étape est indépendante du domaine de l'application et elle n'a pas nécessité de véritables transformations. Les étapes suivantes consistent à déterminer les liens logiques qui permettent de lier les chunks entre eux, sur la base de règles syntaxico-sémantiques et en s'appuyant sur la connaissance sémantique du domaine, qui précise les liens possibles entre concepts. Pour définir cette connaissance, nous nous sommes appuyés sur l'étude d'un corpus de récits écrits pour ou par les enfants et annoté manuellement, afin de déterminer la nature des arguments des prédicats à retenir. Pour chaque prédicat présent dans notre langage cible, nous avons étudié les sujets et compléments qui apparaissent dans le corpus, et divisé ces arguments suivant différentes classes. Cette étude a pour première utilité de permettre une désambiguïsation des prédicats polysémiques.

Actuellement, le système peut analyser correctement la plupart des énoncés de notre corpus de développement. Par exemple : « *Ma maman est méchante, elle ne m'a pas donné de bonbon* » est tout d'abord partagé en 7 chunks [*ma maman*] [*est*] [*méchante*] [*elle*] [*ne m'a pas*] [*donné*] [*de bonbon*]; les règles d'association permettent d'obtenir la formule logique finale, sur laquelle est effectuée le calcul de l'émotion porté par l'énoncé :

.(pas ((Donner) [sujet : (Maman [(qualité méchante)]), (objet : Bonbon), (cible : Moi)]))

L'approche consiste à définir des règles de composition des valences prédicatives obtenues (exemple : règles de négation ou de coordination).

A la base de notre modèle émotionnel, nous avons besoin de connaître la valence émotionnelle qu'associent les enfants à chaque mot de leur lexique. C'est l'objet des normes lexicales émotionnelles, utilisées de longue date en psychologie expérimentale. Les normes lexicales émotionnelles compilent les évaluations subjectives d'une population de juges à propos d'une ou plusieurs caractéristiques émotionnelles des mots. Certaines normes concernent des caractéristiques émotionnelles originales comme l'évaluation de la durée de l'émotion évoquée par le mot [91, 135] ou encore la dominance, c'est-à-dire le fait d'être sous le contrôle de l'émotion ou de contrôler l'émotion évoquée par le mot. Mais dans toutes les normes lexicales émotionnelles, deux caractéristiques sont systématiquement évaluées : la valence et l'intensité.

Nous utilisons la norme Syssau et Monnier [127] en langue française (enfants âgés de 5, 7 et 9 ans). Chaque modalité de réponse est à associer à un dessin représentant un visage souriant, triste ou neutre. L'examen des résultats montrent que dès 5 ans, les enfants sont capables de juger avec un accord inter-juge conséquent la valence émotionnelle des mots. Nous avons complété cette norme par des expérimentations dans des écoles pour les termes manquants pour le projet. Il est clair que l'émotion provoquée par un message est liée à sa compréhension. Le calcul de

l'émotion porté par un énoncé constitué de plusieurs mots ne peut donc s'affranchir de deux problèmes linguistiques centraux : les aspects non compositionnels du sens et la polysémie.

La non compositionnalité du sens lexical est une des propriétés définitoires des objets linguistiques tels que mots composés, expressions figées, noms propres polylexicaux, etc. Nous pouvons supposer que l'émotion portée par ces séquences non compositionnelles n'est pas, elle non plus, compositionnelle. Ainsi, l'adjectif *petit* a un comportement émotionnel bien défini qu'on ne retrouve pas dans les composés *petit déjeuner* ou *petit suisse*. Le dictionnaire de notre système devra donc coder explicitement ces unités polylexicales figées.

Quant à la polysémie, la sélection de la valence d'un mot peut être problématique lorsque ce mot a plusieurs sens qui évoquent des émotions différentes. C'est par exemple le cas du verbe *voler*. Selon Gross [57] et Le Pesant [78], la distinction des différents emplois des prédicats peut d'effectuer par les classes d'objets auxquelles ils s'appliquent. Par exemple, le prédicat *conduire* signifie 'amener' s'il est utilisé avec un complément humain et un locatif (*conduire un enfant à l'école*), alors qu'il signifie 'diriger' s'il est accompagné d'un argument de la classe d'objets *<moyen-de-transport>* (*conduire une auto*).

Une étude pilote a été réalisée pour tester la validité du principe de combinaison prédicat-argument au niveau émotionnel. Nous avons extrait d'un corpus de contes (écrit par des enfants) un ensemble de n-uplets prédicats-arguments dont nous avons tiré des translittérations. Par exemple : *le chat et la souris sont amis, la sorcière est enfermée dans une prison*. Les translittérations ont été annotées en valence émotionnelle par 4 sujets adultes, d'abord dans un ordre aléatoire, puis dans l'ordre d'apparition en corpus. L'accord inter-annotateur suggère qu'une approche par unités plus larges que le mot peut être prometteuse.

Dans notre modèle, les prédicats (verbes et adjectifs) ne sont pas annotés du point de vue de leur valence absolue, mais de leur *comportement émotionnel*, i.e. de comment ils influent sur la valence d'une phrase en fonction de la valence de leurs arguments. A titre d'exemple, on peut supposer que le prédicat *fâché* a tendance à rendre son sujet plus négatif, il décale donc la valence de son argument vers les valeurs négatives. A l'inverse, d'autres prédicats (méchant par exemple) ont la propension à imposer leur valence à l'énoncé, quel que soit leur argument. Nous avons ainsi recensé huit *classes prédictives de comportement émotionnel*.

La combinaison entre les valeurs émotionnelles des mots et des prédicats nous donne l'émotion issue du contenu linguistique. Les premières expérimentations (hors contexte) sont plutôt encourageantes avec 90% de bonnes émotions détectées.

5.3 Interaction émotionnelle entre l'enfant et le robot

Dans le cadre du projet EmotiRob, le module d'interaction émotionnelle permettra d'établir une communication avec les enfants. Il apparaît que les robots peuvent jouer un rôle d'accompagnement et d'éveil. Il faut pour cela les doter d'un maximum de capacités de communication. Un agent exhibant un comportement émotionnel est traité comme un humain et la distance interpersonnelle entre l'utilisateur et l'avatar est réduite lorsque le regard ou le sourire est maintenu entre les deux [8]. D'autre part, les émotions sont particulièrement importantes pour un agent conversationnel puisqu'elles révèlent une part essentielle du discours à travers des signaux non verbaux.

Les travaux de recherche en psychologie ont montré qu'il existe différentes informations à prendre en compte lors d'une communication verbale ou non verbale. Certains comme Mehrabian [87] remarquent que la contribution du contenu textuel d'un message verbal à son impact global se limite à 7% alors que l'intonation de la voix du locuteur et son expression faciale contribuent respectivement à 38% et 55% de l'impact global du message exprimé. Le langage non verbal (physique et intonation de la voix) constitue donc 93% de l'impact du message alors que le composant verbal compte pour seulement 7%. Beaucoup de consultants s'appuyant sur ces résultats, prétendent que le langage du corps a toujours plus d'impact que le message lui-même. Par conséquent, il est donc très important de mettre en avant l'expressivité du robot.

Sachant que le média de communication est un robot, seule la synthèse émotionnelle peut nous permettre de réaliser cette interaction. Elle est une reproduction artificielle de la manière dont les êtres humains expriment leurs émotions en contexte social. Pouvoir exprimer des émotions est une façon pour un robot de communiquer avec un humain. Sans expressions d'émotions, les utilisateurs peuvent interpréter l'interaction différemment et porter un manque d'intérêt à la communication. Cette émotion artificielle est alors employée pour renforcer la communication : verbale ou non verbale. Les robots capables d'interaction sociale sont alors caractérisés par leur capacité à avoir des comportements proches de ceux des humains.

L'interaction émotionnelle est basée sur la réaction du robot par rapport à un événement. Celui-ci permet d'informer le robot sur son environnement et l'état émotionnel de son interlocuteur. À partir de ces informations, nous pouvons en déduire l'état émotionnel d'EmI pour l'évènement perçu et générer une réaction. L'interaction émotionnelle est donc divisée en deux parties :

1. Représentation de l'état émotionnel d'Emi et de l'interlocuteur
2. Expression des émotions du robot

Nous avons vu dans les chapitres précédents que l'évènement perçu n'était pas le seul paramètre à prendre en compte lors d'une interaction. L'état émotionnel du robot à cet instant aura un impact plus ou moins important sur sa réaction.

5.3.1 Représentation de l'état émotionnel

La représentation de l'état émotionnel de l'interlocuteur est basée sur l'évènement perçu par le système. Dans notre cas, le système traite trois types d'évènements :

- Le discours.
- Le signal sonore.
- Le signal vidéo.

Compréhension du discours

La compréhension du discours est l'élément clé de notre acquisition de données. N'oublions pas que l'évènement principal qui déclenche une réaction est le discours de l'enfant. Même si le taux de compréhension des systèmes de reconnaissance actuels n'est pas très élevé pour l'ensemble du vocabulaire humain, certains mots que l'on peut traiter permettent quand même

d'avoir une réaction émotionnelle. Le module de compréhension présenté dans la section précédente permet le traitement de ces données afin de nous les acheminer. Ainsi nous pourrions en tirer une série d'informations, tels que le sujet, l'action, et l'objet ou sujet sur lequel se porte l'action. De plus en combinant ceci avec les actes du langage, le temps de l'action et l'état émotionnel de l'interlocuteur, il nous est possible de réagir sans avoir besoin d'une compréhension absolue du discours et de son contexte. Les paramètres permettant la compréhension du discours sont les suivants :

- Mot : les mots du discours seront représentés sous forme d'association entre une action et des concepts. Une action est associée à un nombre de concepts allant de 0 à n. Il est important de noter que pour des facilités de compréhension, on essaiera d'associer une action à deux concepts, représentant le sujet qui effectue l'action et l'objet sur lequel on effectue l'action.
 - Actions : ils représentent la famille d'actions que l'on caractérise par des verbes (ex. manger, dormir, jouer, etc.) les plus couramment utilisés chez l'enfant. Ces actions ou verbes sont hiérarchisés ou organisés sous forme arborescente.
 - Concepts : ce sont les grands thèmes principaux dans lequel l'enfant tirera son vocabulaire (ex. famille, amis, école, etc.). Ces termes sont hiérarchisés ou organisés sous forme arborescente sur un ou plusieurs niveaux en fonction du niveau de difficulté et de finesse de réaction que nous souhaitons établir lors de l'interaction.
- Acte de langage : il nous informe sur la forme du discours dans laquelle on se place : une question, une affirmation, etc. Il nous permet de donner au robot un comportement adapté au discours de l'enfant. En effet, certains actes, tels que l'interrogation, mériteront un comportement plus expressif que d'autres.
- Cohérence : ce paramètre nous informe sur la cohérence du discours avec la réalité. Il sera utile dans le cas de la génération de l'émotion de surprise.
- Temps : Permet au robot de situer le discours dans le temps afin d'avoir une meilleure interaction. Sont implémentés le passé, le présent et le futur.
- Phase : elle représente l'état d'esprit dans lequel se trouve l'enfant au cours du discours. Quatre phases sont prises en compte :
 - Imaginaire : le discours tiré de son imagination.
 - Réel : le discours est tiré d'une expérience de vie réelle.
 - Imitation : le robot doit imiter le comportement de l'enfant.
 - Jeux : le robot jouera à des jeux prédéfinis avec l'enfant.
- état émotionnel : informe sur l'état émotionnel de l'enfant au moment du discours. Il est représenté par un vecteur d'émotions renseignant sur le degré d'implication ou de reconnaissance de chaque émotion primaire (joie, peur, colère, surprise, tristesse, dégoût) sur une échelle de -1 à 2 (voir tableau 5.1).

Traitement du signal

La capture du signal sonore permettra d'obtenir des informations sur la prosodie. Elle sera utilisée dans 2 cas :

1. Conforter la décision prise sur l'état émotionnel de l'enfant pour le discours. La prosodie n'étant pas la même selon l'émotion que l'on ressent quand on parle. La prosodie est donc

Table 5.1 – Définitions des coefficients du vecteur d'émotion.

Coefficient	Définition
-1	On ne sait pas si l'émotion est impliquée
0	L'émotion n'est pas impliquée
1	L'émotion est peu impliquée
2	L'émotion est très impliquée

un paramètre intégrant le processus émotionnel.

2. Permettre de générer une réaction instantanée. Selon la durée et l'intensité du signal détecté, une réaction appropriée (ex. repli) pourra être exprimée. Dans ce cas, aucun traitement cognitif ne sera effectué.

En ce qui concerne le signal vidéo, nous pouvons compter 3 cas d'utilisation :

1. Permettre de faire un suivi du visage. Lors d'une conversation, l'interlocuteur peut vite être désorienté ou peut penser que le discours manque d'intérêt si son partenaire ne le regarde pas.
2. Affirmer l'état émotionnel de l'enfant grâce à l'expression faciale reconnue qui sera associée à une émotion.
3. Permettre de générer une réaction instantanée. Les enfants peuvent avoir des gestes violents avec leurs jouets, il sera nécessaire d'adapter notre comportement à cette nouvelle situation (ex. crier, se mettre en veille). Dans ce cas, comme pour le signal sonore, aucun traitement cognitif ne sera effectué.

5.3.2 Expression des émotions

L'expression des émotions permet de définir la méthode à utiliser afin de réagir au discours et d'avoir une bonne expressivité. Afin que le robot ait une interaction satisfaisante, il est important qu'il sache s'exprimer physiquement. Cette étape est primordiale car elle permettra de maintenir l'interaction au maximum si elle est correctement réalisée. Plus le robot sera expressif et plus celle-ci semblera proche de la réalité, plus l'interaction a des chances de durer dans le temps.

Pour donner une phénomène d'intensité lors de ces expressions, nous y ajoutons des sons et des mouvements du corps. La réaction qui caractérise l'état émotionnel d'EmI est décomposé en 3 parties :

- Ton « de la voix » : caractérisé par un niveau plus ou moins élevé du signal sonore et du choix du son qui sera produit par le robot. EmI devra être capable d'émettre des sons sur le même ton que ceux du robot phoque « Paro ». Pour associer des sons aux émotions, nous nous inspirons des travaux de Kayla Cornale [29].
- Posture : caractérisée par la vitesse et le type de mouvement que devra réaliser les différents membres du corps qui composent notre robot, en relation avec le comportement généré.

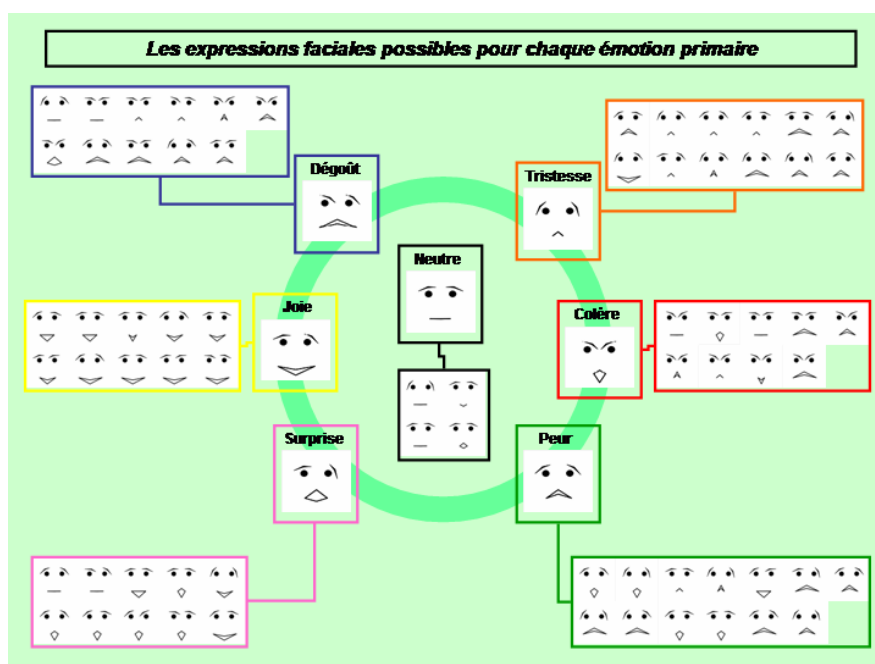


Figure 5.2 – Patterns d'expressions faciales pour EmI

- État facial : représente les expressions faciales qui doivent être exprimées par le robot (voir figure 5.2). Au début de notre traitement d'interaction, nous travaillons essentiellement avec des « expériences émotives ». Celles-ci devront par la suite être traduites en émotions primaires, puis en expressions faciales. En effet, grâce à la catégorisation des émotions en trois couches que propose Parrot [96], nous pouvons associer chaque émotion à des expériences émotives (voir tableau 5.2).

Table 5.2 – Extrait d'association entre les émotions et les expériences émotives.

Émotion	Expériences émotives
Joie	Bonheur, contentement, enchante, euphorie, heureux, ...
Peur	Affolement, angoisse, crainte, frayeur, ...
Colère	Rage, agitation, détester, fureur, haine, ...
Tristesse	chagrin, déception, déprime, peine, ...
Surprise	Émerveillé, surprise, ...
Dégoût	Écœuré, mépris, ...

Sachant que nous devons interagir sur la durée avec des enfants, une phase de garde de l'attention doit aussi être mise en place afin qu'ils soient captivés par le robot et évitent d'aller voir ailleurs. Généralement, les enfants ont beaucoup de difficultés à être attentifs sur une longue période si l'interaction n'est pas plaisante. Afin de minimiser ce problème un système caractérisé

par 3 phases non dépendantes les unes des autres est mis en place :

- Mouvements continus ou « dynamique du mouvement » : le robot ne devra pas rester statique sur une longue période et devra toujours être en mouvement. Cette condition est valable même s'il n'y a pas d'interaction avec l'enfant. Dans un premier temps ce système permettra au robot de faire comprendre qu'il n'est pas qu'un simple jouet, puis par sélection de gestes adéquates de montrer qu'il a lui aussi besoin d'interagir avec son interlocuteur. Ces mouvements seront en adéquation avec son humeur et sa personnalité. Ils seront caractérisés par des rictus et des mouvements de la tête et du corps. Les travaux de recherche sur ce domaine sont repris des travaux de stage de Céline Jost [67].
- Suivi du regard : il permettra au robot de maintenir le discours lors d'une interaction, ou de ce se mettre en *stand-by* sous certaines conditions. Même posé dans son coin le robot aura la possibilité de montrer qu'il est toujours actif et que son seul intérêt est son utilisateur. Nous utiliserons la caméra embarquée sur le robot pour réaliser cette tâche.
- Jeux : des jeux embarqués sont une bonne méthode pour maintenir une interaction avec un enfant. Certains robots proposent déjà ces systèmes de jeux prédéfinis, comme le chien Sony et sa balle rose. Actuellement seul un jeu de mimique faciale est étudié en parallèle avec la reconnaissance faciale.

5.4 Interaction cognitive entre l'enfant et le robot

Les travaux présentés dans cette section s'inscrivent dans le cadre du projet MAPH. Comme on peut le remarquer dans le synoptique du projet, ils se placent dans une perspective d'élargissement des capacités de réaction du robot-peluche. L'objectif de ces travaux est en effet de construire un module d'interaction langagière et cognitive entre l'enfant et le robot par la génération de nouvelles phrases en partant des phrases dites par l'enfant. Le module de reconnaissance-compréhension des paroles de l'enfant présenté plus haut fournit les entrées du module d'interaction cognitive.

Afin de connaître les mots utilisés par les jeunes enfants, nous nous sommes basés sur l'étude d'un corpus établi à l'aide de l'outil DLPF réalisé par D. Bassano, F. Labrell, C. Champaud, F. Lemétayer et P. Bonnet [10]. Cet outil est un instrument destiné à évaluer le développement du langage de production chez les enfants français. Le corpus établi compte un peu moins de 1500 mots entre noms, verbes, adjectifs, adverbes, onomatopées et expressions routinières, articles et pronoms, parmi lesquels on trouve tout ce qui correspond au vocabulaire ordinaire d'un enfant de 4 ans.

Avoir une conversation « naturelle » sur un sujet non contraint avec une machine semble être très difficile voir impossible [134] car on ne sait toujours pas modéliser les connaissances générales du monde. En restreignant le domaine de la discussion et en se plaçant dans un cadre bien défini, l'utilisation de la langue naturelle pour entretenir un « dialogue » devient réalisable mais toujours très difficile car il existe deux contraintes à vérifier dans ce type de dialogue : premièrement, la conversation doit se faire en temps réel et deuxièmement, elle ne doit pas nécessiter un apprentissage de la part de l'utilisateur [51]. Dans notre cas, nous nous intéressons à de jeunes enfants, ce qui fait que le vocabulaire traité est assez restreint.

Dans cette interaction, nous tenons compte de la perception du monde par l'enfant et de son état émotionnel. Bien que l'intérêt des émotions et de l'affectif dans la production d'un dialogue réaliste ait déjà été démontré [70, 2], cela reste restreint aux dialogues entre adultes et n'a pas concerné les enfants.

L'interaction et l'échange cognitif entre l'enfant et le robot ne sont possibles qu'en dotant le robot d'un certain savoir et d'un ensemble de connaissances cognitives. Il est donc important de réaliser une représentation du monde conceptuel d'un jeune enfant et de modéliser ses connaissances cognitives.

Plusieurs études se sont intéressées à l'importance de la catégorisation dans le processus cognitif. En effet, pour certains linguistes la catégorisation apparaît comme une méthode naturelle et instinctive de représenter le monde et les connaissances [72]. La catégorisation est une des choses les plus basiques fondant notre pensée, perception, action et même notre langage.

Selon Sloutsky, la catégorisation est une capacité d'abstraction indispensable à l'organisation des connaissances et à la cognition ainsi qu'à leur stabilité [121, 85]. En particulier, la faculté naturelle de catégoriser les objets permet une meilleure organisation des connaissances comme la création de taxonomies hiérarchiques qui vont des classes les plus spécifiques vers des classes plus génériques.

En outre, le processus de catégorisation nous permet d'identifier un nouvel objet à partir de son association à une catégorie déjà connue. Cette dernière fonction est très importante dans l'acquisition de nouvelles connaissances. Si les enfants ne possédaient pas de connaissances sur les catégories, ils ne seraient pas en mesure de reconnaître facilement un nouvel objet pouvant représenter une instance d'une catégorie qui leur est déjà familière [90].

Vu l'intérêt important de la catégorisation dans la modélisation des conceptions, nous avons en premier lieu étudié les relations sémantiques existantes entre les mots du corpus afin d'en établir une classification, ou plutôt une taxonomie suivant des propriétés objectives mais également affectives et émotionnelles. En nous basant sur un ensemble de propriétés par lesquelles nous avons décrit les mots du corpus, y compris leurs emplacements dans la taxonomie, nous avons mesuré les liens sémantiques qui existent entre eux. Nous avons donc défini des coefficients de rapprochement entre paires de mots du corpus (nom-nom, verbe-verbe et adjectif-adjectif). Ces derniers seront utilisés dans la génération d'une nouvelle phrase à partir d'une phrase en entrée. Le module de génération de phrases va chercher des mots qui représentent une certaine valeur des coefficients de rapprochement avec les mots de la phrase d'entrée. La phrase résultat dépendra du contexte du discours et de l'humeur du robot.

Afin que la classification soit plus représentative du monde de l'enfant, nous avons dans un second lieu réalisé des enquêtes auprès d'enfants pour une collecte des critères de classification venant des enfants eux-mêmes. Ce recueil d'informations a porté essentiellement sur deux domaines sémantiques qui sont le domaine des animaux et le domaine des aliments. Ce choix est justifié par le fait que le nombre d'animaux et d'aliments est assez important dans le corpus de Bassano et que ces deux domaines sont bien connus par les enfants et leur sont familiers.

Dans le souci de donner une robustesse à notre système, nous prévoyons la possibilité d'enrichissement du corpus et l'ajout de nouvelles connaissances. En ce sens, le système doit être capable de lier sémantiquement les nouveaux mots ajoutés à ceux déjà existants dans sa base de connaissance et de dresser leurs listes de propriétés.

5.5 Évaluation

L'objectif du projet EmotiRob est d'apporter un réconfort psychologique à un enfant fragilisé. Le réconfort psychologique est lié à la qualité du lien affectif que l'enfant peut avoir avec le robot. La question centrale du problème d'évaluation est alors : « comment est-il possible de mesurer la qualité de ce lien affectif ? ». La caractérisation du lien affectif est dépendante de trois notions : émotion, humeur et sentiment.

Les écrits divergent aujourd'hui sur les définitions de ces notions. De plus, il n'y a pas de consensus sur leur différenciation et leur interdépendance. Cependant, si on fait le tour des différentes définitions proposées des émotions, on voit apparaître les questions suivantes :

- la problématique d'émotions obtenues ou pas par composition d'émotions élémentaires
- le débat sur les origines des émotions avec en particulier la place du cognitif et du physiologique dans la génération des émotions
- la mesure des émotions sur des axes d'intensité, de qualité positive ou négative, attraction ou répulsion
- l'expression physiologique des émotions

De plus, deux approches ont été définies pour décrire le processus émotionnel qui est soit discret c'est-à-dire composé par un ensemble d'émotions élémentaires soit un processus continu. Pour chacune de ces deux approches, on trouve différents modèles qui varient selon le nombre d'émotions primaires exploitées, et selon le processus de passage d'une émotion à une autre.

Les approches liées à la compréhension des émotions dépendent du traitement que l'on veut en faire. Pour l'application EmotiRob, la thématique la plus proche de notre problème est la médecine. En effet, elle fait une place aux émotions pour permettre aux traitements d'être plus efficaces car mieux tolérés, EmotiRob cherche à augmenter le confort psychologique de l'enfant, il est donc important de regarder ce que l'on peut retenir de la médecine pour notre problématique. Par ailleurs, dans cette section il nous faut définir les critères qu'il faut évaluer, voir comment les évaluer, comment définir les protocoles expérimentaux.

5.5.1 Les caractéristiques de l'émotion

Une émotion sera donc définie par :

- un événement d'entrée
- un état cognitif interne (humeur et sentiment)
- un comportement
- une expression (physiologique et psychologique)

Le problème adressé avec EmotiRob consiste à maximiser l'état cognitif interne c'est-à-dire de le rendre le plus positif possible. Pour ce faire, il faut définir une échelle qui permette de quantifier cet état interne basé sur des paramètres mesurables. Par ailleurs, pour que le robot soit autonome, il faudrait qu'il soit capable de définir seul l'état cognitif interne. Pour cela, en refusant de mettre des capteurs sur le corps de l'enfant, les seuls éléments dont on dispose sont des informations visuelles, sonores et de contact avec l'enfant. La question qui se pose est : est-il possible par analyse de ces trois paramètres de déterminer l'état cognitif interne ? Dans la mesure où cela est possible, il reste à déterminer quels sont les états d'entrée qu'il faut provoquer pour introduire une potentialisation positive de l'état cognitif interne.

5.5.2 Les paramètres mesurables

Est-il possible de définir des paramètres qui donnent une indication sur l'état cognitif interne ? Pour ce faire, il faut pouvoir élaborer un modèle d'évolution de l'humeur et des sentiments et par l'intermédiaire des informations que l'on peut collecter sur le corps de l'enfant en déduire leurs valeurs. Cette collecte d'information sur le corps de l'enfant peut se faire suivant deux types de paramètres objectifs ou subjectifs.

Les paramètres objectifs

Inconforts physiques : problèmes digestifs, douleur respiratoire.

Les paramètres subjectifs

Les paramètres subjectifs seront une interprétation de données obtenues par une analyse externe du corps.

