

Génération d'émotions pour le robot MAPH

Mathieu Petit

Stage de Master recherche en Interactions Homme-Machine
Laboratoire Valoria - Université de Bretagne Sud
Encadrants : Dominique Duhaut et Brigitte Le Pévédic
Équipe Équipage

27 juin 2005

Table des matières

Contexte de l'étude	5
I Etat de l'art	6
1 Les émotions humaines	7
1.1 Définition des émotions	7
1.2 Rôle des émotions	9
1.3 Universalité des émotions	10
1.4 Classification des émotions	10
1.4.1 Le dégoût	11
1.4.2 La colère	11
1.4.3 La joie	13
1.4.4 La Surprise	13
1.4.5 La peur	13
1.4.6 La Tristesse	13
1.5 Expression des émotions	14
1.5.1 Le dialogue	15
1.5.2 Les expressions corporelles	15
1.5.3 Les expressions faciales	15
1.5.4 Les gestes	16
1.5.5 Les mouvements du corps	16
2 Expressions Faciales	17
2.1 Définition des expressions faciales	17
2.1.1 Evolution du visage	17
2.1.2 distribution culturelle	18
2.1.3 Micro-expressions	18
2.2 Expression des émotions primaires	19
La peur	19
La tristesse	19
Le dégoût	20
La joie	20

La colère	20
La surprise	21
2.3 Mesure des expressions faciales	21
2.3.1 Système de codage par actions faciales (FACS)	21
2.3.2 FACSAID	22
2.3.3 EMFACS (EMotion FACS)	23
2.3.4 MAX	23
3 Robotique et synthèse des émotions	24
3.1 Définitions	24
3.1.1 les personnages virtuels	24
3.1.2 Les avatars tangibles	25
3.1.3 Les acteurs humains	26
3.2 Design d'un robot capable d'interactions sociales	26
3.2.1 Éléments de design d'un robot social	27
3.2.2 The Uncanny Valley	27
3.2.3 Morphologie	29
3.3 Robotique et expressions faciales	30
3.3.1 Kismet, Sparky, Felix et les autres	30
3.4 Robotique à but thérapeutique	32
3.4.1 Paro	32
3.4.2 Necoro	33
II Stage	34
Sujet de stage	35
Chronologie du stage	36
4 Cadre d'Application	37
4.1 Le Projet MAPH	37
4.1.1 Modèle semi-robotisé	38
4.1.2 Modèle entièrement robotisé	39
4.2 Thématiques scientifiques	39
4.2.1 Thème robotique multimodale	41
4.2.2 Thème dialogue oral Homme-machine	41
4.2.3 Thème synthèse émotionnelle	41
4.2.4 Tests et évaluations	42
4.3 Partenaires du projet	42
4.3.1 Kerpape	42
4.3.2 AIST	43

5 Synthèse d'émotions - expressions faciales	44
5.1 methodologie de la synthèse d'émotion	44
5.1.1 Rapport avec les travaux de Ekman	44
5.1.2 Simplification des visages	45
5.2 Éléments de la base	46
5.2.1 Sous-ensemble bouche	46
5.2.2 Sous ensemble oeil	48
5.2.3 Éléments décoratifs, actifs ou non	49
5.3 Construction des visages	50
5.3.1 Animation des éléments	51
5.4 Visages proposés	52
5.5 Base de visage EmotiveFaceDB	56
5.5.1 Principe de construction	56
5.5.2 Fichiers de coordonnées	56
6 Évaluation des visages	58
6.1 Procédure de test	58
6.1.1 Public du test	58
6.1.2 Tests de dessin	59
6.1.3 Comparaison d'un élément de la base	59
6.1.4 Annotation des fichiers de coordonnées	60
6.2 Résultats et analyse des tests	60
6.2.1 Perspectives sur les propositions des utilisateurs	60
6.2.2 Tri de EmotiveFaceDB	63
6.2.3 Second test	64
Conclusion	66
bilan	66
Perspectives	66
Bibliographie	68
Annexes	73
A Article court soumis à IHM'2005	73
B Résultats de la première série de tests	74
C Résultats de la seconde série de tests	75

Contexte de l'étude

Les progrès de la mécanique et de l'automatisme ont dès la fin du dix-neuvième siècle ont inspiré les auteurs de la littérature d'anticipation ou de la de science fiction. Ces oeuvres de fictions imaginent des êtres mécaniques, alter-égo de l'homme doués d'une intelligence égale ou supérieure. Karel Capek les baptise robot dans sa pièce de 1920 "Rossum's Universal Robots". Le thème à très largement inspiré les artistes de la littérature et du cinéma tout au long du vingtième siècle.

L'utilisation de la robotique dans un contexte social, comme présenté dans les oeuvres de fictions est pourtant dans le monde réel un thème de recherche nouveau et les avancées se font à pas mesurées dans les domaines de la mécanique, l'animation, l'intelligence artificielle ou encore la psychologie.

Les robots à vocations sociale, pour le moment très limité dans leur mécanique et leurs capacités intellectuelles, ont la plupart du temps pour buts la distraction, l'amusement des personnes. Nous avons pu rencontrer ces dernières années dans le commerce, les premiers robots de ce type et les scientifique s'intéressent maintenant aux relations psychologiques qu'il est possible d'entretenir avec ce type de nouveau média de communication.

La Robotothérapie, domaine de la robotique, essaye d'appliquer les principes de la robotique sociale dans le but d'améliorer l'état psychologique et physiologique de personnes malades, marginalisées ou atteintes de handicaps physiques ou mentaux.

Il apparait que les robots peuvent jouer un rôle d'accompagnement et d'éveil. Il faut pour cela les doter d'un maximum de capacités de communications.

L'étude ici présentée propose un état de l'art sur les émotions humaines, sur les méthodes pour représenter ces émotions, en particulier sur le visage au moyen d'expressions faciales et enfin sur les premiers pas dans la transmission d'émotions par des robots. Dans une seconde partie, nous présentons une méthode expérimentale pour le design d'un visage robotisé, capable d'expressions faciales riches que nous pourrons intégrer au robot MAPH. Cette étude prend place dans le cadre du projet éponyme MAPH, du laboratoire de recherche en informatique VALORIA et qui a pour but la réalisation d'un média de communication pour l'enrichissement physiologique et psychologique d'un public d'enfants handicapés moteur et handicapés mentaux.

Première partie

Etat de l'art

Chapitre 1

Les émotions humaines

1.1 Définition des émotions

En psychologie et pour le sens courant, l'émotion est l'expression de l'état interne d'une personne, basée normalement sur ses sensations physiques et ses interactions sociales [Wik05c]. On pose souvent des mots pour définir cet état émotionnel ; ainsi "joie", "peur", "amour", "surprise" ou encore "plaisir" sont des états émotionnels plus ou moins distincts les uns des autres et qui peuvent être décrits aussi bien selon des critères psychologiques que physiologiques.

Une émotion est une expérience psychologique interne et subjective (on l'oppose souvent à la raison : "sois raisonnable, ne laisse pas tes émotions dicter ta conduite"), elle est individuelle ou de groupe, elle provoque des changements et des réactions physiques ou biologiques mesurables (adrénaline par exemple), elle survient toujours en réponse à certaines situations et elle est opposée ou non à un souhait conscient. L'émotion implique une réponse de l'individu qui le plus souvent est :

- affective : c'est le changement d'état émotionnel de la personne ("surprise" → "joie")
- physiologique : changement du fonctionnement corporel interne (hors cause des émotions) : (émotion forte provoque parfois des maux de ventre..)
- cognitive
- comportementale.

la réaction émotionnelle est, bien sûr, une composition de ces différentes réponses possibles et est très fortement dépendante des individus et de la situation vécue [Wik05b].

Il arrive souvent qu'une expérience émotionnelle provoque un changement d'état qui n'est pas désirée par l'individu. La difficulté rencontrée dès lors que l'on essaye de contrôler ou de masquer nos émotions explique que du point de vue de la philosophie des lumières, l'analyse et le langage émotionnel soient

rejetés au profit de la méthode scientifique (preuve) et de la raison. Pour Kant, les émotions sont une maladie de l'âme qu'il faut guérir par la raison. Le retour en grâce des émotions se fera un siècle plus tard avec en philosophie la poussée des romantiques en Allemagne qui prônent un retour au naturel, à l'introspection et à l'écoute de ses sentiments. Sur le plan scientifique, les premiers travaux de psychologie et d'étude comportementale vont finir de redonner aux émotions leur juste place dans les interactions sociales des individus [RL98].

Bien qu'il semble que les émotions soient un héritage de nos comportements primitifs que nous semblons partager avec les animaux, nos réponses émotionnelles sont elles très influencées par le contexte culturel, politique, social ou historique. Par exemple, des émotions comme l'amour, la haine ne sont pas considérées de la même manière dans des sociétés de cultures différentes. Depuis le siècle dernier, différentes théories tentent d'expliquer l'origine des émotions.

La théorie de James-Lange donne en 1902 l'explication qu'une émotion est simplement la prise de conscience des réactions viscérales et glandulaires antérieures au fait mental. (Nous sommes affligés parce que nous pleurons, irrités parce que nous frappons, effrayés parce que nous tremblons) [Jam02]. Cette théorie est aujourd'hui considéré comme caduque.

La théorie de l'émotion de Cannon-Barch prend le contre-pied de la théorie de James-Lange dans les années 1920 et stipule que les changements physiologiques sont provoqués en réaction à un changement émotif et non l'inverse. Une situation va déclencher une nouvelle activité des mécanismes cérébraux et provoquer simultanément une ou des réponses émotionnelles provoquant une activation physiologique ("je vois un ours" → "je suis effrayé par l'ours" → "tension musculaire pour être prêt à fuir") [Can27].

En 1962, la théorie bidirectionnelle de Schachter-Singer [SS62] donne une plus grande importance aux caractéristiques cognitives et définissent l'expérience émotionnelle comme l'analyse après réaction physiologique de ces caractéristiques cognitives. L'approche "opponent-process" réunit les émotions par paires opposées, l'une positive et l'autre négative (joie != tristesse) et quand un stimulus est présent, l'une des émotion de la paire, celle qui semble la mieux adaptée pour répondre au stimulus, va prendre le dessus sur l'autre et provoquer un changement d'état émotionnel pour que nous la ressentions plus intensément [SC74].

Enfin, Antonio Damasio, dans son livre "l'erreur de Descartes" [Dam95] explique comment d'après lui, les émotions et la raison ne sont pas en opposition mais bien au contraire très fortement liées et indispensables l'une à l'autre. Il a mené des expériences avec des sujets incapables de ressentir des émotions suite à des lésions du cerveau et qui dans le même temps n'étaient plus capables d'organiser leur journée ou d'effectuer des activités du domaine du raisonnement ou de la planification. Ces résultats expérimentaux l'ont aussi conduit à une meilleure compréhension des mécanismes du

cerveau et des zones qui entrent en jeu dans la production d'émotions.

Sur le plan Neuro-biologique, les organes principalement concernés par la réaction émotionnelle sont le système nerveux central qui capte et analyse les données sensorielles, le système limbique qui est le véritable centre de décision des émotions. Hippocampe, amygdale cérébrale, attribuent une valeur de plaisir ou de déplaisir, s'interrogent sur la stratégie à suivre, fuite ou riposte, et enclenchent les mécanismes de la réaction. Enfin, l'hypothalamus entre en jeu pour préparer notre corps en envoyant des messages un système neurovégétatif [Wik05a].

1.2 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 [Vin02].

Ce qui nous distingue des animaux, c'est que nous utilisons des émotions plus complexes (les émotions "primordiales" pour Vincent) 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, geste, expression du visage, postures sont scannées 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 Etats Unis pour mesurer notre capacité à "émotionaliser" 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 [Gol95].

1.3 Universalité des émotions

Cette question a été largement débattue, à commencer par Darwin dans son livre "l'expression des émotions chez l'homme et les animaux" [Dar98] qui constate lui aussi une certaine universalité des expressions faciales et s'en sert pour étayer sa théorie de l'évolution. Paul Ekman a commencé sa carrière de chercheur en anthropologie dans une tribu de Nouvelle-Guinée chez qui il s'installe dans les années 60 [DP99]. Il y constate que les mimiques faciales résultant d'expériences émotionnelles sont les mêmes que ses propres expressions faciales alors que lui et les indiens ne partagent rien sur le plan culturel. Ce simple fait le met sur la voie d'un langage universel des émotions qui ne serait pas déterminé par la culture comme le pensaient la majorité des psychologues à cette époque.