Compte tenu de l'application nous pouvons disposer essentiellement de deux sources d'observation : la voix de l'enfant, son image (vue du robot et vue de l'extérieur). S'il est possible d'intégrer des capteurs sur le robot on peut également avoir des informations sur le contact entre le robot et l'enfant. On peut, par un protocole adapté, envisager de mesurer :

- l'attention de l'enfant
- sa satisfaction : pour lui-même, le robot ou le monde qui l'entoure
- son agressivité
- son énervement
- des discontinuités ou des ruptures (dans l'interaction dans le comportement de l'enfant, voire une perte de contrôle)
- définir l'image sociale de l'enfant vis-à-vis du robot : rapport maître-esclave par exemple

5.5.3 Mise en place de protocoles

Les types d'expériences

Nous proposons de différencier trois types d'expériences :

- La première tente de faire sortir une émotion prédéterminée lors d'une expérimentation. Par exemple : provoquer une réaction affective brutale par l'intervention d'un sujet sur le robot. Par exemple : on pourra avoir une réponse de violence à une déclaration d'affection de l'enfant pour provoquer la frustration, le stress et évaluer l'impact.
- La deuxième approche est de tenter pendant l'expérience interactive entre l'enfant et le robot de demander à l'enfant de dire ce qui lui plaît dans telle ou telle attitude du robot par rapport à une émotion recherchée. On peut alors imaginer un contrôle du robot à distance, magicien d'Oz, afin qu'il réagisse aux attentes de l'enfant.
- La troisième approche consiste à faire une expérimentation avec le robot autonome pendant une durée déterminée. Puis, en analysant des enregistrements effectués durant l'expérience d'évaluer les états affectifs : soit par l'enfant lui-même soit par un observateur extérieur spécialiste du comportement des enfants, soit enfin par un système automatique d'étiquetage.

Grilles d'évaluations

Si l'on doit demander à un enfant d'évaluer une expérience, il faut lui offrir un vocabulaire. Comme il n'existe pas de corpus dans le domaine, nous allons nous baser sur une analyse des grilles d'observation médicale pour quantifier une intensité de douleur. Celles-ci pourront servir de guide dans l'élaboration des échelles.

Scénario d'interaction

Nous présentons ici quelques scénarios d'interaction pour lesquels il faut définir un protocole expérimental afin de l'évaluer.

- Imitation : c'est un jeu où le robot doit entrer en relation avec l'enfant en répétant ce qu'il fait. Ses capacités de mouvements étant beaucoup moins riches que l'enfant, il convient de proposer une éventuelle transformation de l'imitation. Par exemple lorsque le robot entend certains mots, il effectue certains mouvements associés. L'enfant peut alors comprendre qu'il est en empathie avec le robot et se sentir rassuré. Il est possible aussi d'enrichir cette expérimentation en introduisant à certains moments une expression propre du robot : par exemple il exprimerait sa satisfaction de jouer ce jeu par une expression d'excitation.
- Imitation inverse : même scénario sauf que dans ce cas c'est le robot qui doit être imité par l'enfant
- Imitation commandée : dans ce cas, les mouvements du robot ne sont plus produits par le robot en mode autonome mais par un utilisateur humain qui le commande à distance.
- Simon : jeux de mémorisation de séquences. Le robot répète une séquence et ajoute un élément et l'enfant doit répéter cette nouvelle séquence puis ajouter un élément puis le tour change.
- Coopération : définir un scénario qui permette à l'enfant et le robot de coopérer dans une tâche simple : par exemple s'endormir.

5.6 Modèle d'émotion retenu pour EmotiRob : GRACE

Les chapitres 2 et 3 nous ont présenté un état de l'art sur les émotions et le comportement humain, permettant une interaction sociale. Nous en avons conclu un manque de consensus tant dans leurs définitions que dans leurs modélisations. Vu la multiplicité et la divergence des approches concernant les émotions, il nous semble normal de définir les termes et le modèle d'émotion qui servira de base à notre étude.

Définition d'une émotion

Une émotion est un processus qui caractérise l'ensemble des réactions physiologiques et psychologiques d'un être humain à un événement pris à un instant donné.

Définition d'un événement

L'événement peut-être : extéroceptif ou proprioceptif, brusque (stimulus) ou long (continu), sans intensité ou à seuil.

Perception d'un événement

La perception d'un événement est la capacité d'un individu à isoler dans son environnement un changement chez les humains ou les choses qui l'entourent. La perception se caractérise par son temps de traitement :

- La perception est « instantanée »
- La perception prend « du temps »

Réaction à un événement

La réaction est l'effet sur l'organisme de l'individu qu'engendre un événement. Elle peut être forte ou faible et longue ou courte. A cause de cette dernière propriété il peut y avoir superposition à un instant donné entre plusieurs réactions.

La réaction nécessite l'introduction d'un module de gestion du « comportement » qui prend ses informations de la perception et détermine une « expression » sur le corps de l'individu.

L'expression d'une émotion

L'expression d'une émotion est l'ensemble des modifications de l'organisme dont on peut mesurer une évolution au cours du temps en fonction de la désignation des événements

Comportement

Le comportement est un processus interne qui évalue les événements qu'il reçoit. Il calcule l'action à déclencher sur l'organisme et prédit éventuellement des événements futurs. Il joue un rôle d'inhibiteur ou de filtre de la perception. Le caractère imprévu d'un événement peut déclencher une forte action sur le corps.

Schéma synoptique du processus définissant l'émotion

Afin d'appliquer les définitions citées ci-dessus et les modéliser pour en générer une réaction, nous utilisons le modèle générique GRACE [32, 33, 31, 41]. Il définit son processus émotionnel comme une réponse émotionnelle physiologique générée par un événement interne ou externe. Il est caractérisé par 7 composants appliquant les théories de l'appraisal, du coping, de Scherer et de la personnalité.

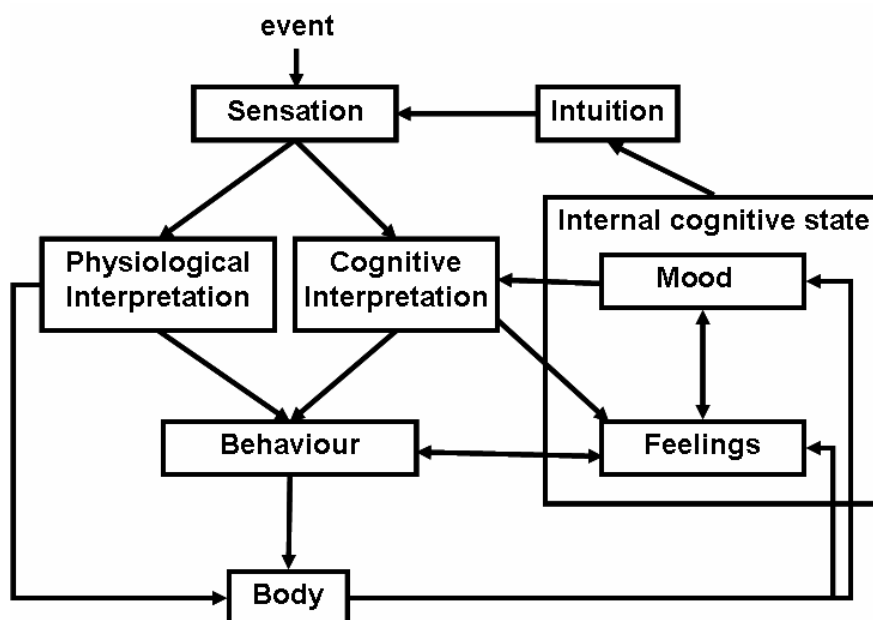


Figure 5.3 – Architecture de GRACE

En tant que processus, une émotion suit un algorithme :

- Perception de l'événement
- Réaction à l'événement
- Expression de l'émotion

Cet algorithme est répété sur tous les événements que l'individu identifie.

Sensation

Dans ce modèle, *sensation* est le point de départ. La sensation est générée par un événement qui génère un changement physiologique. Cette sensation est traitée en deux niveaux parallèles :

- La *perception physiologique* transformera la sensation en réponse corporelle (ex. battement du cœur ou pression sanguine) qui sera traitée par le *comportement*.
- La *perception cognitive* transformera la sensation en information cognitive sur la situation de l'environnement qui sera traitée par le *comportement*.

Le *comportement* calculera la réponse à l'information venant des différentes perceptions en se basant sur l'*état cognitif interne*. Cette réponse serait transmise au *corps* pour générer une réaction physique.

Cette partie est bien difficile à définir. C'est là où une émotion commence. On peut considérer (si on suit l'idée de Scherer) que l'évaluation d'un événement scanne toujours l'environnement du corps et l'état interne du corps. Un moment quelconque, un changement est détecté ; une sensation est née. Cette sensation peut venir (selon la théorie d'Ortony et al) d'un événement, d'une action d'un agent ou un aspect d'un objet. Cet événement objectif (ou subjectif) est transformé en une information qui circulera dans le corps humain : une sensation est envoyée ensuite à deux modules de perception (physiologique et cognitive). Chacun de ces deux modules peuvent inhiber cette entrée si son niveau est considéré trop bas.

Physiological perception

En répondant à une sensation, une sortie au niveau du corps pourrait être immédiate. La perception est ici " instantanée ", on peut considérer qu'il s'agit d'un événement proprioceptif de type physiologique. Toutefois, cela ne veut pas dire que l'événement est nécessairement proprioceptif, il peut être une transformation interne d'un événement externe. Par exemple un son très violent déclenche une saturation du système de perception de l'oreille. Cette information provoque un sursaut de l'individu par son arc réflexe (ensemble constitué par la transmission d'une information sensitive (stimulation) vers un centre nerveux (notamment dans la moelle), ce centre et la transmission de la réponse (motrice notamment) de ce centre aux organes effecteurs).

Par exemple, on est dans la situation où l'émotion vient d'un changement du corps (je vois un ours -> je sue, mon cœur bat vite -> je suis effrayé). Cette partie correspond à la boucle réactive dans une architecture de commande du robot.

Cognitive perception

La perception cognitive est un filtrage des sensations. Elle transforme la sensation au niveau sémantique. Un sens serait attaché à cette sensation. Ce sens dépend de l'humeur de la personne et de l'histoire de l'individu et de sa personnalité. L'humeur ici joue le rôle d'amplificateur de caractéristiques particulières. C'est la première partie de l'interprétation d'une sensation. La seconde partie est basée sur : la croyance, la nouveauté, la concordance avec la relation entre les standards, les buts personnels et les valeurs elles-mêmes codés dans l'état cognitif interne.

En fait, ce type de perception prend « du temps », on considère alors qu'un processus cognitif se met en place. Celui-ci va dépendre de plusieurs facteurs. Tout d'abord « l'état cognitif interne » de l'individu qui se caractérise par son humeur (mood) et ses sentiments (feelings). L'humeur dépend de l'histoire de l'individu, de sa fatigue et de sa concentration, il règle la perception de l'événement en fonction de sa valence. Les sentiments caractérisent un autre état interne de l'individu. Cet état est plus complexe et plus difficile à cerner. En effet bon nombre de choses dites sur les émotions sont applicables aux sentiments. Les sentiments vont avoir comme effet de perturber la perception.

Behaviour

Le comportement calcule la réponse émotionnelle et comportementale que le corps doit fournir à une perception. Ici, on retrouve les constructions classiques de la robotique. La planification, l'apprentissage et les déductions sont appliqués. Toutefois, la différence ici par rapport à une architecture classique est créée par une dépendance avec l'état cognitif interne. En fait, la réaction à une perception n'est pas toujours la même ; deux niveaux de réactions sont distingués :

- Le premier niveau (classique) calcule une réponse adaptée à la situation.
- Le deuxième niveau est dépendant de l'état cognitif. Si un état cognitif est agressif ou joyeux, il ne crée pas la même réponse que celui qui est tranquille ou dépressif.

Internal cognitive state

L'état cognitive interne est le lieu où sont définis :

- Sentiments : est le méta-niveau auquel la perception cognitive, la comportement et l'action du corps seront analysés. Ce niveau analyse la situation globale. Il pourrait être un sentiment d'une situation qui est déjà expérimentée, un sentiment que c'est une bonne direction, un sentiment inconfortable car la situation n'est pas celle espérée, un joyeux sentiment car tout est contrôlable. Les sentiments s'appuient sur les valeurs et les croyances.
- Humeur : est l'image globale des sentiments passés. Elle a une influence sur la perception cognitive. Elle influe sur la prise de position (combattre, s'enfuir, aider, aimer), états mentaux (motivation, intérêt, extraversion, introversion), états physiques (la fatigue, l'anxiété).

Intuition

Ce module est utilisé pour créer une sensation quand rien ne s'est réellement passé dans l'environnement. Cette intuition est basée sur l'état cognitif interne. L'intuition pourrait être vue comme une conséquence des sentiments. Les sentiments analysent la situation et prédit une sensation via les connaissances acquises. L'intensité de cette prédiction peut générer une sensation réelle. D'un point de vue informatique, ce niveau se base sur des statistiques de sensations déjà détectées dans un contexte spécifique. Un algorithme de prédiction sera développé. Un deuxième niveau d'intuition serait obtenu par l'association des séquences de sensation avec une transformation homomorphisme¹ sur les sensations passées.

Body

Le corps est le lieu où le comportement sera exprimé. Cette expression pourrait être interne dans le système nerveux. Il est responsable de l'augmentation du rythme du cœur et de la pression du sang, parmi d'autres changements physiologiques, au long du sens d'excitation que l'on

1. Homomorphisme : impression de déjà vu qui anticipe sur une sensation à venir

ressent à cause de l'augmentation de l'adrénaline dans le système. L'expression pourrait aussi être externe avec l'expression du visage, la voix, la posture, la sueur.

Comparaison des modèles computationnel d'émotions

Table 5.3 – Comparaison des modèles computationnel d'émotions

Nom	Modèle	Évaluation « Appraisal »	Adaptation « Coping »	Personnalité
1	FLAME	Oui	Oui	Non
2	ParleE	Oui	Pas abordé	Modèle de Rousseau
3	Kismet	Oui	Pas abordé	Non
4	Greta	Oui	Pas abordé	Traits de la personnalité
5	EMA	Oui	Oui	Non
6	GALAAD	Oui	Oui	Non
7	PLEIAD	Oui	Oui	Non
8	GRACE	Oui	Oui	MBTI

D'une manière générale, les théories fondamentales caractérisants un processus émotionnel sont : l'évaluation ou « appraisal », l'adaptation ou « coping » et la personnalité. Nous avons décrit dans les sections 2.3 certains modèles computationnels existants. Le tableau 5.3 compare avec les modèles computationnels avec GRACE en décrivant le respect ou non de ces théories fondamentales. Sa généralité lui permet d'englober les fonctionnalités des modèles cités ci-dessus. De plus, il intègre un composant « Intuition », n'existant pas dans les autres modèles, permettant d'obtenir des réactions émotionnelles à des événements invisibles.

Nous en concluons que GRACE est le seul modèle à intégrer les trois théories émotionnelles.

5.7 Discussion

Le modèle GRACE permet de définir un cadre général pour la mise en œuvre d'un modèle calculatoire d'émotions. Il est la base du modèle calculatoire émotionnel iGrace présenté dans le chapitre 6.

6

iGrace -- MODÈLE CALCULATOIRE D'ÉMOTIONS

L'objectif des travaux présentés dans ce mémoire consiste à modéliser et concevoir un robot compagnon capable d'interaction émotionnelle avec son interlocuteur. Pour atteindre cet objectif, il a été développé un modèle calculatoire des émotions, un média robotisé EmI et une évaluation des deux systèmes.

Les précédents chapitres nous ont donné les principales définitions, théories et modélisations des émotions et de la robotique sociale. Ils ont permis de faire des choix théoriques qui guideront la conception des différents systèmes que nous utiliserons. Ce chapitre présente le travail réalisé issu de concepts théoriques étudiés.

La section 6.1 présente les choix de conception et la réalisation de la plateforme robotique EmI [116]. Nous présenterons l'architecture mécanique de celle-ci et décrirons les méthodes utilisées pour la gestion des mouvements.

La section 6.2 présente le modèle calculatoire émotionnel iGrace [111, 113, 110, 109], instance du modèle générique GRACE présenté précédemment. iGrace permet de construire une réaction en fonction du discours de l'utilisateur.

6.1 Construction Robotique d'EmI

Cahier des charges

Lors du démarrage du projet MAPH deux études expérimentales avaient été menées [79]. La première expérimentation fût réalisée à l'aide de robots Paro, afin de vérifier si la réaction/interaction avec les robots dépendait du contexte culturel. Cette expérience a montré deux principales directions vers lesquelles il serait intéressant de travailler.

1. La première concerne les problèmes mécaniques : le robot doit être très léger, facile à prendre et à manipuler, plus facile que Paro ; d'ailleurs, il doit avoir plus d'autonomie de batterie.
2. La seconde concerne l'interaction homme-machine : le confort psychologique que le robot peut fournir est relatif au lien émotionnel entre le robot et l'enfant. Il semble évident que ce lien peut être considérablement renforcé si le robot compagnon est doté d'un minimum de capacités de compréhension des mots humains et s'il peut exprimer des émotions en retour.

Il est ainsi recommandé de réconcilier les contraintes du robot léger et autonome aux capacités de compréhension et d'expression. Ainsi notre objectif tend vers la réalisation d'un robot ayant les qualités fondamentales suivantes : un robot peluche avec un contact agréable et expressif.

Expression des émotions

Afin de lier les deux points issus des expérimentations, une deuxième expérimentation a été menée [98] afin de définir le nombre minimum de degrés de liberté pour exprimer valablement une émotion. À l'aide d'une application Web, les évaluateurs devaient sélectionner parmi une liste de 16 visages celui qui lui semblait exprimer le mieux les émotions primaires. Contre toute attente, c'est l'un des visages les plus simples (voir figure 6.1) qui a obtenu les meilleurs résultats. Avec 6 degrés de liberté [107, 108], 4 pour la bouche et 2 pour les sourcils, il était possible d'obtenir un taux de reconnaissance des émotions primaires très satisfaisant tout en diminuant considérablement les contraintes mécaniques.

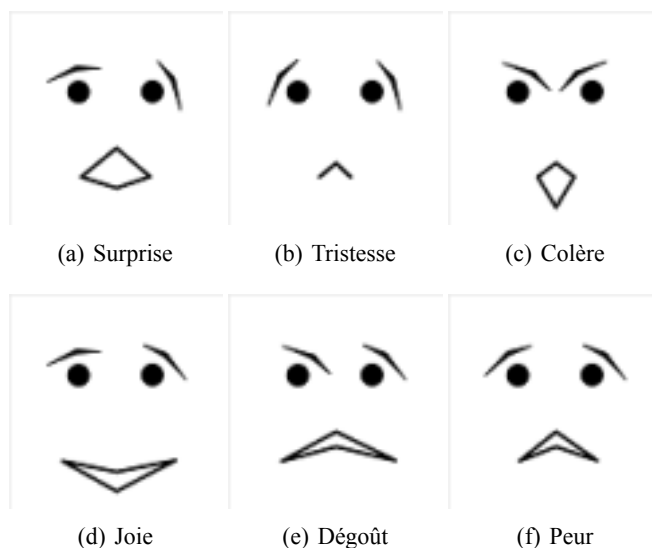


Figure 6.1 – Exemple d'expressions faciales résultants des expérimentations

6.1.1 Architecture mécanique

La plateforme robotique que nous souhaitons construire est un animal en peluche ayant une texture agréable et capable de réagir émotionnellement à l'aide d'expressions faciales et de mouvements du corps. Les travaux de recherche sur la synthèse émotionnelle nous ont permis d'établir les éléments qui composeront le visage et le nombre de degrés de liberté nécessaires à l'expression faciale des 6 émotions primaires de Ekman. La première étape de la réalisation mécanique nous a permis de modéliser un prototype réalisant des mouvements similaires à ceux du visage résultant de l'évaluation (voir figure 6.2). Ce visage sera considéré et appelé « visage référence » dans le reste du document. L'animal que doit représenter EmI est basé sur la forme d'un ourson.

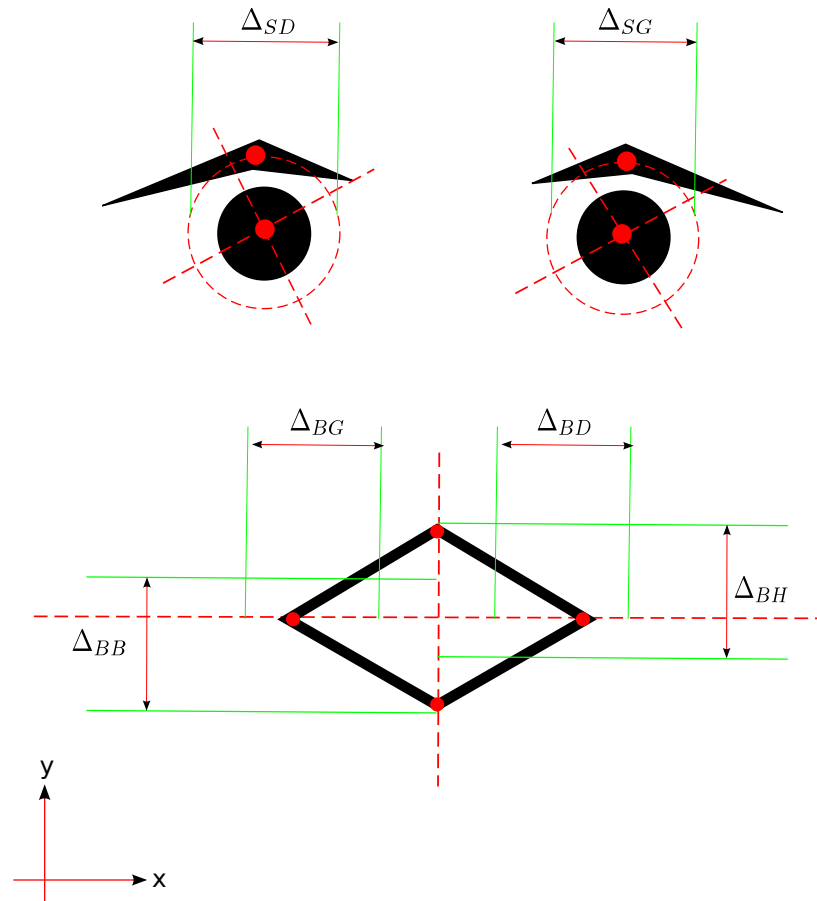


Figure 6.2 – Mouvements du visage résultants des expérimentations

Après réalisation du prototype (voir figure 6.3), le visage du robot est composé des éléments suivants :

- 1 bouche : 4 degrés de liberté.
- 2 sourcils : 2 degrés de liberté (1 par sourcil).

À ces éléments du visage, nous y ajoutons :

- 2 oreilles fixes.
- 2 yeux fixes.
- 1 nez embarquant une caméra pour le suivi du visage et de la reconnaissance faciale.

Nous remarquons que certains mouvements sont différents de ceux du visage de référence :

- Les mouvements Δ_{BG} et Δ_{BD} sont réduits.
- Les mouvements Δ_{BH} et Δ_{BB} subissent une réduction qui ne permet plus le croisement des points.
- Les mouvements Δ_{SG} et Δ_{SD} , à l'origine en rotation, sont transformés en mouvements de translation.

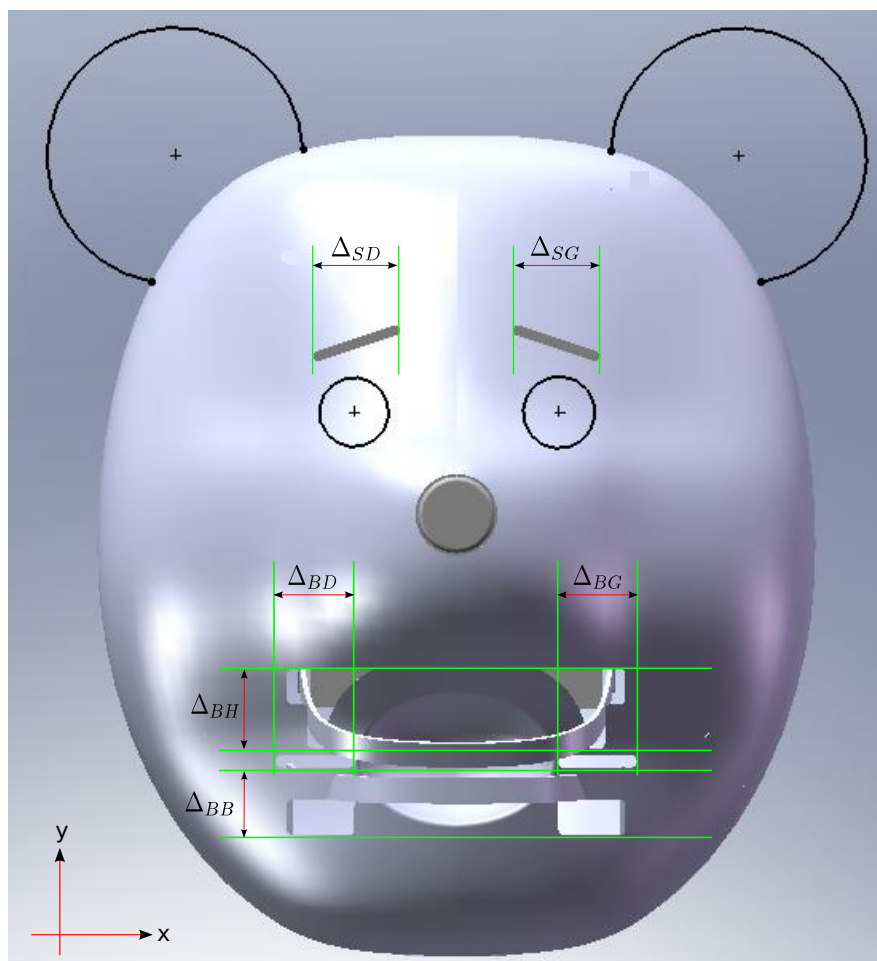


Figure 6.3 – Mouvements du visage résultants de la première conception

La réduction systématique des plages de mouvement lors de la conception est dû au manque d'élasticité du tissu utilisés pour la réalisation de la peluche. En effet, en appliquant une force trop importante sur celui-ci, il risque de se déchirer lors des manipulations ou dans le temps.

Pour augmenter l'expressivité du robot, nous associons des expressions corporelles aux expressions faciales. L'architecture de celle-ci permet des mouvements :

- de la tête : 2 degrés de liberté pour un mouvement droite -- gauche et haut -- bas.
- du bassin : 2 degrés de liberté pour un mouvement droite -- gauche et haut -- bas.

La première version de la plateforme EmI (voir figure 6.4) a entièrement été conçue par le CRIIF¹. Le squelette de la tête (voir figure 6.4(a)) est fait en ABS et contient :

- 1 caméra CMUCam 3 au niveau du nez.
- 6 moteurs réalisant l'expression faciale.

Le squelette du torse (voir figure 6.4(c)) est fait en aluminium et permet au robot de tourner la tête de droite à gauche, et de haut en bas. Il permet également les mêmes mouvements au

1. <http://www.criif.fr>

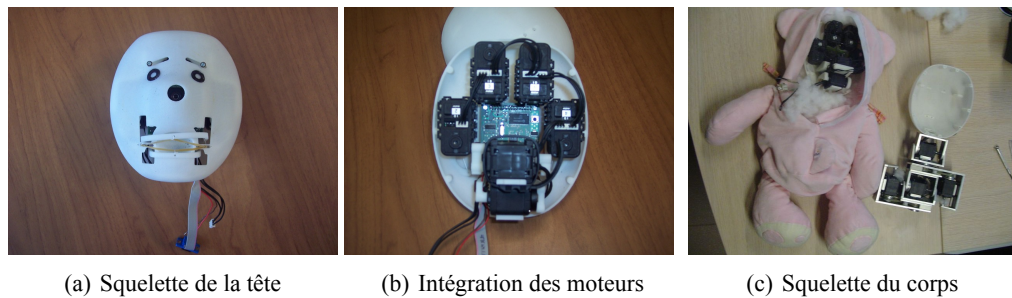


Figure 6.4 – Réalisation de la première version d'EmI

niveau du bassin. Soit 4 moteurs au total pour réaliser ces mouvements.

Les moteurs utilisés pour la tête sont des AX-12+ et pour le buste des RX-24 (plus puissants). Ceux-ci nous permettent d'avoir une communication numérique avec l'architecture informatique que nous avons mis en place.