Paul Ekman va passer 20 ans à étudier des populations de peuples différents, tout autour du monde, pour y trouver des dénominateurs communs dans les réponses émotives en se concentrant sur l'analyse du visage et des expressions faciales. Il définit ensuite les types émotionnels de base communément admis. Ces types sont universellement partagés et s'expriment de la même manière quelle que soit la culture. Ekman répertorie aussi les 46 composants de base des expressions du visage (clignement des yeux, froncement de sourcils, etc) valable pour tous les humains mais aussi pour les grands singes [Ekm72].

Les émotions de bases sont ressenties universellement. Par contre, l'expression de ces émotions est soumise à des contraintes sociales, des tabous. Par exemple, pour un japonais, il est important de rester impassible et de ravalier ces expressions pouvant trahir les émotions (moins vrai actuellement). Toutefois s'il franchit ce tabou social, le japonais s'inscrit dans l'alphabet universel des émotions de Ekman. Les émotions de bases ne sauraient non plus être les seules. Il existe une variété d'émotions plus complexes qui sont la composition d'expressions de base et ne sont pas forcément partagées universellement ou alors s'expriment différemment suivant notre culture.

1.4 Classification des émotions

Il existe une vaste palette de réponses possibles lors d'une réaction émotionnelle. Toutes ces réponses sont en psychologie des "expériences émotionnelles" ou "réponses émotionnelles" à un stimulus et dans le langage courant on parle plutôt de sentiment ou on garde le terme d'émotion. Plus de mille termes existent pour les désigner, à commencer par les plus simples, tel le mot "peur" que l'on décline à l'infini : anxiété, appréhension, nervosité, inquiétude, consternation, énervement, crainte, effroi, terreur, épouvante, etc. Les psychologues ont proposé plusieurs modèles pour classer les réponses émotionnelles. Les principales différences entre ces modèles se situent sur-

tout dans la précision que l'on veut donner à la définition d'un sentiment ; un peu comme la couleur peut se définir dans une fourchette de longueurs d'ondes variables d'une définition à une autre.

Historiquement, c'est par le théâtre italien et la "Commedia dell'Arte" que nous arrive la première classification des expériences émotionnelles. Les acteurs improvisateurs y jouent des personnages dont les émotions varient entre quatre : la peur, la joie, la tristesse et la colère. On agrégeant ces quatre types de base, les comédiens arrivent à donner une profondeur émotionnelle à leurs personnages.

Deux grandes classifications s'opposent aujourd'hui pour les émotions. D'un côté, ceux qui postulent que les émotions sont par nature primaires (Ekman) et relèvent du niveau biologique. Les émotions de bases sont alors la colère, le dégoût, la surprise, la joie, la peur et la tristesse.

D'un autre côté, l'autre classification soutient une approche bi-directionnelle des émotions (Russel). Les émotions sont vues comme des paires opposées. Les psychologues qui soutiennent cette approche n'ont pas alors d'émotions spécifiques ni d'émotions de base. D'autres propositions de regroupement des émotions en groupe de base ont été étudiées (Table 1.1) [OT90].

Les psychologues s'accordent de plus en plus [DP99] pour définir 6 émotions de base, c'est à dire celles qui sont partagées par tous les groupes humains et qui provoquent les mêmes réactions physiologiques : la joie, la peur, la tristesse, le dégoût, la surprise et la colère. C'est la définition des émotions de base de Ekman qui semble faire de plus en plus foi dans la communauté.

1.4.1 Le dégoût

Émotion associée avec les choses qui sont perçues comme sales ou non comestibles. Le dégoût peut être divisé en dégoût physique qui caractérise alors l'aspect physique ou métaphorique "sale" et en dégoût moral lié lui à un sentiment vis à vis au cours des choses, à l'actualité.. Le dégoût est l'une des émotions qui est la plus représentative de l'influence sociale sur notre ressenti. Les animaux sont dégoûtés exclusivement par des aliments impropres, l'homme par contre adapte cette émotion à toutes les situations (envers une autre personne, dans une situation déplaisante, etc) [RHM99].

1.4.2 La colère

C'est une émotion de déplaisir généralement en regard d'un acte ou parole d'une tierce personne ou organisation. Parfois il arrive de se mettre en colère contre soi-même. La colère implique un outrage, un ressenti négatif d'une situation, une frustration, une irritation ou un conflit violent. La colère, peut être le symptôme d'une maladie mentale quand elle est déclenchée sans

	Emotions de base	Base de tri
Plutchik	acceptance, colère, anticipation, dégoût, joie, peur, tristesse, surprise	Y a-t-il une adaptation des processus biologiques ?
Arnold	Colère, aversion, courage, rejet, désir, désespoir, peur, haine, espoir, amour, tristesse	
Ekman, Friesen, and Ellsworth	colère, dégoût, peur, joie, tristesse, surprise	Expressions faciales universelles
Frijda	désir, bonheur, intérêt, surprise, curiosité, tristesse	
Gray	Rage, terreur, anxiété, joie	émotions primitives
Izard	Colère, satisfaction, dégoût, détresse, peur, culpabilité, intérêt, joie, honte, surprise	émotions primitives
James	peur, peine, amour, rage	implication du corps
McDougall	Colère, dégoût, tendresse, curiosité, exaltation, soumission	Relation à nos instincts
Mowrer	douleur, plaisir	Les seules émotions innées
Oatley and Johnson-Laird	colère, dégoût, anxiété, bonheur, tristesse	
Panksepp	attente, peur, rage, panique	émotions primitives
Tomkins	Colère, intérêt, mépris, dégoût, détresse, peur, joie, honte, surprise	densité de l'activité neuronale
Watson	peur, amour, rage	émotions primitives
Weiner and Graham	bonheur, tristesse	

TAB. 1.1 – Propositions de classification en émotions primaires

raison apparente. C'est une émotion que l'on cherche à refouler. Les religions, notamment chrétienne et bouddhiste, connotent négativement la colère.

1.4.3 La joie

C'est l'expérience émotionnelle qui est provoquée lorsque l'on est heureux d'un événement. Définir la joie est un débat philosophique sans fin, les idées principales peuvent être la conscience du bon ordre des choses, l'absence de soucis et de détresse, l'assurance de sa place dans la société. Plus généralement, on peut dire que la joie est l'état comportemental qui nous maintient à l'écart des événements pouvant faire régresser cette joie (renforcement positif). Le neurotransmetteur dopamine semble jouer un rôle dans la perception de la joie.

1.4.4 La Surprise

Émotion résultant d'un fait inattendu ou imprévu. La surprise peut être bonne ou mauvaise et en tout cas, c'est une émotion passagère qui laisse place à des émotions soit positives soit négatives (bonne ou mauvaise surprise) en fonction de notre appréciation de l'évènement déclencheur.

1.4.5 La peur

Émotion déplaisante lorsque l'on perçoit un risque ou un danger, réel ou non. La peur peut aussi être vue comme un extrême déplaisir à des conditions ou un objet : "peur du noir", "peur des fantômes"... La peur peut entraîner des modifications du comportement même si ces modifications peuvent apparaître sans sentiment de peur. La peur varie entre chaque personne, on peut en quantifier le degré en utilisant des termes plus ou moins forts pour la décrire : "effroi", "panique", "paranoïa", "terreur".

1.4.6 La Tristesse

Elle se révèle lors d'un manque de nature affective et souvent, la tristesse survient après une période de lutte contre la réalité du manque, accompagnée souvent d'une combinaison de colère, d'anxiété, de culpabilité. C'est un état d'inaction dans lequel une personne a abandonné l'idée de pouvoir prévenir ou restaurer la perte. Elle est d'autant plus intense que la perte ou le manque est considérable. La tristesse peut aussi être la conséquence d'une souffrance morale ou physique.

En combinant ces émotions de base, on peut définir une palette d'expériences émotionnelles, c'est un peu le même principe qu'un peintre qui mélange ses couleurs primaires pour obtenir des d'autres couleurs ou nuances dans sa palette. La psychologue Michelle Larivey dans le "Guide des émotions" [Lar02]

définit à partir des émotions de bases quatre grandes catégories pour trier les expériences émotives :

- les émotions simples : sont les seules vraies émotions. Elles informent sur l'état de nos besoins et sur la façon de les satisfaire. Elles se répartissent en deux catégories suivant qu'elles sont positives quand le besoin est comblé ou négatives tant que le besoin n'est pas comblé. Les émotions simples sont exprimées par rapport aux besoins (Joie, plaisir, peine, chagrin, etc), par rapport au responsable (colère, dégoût, fierté, tendresse, etc) ou se fondent par anticipation (désir, peur, frayeur).
- les émotions mixtes : mélange d'émotions et de "subterfuges" qui ont pour effet de nous tromper nous-mêmes et notre interlocuteur. Elles sont composées de plusieurs expériences émotives. Ce sont des émotions de désinformation (amour, jalousie, honte, etc). Pour les traiter correctement, il faut savoir les décomposer pour pouvoir ressentir la ou les émotions qui constituent cette émotion mixte.
- 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. (angoisse, anxiété, panique, gêne, etc)
- les pseudo-émotions : elles ont l'apparence d'une émotion mais sont plutôt des "façons de dire les choses" qui cherchent à cerner l'émotion qu'elle traduisent (paresse, extase, gratitude, désespoir, etc). Ce sont les concepts qui nous servent à exprimer notre état émotionnel. Elle imposent à notre interlocuteur de rechercher quelle est l'émotion exprimée. La plupart des pseudo-émotions sont du domaine du discours.

1.5 Expression des émotions

L'expression des émotions est naturelle chez l'homme, par le fait d'entamer une conversation par "comment ça va ?", nous prenons verbalement connaissance de l'état émotif de notre interlocuteur. Il semble même que l'expression des émotions soit essentielle à un dialogue naturel. L'absence de compréhension du contexte émotionnel par les machines expliquerait la difficulté de communication que nous avons par exemple avec des ordinateurs. Si nous savons utiliser nos émotions dans la communication, il nous est difficile d'expliquer comment. Les musiciens par exemple arrivent à faire passer leurs émotions dans leurs morceaux mais peinent à expliquer leur méthode. L'homme arrive aussi à simuler ses émotions. Les comédiens peuvent jouer sans difficulté et de façon convaincante une personne triste alors qu'ils sont eux-mêmes joyeux. Par ailleurs, des expériences biologiques ont montré que si l'on demande à un acteur de jouer une émotion, il arrive que même le système nerveux s'y adapte et produise la réponse physiologique adaptée à l'émotion comme si elle était réellement ressentie.

	Colère	Joie	Tristesse	peur	dégoût
vitesse de parole	un peu plus rapide	rapide ou lent	un peu plus lent	plus rapide	beaucoup plus lent
pitch moyen	beaucoup plus haut	plus haut	un peu plus bas	beaucoup plus haut	beaucoup moins haut
fenêtre du pitch	plus large	plus large	un peu plus étroit	plus large	un peu plus large
Volume	haut	haut	bas	normal	bas
Qualité de voix	essoufflée, étouffée	éclatée, essoufflée	résonnante	irrégulière	maugrée, étouffée
changement dans le pitch	abrupts	fluides	inflexions descendantes	normal	inflexions descendantes
articulation	tendue	normale	Slurring	précise	normale

TAB. 1.2 – Variations de la voix par émotion

1.5.1 Le dialogue

C'est un moyen privilégié de faire passer ses émotions. Même sans contact visuel, en écoutant le ton de la voix, il nous est possible de savoir dans quel état émotionnel se trouve notre interlocuteur. C'est le cas lors d'une conversation téléphonique. Les paramètres les plus importants pour l'expression émotionnelle par la voix sont le pitch, la fréquence et le volume. La table 1.2 [Murray 1992] donne les principales variations de la voix entre les émotions de base (la surprise étant temporaire par définition, elle est dure à exprimer par le dialogue).

1.5.2 Les expressions corporelles

Un mime va utiliser son corps et son visage pour exprimer des émotions. Il va réussir à créer un dialogue sans paroles mais pas moins expressif pour autant. Le passage d'émotion par expression corporelle est une forme de communication non verbale. On se sert principalement des expressions du visage, de nos gestes et du mouvement de l'ensemble du corps. Ekman montre qu'il n'y a pas, parmi ces trois canaux, de canal privilégié pour faire passer une émotion [EFOS80].