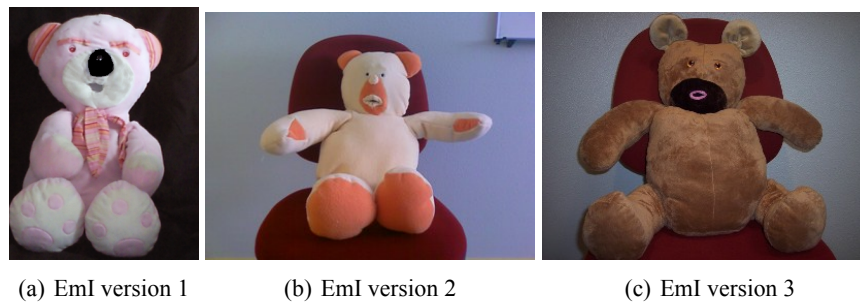


Figure 6.5 – EmI sous ses trois versions

Les premiers essais avec ce prototype nous ont montré un manque d'expressivité au niveau de la bouche. Ce problème est lié au manque d'élasticité du tissu utilisé pour les mouvements de cette zone. La solution trouvée a été de concevoir une autre bouche composée d'un élastique entouré de tissu. Cette première modification nous a également permis de modifier le tissu utilisé pour le reste du corps et d'en choisir un plus agréable au toucher. Ainsi, dans la deuxième version d'EmI (réalisée entièrement dans nos locaux, voir figure 6.5(b)), la structure mécanique est reprise à l'identique et seul l'aspect physique est modifié.

Cette deuxième version nous a permis dans un premier temps de faire les premières évaluations avec des enfants (voir chapitre 7.3). Les résultats obtenus ont soulevé certains problèmes de conception liés à la mécanique et au tissu utilisé. De plus, les nombreuses cassures du squelette et des composants du visage ont montré les limites du matériau utilisé par le CRIIF. En effet, dans ses deux premières versions, l'animation faciale était réalisée à l'aide de petites pièces réalisées en ABS et cousu main sur le tissu. La force exercée par le tissu lors du mouvement était donc trop élevée pour certaines parties du visage. Il a donc été nécessaire de repenser entièrement la conception robotique et le choix du matériel à utiliser.

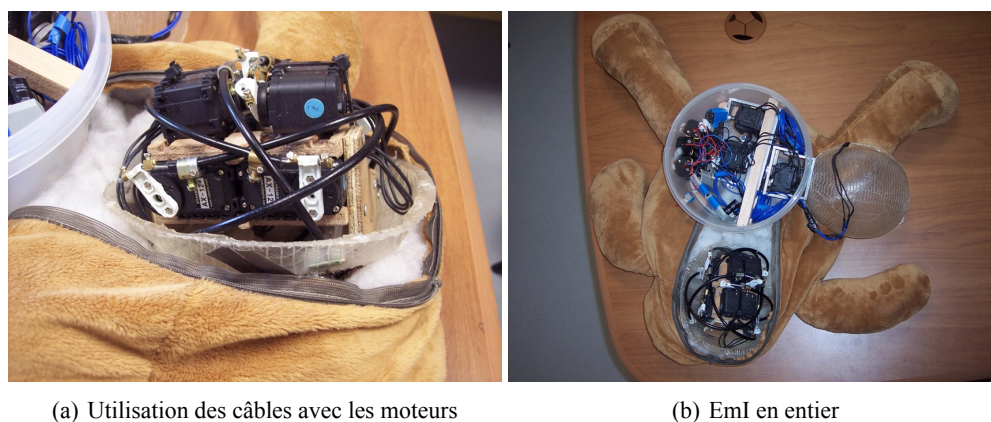


Figure 6.6 – Réalisation de la troisième version d'EmI

Dans la troisième version, seule la forme du visage et le squelette du buste sont gardés. Le nouveau matériau utilisé pour le squelette du visage est de la résine époxy. De plus, le déplacement des éléments du visage ne se fait plus à l'aide de pièces en ABS mais grâce à un système de câbles (voir figure 6.6) et de ressorts. Ce système beaucoup plus solide permet d'améliorer l'expressivité (voir figure 6.7 et 6.8, vidéos disponibles sur le site du projet ²) du robot et d'éviter certaines casses à long terme. De plus, la nouvelle peluche est réalisée par une couturière ³. Le système utilisé pour la bouche est également un système à ressort entouré de tissu très élastique. Cette nouvelle version a un poids de 2,8kg.

Pour permettre au robot de jouer un son lié à une émotion, nous avons remplacé un des moteurs du visage (AX--12+) par un AX--S1. Ce type de moteur intègre de nouvelles fonctionnalités telles qu'un capteur de température, infrarouge et un buzzer permettant de jouer certaines notes de musique.

2. <http://www-valoria.univ-ubs.fr/emotirob/>, menu Robot --> Vidéo

3. Rapid'Couture, 37 rue Fontaine 56000 Vannes. Tel. 02 97 42 64 54

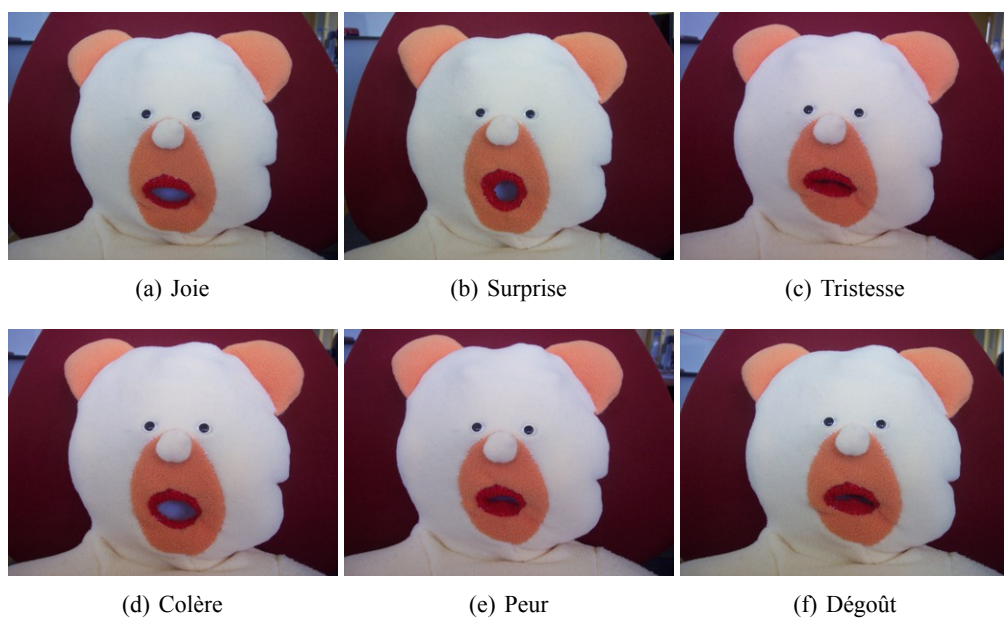


Figure 6.7 – Exemples d'expressions faciales de la version 2 d'EmI

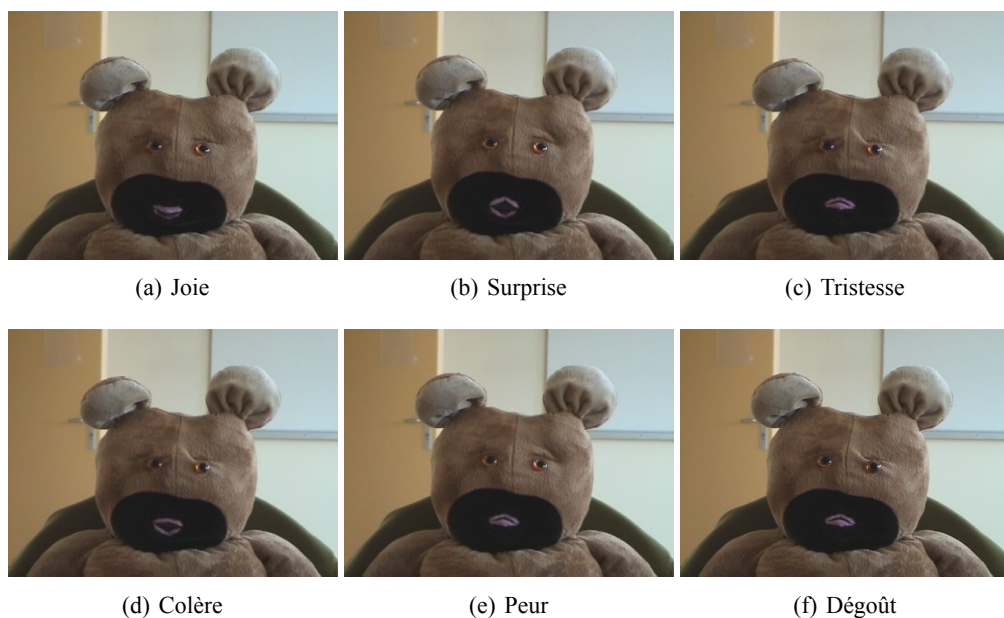


Figure 6.8 – Exemples d'expressions faciales de la version 3 d'EmI

6.1.2 Architecture informatique

Actuellement, la communication avec le robot se fait à l'aide d'un PC distant relié directement aux moteurs. Ce PC embarque un programme nommé *iGrace* portant le même nom que le modèle calculatoire émotionnel (présenté en section 6.2). Il est développé en C++ et utilise la librairie FTDI pour la communication avec les moteurs. Cette librairie permet d'envoyer une trame contenant l'identifiant du moteur à commander, la commande à effectuer et les paramètres nécessaires à la commande. Le format de la trame est le suivant :



Dans les deux premières versions d'EmI, la liaison entre les moteurs et le PC (voir figure 6.9) se faisait à l'aide d'un câble USB de 5 mètres. Les 6 moteurs de la tête utilisent une connectique TTL et ceux du corps en RS-485. Il est donc nécessaire d'utiliser un adaptateur USB2Dynamixel pour la conversion des données USB ↔ TTL et USB ↔ RS-485.

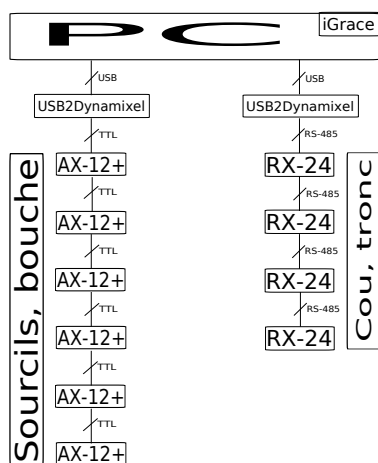


Figure 6.9 – Architecture informatique des versions 1 et 2 d'EmI

La troisième version d'EmI utilise une architecture informatique semblable à l'ancienne. La différence vient de l'ajout d'une technologie sans fil pour la communication entre les moteurs et le PC. Le matériel utilisé est un kit USB sans fil (représenté par le composant *WUSB* sur la figure 6.10) fabriqué par Hama⁴ d'une portée d'environ 10 mètres. Ce nouveau procédé sera très utile pour les évaluations avec la version 3 d'EmI et permet aisément d'utiliser la technique du magicien d'Oz pour contrôler le robot à distance, tout en faisant croire aux utilisateurs qu'il est autonome et qu'il peut le comprendre.

4. Hama KIT DE DEMARRAGE USB SANS FIL : <http://www.hama.fr>

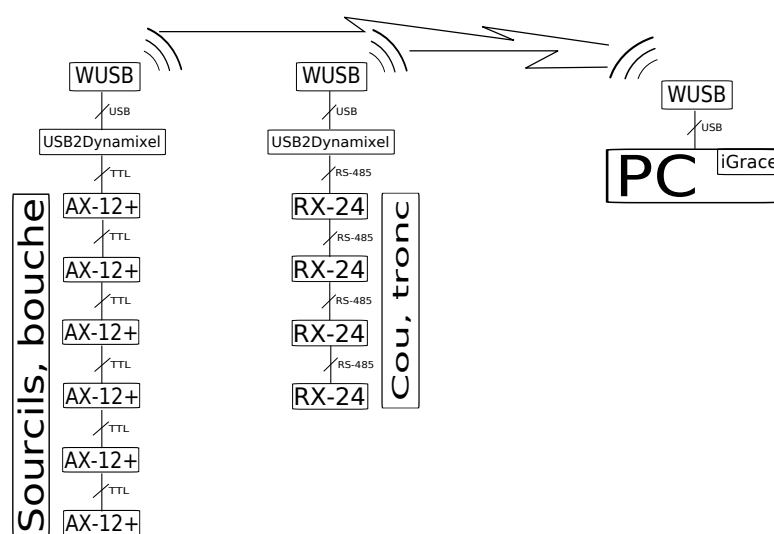


Figure 6.10 – Architecture informatique de la version 3 d'EmI

6.2 Modèle calculatoire des émotions -- iGrace

Le chapitre 5 nous a présenté le module d'interaction et le modèle GRACE défini pour le projet EmotiRob. En se basant sur les composantes de GRACE, nous avons conçu le modèle calculatoire émotionnel iGrace (voir figure 6.11) adapté au robot EmI. Il est composé de 3 parties principales permettant le traitement de l'information :

- « Entrée » : issu du module de compréhension (cf. section 5.2), il informe « Interaction émotionnelle » sur le discours de l'interlocuteur.
- « Interaction émotionnelle » : à l'aide des informations données par « Entrée » et en fonction de l'état cognitif interne d'EmI, il génère son état émotionnel sous la forme d'une liste d'expériences émotives ressenties.
- « Expression des émotions » : exprime l'état émotionnel d'EmI choisi par « Interaction émotionnelle ».

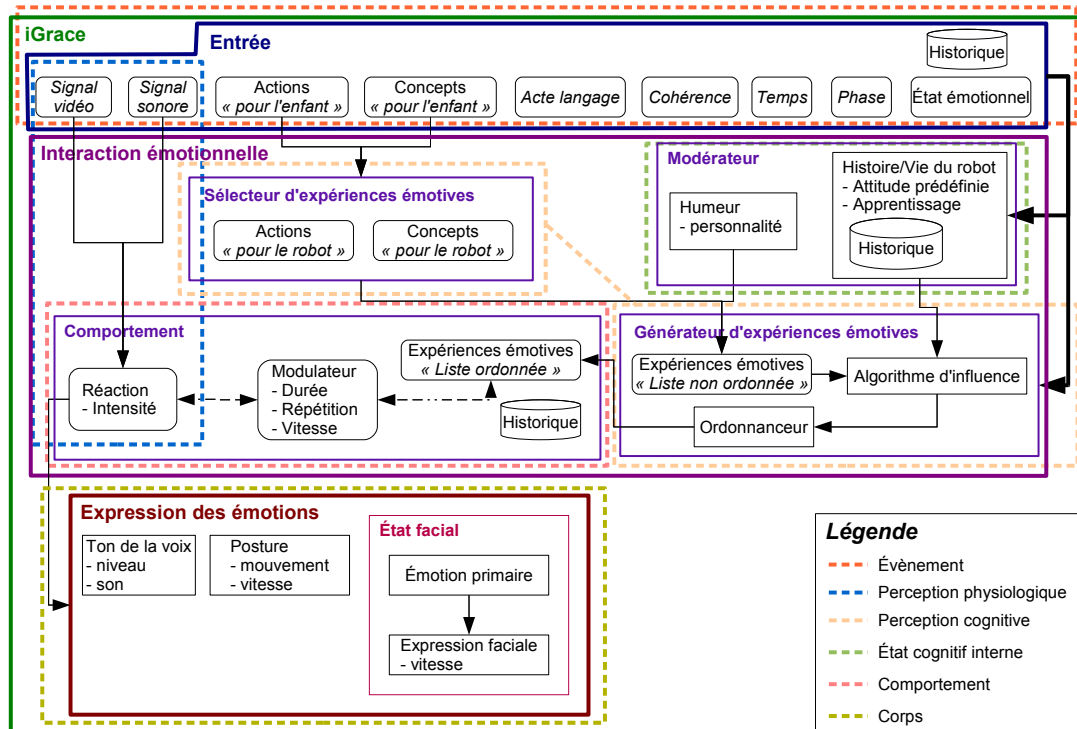


Figure 6.11 – Modèle calculatoire émotionnel iGrace

6.3 « Entrée »

Il représente l'interface de communication et d'échange entre le module de compréhension et d'interaction émotionnelle du projet EmotiRob. Les données sont celles de la compréhension du discours et du traitement du signal. Elles sont les suivantes :

- Signal vidéo (si possible)
- Signal sonore
- 7-uplets du module de compréhension :
 - Actions « pour l'enfant »
 - Concepts « pour l'enfant »
 - Acte de langage
 - Cohérence
 - Temps
 - Phase
 - État émotionnel

6.4 « Interaction émotionnelle »

Ce traitement a pour objectif de générer l'état émotionnel d'EmI à partir des informations du discours données par « Entrée » et de son état cognitif interne. Il s'agit de construire une liste d'expériences émotives ressenties par EmI s'appuyant sur une taxonomie des émotions (cf section 3.4). « Interaction émotionnelle » est composé de quatre modules principaux qui produisent des listes L_i de couples $(eemo, C_{eemo})$ associant une expérience émotive $eemo$ à un coefficient d'influence C_{eemo} en quatre étapes (voir figure 6.12) :

- Modérateur : représente l'état cognitif interne d'EmI. Il construit une liste L_{mod} d'expériences émotives liées à sa personnalité et son humeur.
- Sélecteur d'expériences émotives : représente l'état émotionnel d'EmI par rapport au discours. Il construit une liste L_{sel} d'expériences émotives liées aux mots du discours.
- Générateur d'expériences émotives : représente l'état émotionnel d'EmI en fonction de son état cognitif interne, de l'état émotionnel de l'enfant et du discours. Il construit dans un premier temps une liste L_{etat} d'expériences émotives représentant l'état émotionnel de l'enfant. Puis, il construit la liste L_{gen} en fusionnant les listes L_{mod} , L_{sel} , et L_{etat} .
- Comportement : choisit la réaction d'EmI parmi celles proposées par *Générateur d'expériences émotives*. Il extrait les meilleures expériences émotives de la liste L_{gen} dans L_{comp} .

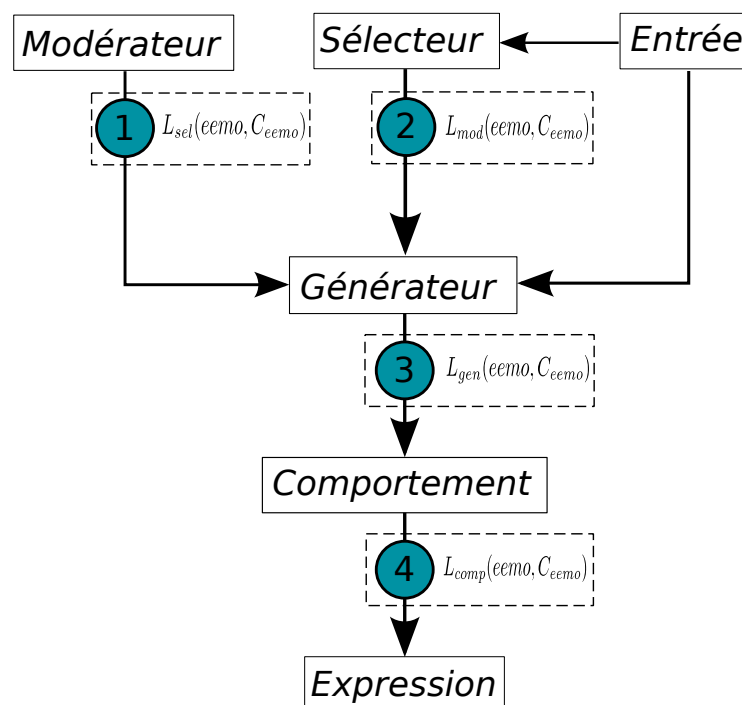


Figure 6.12 – Traitement de l'évènement perçu du module de compréhension en 6 étapes

6.4.1 Module « Modérateur »

Le modérateur a pour objectif de représenter l'état cognitif interne d'EmI. Il s'agit de construire une liste L_{mod} de couples $(eemo, C_{eemo})$. Celle-ci est dépendante de sa personnalité et son humeur.

Personnalité

Il n'existe actuellement pas de modèle unifié et implémentable permettant de lier une personnalité à des émotions et inversement. Toutefois plusieurs approches existantes comme celle de Egges [42] définissent une relation entre les dimensions de la personnalité et le modèle OCC.

Basée sur le modèle de personnalité MBTI, nous définissons une relation entre les différentes dimensions de ce modèle et les expériences émotives que nous exprimons. Cette relation permet de définir un ensemble de types de personnalités.

Dans ce modèle calculatoire, l'état cognitif interne d'EmI est influencé par la personnalité. Nous définissons donc une matrice MREP à $(m \times n)$ dimension où :

- m représente l'ensemble des expériences émotives pris en compte pour EmI. Selon la liste de Larivey [74], elles sont au nombre de 217 (voir annexe .2.1).
- n représente les dimensions du modèle de personnalité.

$$MREP = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{m1} & \alpha_{m2} & \dots & \alpha_{mn} \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

$$\forall eemo \in [1, m], d \in [1, n] : \alpha_{eemo_d} \in [0, 1]$$

Exemple : La matrice suivante, donne un exemple de la matrice MREP à (6×8) dimensions. Chaque ligne représente la valeur d'influence des 8 dimensions (E/I/S/N/T/F/J/P) MBTI pour les 6 émotions primaires d'Ekman (qui font partie de notre base d'expériences émotives). Cette matrice est actuellement statique et issue d'une annotation manuelle subjective. Par exemple, nous considérons que pour la dimension E--extraverti, le coefficient d'influence de la joie (mis à 1 dans notre matrice) sera plus élevé que pour la dimension I--introverti (mis à 0.2) car un introverti ressent la joie de façon plus retenue qu'un extraverti. En revanche, dans le cas de la peur, l'introverti aura plus de difficultés à se retenir et exprimera plus son émotion. Le coefficient d'influence de la peur est mis au même niveau que celui de l'extraverti (mis à 1 dans la matrice).

	E	I	S	N	T	F	J	P
MREP =	1	0.2	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5
Joie	1	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5
Surprise	1	1	0.5	0.5	0.2	1	0.5	0.5
Peur	1	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.5	0.5
Dégoût	1	1	0.5	0.5	0.2	1	0.5	0.5
Tristesse	1	0.2	0.5	0.5	0.2	0.2	0.5	0.2
Colère								

Ainsi, pour chacune des dimensions d de la personnalité, il existe une liste d'expériences émotives LEP_d associée. En reprenant l'exemple de la matrice ci-dessus, la liste LEP associée à la dimension I est la suivante :

$$LEP_I = MREP[I] = \begin{pmatrix} Joie & \Rightarrow & 0.2 \\ Surprise & \Rightarrow & 0.5 \\ Peur & \Rightarrow & 1 \\ Dgot & \Rightarrow & 0.5 \\ Tristesse & \Rightarrow & 1 \\ Colre & \Rightarrow & 0.2 \end{pmatrix}$$

Sachant que chaque type de personnalité est défini par 4 dimensions par le modèle MBTI, en définissant le type ENTP, on obtient une liste L_{pp} de couples $(eemo, C_{eemo})$ nommée « profil de la personnalité ». Elle est issue d'une moyenne des coefficients (voir équation 6.2) de chaque dimension pour l'émotion des listes LEP_E , LEP_N , LEP_T et LEP_P .

$$L_{pp}[eemo] = \frac{\sum_{d \in P} LEP_d[eemo]}{card(P)}$$

avec

$eemo$:	expérience émotive	(6.2)
d	:	dimension de la personnalité	
P	:	sous ensemble de toutes les dimensions du modèle de personnalité. Pour le modèle MBTI 4 dimensions choisies parmi $\{E, I, S, N, T, F, J, P\}$	

Humeur

Comme pour la personnalité, il n'existe actuellement pas de modèle unifié et implémentable permettant de lier une humeur à des émotions et inversement. Cependant, une personne de bonne humeur va privilégier des réactions positives et inversement pour une humeur négative. Il en sera donc de même pour le robot.

L'humeur du robot est caractérisée par un affect pouvant être positif ou négatif. Elle est représentée par une variable $H \in \{0, 1\}$ et caractérisée par les coefficients C_{Hp} pour l'humeur positive ($H = 1$) et C_{Hn} pour l'humeur négative ($H = 0$). Ces coefficients sont calculés à l'aide de l'équation 6.3.

$$\begin{aligned} C_{Hn} &= [(1 - H) \times C_n] + (H \times C'_n) \\ C_{Hp} &= [(1 - H) \times C_p] + (H \times C'_p) \\ H &= \begin{cases} 0 : \text{si humeur négatif} \\ 1 : \text{si humeur positif} \end{cases} \end{aligned} \quad (6.3)$$

avec

$C_n \in [0, 1]$:	intensité négative si humeur négative
$C'_n \in [0, 1]$:	intensité négative si humeur positive
$C'_p \in [0, 1]$:	intensité positive si humeur négative
$C_p \in [0, 1]$:	intensité positive si humeur positive

Traitement des paramètres

La personnalité d'EmI définit une liste L_{pp} de couples $(eemo, C_{eemo})$. L'humeur définit l'influence qu'elle aura sur les émotions positives et négatives à l'aide des coefficients C_{Hp}

et C_{Hn} . Ces informations nous permettent de créer la liste L_{mod} de couples (emo, C_{emo}) représentant l'état cognitif interne d'EmI en fonction de sa personnalité et de son humeur. Les coefficients C_{emo} de la liste L_1 sont calculés à partir de l'équation 6.4.

Pour chacun de ces paramètres (humeur et personnalité) une intensité α et β déterminera leur influence sur le coefficient C_{emo} de la liste L_{mod} .

$$L_{sel}[emo] = \alpha.L_{pp}[emo] + \beta. ((1 - a) \times C_{Hn}] + (a \times C_{Hp}))$$

$$a = \begin{cases} 0 & : \text{si affect négatif} \\ 1 & : \text{si affect positif} \end{cases}$$

avec

- emo : expérience émotive
- α : intensité de la personnalité
- β : intensité de l'humeur
- a : affect de l'expérience émotive
- C_{Hn} : coefficient pour une humeur négative
- C_{Hp} : coefficient pour une humeur positive

$$\forall \alpha \in [0, 1], \beta \in [0, 1] : (\alpha + \beta) \in [0, 1]$$
(6.4)

6.4.2 Module « Sélecteur d'expériences émotives »

Ce module a pour objectif de calculer l'état émotionnel d'EmI par rapport au discours (hors contexte) de l'enfant. Il représente son interprétation cognitive. Il s'agit également de construire une liste L_{sel} de couples (emo, C_{emo}) en fonction des mots du discours.

Table 6.1 – Extrait du vecteur d'émotions pour les mots (action ou concept).

Mot	Vecteur					
	Joie	Colère	Surprise	Dégoût	Tristesse	Peur
Papa (concept)	1	-1	0	0	-1	-1
Maman (concept)	1	-1	0	0	-1	-1
Sœur (concept)	-1	-1	0	-1	-1	0
Tuer (action)	-1	1	0	0	-1	0
Embrasser (action)	1	0	0	0	-1	0
Manger (action)	1	0	0	0	-1	0

Coefficient du vecteur : -1 : ne sait pas ; 0 : non ; 1 : peu ; 2 : beaucoup

Le discours est représenté par une liste d'actions et concepts transmis par le module de compréhension est le plus souvent représenté sous forme de triplet : « action(concept,concept) ». Dans ce modèle calculatoire, chaque action et concept est associé à un vecteur V_i informant sur l'état émotionnel d'EmI pour ce mot (voir tableau 6.1). La base des vecteurs est une annotation manuelle et subjective de l'état émotionnel ressenti pour un corpus [10] des mots les plus courants que l'on retrouve chez l'enfant. Il est important de noter que cette association représente les croyances du robot pour le discours et non celles de l'enfant.