1.5.3 Les expressions faciales

moyen très naturel et difficilement masquable pour le passage des émotions. On utilise principalement la bouche, les yeux, les sourcils, le front et les paupières pour composer une multitude de visages qui expriment très

fidèlement et universellement une émotion. Les six émotions de base en particulier correspondent à des positions caractéristiques des éléments du visage qu'il est très simple de discerner, même sur un visage dégradé ou non humain (animaux, créatures de cinéma). Les expressions faciales sont étudiées et classifiées par Ekman et ses collaborateurs depuis plus de 40 ans.

1.5.4 Les gestes

Ils sont surtout présents lors du discours (90%) [McN92] en accompagnement et permettent de le dynamiser, le rendre vivant. L'information transmise est alors largement redondante avec le discours. Les gestes sont catégorisables.

1.5.5 Les mouvements du corps

On connaît peu de descriptions des mouvements corporels liés aux émotions et en tout cas, les résultats d'études sont informels. Fridja [FT] propose une description des accompagnements corporels pour les émotions de base :

- peur : raidissement des genoux et de la colonne, du coup, tête fixe regardant devant. mouvement de protection des mains.
- surprise : interruption momentanée de la respiration, tension musculaire générale, bouche ouverte.
- colère : mouvement vigoureux, amples, rapides et désordonnés, regards fuyants, tête très mobile, respiration haletante, corps tendu.
- tristesse : détente musculaire, repliement sur soi-même.
- joie : prédominance des mouvements orthogonaux au sens de déplacement, changement fréquents dans le sens de déplacement, sourire.

Chapitre 2

Expressions Faciales

2.1 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 [Wik05d].

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" [Dar98] 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.

2.1.1 Evolution du visage

Durant le jurassique, les visages des mammifères se développent en même temps que leur musculature et deviennent beaucoup plus mobiles, malléables que ceux des reptiles de la même époque. Les muscles qui contrôlaient le larynx évoluent en muscles labiaux. Des connections nerveuses entre le système limbique, directeur des émotions, et les nouveaux muscles du visage se mettent en place [FT].

Les expressions faciales et les sens (goût, odorat, vue, ouïe) deviennent très liés. La plupart des muscles du visage dérivent originellement d'une fonction liée à l'utilisation de l'un des quatre sens captés au niveau de la tête. Les connections nerveuses de ces muscles restent actives et actionnent maintenant les mouvements du visage plutôt que d'agir dans les appareils sensitifs comme à l'origine. Il en découle une imbrication reptilienne entre stimulus sensitif et réaction expressive. Par exemple, si l'on fait sentir à un cobaye une solution de carbonate d'ammonium, il ne peut réprimer un visage de dégoût [Lie91].

2.1.2 distribution culturelle

Ce que Darwin avait pressenti a été confirmé par les études anthropologiques du milieu du vingtième siècle, l'usage des expressions faciales est reconnu comme universel. On pense à cette époque que ces mécanismes faciaux sont entièrement appris et peuvent donc différer suivant les cultures. Mais l'analyse du visage notamment dans les tribus de Papouasie Nouvelle Guinée qui n'avaient jamais été en contact avec des personnes étrangères montrent qu'ils utilisent les mêmes mouvements pour exprimer certains de leurs sentiments. Paul Ekman poursuit l'expérience et va visiter et vivre dans des tribus sur tous les continents et tirer les caractéristiques communes dans l'expression d'émotions sur le visage. Il apparaît 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'ils 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 expressions 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.

L'impact de la culture sur l'utilisation des expressions faciales est très importante par exemple au Japon où l'on apprend à masquer ses expressions négatives (expression de peur, de tristesse) par des sourires et des rires (extrême inverse) ce qui a amené les occidentaux à considérer les japonais et les chinois comme insondables, voire fourbes, ouvrant la porte à des dérives racistes (particulièrement dans les États-unis de la fin du dix-neuvième siècle).

2.1.3 Micro-expressions

Nous apprenons à contrôler certaines des expressions faciales comme le sourire mais la plupart restent des mécanismes inconscients. Ces mécanismes inconscients agissent sur le visage sous forme de "micro-expressions". Elles durent moins d'un quart de seconde, sont très localisées (sourcils, coins de la bouche) et surtout très difficiles à contrôler, il s'agit de réflexes émotionnels. La plupart des personnes ne peuvent pas consciemment détecter les micro-expressions chez un interlocuteur mais Paul Ekman [Ekm04] a mis en évidence leur importance dans la communication inconsciente ou sur la formation de ce que l'on appelle les "pré-jugés". A partir de ces travaux ont été conçus des outils de détection de mensonge basés sur l'analyse des micro-mouvements du visage. Ekman note aussi que plus on contraint les expressions des émotions (par la culture par exemple), plus un individu a tendance inconsciemment à utiliser des micro-expressions réflexes pour "compenser" ce manque de possibilité expressive. Aujourd'hui, Ekman propose aussi de

former à la détection de ces micro-expressions.

2.2 Expression des émotions primaires

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

La peur (Figure 2.1(d))

[EFT71] La peur se discerne principalement dans la région des yeux. 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 [BBW89].

La tristesse (Figure 2.1(b))

Les signes de la tristesse 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)[GFL94]. Les mouvements de 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 [GH75].

Le dégoût (Figure 2.1(f))

Les signes de dégoût incluent des gargarismes et une série d'effets de bouche précédant d'une expectation. Lèvre haute courbée en "≈", 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 [Ekm98].

La joie (Figure 2.1(a))

Le sourire est une marque de fabrique de l'expression de joie. 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 [EFT71]. 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 [BBW89].



FIG. 2.1 - Exemples d'expressions faciales

La colère (Figure 2.1(c))

Exprimée sur le visage, la colère 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 [BBW89].

La surprise (Figure 2.1(e))

La surprise 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 [Dar98].

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 [KE].

2.3 Mesure des expressions faciales

2.3.1 Système de codage par actions faciales (FACS)

FACS [EFH02] 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 de 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 liés 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 donnée 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 2.2).



FIG. 2.2 – Exemples de visages 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 répertoriés dans FACS [SE82]. Pour le moment, les données sont entrées à la main mais des tentatives d'enregistrements automatiques des unités d'action FACS par vision et analyse informatique de visages voient le jour [SBM]. 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.

2.3.2 FACSAID

FACSAID (Facial Action Coding System Affect Interpretation Dictionary) [Dat05] est une sur-couche 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 donnée 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 données à une même expression, seul le jugement de l'expert permet de décider quel devra être celui stocké dans la base. La consul-

tation de FACSAID se fait par entrée de la combinaison de scores FACS.

2.3.3 EMFACS (EMotion FACS)

C'est le système de codage FACS réduit à l'utilisation des unités d'actions utiles à l'expression des émotions [EFA80]. 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 répertoriés 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.

2.3.4 MAX

Max (Maximally Discriminative Facial Movement Coding System) [IHMD80] 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 certains nombres 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.

Chapitre 3

Robotique et synthèse des émotions

3.1 Définitions

L'expression "synthèse d'émotion" désigne très largement tout ce qui consiste à reproduire artificiellement le comportement social humain, en particulier sa façon d'exprimer des émotions.

L'expression d'émotions par les agents virtuels ou des robots est essentielle pour communiquer avec l'homme. L'absence d'expressivité sera interprétée comme de l'indifférence vis à vis de l'humain et freinera voire rendra impossible la communication entre le personnage virtuel et l'humain [FND02]. Un agent virtuel capable d'une bonne synthèse d'émotion (familiale, intuitive et non intimidante) pourra jouer un rôle d'accompagnement ludique ou de tuteur. Il rendra la communication plus facile et intuitive [SENIY+99].

On classe dans la synthèse émotionnelle les personnages de synthèse du cinéma d'animation, les expérimentations de recherche en animation faciale, l'animation faciale et corporelle robotique mais aussi le jeu d'acteurs humains, de théâtre ou de cinéma, qui ne font que jouer des émotions sans les ressentir de la même manière qu'une émotion naturelle.

3.1.1 les personnages virtuels

Les personnages virtuels, avatars, acteurs animés tentent de reproduire ou d'exagérer les émotions humaines. L'interface de communication est l'écran et les personnages virtuels ne connaissent pas de limitations physiques. Il est donc possible de réaliser des émotions très réalistes en animation. La synthèse d'émotion par avatar virtuel est un domaine où les avancées sont très importantes. Même s'il s'agit de la tâche la plus compliquée en animation, les animateurs de cinéma savent reproduire parfaitement les traits émotionnels

et arrivent à faire jouer des expressions à leurs personnages parfois mieux que ne le ferait un acteur réel. La synthèse de la parole est beaucoup moins avancée. Les studios d'animation recourent d'ailleurs toujours à des acteurs humains pour jouer les voix des personnages.

Toutefois, l'interactivité avec un avatar virtuel reste un champ de recherche très ouvert et les progrès dans ce domaine sont moins rapides. Savoir à quel moment simuler une émotion, comment faire concorder un discours avec des gestes et des émotions, comment passer d'une émotion à une autre, comment interpréter les réactions des utilisateurs sont des problèmes non triviaux. S'il a été prouvé [SERS00] qu'un avatar 2D est insuffisant pour permettre une identification aussi claire des émotions que sur un visage humain, le débat reste ouvert sur l'efficacité réelle d'un modèle 3D. L'affichage d'un personnage 3D sur une surface 2D (écran) impose à l'utilisateur un effort pour imaginer les surfaces de l'avatar qu'il ne peut pas voir ou qu'on ne lui montre pas. Frydrych & Co [fry] montrent ainsi dans leur étude comparative portant sur les avatars et les visages réels que les émotions synthétisées par un avatar virtuel sont moins bien reconnues qu'un visage réel. Cette étude est contredite par Bartneck [Bar01] qui montre par ses tests l'effet inverse, un avatar serait au moins aussi bien perçu qu'un visage réel.

3.1.2 Les avatars tangibles

Les avatars tangibles comme les robots possèdent un corps physique et utilisent la mécanique pour bouger et synthétiser des émotions. En théorie, les robots émotionnels devraient être capables de mieux retranscrire les émotions qu'un personnage virtuel. L'anthropomorphisme qu'il est possible d'obtenir avec un robot aide beaucoup à l'identification de l'interlocuteur sur le robot [DG03]. En Interaction Homme Machine, il est beaucoup plus naturel aussi de communiquer avec un objet réel plutôt qu'avec un avatar virtuel, même très réaliste. Les limitations mécaniques actuelles rendent l'animation beaucoup plus délicate qu'avec un avatar virtuel et il est souvent nécessaire de simplifier le modèle humain (dans le cas du visage par exemple, on choisira de se concentrer uniquement sur les unités d'actions utiles aux émotions que l'on veut modéliser).

Un robot est aussi beaucoup plus sensible à son contexte extérieur. Il doit gérer son environnement, réagir impérativement en temps réel pour que la communication soit crédible.

Certaines contraintes imposent l'utilisation de modèles tangibles, par exemple si l'avatar doit pouvoir manipuler des objets dans le monde réel.

Bartneck [Bar01] compare par des tests d'utilisation, l'efficacité d'un modèle robotique (Figure 3.1.2) conçu aux laboratoires de recherche Philips avec son équivalent virtuel affiché sur un écran. Il conclut sans parvenir à donner l'avantage à l'un des deux modèles. Un robot comme Icat, étudié et

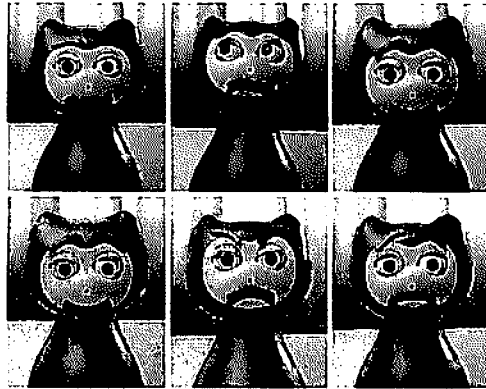


FIG. 3.1 - Icat

construit pour la synthèse d'émotions est aussi efficace qu'un avatar virtuel offrant les mêmes fonctionnalités. Même si cela n'influe pas sur la qualité de la perception des émotions, les utilisateurs interrogés préfèrent le modèle robotique.

3.1.3 Les acteurs humains

Les acteurs humains savent simuler des émotions pour jouer un personnage. Nous avons tous cette capacité d'acteur, notamment quand il s'agit de cacher nos vraies émotions. Les acteurs professionnels se distinguent par leur capacité à jouer une large palette d'émotions à la demande. C'est ce qui fait la qualité d'un acteur.

3.2 Design d'un robot capable d'interactions sociales

On entend par Robot capable d'interactions sociales, un modèle robotique mécanisé construit et conçu pour être au contact d'humains et pour lequel les interactions sociales jouent un rôle majeur. Cela peut être le but de la construction du robot, on parle alors en anglais de "Entertainment robot".

L'idée est qu'un utilisateur qui a à communiquer avec un robot, préfère le faire de la même manière que pour des interactions de personnes à personne [RN98].

Les robots capables d'interactions sociales se caractérisent par certains aspects de leur comportement proche des habitudes sociales humaines. Ils peuvent utiliser l'une ou l'autre des capacités suivantes [FND02] :

- expression et/ou perception d'émotions,
- communication langagière de haut niveau,
- Établissement de liens sociaux,
- reconnaissance, apprentissage de concepts ou d'agents,

- imitation des comportements naturels dans les mouvements,
- apprentissage et développement de ses capacités sociales.

Cette famille robotique nouvelle est de plus en plus utilisée dans des domaines très variés : plates-formes de recherche, industrie du jouet, milieu éducatif, aide thérapeutique en milieu hospitalier.

3.2.1 Éléments de design d'un robot social

Les robots sociaux peuvent être regroupés en deux catégories selon leur fonctionnement interne. Les robots de la catégorie "Inspiration biologique" tentent de reproduire les mécanismes sociaux que l'on trouve chez les êtres vivants en s'inspirant des domaines de la biologie, de la psychologie, de la sociologie, de l'anthropologie, etc.

L'hypothèse est que pour proposer des interactions sociales crédibles, le robot doit agir de la même manière qu'une créature vivante, il doit percevoir les mêmes choses et apporter des réponses que l'humain trouve pertinentes.

Par exemple, le design du "système nerveux" du robot Kismet est fortement inspiré par le mécanisme cérébral de production de réponses émotionnelles chez l'enfant humain [Bre02].

La seconde catégorie de robots sociaux utilise "l'approche fonctionnelle". L'objectif n'est plus de chercher à reproduire la nature mais à faire jouer au robot des comportements sociaux aux bons moments. Cette approche repose sur l'hypothèse que si l'on veut créer des interactions sociales par un robot, il n'est pas nécessaire de comprendre comment le cerveau ou le corps fonctionnent réellement. Par contre, la description des mécanismes extérieurs est suffisante pour rendre compte de la façon dont les gens perçoivent généralement les créatures capables d'interactions sociales [PLL01].

Pour concevoir un robot social par l'approche fonctionnelle, les domaines de l'IHM et de la conception centrée sur l'utilisateur sont utilisés. On cherche d'abord à spécifier les fonctions du robot puis on propose des prototypes testés et corrigés pour l'évolution suivante du robot [FND02].

3.2.2 The Uncanny Valley

La "Uncanny Valley" [?, Masahiro] est une théorie expérimentale de robotique concernant la perception émotionnelle d'un utilisateur humain envers un avatar virtuel ou un robot. Mori a mené des tests pour savoir quelle est l'influence sur la réaction émotionnelle humaine de la ressemblance morphologique d'un avatar. Il propose une série de tests sur des modèles d'avatars de plus en plus ressemblants à un homme et demande pour chacun des modèles quel est le ressenti de l'utilisateur.

Mori constate que plus un avatar est ressemblant dans sa construction et ses mouvements, plus l'utilisateur réagit positivement. Cette règle est valable jusqu'à un certain seuil de ressemblance. Ensuite la courbe de satisfaction

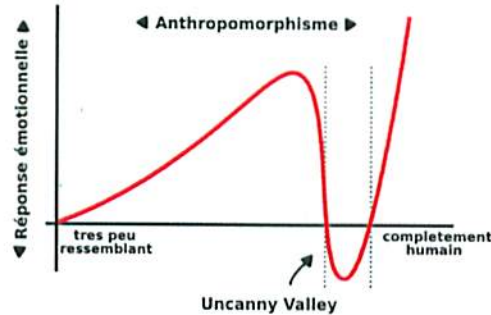


FIG. 3.2 – la courbe illustrant le principe de "Uncanny Valley"

plonge subitement à son minimum global. L'utilisateur rejette très fortement l'avatar proposé. Il ne s'y retrouve absolument pas, il trouve le personnage anti-naturel, même si effectivement, il est plus proche morphologiquement que ce que l'on lui a proposé précédemment. La courbe de satisfaction repart ensuite à la hausse pour atteindre les meilleurs performances avec des robots complètement humains.(Figure 3.2.2)

Le creux de la courbe entre l'avatar présenté comme "presque humain" dans son comportement et un avatar "pleinement humain" est appelé "Uncanny Valley". Si le modèle proposé est trop proche de la morphologie et du comportement humain sans toutefois être parfait, les imperfections dans son comportement ou son design sont mises en valeurs et génèrent chez l'utilisateur de l'antipathie et un rejet de l'avatar (sentiment d'étrangeté sans pour autant arriver à le justifier). La "Uncanny Valley" est un aspect à ne pas

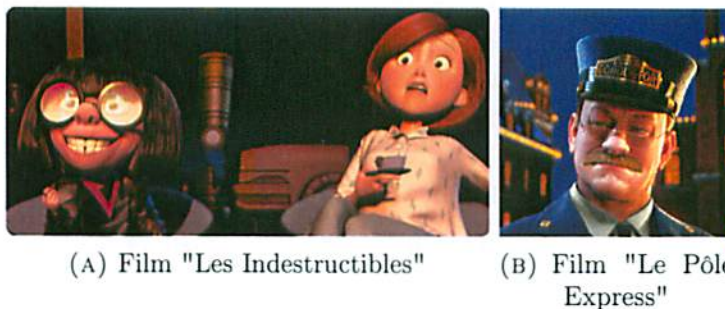


FIG. 3.3 – Illustration de l'effet d'"Uncanny Valley" dans les films d'animation

negliger lors de la construction d'un avatar. Cette règle expérimentale peut expliquer l'échec (relatif) d'un film d'animation comme "Le Pôle Express" (Figure 3.3(b)), où les personnages sont par trop réalistes par rapport aux personnages de "Les Indestructibles" de Pixar (Figure 3.3(a)) où la carica-

ture et l'exagération de mouvements est la règle.

3.2.3 Morphologie

La morphologie, forme que l'on choisit de donner au robot, est un élément capital dans la perception des capacités sociales du robot. L'utilisateur ne s'attendra pas aux mêmes comportements sociaux de la part d'un robot quadrupède, imitant un animal de compagnie que vis à vis d'un robot construit sur un modèle humanoïde. La familiarité des formes du robot implique des profondes conséquences sur son expressivité et sa capacité à se faire accepter par l'utilisateur [FND02]. Dans le même temps, il est nécessaire au robot de conserver par certains aspects son côté outil (dans le sens non humain ou non animal), cela pour éviter que l'utilisateur ne se fasse de fausses idées sur les capacités du robot.

Anthropomorphisme (Figure 3.4(a))

L'anthropomorphisme pour un robot, c'est être mécaniquement et fonctionnellement proche d'un humain. Avoir un corps proche de celui de l'homme est parfois cité comme une nécessité pour être capable d'interagir avec les humains comme le font les humains entre eux [KY01].

Caricature

Il n'est pas nécessaire d'être fidèle en tout à un modèle humain pour réussir des interactions sociales. Scheeff [Sch00] montre que les techniques traditionnelles du cinéma d'animation peuvent être utilisées efficacement pour la conception d'un robot social. Fukuda [?] montre que la déformation des traits faciaux, comme pour les caricatures, peut avoir un impact positif sur la perception des émotions. Severinson-Eklund utilise le robot Cero (Figure 3.4(c)), caricature d'un représentant, comme point de focalisation pour capter l'attention des utilisateurs.

Zoomorphisme (Figure 3.4(b))

Utilisés beaucoup lorsqu'il s'agit de créer une relation humain-créature, la construction zoomorphique reproduit le corps d'un animal ou d'une créature imaginée. Les exemples les plus courants sont les modèles de chat ou de chien pour construire des compagnons robotisés. L'un des aspects intéressants d'un robot en forme d'animal est qu'il réduit la taille de la "Uncanny Valley" car les critères pour qu'un animal artificiel soit considéré comme réaliste sont moindres et que les relations entre humains et animaux/créatures sont moins compliquées qu'entre humains seuls.

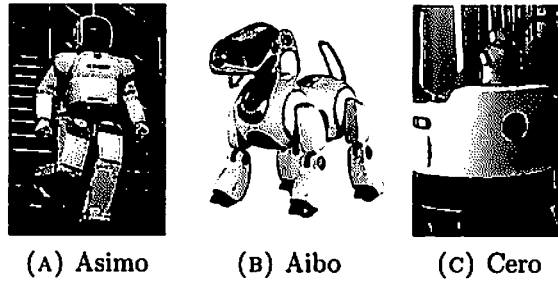


FIG. 3.4 – Catégories morphologiques de robots sociaux

3.3 Robotique et expressions faciales

Les visages robotiques ne sont pas des imitations fidèles de visages humains. Cela est dû à la complexité mécatronique nécessaire pour construire un visage permettant toutes les unités d'actions définies par Ekman dans FACS [FND02]. Le contrôle des mouvements est aussi un aspect complexe. En animation on ne rencontre pas de problème s'il s'agit de modéliser des mouvements fluides, par contre en robotique, il est rare de voir un visage construit où les mouvements des pièces ne soient pas soudains ou saccadés, ce qui se voit rarement dans la nature. La plupart des robots utilisent un sous-ensemble d'unités d'action FACS pour produire des expressions, parfois, les unités d'actions choisies sont modifiées pour amplifier la déformation du visage [FJN⁺04].

3.3.1 Kismet, Sparky, Felix et les autres

Sparky [Sch00] (Figure 3.5(e)) est un robot télécommandé qui présente le double intérêt d'être mobile et d'avoir une richesse expressive importante compte tenu de la simplicité mécanique de son visage. Il s'apparente plus à un animal de compagnie qu'à un humanoïde et peut produire des sons. Le but de l'équipe a été de tester la réaction du public. Les expériences menées se sont avérées convaincantes, les utilisateurs communiquant sans difficultés avec Sparky (surtout les enfants) et le traitant comme un animal de compagnie.

Felix [Cañ00] (Figure 3.5(f)), construit et animé à partir de blocs Lego est conçu pour interagir avec des enfants. Pour se différencier d'un modèle virtuel, il réagit à des stimulations tactiles et son visage permet d'exprimer les six émotions primaires de Ekman. Felix est conçu sur le mode de la caricature humanoïde, ce qui a permis à l'équipe de simplifier la mécanique du visage en grossissant les traits et en amplifiant les mouvements mécaniques. Les résultats des tests de reconnaissances d'émotions menés sur 86 personnes sont raisonnablement proches des taux de reconnaissance sur un visage humain.

Emuu [Bar02] (Figure 3.5(a)) est une borne cyclope très simple qui réagit au discours de l'utilisateur par des expressions faciales exprimant des émotions de deux types : soit des expériences émotives positives, soit des expériences négatives. Emuu a été utilisé pour tester l'utilité de la communication d'émotions en comparant un modèle robotique (Emuu) à un avatar virtuel. Les tests effectués montrent d'une part l'utilité de la synthèse d'émotion pour appuyer un dialogue ainsi qu'une nette préférence des utilisateurs pour le modèle tangible du robot. Ces résultats ont été confirmés par la même équipe de recherche, à partir d'un autre robot : Icat.