Pour diminuer la complexité de l'annotation, l'état émotionnel représenté par le vecteur V_i se limite aux émotions primaires d'Ekman. En se basant sur le tableau associant des émotions à des expériences émotives (cf. tableau 6.2 repris de la section 5.3.2), nous définissons donc une matrice EM à $(m \times n)$ dimensions où :

- m représente l'ensemble des expériences émotives pris en compte pour EmI
- n représente l'ensemble des émotions primaires d'Ekman

Cette matrice permet de construire la liste L_{sel} .

Table 6.2 – Extrait d'association entre les émotions et les expériences émotives.

Émotion	Expériences émotives
Joie	Bonheur, contentement, enchante, euphorie, heureux, ...
Peur	Affolement, angoisse, crainte, frayeur, ...
Colère	Rage, agitation, détester, fureur, haine, ...
Tristesse	chagrin, déception, déprime, peine, ...
Surprise	Émerveillé, surprise, ...
Dégoût	Écœuré, mépris, ...

$$EM = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{m1} & \alpha_{m2} & \dots & \alpha_{mn} \end{bmatrix} \quad (6.5)$$

$$\forall emo \in [1, m], eemo \in [1, n] : \alpha_{emo_eemo} \in \{0, 1\}$$

Après avoir fusionné les vecteurs en utilisant l'équation 6.6, il nous est possible de déterminer la liste L_{sel} liée au discours. Les coefficients C_{eemo} des couples $(eemo, C_{eemo})$ seront calculés à l'aide du vecteur V fusionné en appliquant l'équation 6.7. Cette liste pondérée qui représente l'état émotionnel du robot pour le discours est transmise au « générateur d'expériences émotives ».

$$V[emo] = \sum_{i=1}^n V_i[emo] \quad (6.6)$$

avec

emo	:	émotion primaire
i	:	mot du discours
n	:	nombre de mots du discours

$$\begin{aligned}
 eemo &= EM[emo] \\
 L_{sel}[eemo] &= \frac{V[emo]}{n}
 \end{aligned} \tag{6.7}$$

avec $\left\{ \begin{array}{l} eemo : \text{expérience émotive} \\ emo : \text{émotion associée à l'expérience émotive} \\ n : \text{nombre de mots du discours} \end{array} \right.$

6.4.3 Module « Générateur d'expériences émotives »

Ce module calcule l'état émotionnel ressenti d'EmI. Il est relié à tous les autres modules du modèle afin de générer une liste ordonnée d'expériences émotives. Le traitement des informations se fera en deux étapes permettant d'obtenir une liste L_{gen} de couples $(eemo, C_{eemo})$.

Étape 1 :

Elle permet de calculer l'état émotionnel observé chez l'enfant. Cet état est une donnée en entrée obtenue par le module de compréhension à l'aide du discours prononcé. Il est représenté par un vecteur émotionnel V , ayant la même structure que celui utilisé pour les mots du discours. En reprenant la matrice EM , associant les émotions primaires aux expériences émotives, nous pouvons construire la liste L_{etat} . Le coefficient C_{eemo} des expériences émotives est celui du coefficient de l'émotion lié à l'expérience émotive (voir équation 6.8).

$$\begin{aligned}
 eemo &= EM[emo] \\
 L_{etat}[eemo] &= V[emo]
 \end{aligned} \tag{6.8}$$

avec $\left\{ \begin{array}{l} eemo : \text{expérience émotive} \\ emo : \text{émotion associée à l'expérience émotive} \end{array} \right.$

Étape 2 :

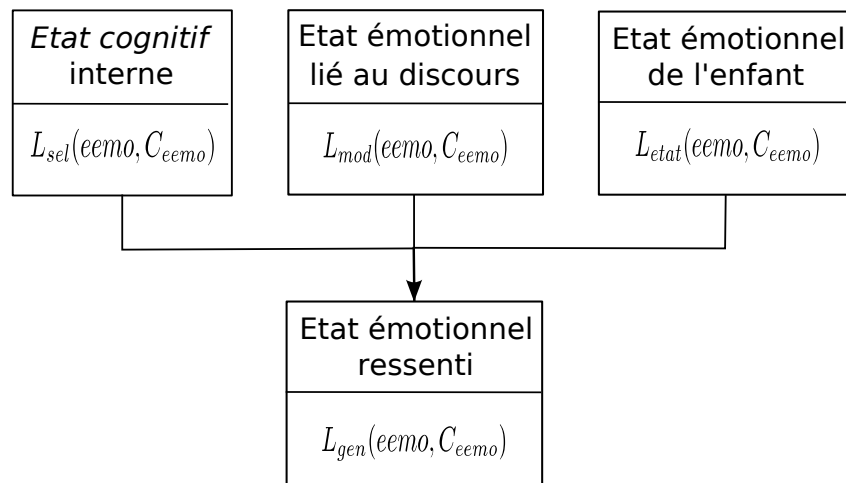
Elle permet de calculer l'état émotionnel du robot en fonction de son état émotionnel interne, de l'état émotionnel de l'enfant et du discours hors contexte. Il s'agit de créer une liste L_{gen} de couples $(eemo, C_{eemo})$ en fusionnant les 3 listes L_{mod} , L_{sel} et L_{etat} (voir figure 6.13). Le coefficient C_{eemo} est calculé en utilisant l'équation 6.9.

$$\begin{aligned}
 L_{gen}[eemo] &= \alpha.L_{mod}[eemo] + \beta.L_{sel}[eemo] + \gamma.L_{etat}[eemo]
 \end{aligned} \tag{6.9}$$

avec $\left\{ \begin{array}{l} eemo : \text{expérience émotive} \\ \alpha, \beta, \gamma : \text{poids des listes} \end{array} \right.$

6.4.4 Module « Comportement »

Il permet de sélectionner les expériences émotives qui ont l'intensité la plus élevée. Il s'agit de créer une liste L_{comp} de couples $(eemo, C_{eemo})$ en extrayant les n expériences émotives de la

Figure 6.13 – Fusion des listes L_{mod} , L_{sel} et L_{etat} en L_{gen}

liste L_{gen} ayant les coefficients C_{eemo} les plus élevés. Dans le cas d'une égalité de coefficients, un choix aléatoire est fait. Actuellement, nous avons fixé à 3 le nombre d'expériences émotionnelles à extraire. Afin de ne pas avoir un phénomène de répétition, un filtrage des expériences émotionnelles ayant déjà été utilisées pour ce même discours est effectué.

Le module Comportement joue également un rôle dans la boucle réflexe d'EmI. En effet, la prosodie utilisée pour la compréhension du discours est liée à ce module et permet à EmI de réagir instantanément. Il s'agit d'un événement qui n'est interprété que par Comportement et qui génère un état émotionnel en fonction du seuil atteint par le signal. Dans le cas de l'arrivée d'un signal ayant dépassé le seuil limite, toutes les autres actions effectuées par Comportement sont arrêtées. La prosodie est donc prioritaire sur un événement provenant de Générateur d'expériences émotionnelles.

6.5 « Expression des émotions »

Ce traitement a pour objectif d'exprimer l'état émotionnel d'EmI en construisant une suite de triplets <ton, posture, état facial>. EmI ne pouvant exprimer que les six émotions primaires d'Ekman, nous convertissons les expériences émotionnelles de la liste L_{comp} en expressions faciales. La matrice EM définit les émotions associées aux expériences émotionnelles de la liste L_{comp} . Ces émotions nous permettent de choisir une expression faciale associée parmi le panel présenté en section 5.3.2. Il faudra faire attention à ne pas perdre l'interaction avec l'enfant en répétant sans cesse la même expression faciale pour une émotion.

L'expression de l'état émotionnel est réalisée en fonction des caractéristiques matérielles qui composent EmI : buzzer et moteurs. Les informations transmises sont converties en commandes pouvant être réalisées par EmI. Ainsi, les expressions faciales et les postures seront converties en mouvements de moteurs et le ton en notes de musique. Les expressions faciales liées aux

émotions seront exprimées avec 6 unités d'actions. Ce principe peut être comparé à une version très simplifiée du système de codage EMFACS.

Dynamique du mouvement

L'objectif de l'étude sur la dynamique du mouvement est de permettre à EmI de réagir indépendamment de son environnement externe et de personnaliser ses mouvements. L'objectif à terme est de pouvoir exprimer ses traits de personnalité par l'expression des émotions. Il s'agit de calculer des comportements en fonction de son état cognitif interne. La personnalité et l'humeur d'EmI influence son comportement et joue un rôle important sur l'intensité du ressenti qu'il doit avoir, aussi bien pour une réaction à un événement que pour la dynamique du mouvement.

Ce travail de recherche sur la dynamique est réalisé par Céline Jost lors de son stage de master [67]. L'objectif était de développer un avatar ArtE (voir figure 6.14) et intégrant une dynamique du mouvement. Les contraintes mécaniques liées à l'architecture d'EmI devaient être prises en compte pour faciliter l'implémentation sur la plateforme robotique :

- Art-e doit exprimer les mêmes émotions qu'EmI. Tous deux doivent donc communiquer avec le même format de données.
- Les expressions d'Art-e doivent être composées au minimum des mêmes sourcils et bouches qu'EmI. En effet, toute expression de l'un doit être exprimable sur l'autre.

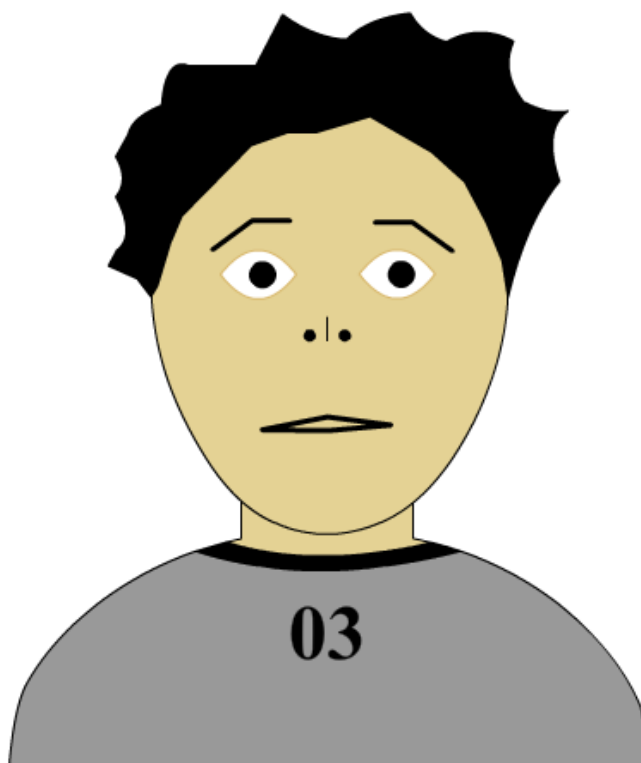


Figure 6.14 – Avatar ArtE

En se basant sur ses travaux [114], on différencie l'expression statique de l'expression dynamique d'EmI par un ensemble d'actions :

- Le mouvement du regard
- Les rictus

Le mouvement du regard

Effectuer des mouvements du regard va donc augmenter la crédibilité d'EmI. Sachant que les yeux sont fixes, il s'agit de faire bouger la tête. On met donc en place un mode appelé *watching grass grow* (regarder les mouches voler) qui est une suite infinie de trois actions distinctes :

- ***Bézier*** : Mouvement pseudo aléatoire dont le point d'arrivée est totalement hasardeux.
- ***Neutral*** : Mouvement pseudo aléatoire donc le point d'arrivée est la position de la tête à l'état neutre.
- ***Break*** : Pause dans le mouvement, permettant de fixer le regard.

La trajectoire des actions (sauf ***Break***) suit une courbe de Bézier de degré 3 :

$$f(t) = P_0(1-t)^3 - 3P_1t(1-t)^2 - 3P_2t^2(1-t) - P_3t^3$$

La durée de la trajectoire est calculée aléatoirement pour chaque action, en fonction des trois paramètres suivants :

- Durée minimum possible pour l'action
- Durée maximum possible pour l'action
- Taux d'utilisation de l'action

Les rictus

Le rictus est défini par une petite variation dans la position des sourcils et/ou dans la forme de la bouche pour rendre le visage dynamique. Ce mécanisme peut permettre de représenter des tics en provoquant des rictus à intervalles réguliers. La mise en place du rictus est similaire à celle du *watching grass grow*. C'est une suite infinie de trois actions distinctes :

- ***Rictus*** : Petite variation sur les sourcils ou la bouche.
- ***Neutral*** : Retour à une expression faciale neutre.
- ***Break*** : Pause dans le mouvement, aucune variation d'émotion.

La durée des variations est calculée comme précédemment : en utilisant le taux d'apparition, la durée minimum et la durée maximum pour chacune des trois actions.

6.6 Limites et perspectives

Cette section discute les limites de l'implémentation du modèle calculatoire iGrace que nous utilisons actuellement pour EmI.

Entrée

Les valeurs d'entrées sont enregistrées dans une base de données. Si elles ne sont pour l'instant pas utilisées, elle permettront de suivre l'évolution de l'histoire qui influe sur la personnalité et les croyances du robot. Cette perspective est considérée comme notre adaptation, voire notre « apprentissage » ou « connaissance » de l'interlocuteur.

Modérateur

Actuellement la matrice associant les dimensions du modèle de la personnalité MBTI et les expériences émotives est statique. La perspective d'une fonction d'apprentissage nous permettrait également de modifier les coefficients saisis dans la matrice et de faire évoluer la personnalité du robot. Cette évolution à long terme serait basée sur les connaissances qu'il se fait de son interlocuteur.

Sélecteur d'expériences émotives

Comme pour le modérateur, le vecteur associant les mots aux émotions est statique. Il pourrait également être modifié durant la vie du robot et faire évoluer ses croyances. Il est tout à fait concevable de ne pas aimer des fraises un jour et de finalement trouver ça bon après quelques années.

La connaissance de l'interlocuteur pourrait également permettre de construire un deuxième vecteur associant les mots et les émotions. Celui-ci ne représenterait pas les croyances du robot pour un mot mais celles du locuteur. Ce nouveau vecteur pourrait être utilisé comme point de comparaison avec les croyances d'EmI ou avec l'état émotionnel issu du module de compréhension.

Générateur d'expériences émotives

Lors de la fusion des listes représentant l'état cognitif interne, l'état émotionnel d'EmI pour le discours et l'état émotionnel de l'enfant, les coefficients sont tous mis à 1. Ces différents états ont donc le même impact sur l'état émotionnel qu'EmI devra exprimer. Il serait intéressant qu'un système choisisse l'ordre d'importance des différentes listes. Les paramètres tels que la phase, l'acte et le temps du discours auraient donc une influence sur l'état émotionnel ressenti.

Afin de réaliser de l'empathie, il sera souhaitable de construire une boucle adaptative pour la génération des expressions faciales. Toutefois le verrou scientifique est la reconnaissance par le robot de son impact sur l'être humain.

6.7 Discussion

Ce chapitre a présenté l'architecture mécanique et informatique utilisée pour EmI. Puis, nous avons décrit les différentes composantes du modèle calculatoire d'émotions iGrace, ainsi que les méthodes de traitement des données. Il a également soulevé quelques limites de développement et les perspectives d'évolution du système. Pour valider les travaux de recherche, il est nécessaire d'évaluer les systèmes développés. Les différentes expérimentations permettant l'évaluation des travaux sont présentées dans le chapitre 7.

7

EXPÉRIMENTATIONS

Ce chapitre présente les quatre expérimentations que nous avons menées afin d'évaluer le modèle calculatoire d'émotions iGrace et le robot EmI :

1. La première expérimentation [112], présentée dans la section en section 7.1, a pour objectif d'évaluer l'état émotionnel généré par le modèle en simulation statique. Il s'agit de vérifier la reconnaissance des émotions et la cohérence de celle-ci pour un discours prédéfini. Les résultats obtenus ont permis de confirmer les choix de conception du modèle calculatoire iGrace.
2. La deuxième expérimentation, présentée dans la section en section 7.2, a pour objectif d'évaluer l'expressivité en simulation dynamique. Il s'agit de vérifier la reconnaissance des émotions et la cohérence de celle-ci pour un discours libre. Les résultats ont permis d'intégrer cette fonctionnalité à la version 3 d'EmI.
3. La troisième expérimentation, présentée dans la section en section 7.3, a pour objectif d'évaluer l'expressivité de la version 2 d'EmI en statique et son aspect physique. On utilise la technique du magicien d'Oz pour faire croire à l'utilisateur qu'EmI comprend son discours en simulant les événements et sa réaction. Les résultats obtenus ont soulevé certains problèmes liés à l'architecture mécanique. Nous en avons conclu qu'une nouvelle architecture mécanique pour version 3 d'EmI devait être refaite.
4. La troisième expérimentation, présentée dans la section en section 7.4, avait pour objectif d'évaluer l'expressivité de la version 3 d'EmI en statique. Comme pour l'évaluation de la version 2, nous utilisons la technique du magicien d'Oz pour faire croire à l'utilisateur qu'EmI comprend son discours en simulant les événements et sa réaction. Les résultats obtenus ont permis une validation partielle de l'expressivité du robot.

Une dernière expérimentation, en cours de préparation, sera réalisée avec la version 3 d'EmI. Elle aura également pour objectif d'évaluer son expressivité et l'interaction mais en intégrant la dynamique du mouvement. Elle ne sera pas décrite dans ce chapitre car prévue pour le mois de juin. Le protocole expérimentale et les résultats obtenus seront présentés lors de la soutenance.

7.1 Évaluation du modèle calculatoire émotionnel statique iGrace

Cette expérimentation a pour objectif d'évaluer l'état émotionnel en simulation statique généré par le modèle calculatoire d'émotions iGrace. Elle a été réalisée avec une interface permettant de simuler les entrées du discours et la réaction générée. Elle communique avec un PC

distant embarquant le programme issu du modèle calculatoire iGrace. Cette expérimentation a permis de répondre aux questions suivantes :

- Le comportement lié au discours est-il cohérent ?
- L'expression des émotions semble-t-elle naturelle ?

En outre, nous avons dû évaluer la vitesse de l'expression et la durée du comportement afin de les intégrer au robot pour la deuxième étape expérimentale.

7.1.1 Interface de simulation

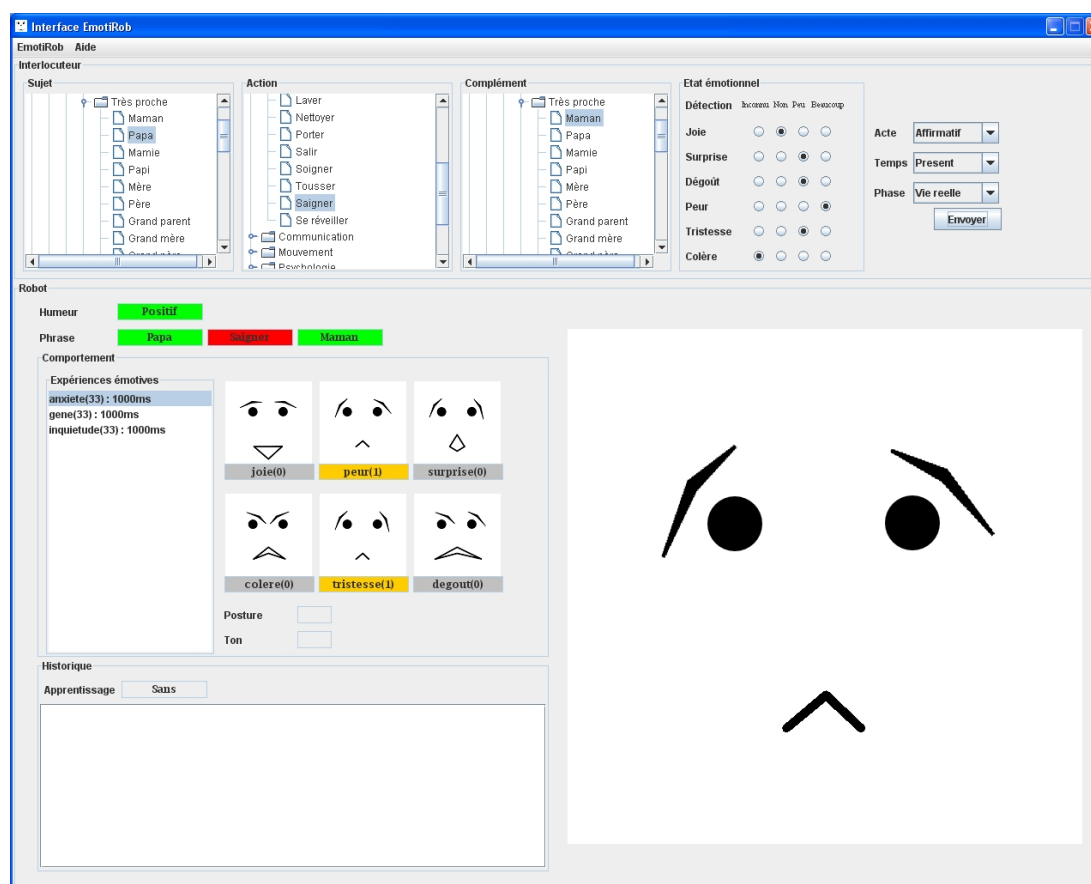


Figure 7.1 – Interface de simulation statique du modèle calculatoire iGrace

L'interface développée en Java (voir figure 7.1) permet de saisir les informations du discours et de simuler l'état émotionnel que doit avoir le robot en fonction des éléments qui lui sont donnés. Cette interface envoie les données saisies à un serveur distant embarquant une implémentation du modèle d'interaction émotionnel via une socket en utilisant le protocole TCP/IP. Elle ne permet qu'une simulation des entrées/sorties et non le traitement des données.

La simulation du comportement passe par un affichage des caractéristiques de chaque expérience émotive sélectionnée pour l'interaction. Chaque expérience émotive est caractérisée

par une animation faciale, la description de la posture, la tonalité de la voix et une durée de simulation. L'expérience émotive pouvant être un mélange de différentes émotions, il n'est pas improbable que l'on fasse un mixage des expressions faciales pour animer le visage. Les émotions représentatives des expériences émotives sont représentées par un coefficient et un code couleur :

- Or : implique cette émotion
- Argent : n'implique pas cette émotion

On indique aussi sur notre interface l'humeur du robot et les différents affects associés aux mots du discours par trois coloris :

- Blanc : neutre
- Vert : positif
- Rouge : négatif

Pour terminer, en mode apprentissage, le robot affiche l'historique des comportements qu'il a pu avoir sur un discours identique. Cette information n'intéresse pas spécialement l'utilisateur mais nous permet de vérifier si les comportements du robot sont toujours les mêmes. Un phénomène de répétition sur la durée va vite désintéresser l'interlocuteur, surtout s'il s'agit d'un enfant.

7.1.2 Protocole

La première étape fût réalisée avec 8 volontaires du laboratoire de recherche : le Valoria. Il leur a été demandé de faire preuve d'abstraction de l'ergonomie et du mode de saisie de l'interface de simulation car celle-ci n'est pas évaluée.

Table 7.1 – Phrases de l'évaluation et représentations en *actions* et *concepts*

Phrase	Actions	Concepts
Maman câline papa	Câliner	Maman, Papa
Un tigre attaque mamie	Attaquer	Tigre, Mamie
Le bébé pleure	Pleurer	Bébé
Je chatouille ma sœur	Chatouiller	Je, Sœur

Pour effectuer les tests, nous avons au préalable défini une liste de 4 phrases (voir tableau 7.1) sur lesquelles devaient se baser les testeurs. Pour chacune d'elles, nous y associons les informations de langages suivantes :

- Temps d'action : présent.
- Acte de langage : affirmatif.
- Contexte du discours : vie réelle.

Ce système nous a permis de gagner un temps précieux qu'aurait utilisé chaque personne pour faire son choix.

7.1.3 Grille d'évaluation

Après distribution et explication de la grille d'évaluation (voir figure 15 en annexe .4), chaque personne devait dans un premier temps effectuer la démarche suivante :

1. Donner un affect (positif, négatif ou neutre) aux actions et concepts représentant la phrase (voir tableau 7.1).
2. Définir son état émotionnel pour le discours.
3. Prédire l'état émotionnel du robot.

Cette étape bien que facile à réaliser fût assez longue à saisir car certaines personnes ont eu du mal à exprimer leurs sentiments. Après saisie des informations nous pouvions démarrer la simulation pour chacune des phrases. Nous avons demandé aux utilisateurs d'être attentif à l'expression du robot car celle-ci ne pouvait pas être visualisée à nouveau. Après observation du comportement du robot, les utilisateurs devaient compléter les informations suivantes :

1. Quelles étaient les émotions reconnues dans le comportement et leur intensité, sur l'échelle : pas du tout, un peu, beaucoup, ne sais pas ?
2. La vitesse moyenne de l'expression et la durée du comportement, sur l'échelle : trop lent, lent, normal, rapide, trop rapide ?
3. A-t-il eu une impression de combinaison des émotions : Oui ou non ?
4. L'enchaînement des émotions est-il naturel : Oui ou non ?
5. Est-il satisfait du comportement du robot : Pas du tout, un peu, beaucoup ?

7.1.4 Résultats et discussion

L'objectif de cette étude est d'évaluer la reconnaissance des émotions à travers un simulateur statique et de déterminer si la réponse au discours est satisfaisante. Il est important de signaler que l'objectif n'est pas d'évaluer l'expression statique des six émotions primaires mais la reconnaissance des émotions pour un discours. Les résultats donnés ne sont donc pas applicables à toutes les émotions, mais uniquement à celles exprimées.

La figure 7.2(a) présente le taux de satisfaction obtenu pour la réaction générée par rapport au discours. La totalité des utilisateurs semble satisfaite de la cohérence de la réponse. La figure 7.2(b) présente le taux de reconnaissance des émotions exprimées. Le pourcentage obtenu reste très satisfaisant mais nous avons remarqué que certaines émotions étaient confondues avec d'autres. Le tableau 7.2 tente de présenter cette confusion entre émotions. Cependant, il est très difficile d'exploiter le tableau de confusion pour cette expérimentation. En effet, lors de la génération du discours, le simulateur n'exprimait pas qu'une seule émotion mais une liste. Il est donc très difficile de dire si cette confusion est réelle ou dû à la succession d'émotions exprimées.

Table 7.2 – Tableau de comparaison des émotions reconnues pour une émotion exprimée.

Émotions	Joie	Surprise	Tristesse	Colère	Dégoût	Peur
Joie	12	9	2	0	2	2
Tristesse	1	10	9	2	1	7
Colère	1	2	0	1	0	1
Peur	1	8	8	2	1	6

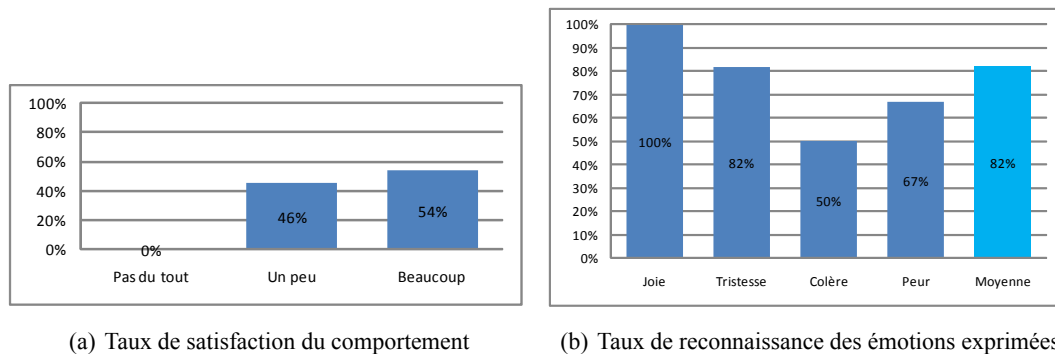


Figure 7.2 – Résultats de l'évaluation du modèle calculatoire iGrace en simulation statique

Les autres résultats, avec des taux de satisfaction acceptables pour notre travail, sont utilisés pour l'intégration du modèle sur le robot. Il permettent de paramétrer et calibrer les moteurs pour l'interaction :

- Vitesse des expressions : normale à 63%
- Durée du comportement : normale à 63%
- Combinaison des émotions : oui à 67%
- Enchaînement naturel des émotions : oui à 71%

Même si les résultats ne sont pas significatifs, dû au nombre peu élevé de testeurs, cette expérimentation en simulation statique nous a permis de répondre partiellement aux questions posées sur la durée, la vitesse d'expression et l'expressivité que pourra avoir EmI. Au vue des résultats, les méthodes de traitement de l'information et de génération de l'état émotionnel semblent être cohérents. Elles nous permettent d'appliquer le modèle calculatoire iGrace à EmI et de commencer une nouvelle expérimentation.