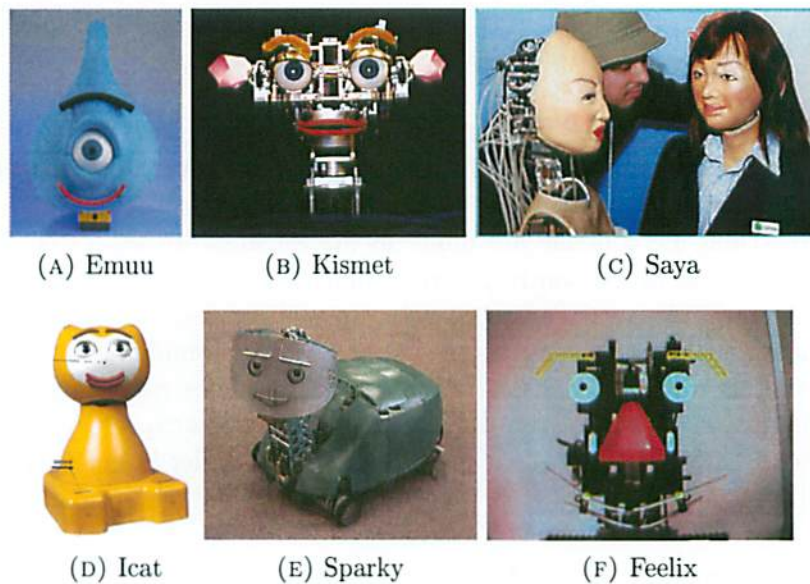


FIG. 3.5 – Projets de robots incluant des expressions faciales

Icat [VB05](Figure 3.5(d)) est un robot développé pour jouer le rôle d'interface domestique. Il contrôle les appareils ménagers et les utilisateurs peuvent interagir avec lui comme s'il s'agissait d'un agent humanoïde. Sa tête est capable d'exprimer des émotions en utilisant comme éléments mobiles les sourcils, la bouche, les yeux et la tête dans son ensemble. Ses capacités d'expressions émotionnelles sont beaucoup plus importantes que celles de Emuu. Son design mécanique très étudié lui permet d'exprimer les émotions primaires et plus.

Contrastant avec ces robots plutôt simples, le visage de Kismet [Bre02] (Figure 3.5(b)) est actionné par quinze moteurs qui fonctionnent en synchronisation pour exprimer des émotions. Kismet est un robot social d'inspiration biologique qui utilise un système de décision reproduisant des mécanismes humains lorsqu'il s'agit de changer son état émotionnel. Kismet est utilisé pour jouer le rôle d'un enfant lors d'études sur les interactions sociales entre un enfant et son tuteur humain.

Les figures robotiques parmi les plus réalistes sont construites à l'université de Science de Tokyo, ces visages ont pour but explicite de reproduire le visage humain et intègrent dents, cheveux et une peau en silicone. De nombreux points de contrôles placés sous la peau synthétique permettent la production de nombreuses expressions. Le robot Saya (Figure 3.5(c)) par exemple est utilisé comme hôtesse d'accueil.

3.4 Robotique à but thérapeutique

On parle de robotique thérapeutique lorsque l'on utilise des robots conçus pour des interactions avec l'homme dans un but thérapeutique, pour améliorer l'état psychologique et physiologique de la personne et de son entourage. C'est un nouveau champ d'application de la robotique, où le compagnon robotisé n'est pas perçu comme une simple machine mais plus comme un animal de compagnie [LL04]. Les résultats des premiers travaux menés essentiellement par des équipes japonaises sont très encourageants.

3.4.1 Paro

Le robot Paro [Shi04] (Figure 3.6(a)) prend la forme d'un bébé phoque. Cette forme originale a été voulue pour éviter de reproduire un animal de compagnie, comme un chat ou un chien que le public jugerait plus sévèrement compte tenu de ses a priori sur ces animaux. Paro est une peluche blanche qui a été conçue pour réagir aux stimulations des utilisateurs (caresses, coups, sons). Il peut bouger sa tête, ses yeux, ses paupières. Des chercheurs du Institute of Advanced Sciences and Technology (AIST) ont placé Paro dans une maison de retraite, en service de jour, aux contacts des personnes âgées. Ils ont mesuré une diminution du stress et une amélioration du bien-être des pensionnaires et du personnel encadrant. Leurs expérimentations de Paro dans plusieurs pays montrent que les compagnons robotisés comme Paro sont facilement acceptés, à plus forte raison s'il s'agit d'interactions avec des enfants [BLS⁺]. Les différences d'origine ou de culture importent peu dans les résultats de ces tests.

Pour l'assistance au handicap, les tests menés par l'équipe du Valoria en coordination avec des psychologues auprès des enfants du centre mutualiste de rééducation et de réadaptation fonctionnelles Kerpape montrent une amélioration dans la communication, l'ouverture et l'état d'esprit des enfants. En travail de groupe, Paro a un effet bénéfique sur la concentration des enfants. Toutefois, ces tests nous montrent les limites de Paro, notamment en ce qui concerne ses capacités d'expression émotive.

3.4.2 Necoro

NeCoRo (Figure 3.6(b)) est un chat en peluche électronique conçu par la société OM, un constructeur d'instruments scientifiques. Grâce à des capteurs, Necoro réagit aux caresses. Il anime son visage au moyen de différents moteurs dédiés à l'animation des yeux et des oreilles. S'il ne se déplace pas comme Aibo, Necoro n'en est pas moins mobile, il peut bouger ses membres, pattes, tête, queue. L'animal est prévu pour évoluer en fonction de l'attention que lui portera son utilisateur. Il est capable d'analyser le spectre vocal de son "maître" pour comprendre son humeur.

Alexander et Elena Libin ont utilisé Necoro pour vérifier les effets psychologiques produits chez des patients atteints de la maladie d'Alzheimer ou auprès de malades déments [Lib03]. Comme Paro, Necoro a un effet bénéfique sur l'état psychologique des malades, leur stress diminue. Les Libin concluent, après avoir comparé les effets de Necoro et d'une simple peluche non réactive, que Necoro était accepté plus facilement par les patients et produisait des effets de relaxation plus importants [LLO⁺02].

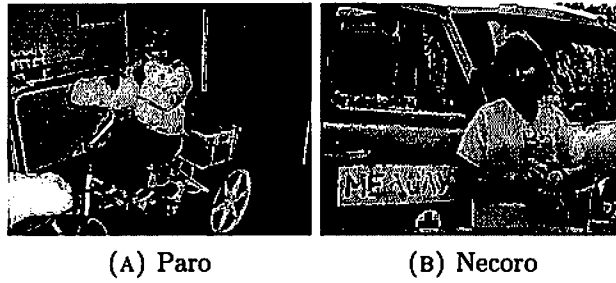


FIG. 3.6 – Robots pour l'assistance thérapeutique

Deuxième partie

Stage

comprise ?

4.1.2 Modèle entièrement robotisé

Ici, la relation est exclusivement entre le robot et l'enfant. Il s'agit cette fois-ci de modifier Paro et de lui adjoindre des capacités d'expression supplémentaires, notamment en lui donnant la possibilité d'exprimer ses émotions. Pour que la communication soit riche et durable, le robot doit réagir vite aux sollicitations de l'enfant. Cela pose un vrai défi pour la construction mécanique.

Ce système simplifie les relations, l'enfant ne s'égaré pas entre plusieurs éléments actifs et la relation entre MAPH et l'enfant dans ce modèle est plus naturel (conversation directe, sans passer par des artifices de type avatar comme précédemment).

En donnant à Paro des capacités émotives plus importantes, on cherche en fait à intégrer l'avatar du précédent modèle à Paro. Cela permet aussi d'éviter des problèmes de communications entre les deux personnages.

Le modèle peut être appréhendé simplement par les enfants, sans besoin de compétences techniques particulières.

4.2 Thématiques scientifiques

D'inspiration scientifique large, le Projet MAPH réunit des domaines scientifiques variés. Autour de l'idée principale de l'utilisation d'un média actif comme un robot communicant pour le réconfort psychologique et physiologique, gravitent des sous-parties à dominantes robotique ou informatique en interaction homme machine. Les sciences sociales et la psychologie interviennent dans l'évaluation du projet lors de tests avec les utilisateurs. Ces thématiques se retrouvent à égale importance quelle que soit l'architecture choisie pour MAPH, en cas d'utilisation du premier modèle (semi-robotisé), des thématiques pourront être ajoutées au projet, notamment pour l'utilisation plus complète de l'environnement ou l'adaptation des dispositifs de saisie à des utilisateurs handicapés.

Les thématiques scientifiques sont centrées sur la robotique multimodale, qui sera le média d'interaction. C'est aussi à partir de ce robot multimodal que seront menés les tests d'utilisation et l'on pourra détecter les améliorations à apporter dans la construction, le dialogue ou la synthèse émotive de MAPH.

La figure 4.2 présente l'organisation du projet en termes d'organisation scientifique, avec les trois thématiques que nous détaillerons ci-dessous, l'évaluation et les tests menés avec les partenaires médicaux et les besoins et objectifs du projet. Le robot

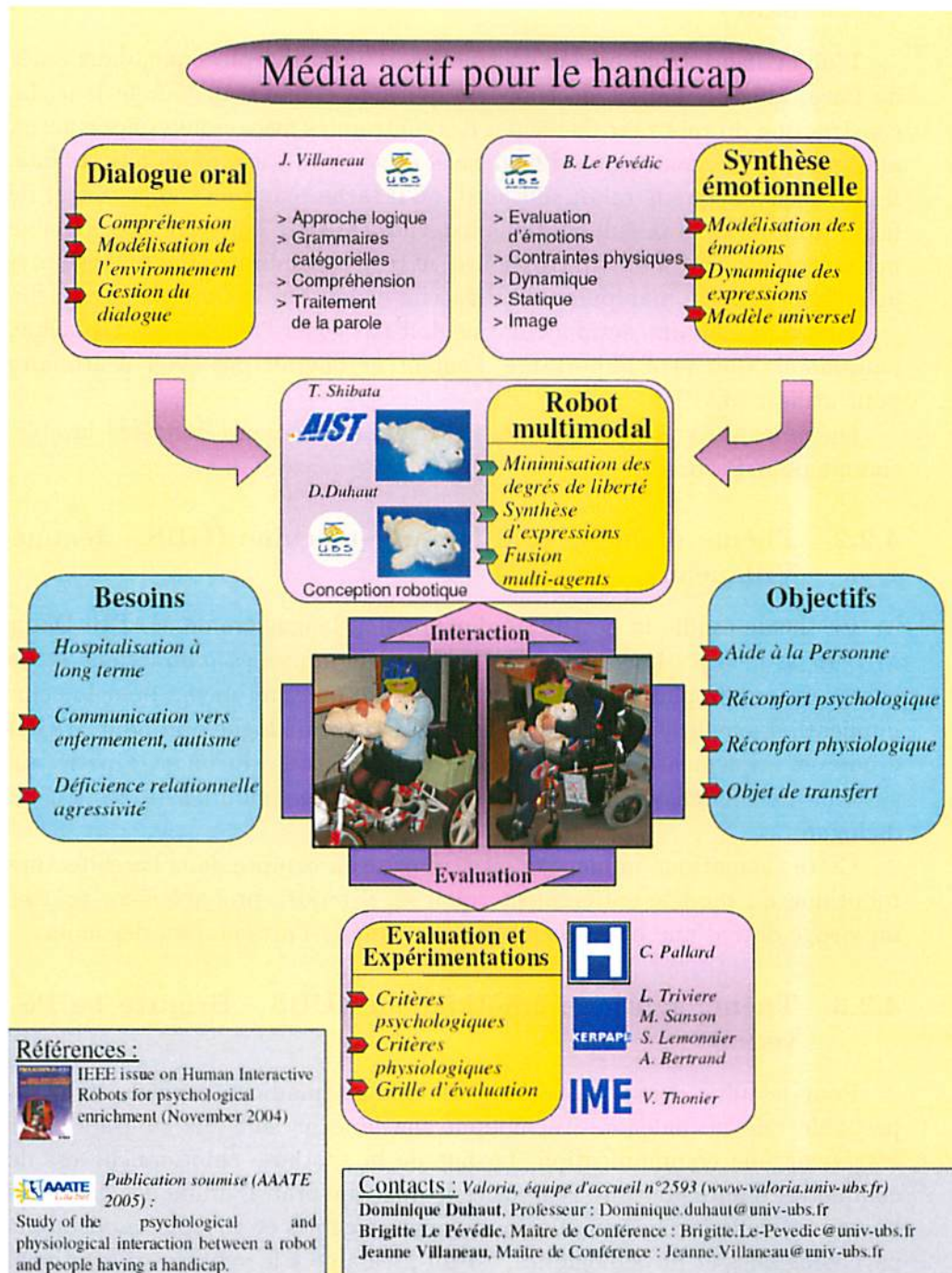


FIG. 4.1 – Poster de présentation du projet MAPH

4.2.1 Thème robotique multimodale (UBS - Dominique Duhaut)

L'objectif principal est la construction d'un média physique, dans l'idée de Paro, qui soit l'objet de transfert qui aide l'enfant au jour le jour. La construction du robot est dictée par des contraintes mécaniques importantes, ainsi que par des contraintes d'hygiène et de sécurité par rapport aux enfants. Il faut bien sûr que le robot soit actif, qu'il sache réagir en temps réel et de façon appropriée aux sollicitations externes. MAPH doit être manipulable par un enfant, c'est à dire ni trop lourd, ni trop encombrant. Par extension, si les enfants peuvent manipuler MAPH, celui-ci doit être extrêmement robuste.