Toutefois, l'expressivité du simulateur en statique, même avec un taux de reconnaissance des émotions très acceptable, est encore à améliorer. Pour augmenter celle-ci et rendre l'interaction plus naturelle, nous y intégrons une dynamique du mouvement. Elle permettra au simulateur d'être en mouvement constant et d'avoir une réaction même en l'absence d'événements.

7.2 Évaluation du modèle calculatoire émotionnel dynamique iGrace

Cette expérimentation a pour objectif d'évaluer l'état émotionnel en simulation dynamique généré par le modèle calculatoire d'émotions iGrace. Elle a été réalisée à l'aide d'un site Web (voir figure 7.3), développé en PHP¹, afin de mettre à contribution le maximum d'utilisateurs. Ce site permet de saisir le discours et de simuler la réaction de notre avatar ArtE. Après la saisie et la validation des informations du discours via l'interface Web, les informations sont envoyées à un serveur Apache. Celui-ci redirige les données au bon format à un PC embarquant l'implémentation d'iGrace. Contrairement à la première expérimentation, la dynamique

1. <http://emotirob.dyndns.org>

du mouvement a été ajoutée. Elle permet à ArtE d'être continuellement en mouvement et d'avoir un comportement en l'absence d'évènement.

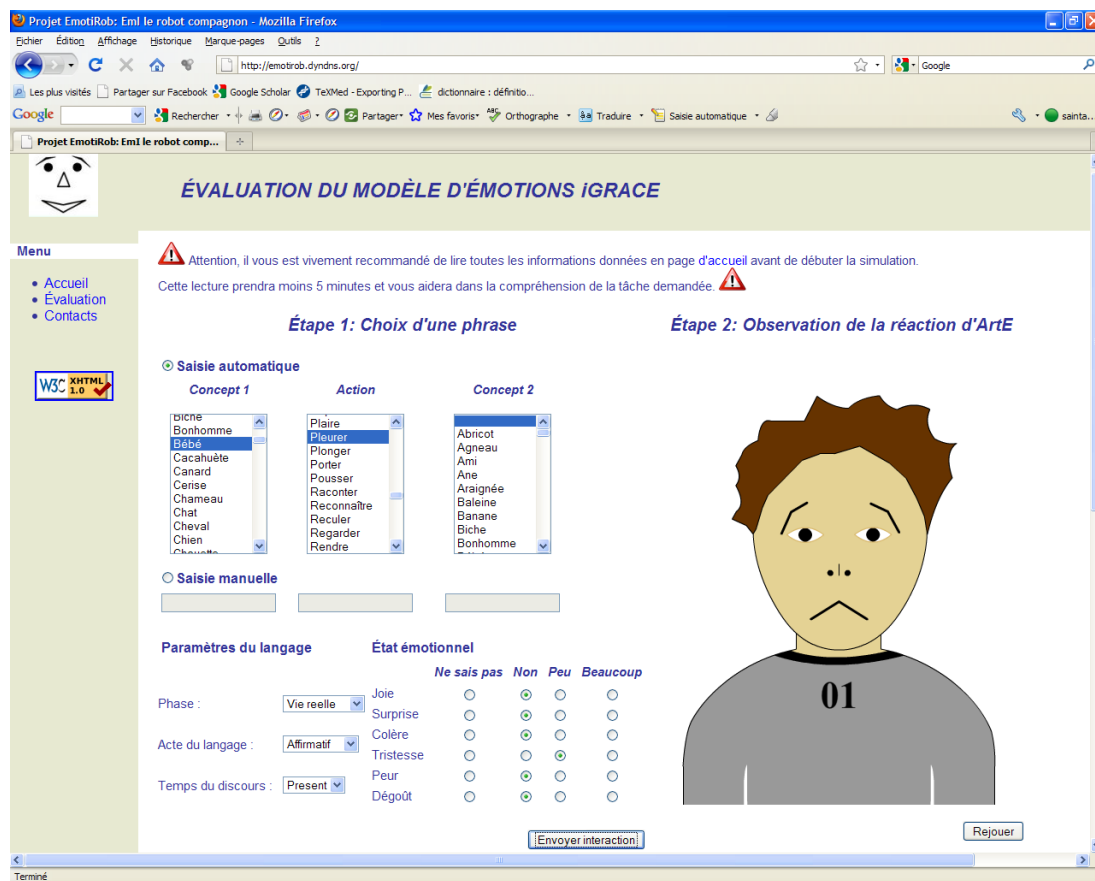


Figure 7.3 – Site Web de simulation statique du modèle calculatoire iGrace

Cette expérimentation a permis de répondre aux questions suivantes :

- Le comportement lié au discours est-il cohérent ?
- La dynamique du mouvement a-t-elle un impact sur la réaction du robot ?
- L'expression des émotions semble-t-elle naturelle ?

7.2.1 Protocole

L'évaluation se déroule en 3 étapes :

1. Choix d'une phrase quelconque à partir des mots de la liste prédéfinie et de l'état émotionnel de l'utilisateur.
2. Observation de la réaction d'ArtE pour la phrase donnée.
3. Évaluation de la réaction d'ArtE.

Figure 7.4 – Formulaire de saisie du discours

Étape 1 : Saisie du discours et de l'état émotionnel de l'utilisateur

La première étape consiste à saisir une phrase à dire à l'avatar et préciser son état émotionnel pour cette phrase. Dans notre cas, une phrase est caractérisée par 2 concepts représentant le sujet et l'objet sur lequel on agit, et 1 action représentant le verbe. Exemple : « *Je mange une pomme* » ⇒ « *Je* » (concept 1), « *Manger* » (action), « *Pomme* » (concept 2). Néanmoins, l'utilisateur a la possibilité d'omettre le(s) concept(s) ainsi que l'action du discours afin de saisir des phrases incomplètes : ex. Je mange, Maman, Tuer, etc. Pour leur faciliter la tâche, une liste des actions et concepts connus par ArtE est disponible. Pour ceux qui le souhaitent, la saisie manuelle est aussi possible mais peut provoquer des erreurs de reconnaissance (mot inconnu, fautes d'orthographe ou d'accent, etc.).

Dans un premier temps, l'utilisateur doit choisir dans la liste (voir 1a,2a,3a, figure 7.4) ou manuellement (voir 1b,2b,3b, figure 7.4), les actions et concepts qui composent son discours. Puis donner les informations suivantes sur sa phrase :

- Phase (voir 4, figure 7.4) : précise si la phrase est un fait imaginaire ou réel.
- Acte du langage (voir 5, figure 7.4) : précise si c'est une phrase affirmative ou interrogative.
- Temps (voir 6, figure 7.4) : précise le temps de l'action (passé, présent, futur).

Pour terminer, l'utilisateur indique son état émotionnel (voir 7, figure 7.4) pour ce discours. Ex. La phrase suivante : « *Le chien tue le chat* » peut provoquer chez certaines personnes les

émotions de peur, tristesse et colère à des degrés différents.

Étape 2 : Observation de la réaction d'ArtE

Après avoir saisi les caractéristiques du discours, il leur est demandé d'observer la réaction d'ArtE afin de la noter dans la grille d'évaluation (voir étape 3). Il leur faut essentiellement observer les émotions qu'ils peuvent reconnaître et la cohérence de la réaction par rapport au discours.

Étape 3 : évaluation de la réaction d'ArtE

Cette dernière étape vous permet d'évaluer la réaction du robot. Il leur est demandé de compléter un petit questionnaire sur :

- La liste des émotions qu'ils ont reconnu
- La fluidité du mouvement
- La cohérence de la réaction par rapport au discours

Pour terminer, quelques informations personnelles sont demandées. Cette expérimentation étant anonyme, seuls leur âge et niveau d'étude sont obligatoires à la saisie. Les champs nom, prénom et remarques restent optionnels.

7.2.2 Grille d'évaluation

La grille d'évaluation est reprise de l'expérimentation du modèle iGrace en statique. Les utilisateurs devaient compléter les informations suivantes :

1. Quelles étaient les émotions reconnues dans le comportement et leur intensité, sur l'échelle : non exprimé, faible, moyen, fort ?
2. La vitesse moyenne de l'expression et la durée du comportement, sur l'échelle : trop lent, lent, normal, rapide, trop rapide ?
3. La rapidité de l'expression : trop lente, lente, naturelle, rapide, trop rapide ?
4. L'enchaînement des émotions : trop lente, lente, naturelle, rapide, trop rapide ?
5. La satisfaction de la réaction du robot : très insatisfait, plutôt insatisfait, plutôt satisfait, très satisfait ?

7.2.3 Résultats et discussion

L'objectif de cette étude est d'évaluer la reconnaissance des émotions à travers un simulateur dynamique et de déterminer si la réponse au discours est satisfaisante. Ce discours étant libre, les résultats et les conclusions ne sont applicables qu'aux émotions exprimées pour cette expérimentation.

La figure 7.5(a) présente le taux de satisfaction obtenu pour la réaction générée par rapport au discours. Même si majoritairement la réaction semble cohérente, le taux de satisfaction atteint à peine les 60%. Les commentaires des utilisateurs font souvent état d'une réaction inattendue et qui n'est pas celle espérée. Ces remarques soulèvent un problème sur l'importance de la prise en compte de l'état émotionnel du locuteur lors de la génération du discours. De nouveaux réglages de ces paramètres pourraient permettre d'avoir un niveau de satisfaction plus important.

7.2. Évaluation du modèle calculatoire émotionnel dynamique iGrace

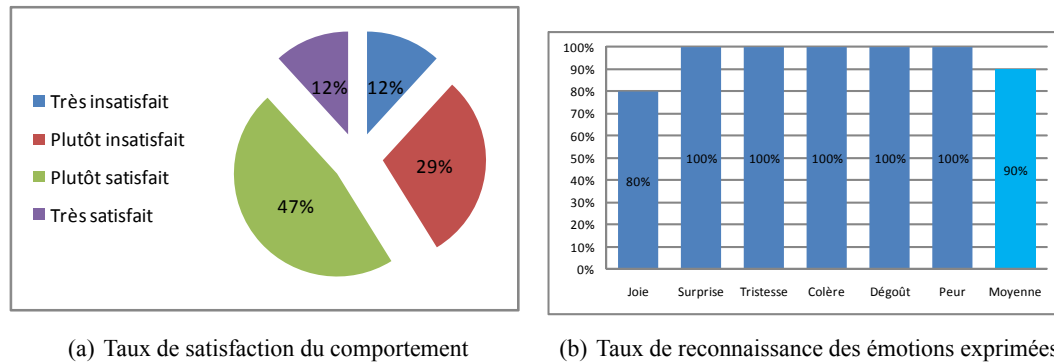


Figure 7.5 – Résultats de l'évaluation du modèle calculatoire iGrace en simulation dynamique

La figure 7.5(b) présente le taux de reconnaissance des émotions exprimées. Le pourcentage obtenu reste très satisfaisant mais comme pour la simulation statique, nous remarquons une confusion des émotions. Le tableau 7.3 tente de présenter cette confusion entre émotions. La difficulté d'exploitation de ce tableau est identique à celui rencontré en simulation statique. Le simulateur n'exprime pas qu'une seule émotion mais une liste. Il est donc très difficile de dire si cette confusion est réelle ou due à la succession d'émotions exprimées. De plus, l'ajout de la dynamique implique que le simulateur est souvent en mouvement. Si cet événement intervient après une réaction, un rictus de la dynamique peut être perçu comme une émotion exprimée.

Table 7.3 – Tableau de comparaison des émotions reconnues pour une émotion exprimée.

Émotions	Joie	Peur	Colère	Tristesse	Dégoût	Surprise
Joie	8	5	2	5	3	8
Peur	0	3	0	1	0	3
Colère	1	2	2	2	2	2
Tristesse	1	2	1	3	0	1
Dégoût	1	1	1	1	1	1
Surprise	0	1	0	0	0	1

Cependant, nous remarquons des émotions qui ne devraient pas être reconnues lors de certaines expressions. Prenons l'exemple de l'expression de la joie dans le tableau 7.3. Nous remarquons que la peur et la tristesse sont reconnus 5 fois. Cette incohérence pose donc un problème sur l'appartenance des expressions faciales à une émotion unique. Actuellement, l'émotion exprimée est choisie aléatoirement parmi un panel d'expression. Une évaluation sur la classification des expressions faciales et leur appartenance à un groupe d'émotions pourrait apporter des réponses aux questions posées.

Les résultats présentés à la figure 7.6 présentent les taux de satisfaction pour le paramétrage de la vitesse d'expression, la durée du comportement et la vitesse d'enchaînement des émotions exprimées. Il en ressort que la vitesse d'expression ne doit pas être un paramètre statique mais doit évoluer en fonction de l'émotion exprimée et de son intensité.

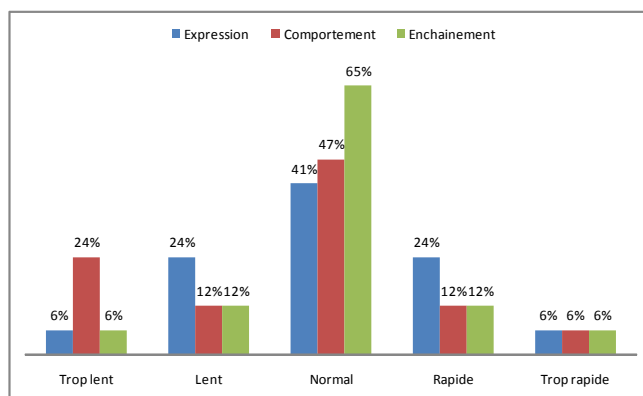


Figure 7.6 – Taux de satisfaction sur la vitesse d'expression de l'état émotionnel

Même si les résultats ne sont pas encore assez significatifs (seulement 17 personnes actuellement), cette expérimentation en simulation dynamique a tenté de valider l'intégration de la dynamique au modèle calculatoire iGrace. Elle a également soulevé certains problèmes liés à l'enchaînement de la dynamique après l'expression d'une émotion et à la classification des expressions faciales pour minimiser les risques de confusion. Il sera également important d'adapter la vitesse de l'expression à de nouveaux paramètres, tels que l'intensité et le type d'émotion.

Toutefois, les résultats nous permettent d'intégrer la dynamique du mouvement à EmI. Cette intégration fera l'objet d'une nouvelle expérimentation qui sera effectuée d'ici le mois de juin.

7.3 Évaluation de la version 2 du robot EmI

Cette expérimentation a pour but d'évaluer l'expressivité du robot compagnon EmI, son aspect physique et l'intérêt que les enfants lui portent. Pour évaluer ces différents points, nous demandons aux élèves de l'école primaire de Saint-Gérant² âgés de 4-8 ans de rencontrer et d'interagir avec EmI puis de remplir une grille d'évaluation et de répondre à certaines questions.

L'expérimentation se déroule sur 3 jours dans une salle comprenant EmI, les enfants, l'instituteur et les évaluateurs. Les séances faites avec les enfants sont filmées, avec l'accord des parents, afin de nous permettre d'analyser des données non perçues lors de l'interaction. Les explications sur l'expérimentation ont été données un mois à l'avance à Mme Patricia Duguay, directrice de l'établissement scolaire, afin qu'elle puisse demander l'autorisation aux parents et expliquer aux enfants ce que nous attendons d'eux. Nous lui avons également fourni des fiches (voir figure 17 en annexe .5.1) exprimant les émotions réalisées par EmI afin qu'elle puisse familiariser les enfants avec les émotions avant notre venue. Ce procédé permet aux enfants de mettre une image d'expression sur une émotion et de se repérer plus facilement. Ce système permet également d'introduire la notion d'émotions chez l'enfant et de gagner du temps pour compléter la grille d'évaluation.

2. école primaire de Saint-Gérard, 8 rue Saint-Gérard, 56620 Cléguer.



Figure 7.7 – Expérimentation de la version 2 d'EmI avec les élèves de Cléguer

7.3.1 Protocole

Avant de commencer les séances, l'histoire d'EmI est racontée aux élèves ainsi que l'objectif de sa venue dans leur établissement. Nous n'oublions pas de préciser qu'EmI ne peut pas parler mais peut bouger le corps, la tête, les lèvres et aussi les sourcils. Il est aussi précisé que nous devons accompagner EmI dans ses déplacements et qu'il leur est demandé de faire quelques jeux avec et sans EmI et de compléter une grille (voir section suivante). Le public d'utilisateurs est le suivant :

- Moyenne section : 12 enfants âgés de 4-5 ans
- Grande section : 16 enfants âgés de 5-6 ans
- CP : 11 enfants âgés de 6-7 ans
- CE1 : 8 enfants âgés de 7-8 ans

Avant de débiter l'évaluation sur l'expressivité d'EmI, nous annotons l'état émotionnel de chaque enfant sur sa grille, que nous lui remettons par la suite. Selon la tranche d'âge du public, nous avons mis en œuvre un scénario différent. Il y a donc un scénario pour chaque séance de l'expérimentation, soit 3 au total :

1. Vidéo avec EmI : cette séance se déroule avec les élèves des classes de CP--CE1, en classe entière. Les élèves doivent regarder une vidéo où l'on voit EmI réagir émotionnellement à 14 phrases (voir tableau 7.4) et noter sur leur grille l'expression émotionnelle qu'ils ont reconnue pour chacune des phrases. Sur cette grille, chaque phrase sera associée à une couleur afin que l'enfant se repère facilement. Un arrêt de la lecture vidéo est effectué après chaque passage de phrase pour permettre à l'enfant de compléter la ligne correspondante. Les phrases sont extraites de l'histoire de « Bouba³--le petit ourson » (voir annexe .5.2).
2. Interaction directe avec EmI (phrases prédéfinies) : cette séance se déroule avec des élèves de moyenne et de grande section. Cependant, ces élèves sont mis en binôme avec des élèves des classes de CP--CE1 qui les aident à compléter la grille d'évaluation. Tous

3. <http://www.bouba-le-petit-ourson.com>

Table 7.4 – Phrases extraites de l'histoire de Bouba pour lesquelles EmI avait une réaction

Phrase	Émotion
Amandine vivait dans une grotte avec deux petits ours	Neutre
Bouba se trouva nez à nez dans la forêt avec Moy	Surprise
Bouba se mit à se courir et rire dans la forêt	Joie
Les ours font des chatouilles à Moy avec son museau	Joie
Amandine était morte et les ours n'avaient plus de maman	Tristesse
Les ours voulaient goûter à la mousse sous les rochers	Dégoût
La cabane de rondins était en feu	Peur
Les ours étaient effrayés par la taille des vaches	Peur
Les deux bergers avaient vendu les ours	Colère
Moy ne reverra plus ses deux amis	Tristesse
Un ours était en train de dévorer sa proie	Dégoût
Bouba reconnu la voix de son ami	Neutre
Bouba se précipita vers Moy et Joy	Surprise
Les deux enfants avaient le cœur déchiré	Tristesse

ces élèves (CP, CE1, moyenne et grande section) sont répartis en 4 groupes de 14 élèves. Chaque groupe est composé de 7 binômes, soit 1 enfant de CP--CE1 associé à 1 enfant de moyenne--grande section. Les élèves de moyenne--grande section doivent à tour de rôle dire une phrase à EmI. Pour chacune de ces phrases, tous les enfants regardent la réaction d'EmI et donnent leur avis. Un jeu de cartes sur lesquels sont imprimés des visages exprimant les émotions permet au plus petit de choisir l'expression reconnue pour la phrase donnée. La carte sélectionnée est remise au plus grand qui devra reporter le résultat sur la grille. À chaque phrase sera associée une couleur afin d'éviter les erreurs de report. Chaque binôme prononcera 2 phrases directement à EmI. Les phrases choisies sont extraites de l'histoire de « Bouba ».

3. Interaction directe avec EmI (phrases spontanées) : cette séance se déroule avec 7 élèves de CP-CE1. Elle permet d'évaluer le comportement d'EmI sur un discours instantané. Selon le programme pédagogique national, ces élèves doivent être capables en fin d'année de raconter, devant un public, une histoire vue en classe. Nous profiterons de cette compétence acquise : nous demanderons aux élèves de raconter une histoire à EmI. Chaque enfant dira avec ses propres mots une phrase ou une histoire. Aucune grille n'est complétée par les élèves mais nous réalisons une vidéo de la scène qui nous permettra par la suite d'observer les réactions d'EmI et des enfants.

À la fin des séances, les enfants ont la possibilité de manipuler leur nouveau compagnon afin qu'ils voient de plus près comment il bouge et qu'ils soient à l'aise avec lui. Cette manipulation dure environ 10 à 20 minutes et nous permet de remplir la troisième partie de la grille sur l'évaluation de l'aspect physique du robot. L'évaluation terminée, nous complétons la grille avec l'état émotionnel de l'enfant correspondant après l'interaction.

7.3.2 Grille d'évaluation

La grille d'évaluation que nous proposons est découpée en 3 parties (voir figure 16 en annexe 5.1) :

- État émotionnel de l'enfant : renseigne sur l'état émotionnel de l'enfant avant et après l'interaction afin de pouvoir étudier l'impact émotionnel d'EmI sur lui. Les échelles utilisées sont les suivantes :
 - Calme/neutre/agité
 - Enthousiaste/neutre/peu intéressé
 - Très bavard/neutre/impressionné
 - Content/neutre/pas content
- Expressivité d'EmI : renseigne sur les expressions reconnues par l'enfant lors de chaque interaction avec EmI. Elle est composée de 14 lignes de 8 cases, chaque ligne représentant une phrase du discours. Les 7 premières cases contiennent chacune un visage exprimant une émotion (les 6 émotions primaires : joie, tristesse, colère, surprise, dégoût, peur + l'expression neutre), la 8ème case permet à l'enfant d'indiquer qu'il n'a pas réussi à reconnaître une émotion.
- physique du robot.

7.3.3 Résultats et discussion

Cette expérimentation avait pour but d'évaluer l'expressivité du robot par des enfants de 6-8 ans. Les résultats présentés sont ceux des étapes 1 et 2 du protocole.

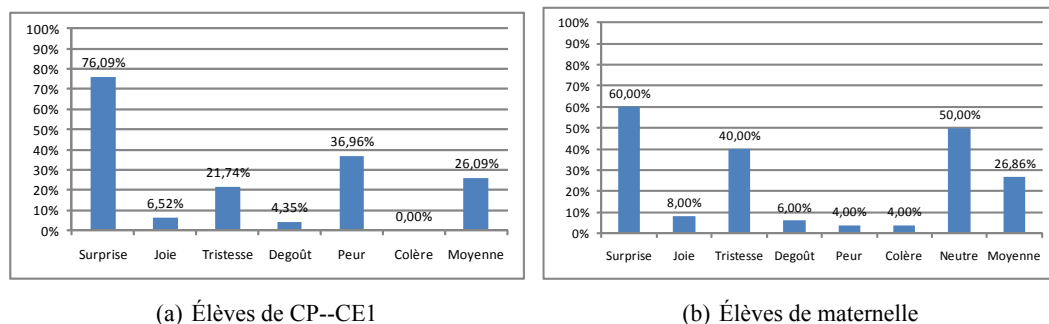


Figure 7.8 – Taux de reconnaissance des émotions exprimées par EmI

Les graphes de la figure 7.8 représentent le taux de reconnaissance des émotions qui ont été exprimées. Chaque émotion primaire a été exprimée 2 fois lors des séances. On observe sur les deux graphes un taux de reconnaissance très bas pour une majorité des émotions. Si les taux sont très satisfaisants avec les interfaces de simulation, il n'en est pas de même pour la plateforme robotique.

Les tableaux 7.5 et 7.6 montrent une grande confusion entre les émotions et un grand manque d'expressivité d'EmI. Nous en déduisons une erreur de conception mécanique sur la

Chapitre 7. EXPÉRIMENTATIONS

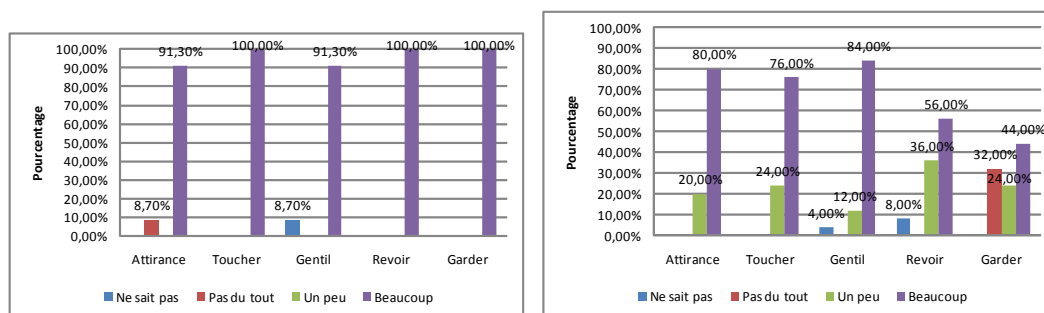
Table 7.5 – Tableau de comparaison des émotions reconnues pour une émotion exprimée. Élèves de CP--CE1

Émotions	Surprise	Joie	Tristesse	Dégoût	Peur	Colère	Neutre	Ne sait pas
Surprise	35	0	0	0	7	1	1	2
Joie	27	3	0	0	10	0	3	3
Tristesse	10	3	15	0	22	0	12	7
Dégoût	15	2	2	2	6	1	3	15
Peur	10	1	2	6	17	2	1	7
Colère	7	1	0	0	6	0	5	4

deuxième version d'EmI. Pour remédier à ce problème, nous avons revu en intégralité la conception de la tête afin d'augmenter son expressivité et d'obtenir un taux de reconnaissance satisfaisant pour nos travaux. Les modifications apportées sur la nouvelle version d'EmI ont été décrites en section 6.1.1. L'évaluation de cette nouvelle version est présentée en section 7.4.

Table 7.6 – Tableau de comparaison des émotions reconnues pour une émotion exprimée. Élèves de maternelle

Émotions	Neutre	Joie	Surprise	Tristesse	Dégoût	Peur	Colère	Ne sait pas
Neutre	25	4	3	9	1	2	0	6
Joie	6	4	4	10	1	13	1	11
Surprise	0	4	30	0	0	6	3	7
Tristesse	11	6	4	30	0	10	4	10
Dégoût	7	5	5	16	3	5	1	8
Peur	9	6	4	16	3	2	2	8
Colère	1	2	10	4	0	6	1	1



(a) Élèves de CP--CE1

(b) Élèves de maternelle

Figure 7.9 – Taux de satisfaction sur l'aspect physique d'EmI

Les graphes de la figure 7.9 représentent le taux de satisfaction de l'aspect physique d'EmI et l'intérêt que les enfants lui portent. On remarque que le choix d'utilisation d'un robot pelucheux,

avec un contact agréable, est très apprécié. De plus, son poids de 2,8Kg permet aux plus petits de le porter aisément. Par conséquent, les enfants sont très attirés par EmI et demandent à le revoir à la fin de chaque séance.

L'expérimentation réalisée a mis en évidence certains problèmes liés à l'architecture robotique. Outre le fait que le robot ait été très bien accueilli et intégré par le groupe d'enfants, son manque d'expressivité reste une problématique. Si celui-ci n'a pas eu d'incidence sur une évaluation à court terme, il risque d'être un vrai handicap sur du long terme. La conception d'une nouvelle version de notre plateforme est donc nécessaire pour atteindre notre objectif.