Le bruit (moteurs, actionneurs) ne doit pas gêner l'utilisateur. De même, l'autonomie doit être importante, l'enfant ne devrait pas avoir à attendre pour utiliser MAPH.

Du point de vue de l'hygiène, l'enveloppe extérieure doit être lavable, comme pour Paro.

4.2.2 Thème dialogue oral Homme-machine (UBS - Jeanne Villaneau)

Ce thème étudie la possibilité d'expression langagière de MAPH. Doter MAPH de facultés langagières permettrait de nouvelles interactions et de capter un public plus large d'enfants. Avec un nouveau média pour la communication, on enrichit les facultés de MAPH. Le dialogue oral pour MAPH étudie et implémente un système de compréhension du langage parlé, un système de modélisation de l'environnement et un module de gestion du dialogue.

Cette thématique influence doit être prise en compte dans l'architecture robotique du modèle entièrement robotisé, il faudra probablement prévoir un visage doté d'une bouche mobile pour simuler l'articulation des mots.

4.2.3 Thème synthèse émotionnelle (UBS - Brigitte Le Pévédic)

Pour les plus jeunes enfants ou les enfants handicapés mentaux, il est probable que le dialogue oral homme machine ne soit pas suffisant pour entretenir une communication. Le but de la synthèse émotionnelle est de compléter, d'enrichir voire remplacer le dialogue oral. L'étude des émotions humaines, de la façon dont elles sont communicables et de leurs implications psychologiques et physiologiques, est un préalable à la synthèse d'émotions.

Dans le cas du modèle entièrement robotisé pour MAPH, la synthèse d'émotion devra être prévue aussi en terme de conception mécanique puisque nous avons vu dans la bibliographie du domaine que l'homme utilise une mécanique musculaire trop riche pour pouvoir être entièrement reproduite

dans un robot, à plus forte raison si celui-ci doit rester manipulable, léger et autonome.

4.2.4 Tests et évaluations

Pour valider la démarche de conceptions des différentes thématiques du projet, il est important de valider chaque étape par des tests d'utilisation. Si la conception n'est pas purement centrée sur l'utilisateur, au moins celui-ci doit pouvoir participer au test et à l'évaluation de chaque prototype. Les partenaires des instituts médicalisés et centres de rééducation offrent un cadre idéal pour les tests de MAPH. Sur la base de ces tests seront proposés des orientations ou des corrections pour chacune des thématiques scientifiques du projet.

4.3 Partenaires du projet

MAPH regroupant des thèmes de recherches variés, l'équipe du Valoria ne se suffit pas pour valider toutes les étapes du projet. Principalement, sur les thématiques de tests et d'évaluations, des partenaires sont trouvés dans la région. Il s'agit d'une part du Centre Mutualiste de Rééducation et de Réadaptation Fonctionnelles de Kerpape, avec lesquels l'équipe a déjà travaillé et obtenu les premiers résultats d'expérimentation de Paro. Les hôpitaux et Institut médicaux éducatifs de la région vannetaise seront sollicités pour participer aussi aux tests et à l'évaluation des prototypes de MAPH.

Le partenariat technologique avec l'AIST au Japon permet le prêt de matériel, notamment des robots Paro afin de les tester.

4.3.1 Kerpape

Le Centre Mutualiste de Rééducation et de Réadaptation Fonctionnelles de Kerpape accueille des patients adultes et enfants nécessitant des soins de rééducation/réadaptation dans le cadre d'une hospitalisation à temps plein, à temps partiel de jour, ou de traitements ambulatoires. Dans le cadre du schéma régional d'organisation des soins de Bretagne, le Centre de Kerpape développe une double réponse :

- de soins de rééducation spécifiques à vocation régionale (affections neurologiques, brûlés, cardiaques, etc...)
- de soins de rééducation polyvalents à vocation de proximité (orthopédie-traumatologie-amputés-vasculaires...)

Le savoir-faire et l'expérience de ses professionnels, conjugué à un plateau technique performant confirment sa vocation de Centre de Ressources en Rééducation et Réadaptation Fonctionnelles, en articulation avec les structures de court séjour en amont et médico-sociales en aval. Situé dans un parc de 35 hectares en bord de mer, le Centre de Kerpape accueille, chaque jour,

400 personnes (2/3 d'adultes, 1/3 d'enfants). Prise en charge des enfants en rééducation fonctionnelle :

- les enfants et adolescents sont répartis en cinq unités poly-pathologiques, selon leur âge et leur type de prise en charge (hôpital de jour, hospitalisation complète)
- la prise en charge allie une rééducation spécialisée, une scolarisation adaptée jusqu'à la classe de 3eme, un accompagnement éducatif et psychologique individualisé en relation avec les familles
- kinésithérapie - balnéothérapie : techniques adaptées aux diverses pathologies
- ergothérapie : activités de vie quotidienne, aides techniques personnalisées, choix et installations des fauteuils roulants, prise en compte des
- troubles des fonctions supérieures et de l'oculomotricité
- orthoptie
- motricité buccofaciale, troubles du langage, dysarthrie
- pour les enfants sans parole : codes de communication et synthèse de parole
- psychomotricité
- activités sportives : équitation, natation, foot-fauteuil, tir (arc, sarbacane ...), voile
- appareillage : atelier d'orthoprothèse sur place (corsets, coquilles, orthèses, prothèses, masques et vêtements compressifs ...).

4.3.2 AIST

Le laboratoire "Intelligent Systems Institute" au sein du National Institute of Advanced Industrial science and technology (AIST) héberge le groupe de recherche "fonctions ubiquitaire" du professeur Shibata où ont été conçus les robots Paro. Le but du groupe est la recherche et le développement des fonctions ubiquitaires. Ce sont des informations spatiales, physiques, distribuées dans l'environnement et interconnectées pour fournir des services aux applications.

Les thèmes développés sont les systèmes répartis, reconfigurables et intelligents ainsi que l'assistance aux personnes par l'usage efficace des fonctions d'environnement. Leurs projets recourent automatisme, robotique, informatique et psychologie.

Chapitre 5

Synthèse d'émotions - expressions faciales

5.1 méthodologie de la synthèse d'émotion

Dans le cadre de ce stage, nous nous plaçons dans l'optique d'une utilisation du modèle entièrement robotisé pour MAPH. Il s'agit donc de déterminer par quels moyens un robot physique peut simuler des émotions et surtout que celles-ci soient crédibles. Pour restreindre encore le champ d'investigation, nous nous concentrons sur l'aspect des expressions faciales de la synthèse d'émotions. D'autres supports d'expression des émotions, notamment par l'utilisation de positions corporelles pourront être ajoutés pour amplifier les effets de ces expressions faciales.

5.1.1 Rapport avec les travaux de Ekman

Ekman a étudié depuis longtemps les expressions faciales, son système de codage FACS des expressions du visage est reconnu et utilisé. Nous décidons de nous servir des mêmes primitives émotionnelles que lui pour notre système de synthèse d'expression. Ce choix de se limiter aux six expressions primaires (peur, joie, colère, surprise, dégoût, tristesse) s'explique par le fait qu'elles sont reconnues et réparties universellement. Pour exprimer ces émotions primaires, FACS préconise l'utilisation de 14 unités d'actions uniquement à la place de la quarantaine que nous sommes capables de contrôler par les muscles de visage.

La différenciation par rapport aux travaux de Ekman et surtout le fait que l'on ne puisse pas appliquer à la lettre les résultats de FACS ou encore EMOFACS provient de la définition du problème. Nous souhaitons pouvoir intégrer le modèle de visage à un robot qui doit être mobile, maniable, solide et autonome. L'utilisation par des enfants contraint fortement la réalisation mécanique. En terme de robotique, il s'agira de limiter à tout prix le nombre

de moteurs et actionneurs embarqués dans l'appareil. On parle de réduire au maximum les degrés de libertés. Un visage, même composé de 14 unités d'actions élémentaires, reste trop complexe à animer et surtout engendrerait une fragilité de l'appareil que l'on ne peut pas permettre. Nous cherchons donc à limiter au minimum nécessaire les unités d'actions pour que le visage puisse générer les 6 expressions de façon satisfaisante.

5.1.2 Simplification des visages

En utilisant certaines des primitives du visage de Ekman, nous allons définir des visages articulés, comme on pourrait en construire sur un robot réel et essayer, à partir de ces visages, de retrouver les six émotions primaires en manipulant les éléments de base sur ce visage. Les éléments "animables" du visage sont assimilables aux organes du visage humain qui sont manipulés par les unités d'action FACS. Par exemple des éléments peuvent être les yeux, la bouche, le nez, les oreilles ou encore les cheveux.

Prise indépendamment, l'animation de tous ces éléments nécessite quatorze unités d'actions pour exprimer les émotions primaires. Pour simplifier le système, nous allons joindre le fonctionnement mécanique de certains des éléments. Le système "yeux" pourra être constitué, dans un cas de visage complexe, par un seul élément : la pupille... Dans un système pour un visage simplifié, on va lui adjoindre la paupière ou/et le sourcil. C'est à dire dans ce cas, que ces éléments vont être solidaires et bouger ensemble. Nous avons réduit les éléments constitutifs d'un oeil en un sous-ensemble, réduisant au passage la complexité mécanique liée à l'animation de cet ensemble.

La réduction de la complexité va aussi dans le sens d'une simplification du nombre des éléments nécessaires pour construire un visage expressif. Une bouche simple peut être constituée d'une seule lèvre, au contraire d'une bouche peut-être plus juste en terme anthropomorphique, constituée d'une lèvre supérieure mais aussi d'une lèvre inférieure à la complexité mécanique au moins deux fois plus importante qu'un modèle simple de bouche. Deux yeux ne sont pas forcément nécessaires non plus. La plupart du temps, ils bougent en synchronisation.

La troisième simplification vient de la mécanique en elle-même, les éléments sont animables en rotation (un moteur permet de récupérer une rotation .. très simple) et en translation. Éventuellement une combinaison de ces deux mouvement est possible. Ces mouvements s'appliquent à un plan 2D, même si dans la réalité les éléments mécaniques sont disposés sur une sphère. Par exemple, le robot Sparky a un sage disposé sur un semi-cylindre mais pris indépendamment, chacune des articulations des éléments de son visage bouge sur un plan 2D. Nous ne chercherons pas à constituer des visages utilisant des systèmes mécaniques en profondeur (il est quand même assez rare de voir un oeil sortir de son orbite). La langue est exclue du modèle car inadaptée pour l'utilisation par des enfants qui pourraient avoir envie de la

tirer entraînant un possible détérioration du robot.

Nous utiliserons ces simplifications pour proposer des visages qui nous serviront à des tests pour savoir lequel d'entre eux possède le meilleur rapport entre richesse expressive et simplicité mécanique.

5.2 Éléments de la base

Ayant défini quelles sont les simplifications possibles par rapport au visage humain, nous construisons une base d'éléments du visage qui nous servira au dessin et à l'animation des visages.

Chaque élément de cette base est de constitution plus ou moins simple. Il existe plusieurs possibilités d'yeux, de bouches et un certain nombre d'éléments décoratifs comme le nez ou les oreilles.

Chacun des éléments est en fait une image, constituée sur un même plan. Il est possible d'en réaliser une maquette sur un robot.

5.2.1 Sous-ensemble bouche

La bouche est un élément à part dans la construction du visage. C'est le seul où les déformations soient nécessaires. Pour réaliser une bouche, on va disposer des points de contrôles sur le visage que l'on va lier entre eux pour réaliser une figure polygonale. Les liens entre point de contrôle vont servir de bord à la bouche. Il suffit ensuite d'animer les points de contrôles pour composer des formes de bouches.