7.4 Évaluation de la version 3 du robot EmI

Cette expérimentation a pour but d'évaluer l'expressivité de la dernière version du robot compagnon EmI et son interaction avec les enfants. Pour évaluer ces différents points, nous demandons à deux garçons âgés de 8 et 9 ans de rencontrer et d'interagir avec EmI puis de remplir une grille d'évaluation et de répondre à certaines questions. Pour cette expérimentation, nous utiliserons la technique du magicien d'Oz pour simuler l'interaction d'EmI. Les séances faites avec les enfants sont filmées, avec l'accord des parents, afin de nous permettre d'analyser des données non perçues lors de l'interaction. Les explications sur l'expérimentation ont été données le jour de l'évaluation par un des évaluateurs.



Figure 7.10 – Expérimentation de la version 3 d'EmI avec deux enfants

7.4.1 Protocole

L'expérimentation se déroule sur une matinée dans une salle avec les deux enfants en même temps. Cette salle comprend EmI, les deux enfants équipés de micros sans fil, un évaluateur et deux caméras pour enregistrer et visualiser la scène. La première caméra est axée sur EmI et la deuxième sur l'enfant qui interagit avec lui. Dans une deuxième salle, nous installerons tout le matériel nécessaire à la visualisation de la scène d'expérimentation et à la commande à distance d'EmI.

Avant de commencer les séances, une explication sur l'expérimentation est donnée par l'évaluateur situé dans la même salle qu'eux. Nous n'oublions pas de préciser qu'EmI ne peut pas parler mais peut bouger le corps, la tête, les lèvres et aussi les sourcils. L'expérimentation se déroule en 3 étapes :

1. Interaction avec phrases prédéfinies : cette étape nécessite la participation des deux enfants en même temps. Chacun d'eux, à tour de rôle, doit lire 7 phrases à EmI, soit 14 phrases au total (voir tableau 7.7). Chacune de ces 7 phrases correspond à une émotion qu'EmI peut exprimer. À chaque fin de lecture de la phrase, les deux enfants doivent cocher sur la grille d'évaluation l'émotion qu'ils ont reconnu. Ce système nous permet d'avoir une évaluation d'un enfant observateur et d'un enfant acteur.
2. Interaction en discours libre : cette étape se fait avec chaque enfant à tour de rôle. Il lui est demandé de raconter une histoire positive ou négative à EmI. À la fin de l'interaction, nous lui demandons s'il pense qu'EmI a compris son histoire et de justifier sa réponse en donnant quelques exemples de réactions qu'il a pu avoir.
3. Imitation : cette étape se fait également avec chaque enfant à tour de rôle. Il leur est demandé de simuler les 6 émotions primaires et d'évaluer la qualité d'imitation d'EmI.

Table 7.7 – Phrases pour lesquelles EmI avait une réaction

Phrase	Émotion
Je me suis levé de bonne heure pour venir ici ce matin	Neutre
Je suis très content de venir jouer avec toi aujourd'hui	Joie
Je n'ai plus envie de jouer avec toi, tu es trop moche	Tristesse
J'ai eu plein de mauvaises notes à l'école	Colère
Mon chat est blanc et violet	Surprise
Je vais manger des limaces ce midi	Dégoût
J'ai vu une araignée dans le couloir	Peur
Ce matin, j'ai vu plein de voitures sur la route	Neutre
Je te trouve très jolie EmI	Joie
J'ai cassé mon jouet préféré hier	Tristesse
J'ai cassé le jouet de mon frère pour l'embêter	Colère
Je suis venu avec une voiture volante et c'est moi qui l'ai conduite	Surprise
Je t'ai amené un yaourt aux choux fleurs	Dégoût
J'ai entendu Dominique dire qu'il allait te mettre au placard	Peur

Pour les deux premières étapes, le micro sans fil nous permet d'écouter la discussion entre l'enfant et EmI afin de réagir à son discours. Pour la troisième étape, nous utilisons la caméra axée sur l'enfant afin d'imiter la bonne émotion simulée par celui-ci.

7.4.2 Grille d'évaluation

La grille d'évaluation que nous proposons est reprise de l'expérimentation présentée dans la section précédente. Elle est découpée en 3 parties :

1. État émotionnel de l'enfant : renseigne sur l'état émotionnel de l'enfant avant et après l'interaction afin de pouvoir étudier l'impact émotionnel d'EmI sur l'enfant. Les échelles utilisées sont les suivantes :
 - Calme/neutre/agité
 - Enthousiaste/neutre/peu intéressé
 - Très bavard/neutre/impressionné
 - Content/neutre/pas content
2. Expressivité du robot : renseigne sur les expressions reconnues par l'enfant lors de chaque interaction avec le robot. Elle est composée de 14 lignes de 8 cases, chaque ligne représentant une phrase du discours. Les 7 premières cases contiennent chacune un visage exprimant une émotion (les 6 émotions primaires : joie, tristesse, colère, surprise, dégoût, peur + l'expression neutre), la 8ème case correspond au cas où l'enfant n'aurait pas réussi à reconnaître une émotion.
3. Évaluation du physique du robot.

7.4.3 Résultats et discussion

Cette expérimentation avait pour but d'évaluer l'expressivité de la nouvelle version d'EmI par des enfants. Le graphe 7.11 présente le taux de reconnaissance des émotions pour les 2 enfants. On remarque, en comparaison de l'évaluation réalisée avec la deuxième version d'EmI, que les valeurs sont en nettes augmentation et que la nouvelle conception robotique a permis de répondre au problème d'expressivité de l'expérimentation précédente.

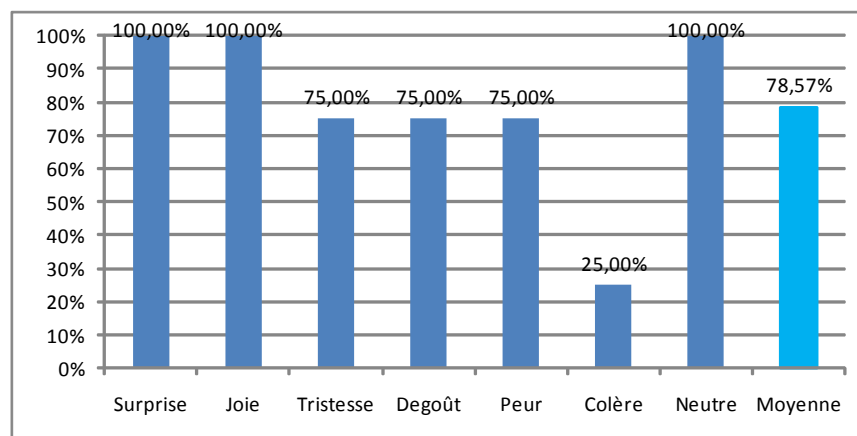


Figure 7.11 – Taux de reconnaissance global des émotions

Le tableau 7.8 montre une confusion beaucoup moins importante que celle de l'expérimentation avec la deuxième version d'EmI. Ces valeurs ne sont pas significatives mais tentent de valider la nouvelle conception mécanique et permettent le lancement d'une nouvelle expérimentation. Cependant, le choix d'une nouvelle expression faciale pour la colère semble nécessaire car très peu reconnue. Ceci est en grande partie dû au manque de visibilité et en conséquent d'expressivité des sourcils qui aideraient à la détection.

Table 7.8 – Tableau de comparaison des émotions reconnues pour une émotion exprimée.

Émotions	Neutre	Joie	Tristesse	Colère	Surprise	Dégoût	Peur	Ne sait pas
Neutre	4	0	0	0	0	0	0	0
Joie	0	4	0	0	0	0	0	0
Tristesse	0	0	3	1	0	0	0	0
Colère	0	0	0	1	3	0	0	0
Surprise	0	0	0	1	3	0	0	0
Dégoût	0	0	1	0	0	3	0	0
Peur	0	0	1	0	0	0	3	0

Le graphe 7.12 présente une comparaison du taux de reconnaissance entre le lecteur et l'observateur. On remarque que celui-ci est relativement plus élevé pour l'observateur. Effectivement, ce dernier n'ayant pas de texte à lire, il lui est plus facile d'observer la totalité de l'expression. Contrairement au lecteur qui peut dans certains cas ne pas voir le début de la réaction d'EmI. Il faudra ajouter, pour nos prochaines évaluations, un temps d'attente à la fin de la capture d'un évènement avant de réagir. Ce temps devra être suffisamment long pour permettre à l'acteur de regarder la totalité de la réaction et suffisamment court pour que celle-ci ne soit pas considérée comme un manque d'expressivité.

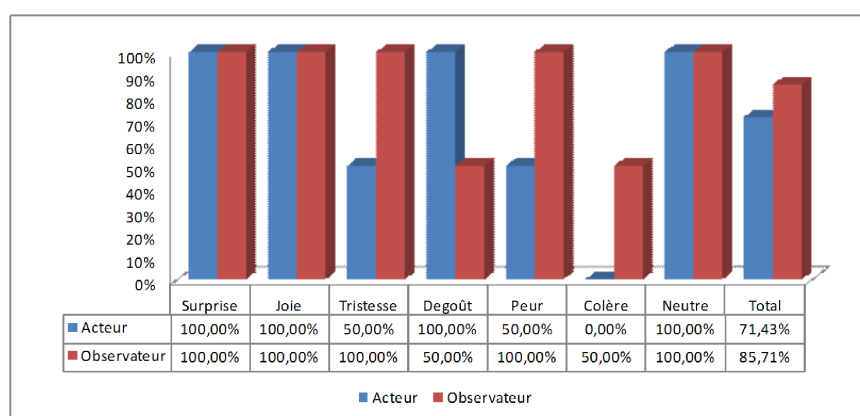


Figure 7.12 – Comparaison du taux de reconnaissance entre l'acteur et l'observateur

Le graphe 7.13(a) présente les taux de satisfaction obtenus pour le jeu d'imitation. Comme pour l'expressivité, on obtient un taux assez élevé. Cependant, on note quelques désaccords des enfants sur certaines émotions négatives. Ces émotions correspondent à celles ayant les taux de reconnaissance les plus faibles dans nos graphes précédents. Il sera donc nécessaire de faire de nouveaux paramétrages des moteurs afin d'obtenir des résultats plus élevés.

Le graphe 7.13(b) présente le taux de satisfaction de l'aspect physique d'EmI et l'intérêt que les enfants lui portent. Comme pour l'évaluation précédente, ce taux est très élevé et EmI est très bien perçu par les enfants.

Au regard de cette dernière évaluation, il apparaît que les nouveaux choix de conception

7.4. Évaluation de la version 3 du robot EmI

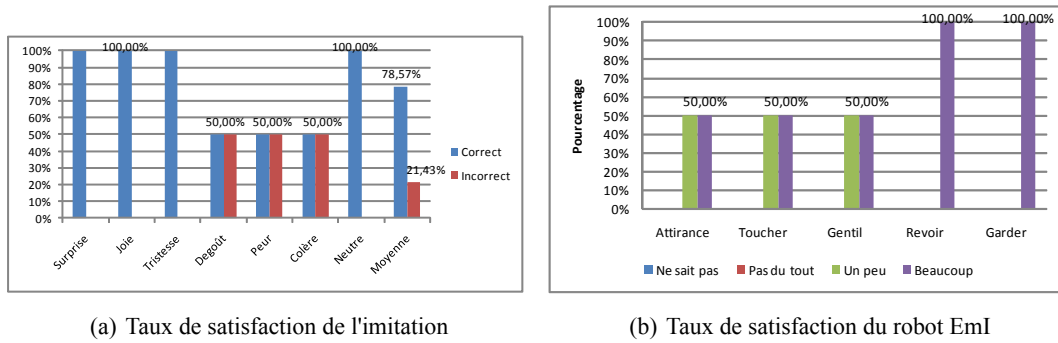


Figure 7.13 – Autres résultats obtenus pour l'expérimentation

mécanique augmentent l'expressivité du robot. Même avec un taux assez faible pour l'émotion de colère, le résultat est très satisfaisant dans sa globalité. Pour valider et confirmer nos choix de conception, une nouvelle campagne d'évaluation sera effectuée avec un nombre plus important d'enfants. Cette dernière sera réalisée dans les mêmes conditions et avec le même robot.

CONCLUSION & PERSPECTIVES

Bilan

Le modèle calculatoire émotionnel iGrace que nous avons développé est une instance du modèle générique d'émotions GRACE qui définit le processus émotionnel. Ce calcul est basé sur l'application de coefficients sur des listes d'expériences émotives construites à partir de :

- l'état cognitif interne d'EmI
- l'état émotionnel d'EmI pour le discours
- l'état émotionnel de l'interlocuteur.

L'implémentation de ce modèle calculatoire a également été discutée, notamment sur les limites du développement, et les perspectives d'évolution sont présentées.

La première expérimentation que nous avons réalisé avait pour objectif d'évaluer l'état émotionnel généré par notre modèle calculatoire en simulation statique. Une interface nous a permis de saisir le discours de l'interlocuteur et d'exprimer les expériences émotives ressenties. Les résultats obtenus, avec un taux de reconnaissance et de satisfaction acceptable pour notre projet, ont partiellement validé nos choix de conception et ont permis l'intégration de la dynamique du mouvement. Néanmoins cette expérimentation a soulevé quelques problèmes sur la confusion d'émotions. Il est encore assez difficile à ce stade d'exploiter les résultats obtenus et de définir les raisons de cette confusion. En effet, l'expression d'une combinaison d'émotions entraîne une certaine confusion lors de la détection des émotions.

La deuxième expérimentation avait pour objectif d'évaluer l'état émotionnel généré par le modèle calculatoire iGrace en simulation dynamique. Pour augmenter le nombre d'utilisateurs et avoir des résultats significatifs, un site Web a été développé. Il permet la saisie du discours de l'interlocuteur et la simulation de l'état émotionnel généré à l'aide de notre avatar dynamique ArtE. Les résultats obtenus pour la satisfaction de la réaction ont montré que la prise en compte de l'état émotionnel de l'interlocuteur pourrait être plus important. Il s'agit d'effectuer un nouveau paramétrage sur l'influence que l'interlocuteur peut avoir sur notre réaction. Les taux concernant la reconnaissance des émotions ont donné des résultats satisfaisants mais soulèvent toujours les mêmes problèmes de confusion d'émotions. Contrairement à la précédente expérimentation, certaines confusions n'étaient pas dû à la combinaison d'émotions générées par le modèle calculatoire iGrace. Il s'agit dans ce cas d'un choix inadapté de l'expression faciale associée à l'émotion que l'on souhaite exprimer.

Le deuxième objectif de nos travaux visait à concevoir un robot en peluche intégrant le modèle calculatoire iGrace. Ce robot devait allier expressivité et légèreté. La première version d'EmI que nous avons présentée a montré des problèmes d'expressivité dès les premiers essais en laboratoire. En effet, ce problème était essentiellement lié aux mouvements de la bouche n'exprimant pas les émotions souhaitées. Il a donc fallu retravailler le tissu utilisé pour l'aspect physique et revoir la conception de la bouche avec un système élastique. Les modifications apportées ont permis d'obtenir une deuxième version d'EmI pouvant être évaluée. L'expérimentation s'est déroulée avec des enfants scolarisés et a montré les limites d'expressivité d'EmI. Les résultats et vidéos que nous avons observés ont montré des problèmes liés à conception : amplitudes et mouvements trop faibles, couple trop important. La faible résistance du matériau utilisé pour cette version a occasionné de nombreuses casses après l'expérimentation. La réalisation

catastrophique par le sous-traitant nous a conduit à revoir entièrement la conception de la tête d'EmI et modifier le système utilisé pour le mouvement des éléments du visage. Si l'objectif du robot agréable au toucher et léger a été atteint, ce n'est pour l'instant pas le cas de l'expressivité.

La troisième version d'EmI a été réalisée en près de 8 mois. Le moule de la tête est entièrement fait de résine époxy et le mouvement de la bouche et des sourcils se fait par un système de câbles. Cette version beaucoup plus solide et expressive reprend les mêmes plages de mouvements que le visage de référence présenté en section 6.1.1 et utilisé pour la simulation statique.

Afin d'évaluer l'expressivité de la version 3 d'EmI, une expérimentation a été menée avec deux enfants. Elle avait pour objectif d'évaluer l'état émotionnel exprimé avec notre nouvelle architecture mécanique. L'aspect physique ayant également changé, il était également demandé de l'évaluer. Les résultats obtenus ont montré des bons résultats pour cette nouvelle version d'EmI. Le faible nombre de participants ne permet pas d'avoir des résultats très significatifs mais permet de démarrer une nouvelle expérimentation avec EmI intégrant la dynamique à plus grande échelle. Cette expérimentation devra confirmer les résultats précédents.

Le modèle calculatoire d'émotions iGrace que nous avons réalisé permet de générer un état émotionnel en fonction d'un événement lié au discours de l'interlocuteur. Ce modèle a été intégré dans la plateforme robotique EmI, actuellement dans sa troisième version. La dernière expérimentation a montré des résultats très satisfaisants pour notre projet. L'objectif d'associer légèreté et expressivité est donc atteint. Avec 2,8Kg, EmI est capable d'interaction émotionnelle avec son interlocuteur.

Perspectives

Comme nous venons de le mentionner, une première prolongation de notre travail consisterait à l'implémentation d'un système d'apprentissage ou de connaissance de l'interlocuteur. Le traitement de l'information que nous effectuons se fait sur un ensemble de variables et paramètres statiques. Il serait intéressant que ceux-ci soient variables et prennent en compte des données du langage telles que l'acte, la phase et le temps du discours. La perspective d'un système d'apprentissage permettrait également de faire évoluer l'histoire d'EmI qui influe sur sa personnalité et ses croyances. Cette évolution serait liée à l'impact du robot sur l'être humain à l'aide d'une boucle adaptative et permettrait de mettre en œuvre de l'empathie. Cette boucle pourrait être issue d'un traitement vidéo par une reconnaissance d'expression ou audio par la prosodie. On suppose dans ce cas que l'information importante est observable après la réaction d'ArtE à un discours. Le traitement du signal audio étant déjà existant, l'intégration et l'utilisation de la caméra permettraient de réaliser les premières études sur le sujet.

L'un des problèmes récurrent retrouvé en simulation statique est la confusion des émotions. Lors de l'expression d'une combinaison d'expressions, il est difficile de déterminer avec précision les seules émotions exprimées. Les mouvements des composants du visage lors du passage d'une émotion à l'autre laisse souvent paraître une « ressemblance » d'expression. Ce problème permet de remettre en cause le manque de classification des expressions faciales. En effet, les travaux actuels définissent des expressions types associées à une émotion, mais ne renseignent pas sur le panel d'émotions que pourrait représenter une expression. Il serait intéressant d'étudier

ce que l'on pourrait définir comme une *matrice de rapprochement* entre expressions faciales et émotions. Cette matrice permettrait d'associer une expression à des émotions avec un coefficient de rapprochement.

Le robot que nous avons construit permet d'exprimer son état émotionnel en fonction de son état cognitif interne et du discours de son interlocuteur. Une version plus évoluée d'EmI permettrait d'intégrer des nouvelles fonctionnalités telles que la vidéo, des capteurs sensoriels, de contact, des accéléromètres. Nous avons vu précédemment que la vidéo aiderait à la réalisation d'une boucle adaptative permettant l'évolution du robot. Le traitement vidéo permettrait également d'améliorer l'interaction du robot en permettant le suivi du visage, la reconnaissance de son interlocuteur et de son environnement. Ce traitement associé à celui des capteurs permettraient d'augmenter les événements générant un état émotionnel pour EmI. De plus, actuellement la saisie des informations du discours est simulée. L'intégration du système de compréhension du discours en temps réel nous permettrait d'avoir un robot complètement autonome, beaucoup plus facile à manipuler et plus attrayant pour son utilisateur.

Bibliographie

- [1] A. Achour, M. Le Tallec, S. Saint-Aime, B. Le Pevedic, J. Villaneau, J.-Y. Antoine, and D. Duhaut. Emotirob : From understanding to cognitive interaction. In *Mechatronics and Automation, 2008. ICMA 2008. IEEE International Conference on*, pages 369--374, Aug. 2008.
- [2] C. Adam and F. Evrard. Donner des émotions aux agents conversationnels. In *Workshop Francophone sur les Agents Conversationnels Animés*, pages 135--144, Grenoble, France, 2005.
- [3] C. Adam and F. Evrard. Galaad : a conversational emotional agent. Rapport de recherche IRIT/2005-24-R, IRIT, Université Paul Sabatier, Toulouse, 2005.
- [4] C. Adam, A. Herzig, and D. Longin. PLEIAD, un agent émotionnel pour évaluer la typologie OCC. *Revue d'Intelligence Artificielle, Modèles multi-agents pour des environnements complexes*, 21(5-6) :781--811, 2007.
- [5] AFP. Le robot qui aide les enfants à s'intégrer au monde des hommes, 21 mars 2009.
- [6] R. Alami, I. Belousov, S. Fleury, M. Herb, F. Ingrand, J. Minguez, and B. Morisset. Diligent : Towards a human-friendly navigation system. In *IEEE-RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pages 2094--2100, 2000.
- [7] M. Arnold. *Emotion and personality*. Columbia University Press New York, 1960.
- [8] J. Bailenson, A. Beall, J. Blascovich, M. Raimundo, and M. Weishbush. Intelligent agents who wear your face : Users reactions to the virtual self, technical report. Center for the Virtual Environment and Behavior Department of Psychology, University of California, 2000.
- [9] P. Bard. *Emotion : I. The neuro-humoral basis of emotional reactions*. Clark University Press, Worcester, MA, US, 1934.
- [10] D. Bassano, F. Labrell, C. Champaud, F. Lemétayer, and P. Bonnet. Le dlpf : un nouvel outil pour l'évaluation du développement du langage de production en français. *Enfance*, 57(2) :171--208, 2005.
- [11] A. Batliner, K. Fischer, R. Huber, J. Spilker, and E. Noth. How to find trouble in communication. *Speech communication*, 40(1-2) :117--143, 2003.
- [12] J. Beauvois. Théories implicites de la personnalité, évaluation et reproduction idéologique. *L'Année psychologique*, 82(2) :513--536, 1982.
- [13] H. Bloch, R. Chemama, A. Gallo, P. Leconte, J. Le Ny, J. Postel, S. Moscovici, M. Reuchlin, and E. Vurpillot. *Grand dictionnaire de la psychologie*. Larousse, 1994.
- [14] C. Breazeal. *Designing Sociable Robots*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 2002.
- [15] C. Breazeal. Emotion and sociable humanoid robots. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, 59(1-2) :119--155, 2003.
- [16] C. Breazeal, G. Hoffman, and A. Lockerd. Teaching and working with robots as a collaboration. In *AAMAS '04 : Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pages 1030--1037, Washington, DC, USA, 2004. IEEE Computer Society.

- [17] C. Breazeal and B. Scassellati. A context-dependent attention system for a social robot. In *IJCAI '99 : Proceedings of the Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pages 1146--1153, San Francisco, CA, USA, 1999. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- [18] C. Breazeal and B. Scassellati. Infant-like social interactions between a robot and a human caretaker. *Adaptative Behavior*, 8(1) :49--74, 2000.
- [19] C. Breazeal (Ferrell). A motivational system for regulating human-robot interaction. In *AAAI '98/IAAI '98 : Proceedings of the fifteenth national/tenth conference on Artificial intelligence/Innovative applications of artificial intelligence*, pages 54--62, Menlo Park, CA, USA, 1998. American Association for Artificial Intelligence.
- [20] T. Bui. *Creating Emotions and Facial Expressions for Embodied Agents*. Thèse informatique, Center for Telematics and Information Technology, University of Twente, 2004.
- [21] T. D. Bui, D. Heylen, M. Poel, and A. Nijholt. Parlee : An adaptive plan based event appraisal model of emotions. In S. B. . Heidelberg, editor, *KI 2002 : Advances in Artificial Intelligence*, volume 2479 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 129--143. Springer Berlin / Heidelberg, 2002.
- [22] J. K. Burgoon. *Nonverbal Communication : The Unspoken Dialogue*. Harpercollins College Div, 1989.
- [23] W. B. Cannon. The james-lange theory of emotions : a critical examination and an alternative theory. *American Journal of Psychology*, 39 :106--124, 1927.
- [24] Y. Castel. Psychobiologie humaine. [http ://psychobiologie.ouvaton.org/](http://psychobiologie.ouvaton.org/), consulté en août 2009.
- [25] P. Cauvin and G. Cailloux. *Les types de personnalité : les comprendre et les appliquer avec le MBTI (Indicateur typologique de Myers-Briggs)*. ESF éditeur, 6 édition, 2005.
- [26] J. Chalifour. *Enseigner la relation d'aide*. Gaëtan Morin, 1993.
- [27] S. Chung. L'expression et la perception de l'émotion extraite de la parole spontanée : évidences du coréen et de l'anglais. *phonétique, Université PARIS III-Sorbonne Nouvelle : Institut de Linguistique et Phonétique Générales et Appliquées, Paris*, 2000.
- [28] Collectif. *L'humeur et son changements*. Number 32 in *Nouvelle revue de psychanalyse*. Gallimard, Paris, 1985.
- [29] K. Cornale. Sounds into syllables. [http ://www.soundsintosyllables.com](http://www.soundsintosyllables.com), visité en 2007.
- [30] A. R. Damasio. *L'erreur de Descartes - La raison des émotions*. Odile Jacob, 1994.
- [31] T. Dang and D. Duhaut. Experimentation with GRACE, the Generic Model of Emotions For Computational Applications. In L. Beji, S. Otmane, & A. Abichou, editor, *American Institute of Physics Conference Series*, volume 1107 of *American Institute of Physics Conference Series*, pages 135--140, Mar. 2009.
- [32] T.-H.-H. Dang, S. Letellier-Zarshenas, and D. Duhaut. Comparison of recent architectures of emotions. In *Control, Automation, Robotics and Vision, 2008. ICARCV 2008. 10th International Conference on*, pages 1976--1981, Decembre 2008.

-
- [33] T.-H.-H. Dang, S. Letellier-Zarshenas, and D. Duhaut. Grace -- generic robotic architecture to create emotions. *Advances in Mobile Robotics : Proceedings of the Eleventh International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines*, pages 174--181, September 2008.
- [34] C. Darwin. *L'expression des émotions chez l'homme et les animaux*. Rivages poche - Petite bibliothèque, 1998.
- [35] C. Darwin. *The expression of the emotions in man and animals*. Oxford University Press, USA, 3 edition, 2002.
- [36] DataFace. Facial action coding system affect interpretation dictionary (facsaid). <http://www.face-and-emotion.com/dataface/facsaid/description.jsp>, Visité en 2009.
- [37] F. de Rosis, C. Pelachaud, I. Poggi, V. Carofiglio, and B. D. Carolis. 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. Applications of Affective Computing in Human-Computer Interaction.
- [38] A. Delaborde, M. Tahon, C. Barras, and L. Devillers. A wizard-of-oz game for collecting emotional audio data in a children-robot interaction. In *AFFINE '09 : Proceedings of the International Workshop on Affective-Aware Virtual Agents and Social Robots*, pages 1--3, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [39] M. Deutsch and R. M. Krauss. *Theories in social psychology*. Basic Books, New York, 1965.
- [40] L. Devillers and I. Vasilescu. Détection des émotions à partir d'indices lexicaux, dialogiques et prosodiques dans le dialogue oral. *XXVèmes Journées d'Étude sur la Parole, AFCP*, 2004.
- [41] D. Duhaut. A generic architecture for emotion and personality. In *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2008. AIM 2008*, pages 188--193, 2008.
- [42] A. Egges, S. Kshirsagar, and N. Magnenat-Thalmann. Generic personality and emotion simulation for conversational agents. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 15(1) :1-13, 2004.
- [43] P. Ekman. Basic Emotions. *Handbook of Cognition and Emotion*. Sussex, UK : John Wiley & Sons, Ltd, 1999.
- [44] P. Ekman, W. V. Friesen, and S. Ancoli. Facial signs of emotional experience. *Journal of personality and social psychology*, 39(6) :1125--1134, December 1980.
- [45] P. Ekman and W. Friesen. *The repertoire of nonverbal behavior*. Mouton de Gruyter, 1969.
- [46] P. Ekman, W. V. Friesen, and J. C. Hager. *THE FACIAL ACTION CODING SYSTEM*. Weidenfeld & Nicolson, London, 2002.
- [47] P. Ekman, W. V. Friesen, and S. S. Tomkins. Facial affect scoring technique : A first validity study. *Semiotica*, 3 :37--58, 1971.