Certains des points de contrôle de la bouche ne sont pas actifs, c'est à dire qu'il ne sont pas liés à des actionneurs mécaniques et ne sont pas mobiles. Ils ne servent dans ce cas qu'à l'attache de côtés du polygone qui forme la bouche.

Il est tout à fait possible d'imaginer des bouches avec une multiplicité de point de contrôles ; en fait plus on en dispose, plus il est possible de se rapprocher des déformations obtenues sur une bouche humaine. Pour des raisons de simplicité mécanique, nous proposerons des modèles de 2, 3 ou 4 points de contrôles actifs au maximum pour la bouche.

Bouche rigide

Ce sont des segments de droite qui constituent les bord de la bouche. Le type1 (Figure 5.1(a)) en trois points de contrôle est une lèvre fendue (ligne brisée) qui permet de dessiner des sourires vers le haut, le bas ou de travers. Le type2 (Figure 5.1(b)) est composé de 4 points de contrôle. La bouche forme un polygone fermé et il est possible de dessiner des bouches ouvertes puisque les deux segments hauts du polygone et les deux segments bas forment respectivement une lèvre supérieure et une lèvre inférieure. Le

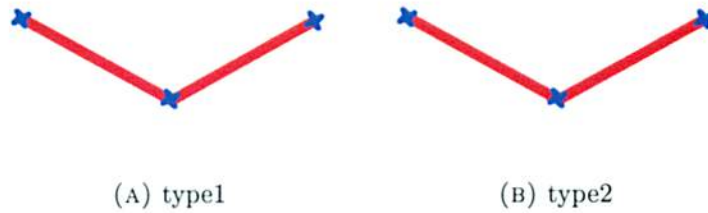


FIG. 5.1 – Bouche rigide

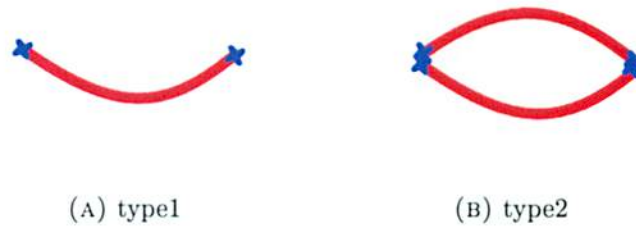


FIG. 5.2 – Bouche déformable

type2, plus complet mais aussi plus complexe que le type1 permet de dessiner toutes les figures de bouche du type1.

D'un point de vue réalisation pratique sur le robot, les segments pour une bouche rigide sont des éléments mécaniques qui doivent pouvoir se contracter ou s'étirer, on pensera particulièrement aux ressorts ou à des élastiques.

Bouche déformable

Pour représenter plus fidèlement les bouches humaines, il est possible sans augmenter beaucoup la complexité mécanique d'utiliser des éléments déformables à la place des segments rigides. On peut ainsi dessiner des courbes et des arrondis pour les lèvres.

On trouve aussi deux types pour ce modèle. Type1 (Figure 5.2(a)) en deux points de contrôle permet de dessiner une spline unique. Il est possible de représenter des courbes vers le haut ou vers le bas, des sourires en coin et des lèvres jointes en rictus S. Le type2 (Figure 5.2(b)) en 4 points de contrôle permet en fait de rajouter une lèvre supérieure et de dessiner des bouches ouvertes. La réalisation de ces bouches déformables sur le robot pourra être effectuée en déformant des ressorts, un peu comme pour la bouche du robot Felix.

5.2.2 Sous ensemble oeil

Le sous-ensemble oeil est constitué des éléments du haut visage de Ekman. On classe dans le sous-ensemble oeil quatre éléments : le sourcil, la pupille, la paupière haute, la paupière basse et le fond de l'oeil. Chacun de ces éléments peut être animé séparément ou alors pour simplifier le système mécanique, des éléments peuvent être liés entre eux. Chaque élément mobile de l'oeil est lié à un point de contrôle. Un sous-ensemble oeil est composé de 1 à 5 points de contrôle, suivant les regroupements d'éléments qui peuvent être faits.

Sur un haut visage composé de deux yeux, il est possible de lier et de faire bouger en synchronisation les deux sous-ensembles oeil. On divise ainsi le nombre de points de contrôle nécessaire à l'animation des yeux par deux mais on perd les possibilités d'animation en rotation.

Oeil libre

Tous les éléments constitutifs du sous-ensemble oeil sont libres et animables séparément. Il faut quatre à cinq points de contrôle pour ce modèle, soit entre 8 et 10 pour deux yeux. Une simplification consiste à limiter le nombre de paupières à une seule (la haute). On représente un maximum d'expression avec l'oeil libre : clin d'oeil, mouvements de pupille, fermeture ouverture de paupière, paupière sur le coté, sourcil sur les cotés, etc (Figure 5.3(e)).

Oeil pupille-sourcil

Inspiré des dessins simples de type cartoons, l'oeil pupille sourcil est un modèle en un seul point de contrôle mais nécessitant obligatoirement un symétrique (soit deux yeux pupille-sourcil, deux points de contrôle). La pupille est en fait l'extrémité du sourcil. Le creux du sourcil pouvant être vu comme le fond de l'oeil (Figure 5.3(c)).

Oeil sourcil-paupière

Ici on utilise deux points de contrôle : un pour la pupille et un pour l'ensemble paupière haute - sourcil (Figure 5.3(d)).

Oeil pupille et sourcil

Deux éléments : la pupille et le sourcil. Deux points de contrôles sont nécessaires mais seul celui contrôlant le sourcil est actif. Dans ce modèle d'oeil, le sourcil tourne autour de la pupille, qui elle reste fixe (Figure 5.3(f)).

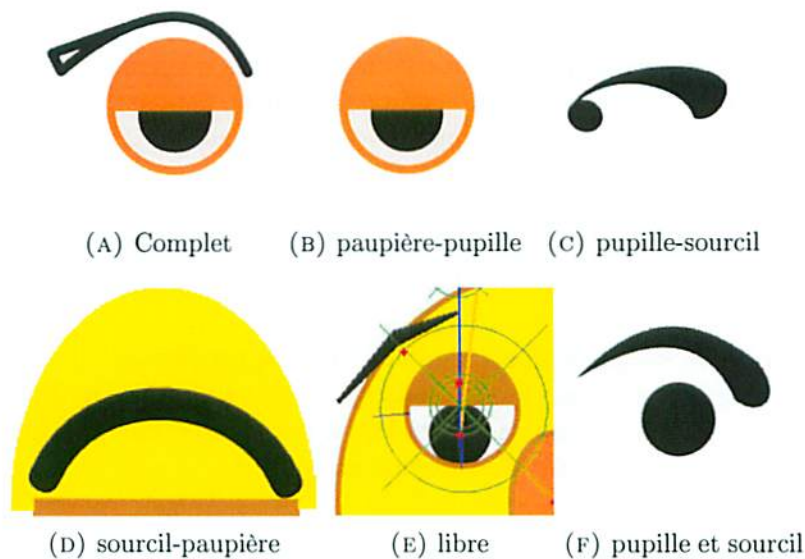


FIG. 5.3 – Sous système Oeil

Oeil paupière-pupille

La paupière, le fond de l'oeil et la pupille sont solidaires, on ajoute un sourcil mobile. Deux points de contrôle sont nécessaires à l'animation. Comme pour l'oeil pupille-sourcil, le point de contrôle du sourcil peut être le seul actif (Figure 5.3(b)).

Oeil complet

Tous les éléments du système oeil sont liés : pupille, paupière haute, fond, sourcil. Un seul point de contrôle est nécessaire à l'animation (Figure 5.3(a)).

Synchronisations

Les éléments comme les pupilles, paupières ou sourcils peuvent être liés deux à deux sur les visages à deux yeux. Dans ce cas, un seul point de contrôle est nécessaire par binôme à la place de deux.

5.2.3 Éléments décoratifs, actifs ou non

Le visage le plus simple nécessite au moins un sous-ensemble bouche et un sous-ensemble oeil. Les éléments qui s'ajoutent à cette base la plus simple sont dits décoratifs (Figure 5.4). Ils sont chacun liés à un point de contrôle qui peut être optionnellement actif. On retrouve comme éléments décoratifs :

- le fond du visage,
- le nez qui peut être stylisé ou au contraire fidèle à un nez humain,

Deuxième partie

Stage

Sujet de stage

Génération d'émotion par un robot

Parmi les reproches fait sur Paro en utilisation avec des enfants au centre de Kerpape on retiendra que le robot Paro n'est pas capable d'exprimer des émotions. L'objectif de cette étude est d'étudier la génération d'émotions sur un système physique. En particulier on cherchera à définir le nombre minimum de mouvements élémentaires nécessaires pour des émotions simples que l'on définira.

Une fois ce travail réalisé, le stagiaire devra mettre en oeuvre ces émotions sur un simulateur afin de vérifier la qualité des solutions proposées. Cette validation se fera au moyen d'une expérimentation qui devra être définie.

Chronologie du stage

28 avril - 19 mars	Etat de l'art des domaines de la synthèses des émotions, des expressions faciales, de la robotique pour le handicap
20 mars - 28 mars	Dessin de prototypes pour des visages 2D animables
24 mars - 7 avril	Construction d'un logiciel de dessin et d'animation en java
10 avril - 15 avril	Dessin des éléments de la base de données d'éléments du visage
17 avril - 22 avril	Ajout d'un système de génération automatique de visages par combinaison de positions clé au programme java
24 avril - 26 avril	Dessin de 15 visages avec le programme java, ajouts des contraintes mécaniques et des positions clé à ces visages
27 avril - 3 mai	Génération automatique de la Base EmotiveFaceDB à partir des 15 visages construits précédement
2 mai	Proposition d'un système à base de tests utilisateurs pour annoter les entrées de EmotiveFaceDB
4 mai - 7 mai	Programmation d'une interface web de visualisation des visages et mise en place d'un serveur pour les tests
8 mai - 26 mai	Première série de tests
15 mai - 29 mai	Rédaction d'un article court présentant les travaux pour une soumission à IHM'2005
26 mai - 1 juin	Constructions d'outils pour l'analyse des réponses des tests
2 juin - 7 juin	Analyse des résultats, choix d'une seconde série de tests à partir de la meilleure solution retenue des premiers tests
8 juin - 11 juin	Mise en place de la seconde série de tests
12 juin - 25 juin	seconde série de tests
16 juin - 17 juin	analyse des résultats partiels de la seconde série de tests
18 juin - 29 juin	Rédaction du rapport, préparation à la soutenance

Chapitre 4

Cadre d'Application

4.1 Le Projet MAPH

Le projet MAPH s'inscrit dans le cadre de l'aide et de l'assistance au handicap (RAT, Robot Assisted Therapy) pour les enfants atteints de troubles mentaux, physiques ou du développement tels que l'autisme.

Les longues périodes d'hospitalisation, l'éloignement familial, les contraintes inhérentes au milieu hospitalier sont des éléments contraignants pour un enfant, tant au niveau du stress que du moral. Le but de MAPH est d'aider au réconfort psychologique et physiologique de ces enfants.

Dans les hôpitaux ou les centres de soins, des activités, des jeux en groupes sont proposés aux enfants. Les personnels sont compétents et savent la difficulté de vie pour un enfant dans un milieu clos, en plus des difficultés liées à son handicap. Nous proposons avec MAPH un outil qui doit compléter les activités journalières de jeux ou d'atelier. MAPH doit s'installer dans la vie de l'enfant comme un compagnon, qui soit son confident, présent et disponible et qui sache répondre aux sollicitations de l'enfant.

Il est établi qu'un animal de compagnie, chat ou chien, a un effet bénéfique sur la diminution du stress et la relaxation des patients, mais il est très rare que des thérapies les utilisent comme compagnon d'un malade. Ces animaux sont souvent exclus du milieu hospitalier ou des instituts de rééducation pour des causes d'hygiène et pour éviter le contact avec des personnes allergiques.

Les travaux récents et les premiers succès du champ disciplinaire de la robotique thérapeutique, avec notamment le robot Paro, ont incité l'équipe de Dominique Duhaut à démarrer des tests avec des enfants du centre de rééducation et de réadaptation fonctionnelle de Kerpape. Ces résultats, convainquants quant à l'acceptation du robot phoque, ont laissé apparaître certains manques ou améliorations possibles.