- [48] M. S. El-Nasr, J. Yen, and T. R. Ioerger. Flame---fuzzy logic adaptive model of emotions. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 3(3) :219--257, 2000.
- [49] R. Fernandez and R. Picard. Modeling drivers' speech under stress. *Speech Communication*, 40(1-2) :145--159, 2003.
- [50] N. Fridja. Les théories des émotions : un bilan. In *Les émotions*, pages 21--72. Delachaux and Niestlé, b. rime and k.rk scherer edition, 1989.
- [51] G. Gazdar. *The simulation of Human intelligence*. Donald Broadbent edition, 1993.
- [52] D. Goleman. *Emotional intelligence*. Bantam Books, Inc, New York, NY, England, 1995.
- [53] D. Goleman. *L'intelligence émotionnelle*. Robert Laffont, 1997.
- [54] J. Goodall and D. Hamburg. Chimpanzee Behavior as a Model for the Behavior of Early Man : New evidence on possible origins of human behavior. In D. A. H. Silvano Arieti, H. Keith H. Brodie, editor, *New Psychiatric Frontiers*, volume 6 of *American Handbook of Psychiatry*, chapter 2, pages 14--44. Basic Books, New York, 1975.
- [55] J. Gratch and S. Marsella. Evaluating a computational model of emotion. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 11(1) :23--43, July 2005.
- [56] P. Greenspan. *Emotions & reasons : an inquiry into emotional justification*. Routledge, 1988.
- [57] G. Gross. Classes d'objets et description des verbes. *Langages*, 28(115) :15--30, 1994.
- [58] J. J. Gross, B. L. Frederickson, and R. W. Levenson. The psychophysiology of crying. *Psychophysiology*, 31 :460--468, September 1994.
- [59] C. Hagger. Les émotions... aide mémoire. Un séminaire pour les professionnels de la santé, Case Western Reserve University Medical school, Departement of psychology, Cleveland, 1995.
- [60] K. Hevner. Experimental studies of the elements of expression in music. *The American Journal of Psychology*, 48(2) :246--268, 1936.
- [61] J. L. Holland. *Making vocational choices : A theory of vocational personalities and work environments*. Psychological Assessment Resources, 3 edition, 1997.
- [62] C. E. Izard, R. R. Huebner, G. C. McGinnes, and L. M. Dougherty. The young infant's ability to express discrete emotion expressions. *Developmental Psychology*, 16 :132--140, 1980.
- [63] W. James. What is an emotion ? *Mind*, 9 :188--205, 1884.
- [64] O. P. John, R. W. Robins, , and L. A. Pervin. *Handbook of Personality, Third Edition : Theory and Research*. The Guilford Press, third edition edition, August 2008.
- [65] O. P. John and S. Srivastava. The big five trait taxonomy : History, measurement, and theoretical perspectives. In L. A. Pervin and O. P. John, editors, *Handbook of Personality : Theory and Research*, pages 102--138. Guilford Press, New York, second edition, 1999.
- [66] T. Johnstone and K. Scherer. Vocal communication of emotion. *Handbook of emotions*, 2 :220--235, 2000.

-
- [67] C. Jost. Expression et dynamique des émotions. application sur un avatar virtuel. Rapport de stage de master recherche, Université de Bretagne Sud, Vannes, Juin 2009.
- [68] C. G. Jung. *Types psychologiques*. Georg, 1950.
- [69] D. Keltner, P. Ekman, G. C. Gonzaga, and J. Beer. Facial expression of emotion. In R. Davidson, K. Scherer, and H. Goldsmith, editors, *Handbook of Affective Sciences*, pages 415--431. Oxford University Press, 2003.
- [70] D. Keltner and J. Haidt. Social functions of emotions. pages 192--213, 2001.
- [71] G. Kirouac. *Les émotions*. Presses de l'Université du Québec, 1989.
- [72] G. Lakoff. *Women, fire and dangerous things : What categories reveal about the mind*. University of Chicago Press, 1987.
- [73] C. G. Lange and I. A. H. (Trans). *The emotions*. Williams & Wilkins Co, Baltimore, MD, US, 1922.
- [74] M. Larivey. *La puissance des émotions : Comment distinguer les vraies des fausses*. Les éditions de l'Homme, Québec, de l'homme edition, 2002.
- [75] R. Lazarus and S. Folkman. *Stress, Appraisal, and Coping*. Springer Publishing Company, March 1984.
- [76] R. S. Lazarus. *Emotion and Adaptation*. Oxford University Press, New York, 1991.
- [77] R. S. Lazarus. *Relational meaning and discrete emotions*, chapter Appraisal processes in emotion : Theory, methods, research., pages 37--67. Oxford University Press, 2001.
- [78] D. Le Pesant and M. Mathieu-Colas. Introduction aux classes d'objets. *Langages*, 32(131) :6--33, 1998.
- [79] B. Le-Pévédic, T. Shibata, and D. Duhaut. Study of the psychological interaction between a robot and disabled children. 2006.
- [80] M. Le Tallec. Adaptation d'un système de compréhension pour un robot compagnon.
- [81] C. Lee, S. Narayanan, and R. Pieraccini. Recognition of negative emotions from the speech signal. In *Proc. Automatic Speech Recognition and Understanding*, 2001.
- [82] J. Lee and C. Breazeal. Human social response toward humanoid robot's head and facial features. In *Proceedings of the 28th of the international conference extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 4237--4242. ACM, 2010.
- [83] H. Leventhal and K. Scherer. The relationship of emotion to cognition : A functional approach to a semantic controversy. *Cognition & Emotion*, 1(1) :3--28, Mar 1987.
- [84] G. Mandler. *Cognition and emotion : Extensions and clinical applications*. Cognitive science and clinical disorders. Academic Press, San Diego, CA, US, 1992.
- [85] D. Mareschal and P. Quinn. Categorization in infancy. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 5(10) :443--450, 2001.
- [86] R. R. McCrae and O. P. John. An introduction to the five-factor model and its applications. *Journal of Personality*, 60(2) :175--215, 1992.
- [87] Mehrabian. Communication without words. *Psychology Today*, 2(4) :53--56, 1968.

- [88] I. B. Myers. *Introduction to type : A description of the theory and applications of the Myers-Briggs Type Indicator*. Consulting Psychologists Press Palo Alto, Calif., 1987.
- [89] I. B. Myers, M. H. McCaulley, N. L. Quenk, and A. L. Hammer. *MBTI manual*. Consulting Psychologists Press, 3 edition, 1998.
- [90] S. Nguyen. Children's evaluative categories and inductive inferences within the domain of food. *Infant and Child Development*, 17 :285--299, 2008.
- [91] P. Niedenthal, C. Auxiette, A. Nugier, N. Dalle, P. Bonin, and M. Fayol. A prototype analysis of the French category "emotion". *Cognition & Emotion*, 18(3) :289--312, 2004.
- [92] A. Ortony, G. L. Clore, and A. Collins. *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge University Press, July 1988.
- [93] C. Osgood et al. *Method and theory in experimental psychology*. Oxford University Press New York, 1953.
- [94] W. Parrott. The role of cognition in emotional experience. In *Recent Trends in Theoretical Psychology*, pages 327--337. New-York, w. j. baker, l. p. mos, h. v. rappard and h. j. stam edition, 1988.
- [95] W. G. Parrott. The emotional experiences of envy and jealousy. In *The psychology of jealousy and envy*, chapter 1, pages 3--30. P. salovey edition, 1991.
- [96] W. G. Parrott. *Emotions in Social Psychology*. Key Readings in Social Psychology. Psychology Press, 2000.
- [97] A. Pereira, C. Martinho, I. Leite, and A. Paiva. iCat, the chess player : the influence of embodiment in the enjoyment of a game. In *Proceedings of the 7th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems-Volume 3*, pages 1253--1256. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2008.
- [98] M. Petit, B. L. Pévédic, and D. Duhaut. Génération d'émotion pour le robot maph : média actif pour le handicap. In *IHM : Proceedings of the 17th international conference on Francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, volume 264 of *ACM International Conference Proceeding Series*, pages 271--274, Toulouse, France, September 2005. ACM.
- [99] R. Picard. *Affective computing*. The MIT Press, 2000.
- [100] G. Pradel. Environnement de production d'activités interactives et adaptatives pour des enfants autistes par le jeu avec un robot mobile ludique. In *ASSISTH'07 : 1ère Conférence Internationale sur l'Accessibilité et les Systèmes de Suppléance aux Personnes en Situations de Handicaps "Pour une Meilleure Insertion dans la Société"*, Toulouse, France, November 2007. Cépaduès.
- [101] F. Ringeval and M. Chetouani. A vowel based approach for acted emotion recognition. In *Proceedings of interspeech*, 2008.
- [102] I. Roseman. Cognitive aspects of emotion and emotional behavior. In *87th Annual Convention of the American Psychological Association, New York*, 1979.
- [103] I. Roseman. Cognitive determinants of emotion : A structural theory. *Review of Personality & Social Psychology*. Vol No, 5 :11--36, 1984.

-
- [104] I. Roseman, A. Antoniou, and P. Jose. Appraisal determinants of emotions : Constructing a more accurate and comprehensive theory. *Cognition & Emotion*, 10(3) :241--278, 1996.
- [105] S. Rosenberg and A. Sedlak. Structural representations of implicit personality theory. *Advances in experimental social psychology*, 6 :235--297, 1972.
- [106] D. Rousseau. Personality in computer characters. In *In Artificial Intelligence*, pages 38--43, Portland, Oregon, August 1996. AAAI Press.
- [107] S. Saint-Aimé, B. Le-Pévédic, and D. Duhaut. Building emotions with 6 degrees of freedom. In *Systems, Man and Cybernetics, 2007. ISIC. IEEE International Conference on*, pages 942--947, Oct. 2007.
- [108] S. Saint-Aimé, B. Le-Pévédic, and D. Duhaut. Générer des émotions avec 6 degrés de liberté. In *ASSISTH'07 : 1ère Conférence Internationale sur l'Accessibilité et les Systèmes de Suppléance aux Personnes en Situations de Handicaps "Pour une Meilleure Insertion dans la Société"*, pages 50--57, Toulouse, France, November 2007. Cépaduès.
- [109] S. Saint-Aimé, B. Le-Pévédic, and D. Duhaut. Emotirob : un modèle d'interaction émotionnelle. In *Handicap 2008, 10 ans de recherche sur les aides techniques Pour une meilleure compensation du handicap*, pages 25--30, Paris, France, Juin 2008. Cépaduès.
- [110] S. Saint-Aimé, B. Le Pévédic, and D. Duhaut. Emotirob : An emotional interaction model. In *Robot and Human Interactive Communication, 2008. RO-MAN 2008. The 17th IEEE International Symposium on*, pages 89--94, Aug. 2008.
- [111] S. Saint-Aimé, B. Le Pévédic, and D. Duhaut. Évaluation du modèle computationnel d'émotions igrace (article court). In *IHM '09 : Proceedings of the 21st International Conference on Association Francophone d'Interaction Homme-Machine*, pages 197--202, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [112] S. Saint-Aimé, B. Le-Pévédic, and D. Duhaut. Experimentation to evaluate emotirob interaction model. In *2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics -- ROBIO 2009*, pages 1524--1529, Guangxi, China, December 2009. IEEE.
- [113] S. Saint-Aimé, B. Le Pévédic, and D. Duhaut. *iGrace -- Emotional Computational Model for EmI Companion Robot*, chapter 4, pages 51--76. InTech Education and Publishing, 2009.
- [114] S. Saint-Aimé, B. Le-Pévédic, and D. Duhaut. Dynamic behaviour conception for emi companion robot. In *41st International Symposium on Robotics -- ISR 2010*, Munich, Germany, June 2010.
- [115] S. Saint-Aimé, B. Le-Pévédic, D. Duhaut, and T. Shibata. Emotirob : Companion robot project. In *Robot and Human interactive Communication, 2007. RO-MAN 2007. The 16th IEEE International Symposium on*, pages 919--924, Aug. 2007.
- [116] S. Saint-Aimé, B. Le-Pévédic, S. Letellier-Zarshenas, and D. Duhaut. Emi -- my emotional cuddly companion. In *Robot and Human interactive Communication, 2009. RO-MAN 2009. The 18th IEEE International Symposium on*, pages 705--710, Toyama, Japon, September 2009. IEEE.
- [117] E. P. Sarramia D., Champagnat R. Méthodologie de conception d'une application interactive à exécution adaptative. In *Hypertext, Hypermedia, Products, Tools, Methods (H2PTM'07)*, 2007.

- [118] J.-P. Sartre. Esquisse d'une théorie des émotions (1938). *Herman et Cie, Paris*, 1995.
- [119] K. R. Scherer. What are emotions? and how can they be measured? *Social Science Information*, 44(4) :695--729, December 2005.
- [120] K. R. Scherer and P. Ekman. *Handbook of methods in nonverbal behavior research*. Studies in emotion and social interaction. Cambridge University Press, New York, 1982.
- [121] V. Sloutsky. The role of similarity in the development of categorization. *Opinion TRENDS in Cognitive Sciences*, 7(6) :246--251, 2003.
- [122] E. Smith, M. S. Bartlett, and J. Movellan. Computer recognition of facial actions : A study of co-articulation effects. In *Proceedings of the 8th Annual Joint Symposium on Neural Computation*, 2001.
- [123] R. C. Solomon. Emotions and choice. *The Review of Metaphysics*, pages 20--41, 1973.
- [124] K. T. Strongman. *The psychology of Emotional*. John Wiley & Sons, 3e édition révisée édition, 1987.
- [125] D. T. Stuss, C. A. Gow, and C. Hetherington. "no longer gage" : Frontal lobe dysfunction and emotional changes. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 60(3) :349 -- 359, 1992.
- [126] P. Sweetser and P. Wyeth. GameFlow : a model for evaluating player enjoyment in games. *Computers in Entertainment (CIE)*, 3(3) :3, 2005.
- [127] A. Syssau and C. Monnier. Children's emotional norms for 600 French words. *Behavior Research Methods*, 41(1) :213, 2009.
- [128] M.-C. Vallet-Gardelle, C. Chalot, and E. Genty. Ii. psychologie sociale. *Revue de sociologie française*, 9(4) :601--607, 1968.
- [129] J. Villaneau, O. Ridoux, and J. Antoine. LOGUS : compréhension de l'oral spontané : Présentation et évaluation des bases formelles de LOGUS= LOGUS : spontaneous oral understanding : presentation and evaluation of formal fundamentals of LOGUS. *Revue d'intelligence artificielle*, 18(5-6) :709--742, 2004.
- [130] J.-D. Vincent. *Biologie des passions*. Odile Jacob, 2002.
- [131] K. Wada and T. Shibata. Living With Seal Robots -- Its Sociopsychological and Physiological Influences on the Elderly at a Care House. *IEEE Transactions on Robotics*, 23(5) :972--980, 2007.
- [132] D. Westen. *Pensée, cerveau et culture*. De Boeck, 2000.
- [133] Wikipedia. Facial expression. http://en.wikipedia.org/wiki/Facial_expression, Visité en 2009.
- [134] Y. Wilksa and R. Catizone. *Encyclopedia of Microcomputers*. 2000.
- [135] V. Zammuner. Concepts of emotion : "Emotionness", and dimensional ratings of Italian emotion words. *Cognition and Emotion*, 12 :243--272, 1998.

Représentation des données

.1 Données du discours

.1.1 Relation entre actions et émotions

Extrait du fichier XML utilisé pour la description des actions et du vecteur émotionnel associé.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<ARacine xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:
  noNamespaceSchemaLocation="Actions.xsd">
  <ACategorie Id="1" Niveau="1" Nom="Corps">
    <Action APositif="0" ANegatif="1" Id="1" Nom="Salir">
      <AVecteur>
        <AEmotion Nom="joie" Valeur="-1" />
        <AEmotion Nom="peur" Valeur="0" />
        <AEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
        <AEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
        <AEmotion Nom="degout" Valeur="-1" />
        <AEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
      </AVecteur>
    </Action>
    <Action APositif="0" ANegatif="1" Id="14" Nom="Saigner">
      <AVecteur>
        <AEmotion Nom="joie" Valeur="0" />
        <AEmotion Nom="peur" Valeur="-1" />
        <AEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
        <AEmotion Nom="tristesse" Valeur="1" />
        <AEmotion Nom="degout" Valeur="-1" />
        <AEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
      </AVecteur>
    </Action>
  </ACategorie>
  <ACategorie Id="2" Niveau="1" Nom="Communication">
    <ACategorie Id="1" Niveau="2" Nom="Communication physique douce">
      <Action APositif="2" ANegatif="0" Id="16" Nom="aider">
        <AVecteur>
          <AEmotion Nom="joie" Valeur="-1" />
          <AEmotion Nom="peur" Valeur="0" />
          <AEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
          <AEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
          <AEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
          <AEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
        </AVecteur>
      </Action>
      <Action APositif="2" ANegatif="0" Id="17" Nom="CÃ¢liner">
        <AVecteur>
          <AEmotion Nom="joie" Valeur="1" />
          <AEmotion Nom="peur" Valeur="0" />
          <AEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
          <AEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
          <AEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
          <AEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
        </AVecteur>
      </Action>
    </ACategorie>
  </ACategorie>
</ARacine>
```

```

    </AVecteur>
  </Action>
</ACategorie>
<ACategorie Id="2" Niveau="2" Nom="Communication physique violente">
  <Action APositif="0" ANegatif="1" Id="38" Nom="Attaquer">
    <AVecteur>
      <AEmotion Nom="joie" Valeur="-1" />
      <AEmotion Nom="peur" Valeur="1" />
      <AEmotion Nom="colere" Valeur="1" />
      <AEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
      <AEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
      <AEmotion Nom="surprise" Valeur="1" />
    </AVecteur>
  </Action>
  <Action APositif="0" ANegatif="2" Id="46" Nom="Tuer">
    <AVecteur>
      <AEmotion Nom="joie" Valeur="-1" />
      <AEmotion Nom="peur" Valeur="0" />
      <AEmotion Nom="colere" Valeur="1" />
      <AEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
      <AEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
      <AEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
    </AVecteur>
  </Action>
</ACategorie>
<ACategorie Id="" Niveau="1" Nom="Psychologie">
  <ACategorie Id="" Niveau="2" Nom="ApprÃ©ciation">
    <Action APositif="2" ANegatif="0" Id="" Nom="Aimer">
      <AVecteur>
        <AEmotion Nom="joie" Valeur="1" />
        <AEmotion Nom="peur" Valeur="0" />
        <AEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
        <AEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
        <AEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
        <AEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
      </AVecteur>
    </Action>
    <Action APositif="2" ANegatif="0" Id="" Nom="CÃ©liner">
      <AVecteur>
        <AEmotion Nom="joie" Valeur="1" />
        <AEmotion Nom="peur" Valeur="0" />
        <AEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
        <AEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
        <AEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
        <AEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
      </AVecteur>
    </Action>
    <Action APositif="2" ANegatif="0" Id="" Nom="Embrasser">
      <AVecteur>
        <AEmotion Nom="joie" Valeur="1" />
        <AEmotion Nom="peur" Valeur="0" />
        <AEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
        <AEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
        <AEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
      </AVecteur>
    </Action>
  </ACategorie>
</ACategorie>

```

```

    <AEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
  </AVecteur>
</Action>
</ACategorie>
</ACategorie>
</ARacine>

```

.1.2 Relation entre concepts et émotions

Extrait du fichier XML utilisé pour la description des concepts et du vecteur émotionnel associé.

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<CRacine xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:
  noNamespaceSchemaLocation="Concepts.xsd">
  <CCategorie Id="1" Niveau="1" Nom="AnimÃ©s">
    <CCategorie Id="1" Niveau="2" Nom="Humains">
      <CCategorie Id="1" Niveau="4" Nom="TrÃ©s proche">
        <Concept APositif="2" ANegatif="0" Id="1" Nom="Maman">
          <CVecteur>
            <CEmotion Nom="joie" Valeur="1" />
            <CEmotion Nom="peur" Valeur="-1" />
            <CEmotion Nom="colere" Valeur="-1" />
            <CEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
            <CEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
            <CEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
          </CVecteur>
        </Concept>
        <Concept APositif="2" ANegatif="0" Id="2" Nom="Papa">
          <CVecteur>
            <CEmotion Nom="joie" Valeur="1" />
            <CEmotion Nom="peur" Valeur="-1" />
            <CEmotion Nom="colere" Valeur="-1" />
            <CEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
            <CEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
            <CEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
          </CVecteur>
        </Concept>
        <Concept APositif="2" ANegatif="0" Id="1" Nom="Je">
          <CVecteur>
            <CEmotion Nom="joie" Valeur="2" />
            <CEmotion Nom="peur" Valeur="0" />
            <CEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
            <CEmotion Nom="tristesse" Valeur="0" />
            <CEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
            <CEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
          </CVecteur>
        </Concept>
      </CCategorie>
    <CCategorie Id="1" Niveau="4" Nom="Personnes rÃ©elles">
      <Concept APositif="1" ANegatif="0" Id="1" Nom="BÃ©bÃ©">
        <CVecteur>
          <CEmotion Nom="joie" Valeur="-1" />

```


Annexe . Représentation des données

```
<CEmotion Nom="peur" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="tristesse" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
</CVecteur>
</Concept>
<Concept APositif="-1" ANegatif="-1" Id="2" Nom="Bonhomme">
<CVecteur>
<CEmotion Nom="joie" Valeur="-1" />
<CEmotion Nom="peur" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="tristesse" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
</CVecteur>
</Concept>
</CCategorie>
<CCategorie Id="2" Niveau="4" Nom="Personnages de contes">
<Concept APositif="2" ANegatif="0" Id="1" Nom="PÃˆre noÃ«l">
<CVecteur>
<CEmotion Nom="joie" Valeur="2" />
<CEmotion Nom="peur" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="tristesse" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="surprise" Valeur="2" />
</CVecteur>
</Concept>
<Concept APositif="0" ANegatif="2" Id="3" Nom="SorciÃˆre">
<CVecteur>
<CEmotion Nom="joie" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="peur" Valeur="2" />
<CEmotion Nom="colere" Valeur="1" />
<CEmotion Nom="tristesse" Valeur="1" />
<CEmotion Nom="degout" Valeur="1" />
<CEmotion Nom="surprise" Valeur="-1" />
</CVecteur>
</Concept>
<Concept APositif="-1" ANegatif="-1" Id="4" Nom="Bonhomme">
<CVecteur>
<CEmotion Nom="joie" Valeur="-1" />
<CEmotion Nom="peur" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="tristesse" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
<CEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
</CVecteur>
</Concept>
</CCategorie>
</CCategorie>
<CCategorie Id="2" Niveau="2" Nom="Animaux">
<CCategorie Id="1" Niveau="3" Nom="Animal terrestre">
<Concept APositif="1" ANegatif="0" Id="4" Nom="Chat">
```

```

<CVecteur>
  <CEmotion Nom="joie" Valeur="-1" />
  <CEmotion Nom="peur" Valeur="0" />
  <CEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
  <CEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
  <CEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
  <CEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
</CVecteur>
</Concept>
<Concept APositif="1" ANegatif="0" Id="6" Nom="Cheval">
  <CVecteur>
    <CEmotion Nom="joie" Valeur="-1" />
    <CEmotion Nom="peur" Valeur="-1" />
    <CEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
    <CEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
    <CEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
    <CEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
  </CVecteur>
</Concept>
<Concept APositif="-1" ANegatif="-1" Id="8" Nom="Chien">
  <CVecteur>
    <CEmotion Nom="joie" Valeur="-1" />
    <CEmotion Nom="peur" Valeur="1" />
    <CEmotion Nom="colere" Valeur="1" />
    <CEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
    <CEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
    <CEmotion Nom="surprise" Valeur="1" />
  </CVecteur>
</Concept>
<Concept APositif="0" ANegatif="2" Id="23" Nom="Dragon">
  <CVecteur>
    <CEmotion Nom="joie" Valeur="0" />
    <CEmotion Nom="peur" Valeur="2" />
    <CEmotion Nom="colere" Valeur="1" />
    <CEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
    <CEmotion Nom="degout" Valeur="-1" />
    <CEmotion Nom="surprise" Valeur="1" />
  </CVecteur>
</Concept>
</CCategorie>
</CCategorie>
</CCategorie>
<CCategorie Id="" Niveau="1" Nom="InanimÃ©s">
  <CCategorie Id="" Niveau="2" Nom="Aliment">
    <CCategorie Id="" Niveau="3" Nom="Fruit">
      <Concept APositif="-1" ANegatif="-1" Id="" Nom="Abricot">
        <CVecteur>
          <CEmotion Nom="joie" Valeur="-1" />
          <CEmotion Nom="peur" Valeur="0" />
          <CEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
          <CEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
          <CEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
          <CEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
        </CVecteur>
      </Concept>
    </CCategorie>
  </CCategorie>
</CCategorie>

```

```
</Concept>
<Concept APositif="-1" ANegatif="-1" Id="" Nom="Banane">
  <CVecteur>
    <CEmotion Nom="joie" Valeur="-1" />
    <CEmotion Nom="peur" Valeur="0" />
    <CEmotion Nom="colere" Valeur="0" />
    <CEmotion Nom="tristesse" Valeur="-1" />
    <CEmotion Nom="degout" Valeur="0" />
    <CEmotion Nom="surprise" Valeur="0" />
  </CVecteur>
</Concept>
</CCategorie>
</CCategorie>
</CCategorie>
</CRacine>
```

.1.3 Paramètres du langage

Extrait du fichier XML utilisé pour la description des paramètres du langage.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<Langage xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:
  noNamespaceSchemaLocation="Langage.xsd">
  <LActes>
    <Acte id="1" nom="Interrogatif"/>
    <Acte id="2" nom="Affirmatif"/>
  </LActes>

  <LPhases>
    <Phase id="1" nom="Jeu"/>
    <Phase id="2" nom="Vie réelle"/>
    <Phase id="3" nom="Imagination"/>
    <Phase id="4" nom="Imitation"/>
  </LPhases>

  <LTemps>
    <Temps id="1" nom="Passe"/>
    <Temps id="2" nom="Present"/>
    <Temps id="3" nom="Futur"/>
  </LTemps>
</Langage>
```

.2 Gestion des émotions

.2.1 Relation entre expériences émotives et émotions

Le tableau ci-dessous suivante présente la liste des expériences émotives proposées pas Larivey [74].

Extrait du fichier XML utilisé pour la description des expériences émotionnelles en fonction des émotions associées.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<Racine>
  <ERacine xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:
    noNamespaceSchemaLocation="EEmotives.xsd">
    <Affect id="1" valeur="positif">
      <Emotion id="1" nom="joie">
        <EEmotive id="1" nom="bonheur"></EEmotive>
        <EEmotive id="2" nom="contentement"></
          EEmotive>
        <EEmotive id="3" nom="enchante"></EEmotive>
        <EEmotive id="4" nom="enthousiaste"></
          EEmotive>
        <EEmotive id="5" nom="euphorie"></EEmotive>
        <EEmotive id="6" nom="excitation"></EEmotive
          >
        <EEmotive id="7" nom="extase"></EEmotive>
        <EEmotive id="8" nom="fierte"></EEmotive>
        <EEmotive id="9" nom="heureux"></EEmotive>
        <EEmotive id="10" nom="impatience"></
          EEmotive>
        <EEmotive id="11" nom="jouissance"></
          EEmotive>
        <EEmotive id="12" nom="passion"></EEmotive>
        <EEmotive id="13" nom="plaisir"></EEmotive>
        <EEmotive id="14" nom="ravisement"></
          EEmotive>
        <EEmotive id="15" nom="satisfaction"></
          EEmotive>
      </Emotion>
    </Affect>
    <Affect id="2" valeur="negatif">
      <Emotion id="2" nom="peur">
        <EEmotive id="16" nom="affolement"></
          EEmotive>
        <EEmotive id="17" nom="angoisse"></EEmotive>
        <EEmotive id="18" nom="anxiete"></EEmotive>
        <EEmotive id="19" nom="apprehension"></
          EEmotive>
        <EEmotive id="20" nom="chagrin"></EEmotive>
        <EEmotive id="21" nom="choque"></EEmotive>
        <EEmotive id="22" nom="crainte"></EEmotive>
        <EEmotive id="23" nom="crise de panique"></
          EEmotive>
        <EEmotive id="24" nom="douleur"></EEmotive>
        <EEmotive id="25" nom="frayeur"></EEmotive>
        <EEmotive id="26" nom="gene"></EEmotive>
        <EEmotive id="27" nom="humiliation"></
          EEmotive>
        <EEmotive id="28" nom="inquietude"></
          EEmotive>
      </Emotion>
    </Affect>
  </ERacine>
</Racine>
```

```

<EE motive id="29" nom="intimide"></EE motive>
<EE motive id="30" nom="malaise"></EE motive>
<EE motive id="31" nom="mal a l'aise"></
EE motive>
<EE motive id="32" nom="nervosite"></EE motive
>
<EE motive id="33" nom="panique"></EE motive>
<EE motive id="34" nom="peur panique"></
EE motive>
<EE motive id="35" nom="stresse"></EE motive>
<EE motive id="36" nom="terreur"></EE motive>
<EE motive id="37" nom="trac"></EE motive>
</Emotion>
<Emotion id="3" nom="surprise">
<EE motive id="38" nom="merveille"></
EE motive>
</Emotion>
<Emotion id="4" nom="colere">
<EE motive id="39" nom="agitation"></EE motive
>
<EE motive id="40" nom="agite"></EE motive>
<EE motive id="41" nom="blesse"></EE motive>
<EE motive id="42" nom="detester"></EE motive>
<EE motive id="43" nom="ecoeure"></EE motive>
<EE motive id="44" nom="embarras"></EE motive>
<EE motive id="45" nom="enerve"></EE motive>
<EE motive id="46" nom="enrage"></EE motive>
<EE motive id="47" nom="exasperation"></
EE motive>
<EE motive id="48" nom="execrer"></EE motive>
<EE motive id="49" nom="frustre"></EE motive>
<EE motive id="50" nom="fureur"></EE motive>
<EE motive id="51" nom="haine"></EE motive>
<EE motive id="52" nom="hostilite"></EE motive
>
<EE motive id="53" nom="irrite"></EE motive>
<EE motive id="54" nom="mepris"></EE motive>
<EE motive id="55" nom="perturbe"></EE motive>
<EE motive id="56" nom="rage"></EE motive>
<EE motive id="57" nom="rancune"></EE motive>
<EE motive id="58" nom="rejete"></EE motive>
<EE motive id="59" nom="violence"></EE motive>
</Emotion>
<Emotion id="5" nom="tristesse">
<EE motive id="60" nom="abandonne"></EE motive
>
<EE motive id="61" nom="angoisse"></EE motive>
<EE motive id="62" nom="anxiete"></EE motive>
<EE motive id="63" nom="blesse"></EE motive>
<EE motive id="64" nom="chagrin"></EE motive>
<EE motive id="65" nom="compassion"></
EE motive>
<EE motive id="66" nom="culpabilite"></
EE motive>

```

```

        <EE motive id="67" nom="deception"></EE motive>
        >
        <EE motive id="68" nom="delaisse"></EE motive>
        <EE motive id="69" nom="deprime"></EE motive>
        <EE motive id="70" nom="douleur"></EE motive>
        <EE motive id="71" nom="embarras"></EE motive>
        <EE motive id="72" nom="gene"></EE motive>
        <EE motive id="73" nom="honte"></EE motive>
        <EE motive id="74" nom="humiliation"></EE motive>
        <EE motive id="75" nom="insecurite"></EE motive>
        <EE motive id="76" nom="malaise"></EE motive>
        <EE motive id="77" nom="mal a l'aise"></EE motive>
        <EE motive id="78" nom="melancolie"></EE motive>
        <EE motive id="79" nom="peine"></EE motive>
        <EE motive id="80" nom="pitie"></EE motive>
        <EE motive id="81" nom="regret"></EE motive>
        <EE motive id="82" nom="rejete"></EE motive>
        <EE motive id="83" nom="solitude"></EE motive>
        <EE motive id="84" nom="sympathie"></EE motive>
        >
    </Emotion>
    <Emotion id="6" nom="degout">
        <EE motive id="84" nom="ecoeure"></EE motive>
        <EE motive id="85" nom="mepris"></EE motive>
    </Emotion>
</Affect>
</ERacine>
</Racine>

```

.2.2 Relation entre personnalité et émotions

Extrait du fichier XML utilisé pour la description des dimensions MBTI en fonction des émotions associées.

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<Personnalite xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:
  noNamespaceSchemaLocation="Personnalite.xsd">
  <Dimension Nom="Orientation">
    <Preference Nom="Extraversion" Representation="E">
      <PEEmotive Id="1" />
      <PEEmotive Id="2" />
    </Preference>
    <Preference Nom="Introversion" Representation="I" />
  </Dimension>
  <Dimension Nom="Information">
    <Preference Nom="Sensation" Representation="S" />
    <Preference Nom="Intuition" Representation="N" />
  </Dimension>
  <Dimension Nom="Decision">

```

```
<Preference Nom="Pensee" Representation="T" />
<Preference Nom="Sentiment" Representation="S" />
</Dimension>
<Dimension Nom="Action">
  <Preference Nom="Jugement" Representation="J" />
  <Preference Nom="Perception" Representation="P" />
</Dimension>
</Personnalite >
```

.3 Expression des émotions

.3.1 Expressions faciale

Extrait du fichier XML utilisé pour la description expressions faciale pour les émotions.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<EFRacine xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:
  noNamespaceSchemaLocation="EFaciales.xsd">
  <EFaciale emotion="neutre">
    <EFMove id="1">
      <SD value="566"></SD>
      <SG value="447"></SG>
      <BH value="514"></BH>
      <BB value="504"></BB>
      <BG value="300"></BG>
      <BD value="300"></BD>
    </EFMove>
  </EFaciale>
  <EFaciale emotion="joie">
    <EFMove id="2">
      <SD value="566"></SD>
      <SG value="557"></SG>
      <BH value="514"></BH>
      <BB value="421"></BB>
      <BG value="1020"></BG>
      <BD value="1020"></BD>
    </EFMove>
  </EFaciale>
  <EFaciale emotion="colere">
    <EFMove id="3">
      <SD value="653"></SD>
      <SG value="338"></SG>
      <BH value="461"></BH>
      <BB value="421"></BB>
      <BG value="1020"></BG>
      <BD value="1020"></BD>
    </EFMove>
  </EFaciale>
  <EFaciale emotion="surprise">
    <EFMove id="4">
      <SD value="479"></SD>
      <SG value="557"></SG>
```

```

    <BH value="461"></BH>
    <BB value="421"></BB>
    <BG value="300"></BG>
    <BD value="300"></BD>
  </EFMove>
</EFaciale>
<EFaciale emotion="degout">
  <EFMove id="5">
    <SD value="653"></SD>
    <SG value="557"></SG>
    <BH value="461"></BH>
    <BB value="504"></BB>
    <BG value="1020"></BG>
    <BD value="1020"></BD>
  </EFMove>
</EFaciale>
<EFaciale emotion="tristesse">
  <EFMove id="6">
    <SD value="653"></SD>
    <SG value="479"></SG>
    <BH value="487"></BH>
    <BB value="504"></BB>
    <BG value="1020"></BG>
    <BD value="1020"></BD>
  </EFMove>
</EFaciale>
<EFaciale emotion="peur">
  <EFMove id="7">
    <SD value="500"></SD>
    <SG value="500"></SG>
    <BH value="461"></BH>
    <BB value="504"></BB>
    <BG value="300"></BG>
    <BD value="300"></BD>
  </EFMove>
</EFaciale>
</EFRacine>

```

.3.1.1 Réaction au discours

Extrait du fichier XML utilisé pour la description de la réaction générée par le modèle lors d'une interaction.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no" ?>
<Reponse xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:
  noNamespaceSchemaLocation="Reponse.xsd">

  <Humeur Valeur="Positif"/>

  <Phrase>
    <Sujet Affect="neutre" Valeur="Voisin"/>
    <Verbe Affect="positif" Valeur="Plaire"/>
    <Complement Affect="neutre" Valeur=""/>

```



```
</Phrase>

<RComportement>
  <CEEmotive Coefficient="50" Duree="1500" Nom="enthousiaste">
    <EEemotion Coefficient="0" Nom="colere"/>
    <EEemotion Coefficient="0" Nom="degout"/>
    <EEemotion Coefficient="1" Nom="joie"/>
    <EEemotion Coefficient="0" Nom="peur"/>
    <EEemotion Coefficient="0" Nom="surprise"/>
    <EEemotion Coefficient="0" Nom="tristesse"/>
  </CEEmotive>
  <CEEmotive Coefficient="50" Duree="1500" Nom="plaisir">
    <EEemotion Coefficient="0" Nom="colere"/>
    <EEemotion Coefficient="0" Nom="degout"/>
    <EEemotion Coefficient="1" Nom="joie"/>
    <EEemotion Coefficient="0" Nom="peur"/>
    <EEemotion Coefficient="0" Nom="surprise"/>
    <EEemotion Coefficient="0" Nom="tristesse"/>
  </CEEmotive>
</RComportement>

<RHistorique/>

</Reponse>
```

A - C	D - E	F - O	P - Z
<p>abaissé abandonné abhorrer absent admiration adorer affection (affectueux) affolement agitation agité agrément agressif aimable aimé ambivalent amertume amitié amour angoisse anxiété apathie (apathique) appréhension arrogant attachement(attaché) attendrissement béatitude bégaiement bizarre blessé bloqué bonheur boule dans la gorge brisé burnout cafard calme chagrin chérir choqué (colère) coincé colère compassion confiance confusion considération contentement crainte crise de panique culpabilité</p>	<p>déception découragement défensif dégout délaisser délectation dépendant déprimé dérangé désespoir désir désœuvrement detester de trop dévalorisé différent diminué distant douleur doute doux drôle écarté écoeuré effroi égoïsme éjecté éloigné émervillé embarras emprisonné enchanté énervement (énervé) engourdissement ennui enragé enthousiaste envahi envahissant envie épouvante estime étouffement étourdissement euphorie évalué évanouissement exaspération excitation exclu exécrer extase extrémités froides</p>	<p>faible fatigué fébrilité fermé fierté figé flottement fort fou fraveur frustré fureur gelé gêne gentil gratitude haine harmonieux heureux honte hostilité humiliation impatience impuissant impulsif incompris indifférent inférieur inquiétude insécurité intimidé irrité jalousie-amoureuse jalousie-envie joie jouissance jugé loin malaise (mal à l'aise) mal de tête manipulation manipulé Migraine de tension mécontentement méfiance mélancolie mépris mort nausées négatif nervosité non-désiré nostalgie optimiste ouvert</p>	<p>panique paralysé paresse passion patient peine perdu persécuté perturbé pessimiste peur peur-panique pitié plaisir positif proche rage raisonnable rancune ravissement reconnaissance refusé regret rejeté reposé repoussé réservé ressentiment retiré révolté ridicule rougissement satisfaction sensuel sérénité (serein) solitude (seul) soupir stressé supérieur surpris sympathie tendresse tensions diverses terreur tics timide <trac </trac trahi transpiration excessive tremblement tristesse vanité victime vide violence vivant volupté</p>

Figure 14 – Liste des expériences émotionnelles selon Larivey [74]

Expérimentations

.4 Évaluation du modèle calculatoire émotionnel iGrace en simulation statique

Grille d'évaluation utilisée lors de l'expérimentation du modèle calculatoire d'émotions iGrace en simulation statique.

Interaction					N° :...	
Phrase :						
Sujet	Affect	Verbe	Affect	Complément	Affect	
État émotionnel :	Pas du tout	Un peu	Beaucoup	Ne sais pas		
Joie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Surprise	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Tristesse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Colère	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Dégoût	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Peur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Émotions attendues :	Pas du tout	Un peu	Beaucoup	Ne sais pas		
Joie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Surprise	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Tristesse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Colère	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Dégoût	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Peur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Reconnaissance des émotions exprimées :						
Émotions reconnues :	Pas du tout	Un peu	Beaucoup	Ne sais pas		
Joie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Surprise	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Tristesse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Colère	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Dégoût	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Peur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Rapidité de l'expression :	Trop lent	Lent	Normal	Rapide	Trop rapide	
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Durée du comportement :	Trop lent	Lent	Normal	Rapide	Trop rapide	
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Avez-vous l'impression d'une expression combinée des émotions ?					Oui	Non
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
L'enchaînement des émotions vous semble-t-il naturel ?					Oui	Non
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Humeur :						
L'humeur du robot a-t-il un impact sur son comportement ?					Oui	Non
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Satisfaction :						
Êtes-vous satisfait du comportement du robot ? :			Pas du tout	Un peu	Beaucoup	

Figure 15 – Grille d'évaluation en simulation statique

.5 Évaluation de la version 2 du robot EmI

.5.1 Grille d'évaluation

Utilisateur :

Sexe :	Garçon	Fille
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Age :

État émotionnel avant interaction :

<input type="checkbox"/> Calme	<input type="checkbox"/> Neutre	<input type="checkbox"/> Agité
<input type="checkbox"/> Enthousiaste	<input type="checkbox"/> Neutre	<input type="checkbox"/> Peu intéressé
<input type="checkbox"/> Très bavard	<input type="checkbox"/> Neutre	<input type="checkbox"/> Impressionné
<input type="checkbox"/> Content	<input type="checkbox"/> Neutre	<input type="checkbox"/> Pas content

Satisfaction :

Est-ce que le robot te plaît ?	Ne sais pas	Pas du tout	Un peu	Beaucoup
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Aimes-tu toucher le robot ?	Ne sais pas	Pas du tout	Un peu	Beaucoup
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Le robot est-il gentil ?	Ne sais pas	Pas du tout	Un peu	Beaucoup
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Aimerais-tu revoir le robot ?	Ne sais pas	Pas du tout	Un peu	Beaucoup
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Veux-tu avoir EmI pour ta maison ?	Ne sais pas	Pas du tout	Un peu	Beaucoup
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

État émotionnel après interaction :

<input type="checkbox"/> Calme	<input type="checkbox"/> Neutre	<input type="checkbox"/> Agité
<input type="checkbox"/> Enthousiaste	<input type="checkbox"/> Neutre	<input type="checkbox"/> Peu intéressé
<input type="checkbox"/> Très bavard	<input type="checkbox"/> Neutre	<input type="checkbox"/> Impressionné
<input type="checkbox"/> Content	<input type="checkbox"/> Neutre	<input type="checkbox"/> Pas content

Figure 16 – Grille d'évaluation de la version 2 et 3 d'EmI



Figure 17 – Fiche d'aide à la reconnaissance des émotions

.5.2 Histoire de Bouba

Amandine était une ourse géante que les Indiens de la région considéraient comme la reine de la montagne. Elle vivait dans une grotte accompagnée de deux petits oursons aussi mignon l'un que l'autre. Dès qu'ils avaient pu comprendre, la maman ours leur avait expliqué que le

plus redoutable des ennemis des ours était l'homme et qu'on le reconnaissait à ce qu'il se tenait debout sur des pattes très longues et qu'il tenait dans ses pattes de devant un bâton de fer qui crachait le feu.

Et pourtant, le jour où le fils d'Amandine se trouva nez à nez au détour de la forêt avec Moy , le petit Indien, il ne fut pas effrayé outre mesure. "Il marche bien sur ses pattes de derrière", se dit-il. "Mais il est tout petit. Alors ce ne doit pas être un homme". Et comme Moy au lieu d'un bâton de fer tenait dans sa main un caramel, qu'il tendait au petit ourson, le fils d'Amandine s'approcha et trouva que petit d'homme ou pas petit d'homme cet étrange animal offrait de bien bonnes choses. Le lendemain, ce fut avec sa sœur que le petit ourson revint à l'endroit où il avait rencontré Moy. Il était là, encore avec des caramels et ce fut entre le petit garçon et les oursons le début d'une grande amitié.

"Toi, puisque tu es un garçon, tu t'appelleras Bouba... Et toi puisque tu es une fille, tu t'appelleras Frisquette". Les deux oursons parurent tout à fait d'accord et on se mit à se courir après, à se rouler dans l'herbe en faisant retentir la forêt de grands éclats de rire.

Moy, le petit Indien, vivait avec son papa Daklahoma dans une cabane qui appartenait à M. Forestier, un riche fermier dont la fille Joy était l'amie du petit Indien. Bien vite elle fit à son tour la connaissance des deux oursons, et durant des jours la grande joie des enfants fut d'apporter des caramels à Bouba et Frisquette qui pour les remercier les caressaient de leur museau en leur faisant des chatouilles.

Malheureusement, un jour, M. Bonami, un chasseur qui portait bien mal son nom puisque son métier était de tuer les ours pour vendre leur fourrure, vint convaincre M. Forestier de se lancer à la poursuite d'Amandine...Daklahoma, le papa de Moy, eut beau expliquer que pour les Indiens de la région la maman de Bouba et de Frisquette était un animal sacré, les deux hommes ne voulurent rien savoir et à l'approche du soir : PANNN !!! Amandine était morte et les deux petits oursons n'avaient plus de maman . "Ils sont trop petits pour se débrouiller tout seul, ils vont mourir de faim dans la forêt ".

M. Bonami pour sa part était loin de s'apitoyer sur le sort des deux petits oursons. Il ne songeait qu'à les capturer pour les vendre à un zoo ou à un cirque.

C'est avec l'oncle Emil, un vieux chercheur d'or qui cherchait beaucoup mais qui ne trouvait pas grand chose que Moy et Joy se mirent en quête des deux oursons. Ils les trouvèrent très désemparés de ne plus voir leur maman.

Cela n'avait pas été une petite affaire d'habituer Bouba et Frisquette à vivre dans la cabane de Moy. Peu à peu cependant, ils s'habituaient à vivre en la compagnie des hommes et les deux enfants passèrent de merveilleuses journées à s'amuser avec eux. Moy, qui ne les quittait pas de la journée, les aidait par exemple à déplacer les rochers comme l'aurait fait leur maman lorsqu'ils voulaient goûter à la mousse qui se trouvait dessous et lorsque pour le remercier ou lui témoigner leur affection, les deux petits oursons venaient le caresser de leur museau, Moy en était très heureux.

Les jours avaient passé, mais M. Bonami le chasseur n'avait pas renoncé à son idée de vendre pour de l'argent les deux oursons à un zoo ou à un cirque. Une nuit, ayant entraîné avec lui Paco et Pedro les deux bergers de M. Forestier, il s'introduisit sans faire le moindre bruit à l'intérieur de la cabane avec l'intention de s'emparer des deux oursons. Malheureusement dans un faux mouvement, il fit tomber à terre la lampe à pétrole que Daklahoma laissait allumée toute

la nuit pour que Bouba et Frisquette n'aient pas peur dans le noir et en moins d'un instant, la cabane de rondins fut la proie des flammes . Il n'y eut de doute pour personne, c'était Bouba et Frisquette qui avaient mis le feu à la cabane en renversant la lampe. Et Daklahoma vint annoncer à M. Forestier que pour le dédommager de la perte qu'il venait de subir, il se mettait à sa disposition pour effectuer à la ferme tous les travaux qu'il lui plairait de lui confier...

Pour Bouba et Frisquette l'installation à la ferme, fut l'occasion de jeux nouveaux. D'abord ils furent un peu effrayés par la taille impressionnante des vaches , mais très vite, ils se rendirent compte qu'elles n'étaient pas méchantes. Cocks, le contremaître de M. Forestier était un ami du chasseur Bonami et ce dernier, malgré l'incendie de la cabane n'avait pas abandonné son idée de s'emparer des deux oursons.

Sur ses conseils, le contremaître vint se plaindre auprès de Daklahoma de ce que les oursons effrayaient les vaches et qu'à cause de cela elles donnaient beaucoup moins de lait. "Tu devrais les confier à Paco et Pedro." Lui conseilla-t-il. Ce n'était pas une mauvaise idée. Et Moy malgré la peine qu'il avait de se séparer de ses deux amis accepta de les conduire en compagnie de Joy jusqu'à la cabane que les bergers occupaient. "Il faut bien s'occuper d'eux... Ne pas les laisser s'échapper.". Paco et Pedro promirent aux deux enfants tout ce qu'ils voulurent, mais dès qu'ils se furent éloigné, M. Bonami vendit Bouba et Frisquette au propriétaire d'un cirque.

Le jour même où le chasseur avait vendu les deux oursons, M. Forestier s'était étonné auprès de Daklahoma de ne plus les voir dans le ranch. "C'est à cause des vaches." lui avait répondu le papa de Moy. "Les vaches ? Elles n'avaient jamais cessé de donner autant de lait !". Et devinant quelque chose de louche dans cette affaire, M. Forestier conseilla à Daklahoma de se rendre avec les deux enfants auprès des bergers pour ramener Bouba et Frisquette. Malheureusement, lorsque les 2 enfants et Daklahoma arrivèrent à leur campement, ce fut pour apprendre que les deux oursons ne se trouvaient plus là. "Ils ont coupé la corde a laquelle nous les avons attachés et ils se sont enfui". Moy, Joy, Daklahoma, l'oncle Emil, tout le monde se mit à leur recherche et lorsque l'on n'eut rien trouvé, il fallut se rendre à l'évidence : les deux bergers avaient menti.

Il fallait maintenant se lancer à la poursuite du cirque. Mais lorsque après de longues recherches, Moy et Daklahoma retrouvèrent sa trace, ce fut pour apprendre que les deux oursons avaient réussi à s'enfuir. Leur instinct va certainement les conduire vers la montagne où ils sont nés. Daklahoma ne s'était pas trompé. C'était vers leur montagne que Bouba et Frisquette avaient entrepris de se diriger. Moy comprit qu'il ne reverrait plus ses deux amis.

Ce fut un bien triste hiver que le petit Indien passa dans la cabane de rondins que son père avait construite. Enfin, la neige disparut et les arbres reverdirent. Bouba et Frisquette avaient du se réveiller maintenant. Qui sait, peut être allaient-ils revenir vers leur montagne ? Ce fut sur ces entre faits que Pedro et Paco, les bergers constatèrent que régulièrement des moutons disparaissaient. En fait, Bouba était bien revenu, mais ce n'était pas lui qui attaquait le troupeau. C'était un ours énorme. Et il était justement en train de dévorer la dernière de ses proies , lorsqu'il aperçût Bouba, l'ours, furieux, lui bondit dessus. Mais Bouba avait bien grandi durant l'hiver et après un combat terrible, il laissa son adversaire agonisant auprès de la proie qu'il avait dérobée.

"Regarde papa !". Moy qui dans l'espoir de découvrir Bouba s'était dirigé avec son père vers la grotte où les oursons avaient vécu venait d'apercevoir la dépouille de l'ours allongé

auprès de la carcasse de mouton a demi dévoré. C'était la preuve que Bouba n'était pas le voleur de mouton.

Le piège avait fonctionné. Si les bergers avaient capturé un ours alors que le coupable était mort. Ce ne pouvait être que son ami. Et Moy, en entendant le cri avait entraîné son père vers le campement des bergers. "Ne tirez pas ! Ne tirez pas !" Et Bouba qui avait reconnu la voix de son ami retrouva pour un instant ses cris de petit ourson pour manifester sa joie. Daklahoma expliqua aussitôt que c'était un autre ours qui s'était emparé des bêtes, mais les bergers et le contremaître n'en hésitaient pas moins à remettre en liberté un ours qui est toujours un animal redoutable.

Ils avaient bien tort car dès que la porte du piège s'ouvrit, Bouba se précipita vers Moy et Joy qui venait d'arriver pour leur faire comme autrefois des caresses qui les chatouillaient. Ce fut lui qui les conduisit vers l'endroit où se cachait Frisquette pour qu'elle puisse, elle aussi leur témoigner de son affection.

L'instant de la séparation avait pourtant sonné. Daklahoma comme l'oncle Emil, comme M. Forestier savaient très bien que les ours devenus adultes ne pouvaient pas être heureux en vivant avec les hommes. Un jour, un chasseur les tuerait ou bien la liberté leur manquerait. Et les deux enfants, le cœur déchiré, durent accepter qu'on les conduise loin dans la montagne en un endroit où ils n'auraient rien à craindre des chasseurs et des pièges qu'ils tendent.

Résumé

Abstract

Les robots à vocation sociale ou *robotique sociale*, au départ très limités dans leur mécanique et leurs capacités intellectuelles, avaient la plupart du temps pour but la distraction et l'amusement de personnes. De nos jours, les scientifiques s'intéressent aux relations psychologiques qu'il est possible d'entretenir avec ce type de nouveau média de communication.

La Robotothérapie, qui reprend les règles de la robotique sociale, a pour but d'améliorer l'état psychologique et physiologique de personnes malades, marginalisées ou atteintes de handicaps physiques ou mentaux. Il apparaît que les robots peuvent jouer un rôle d'accompagnement et d'éveil. Il faut pour cela les doter de capacités de communications.

Le nouveau défi du domaine des robots compagnons consiste à offrir un enrichissement du comportement par leur interaction avec les humains. Quelques études existent déjà dans le domaine de la RAA : « Robot Assisted Activity » et, plus précisément, dans le domaine du RAT : Le « Robot Assisted Therapy ». Les premières expérimentations dans ce domaine de la robotique ont prouvé que les robots compagnons peuvent donner un certain confort moral et psychologique aux personnes fragiles.

Dans ce contexte, le projet MAPH (Média Actif Pour le Handicap) a pour objectif d'apporter un réconfort psychologique aux enfants fragilisés (ex. longue hospitalisation ou difficultés d'intégration sociale) à l'aide du robot compagnon. L'objectif de mon travail de recherche tend vers la réalisation d'un robot avec un contact agréable et qui sera doté de capacités d'expression corporelle, de perception et de compréhension du langage naturel de sorte qu'il puisse établir une représentation formelle de l'état émotif de son interlocuteur. Il s'agit de définir et concevoir un modèle des états émotifs du robot et de son évolution, afin que ses réactions semblent les plus naturelles possibles.

Ce manuscrit présentera les méthodes utilisées et permettant d'atteindre l'objectif fixé. Nous présenterons les définitions utilisées pour la modélisation du processus émotionnel, la réalisation du modèle de calcul des émotions permettant de générer un état émotionnel ressenti et la construction du robot compagnon expressif.

Robototherapy, which incorporates rules of social robotics, has to improve psychological and physiological state of people sick, marginalized or suffering from physical or mental disabilities. It appears that robots can be used for companionship and awakening. This requires providing them with communications capabilities.

The new challenge in the field of companion robots is to provide enrichment of behavior by their interaction with humans. Some studies already exist in the field of RAA : "Robot Assisted Activity" and specifically in the field RAT : The "Robot Assisted Therapy. The first experiments in the field of robotics have proven that robots can give some moral and psychological comfort for frail people.

In this context, MAPH (Active Media For Handicap) project has aims to provide psychological comfort to vulnerable children (eg, prolonged hospitalization or difficulties of social integration) using the robot companion. The aim of my research work tends to the realization of a robot with a pleasant contact and capacity of body language, perception and natural language understanding so that it can establish a representation of the emotional state of his interlocutor. We have to define and develop a computational model of emotional states of the robot and its evolution, so that his reactions seem more natural as possible.

This manuscript will present the methods using to achieve the objective. We present definitions used for modeling the emotional process, implementation of the computational model of emotions to generate emotional state and the construction of an expressive robot companion.



n d'ordre : 188

Université de Bretagne Sud

Centre d'Enseignement et de Recherche Y. Coppens - rue Yves Mainguy - 56000 VANNES

Tél : + 33(0)2 97 01 70 70 Fax : + 33(0)2 97 01 70 70