Le modèle peut être rendu plus riche et permettre de meilleures interactions avec l'enfant en améliorant la perception et l'expressivité du robot. La

communication langagière est envisagée, cela permettra à MAPH de conter des histoires. L'expressivité émotionnelle doit être enrichie, l'enfant doit pouvoir distinguer clairement l'état émotionnel du robot. Enfin, la mécanique du robot doit être prévue pour favoriser la maniabilité et la solidité du robot. L'autre but de MAPH est de servir de relais pour l'équipe des personnels hospitaliers ou de rééducation et les enfants en soins. MAPH doit médianiser la relation docteur/soignant - enfant, en prenant la place d'un objet de transfert utilisant ses capacités de communication langagière et émotionnelle pour faire passer ou appuyer le discours de l'adulte envers l'enfant. En sens inverse, MAPH, par ses capacités sensorielles doit pouvoir prévenir l'équipe d'une anomalie médicale ou d'un mal-être de l'enfant.

Deux modèles de d'architectures de MAPH sont étudiés.

4.1.1 Modèle semi-robotisé

Ce modèle consiste en une relation basée sur trois acteurs : l'enfant, un Paro amélioré et un avatar virtuel. On adjoint en fait à Paro un "ami" qui va s'exprimer pour lui, comme une sorte de Jimini Cricket qui traduirait ses pensées. Paro est ici l'ami un peu balourd et sensible et l'avatar vient dynamiser le tandem par ses capacités d'expression et ses facilités de communication. Avatar et Paro doivent pouvoir réagir aux actions l'un envers l'autre, par exemple, si l'avatar mentionne Paro ou le désigne depuis son écran, ce dernier doit réagir. A l'inverse, l'avatar doit percevoir les stimulations physiques de l'enfant sur Paro (caresses, coups, etc) Plusieurs avantages à cette approche :

- L'intégration d'un avatar virtuel dans un dispositif mobile type PDA ou téléphone portable permet de disposer d'une grande puissance de calcul, d'une autonomie et de possibilités d'animation irréalisables sur un modèle mécanique.
- Le duo d'acteurs équilibre la relation avec l'enfant. Il trouvera d'un côté un réconfort psychologique avec la peluche sensible Paro qui restera très simple et une stimulation intellectuelle auprès de son dynamique compagnon virtuel.
- L'avatar virtuel pourra proposer des interactions environnementales à l'enfant : contrôle de l'allumage/extinctions de lampes, télécommande de téléviseur, etc. il sera possible de capter le contexte en utilisant des bornes Wifi disposées dans l'environnement, celles-ci seront contrôlées par l'enfant (par l'intermédiaire de l'avatar Jimini Cricket) sur son dispositif PDA.

Ce modèle semi-robotisé s'adresse toutefois à un public d'enfants capables d'utiliser l'appareillage informatique. Même si l'interface est très simplifiée, cela reste plus compliqué que la manipulation d'une peluche robotisée. Il n'est pas évident de prévoir comment sera perçue la relation entre l'avatar virtuel et Paro le robot. Cette relation sera-t-elle assez claire pour être acceptée et

comprise ?

4.1.2 Modèle entièrement robotisé

Ici, la relation est exclusivement entre le robot et l'enfant. Il s'agit cette fois-ci de modifier Paro et de lui adjoindre des capacités d'expression supplémentaires, notamment en lui donnant la possibilité d'exprimer ses émotions. Pour que la communication soit riche et durable, le robot doit réagir vite aux sollicitations de l'enfant. Cela pose un vrai défi pour la construction mécanique.

Ce système simplifie les relations, l'enfant ne s'égare pas entre plusieurs éléments actifs et la relation entre MAPH et l'enfant dans ce modèle est plus naturel (conversation directe, sans passer par des artifices de type avatar comme précédemment).

En donnant à Paro des capacités émotives plus importantes, on cherche en fait à intégrer l'avatar du précédent modèle à Paro. Cela permet aussi d'éviter des problèmes de communications entre les deux personnages.

Le modèle peut être appréhendé simplement par les enfants, sans besoin de compétences techniques particulières.

4.2 Thématiques scientifiques

D'inspiration scientifique large, le Projet MAPH réunit des domaines scientifiques variés. Autour de l'idée principale de l'utilisation d'un média actif comme un robot communicant pour le réconfort psychologique et physiologique, gravitent des sous-parties à dominantes robotique ou informatique en interaction homme machine. Les sciences sociales et la psychologie interviennent dans l'évaluation du projet lors de tests avec les utilisateurs. Ces thématiques se retrouvent à égale importance quelle que soit l'architecture choisie pour MAPH, en cas d'utilisation du premier modèle (semi-robotisé), des thématiques pourront être ajoutées au projet, notamment pour l'utilisation plus complète de l'environnement ou l'adaptation des dispositifs de saisie à des utilisateurs handicapés.

Les thématiques scientifiques sont centrées sur la robotique multimodale, qui sera le média d'interaction. C'est aussi à partir de ce robot multimodal que seront menés les tests d'utilisation et l'on pourra détecter les améliorations à apporter dans la construction, le dialogue ou la synthèse émotive de MAPH.

La figure 4.2 présente l'organisation du projet en termes d'organisation scientifique, avec les trois thématiques que nous détaillerons ci-dessous, l'évaluation et les tests menés avec les partenaires médicaux et les besoins et objectifs du projet. Le robot

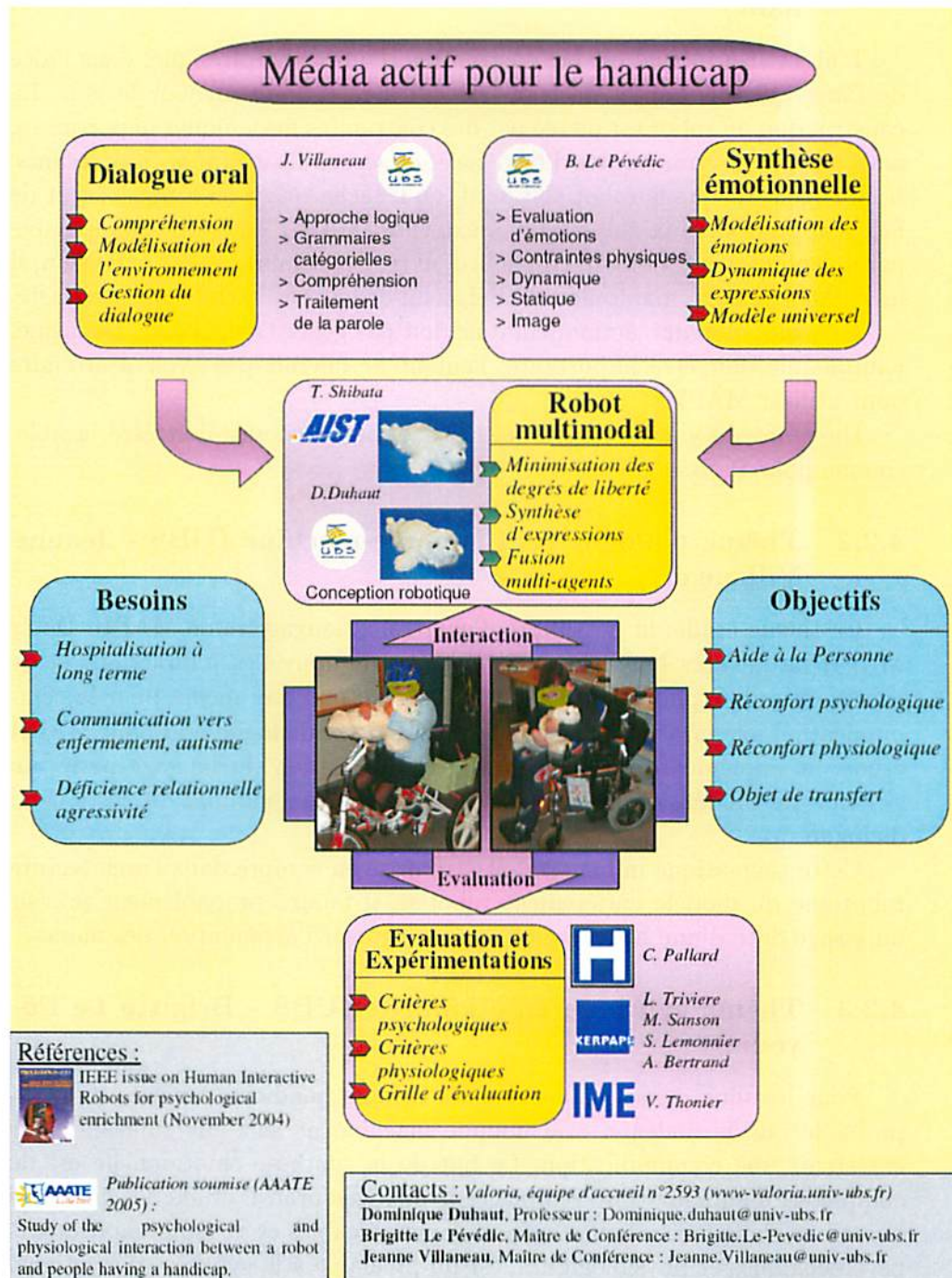


FIG. 4.1 – Poster de présentation du projet MAPH

4.2.1 Thème robotique multimodale (UBS - Dominique Duhaut)

L'objectif principal est la construction d'un média physique, dans l'idée de Paro, qui soit l'objet de transfert qui aide l'enfant au jour le jour. La construction du robot est dictée par des contraintes mécaniques importantes, ainsi que par des contraintes d'hygiène et de sécurité par rapport aux enfants. Il faut bien sûr que le robot soit actif, qu'il sache réagir en temps réel et de façon appropriée aux sollicitations externes. MAPH doit être manipulable par un enfant, c'est à dire ni trop lourd, ni trop encombrant. Par extension, si les enfants peuvent manipuler MAPH, celui-ci doit être extrêmement robuste.

Le bruit (moteurs, actionneurs) ne doit pas gêner l'utilisateur. De même, l'autonomie doit être importante, l'enfant ne devrait pas avoir à attendre pour utiliser MAPH.

Du point de vue de l'hygiène, l'enveloppe extérieure doit être lavable, comme pour Paro.

4.2.2 Thème dialogue oral Homme-machine (UBS - Jeanne Villaneau)

Ce thème étudie la possibilité d'expression langagière de MAPH. Doter MAPH de facultés langagières permettrait de nouvelles interactions et de capter un public plus large d'enfants. Avec un nouveau média pour la communication, on enrichit les facultés de MAPH. Le dialogue oral pour MAPH étudie et implémente un système de compréhension du langage parlé, un système de modélisation de l'environnement et un module de gestion du dialogue.

Cette thématique influence doit être prise en compte dans l'architecture robotique du modèle entièrement robotisé, il faudra probablement prévoir un visage doté d'une bouche mobile pour simuler l'articulation des mots.

4.2.3 Thème synthèse émotionnelle (UBS - Brigitte Le Pévédic)

Pour les plus jeunes enfants ou les enfants handicapés mentaux, il est probable que le dialogue oral homme machine ne soit pas suffisant pour entretenir une communication. Le but de la synthèse émotionnelle est de compléter, d'enrichir voire remplacer le dialogue oral. L'étude des émotions humaines, de la façon dont elles sont communicables et de leurs implications psychologiques et physiologiques, est un préalable à la synthèse d'émotions.

Dans le cas du modèle entièrement robotisé pour MAPH, la synthèse d'émotion devra être prévue aussi en terme de conception mécanique puisque nous avons vu dans la bibliographie du domaine que l'homme utilise une mécanique musculaire trop riche pour pouvoir être entièrement reproduite

dans un robot, à plus forte raison si celui-ci doit rester manipulable, léger et autonome.

4.2.4 Tests et évaluations

Pour valider la démarche de conceptions des différentes thématiques du projet, il est important de valider chaque étape par des tests d'utilisation. Si la conception n'est pas purement centrée sur l'utilisateur, au moins celui-ci doit pouvoir participer au test et à l'évaluation de chaque prototype. Les partenaires des instituts médicalisés et centres de rééducation offrent un cadre idéal pour les tests de MAPH. Sur la base de ces tests seront proposés des orientations ou des corrections pour chacune des thématiques scientifiques du projet.

4.3 Partenaires du projet

MAPH regroupant des thèmes de recherches variés, l'équipe du Valoria ne se suffit pas pour valider toutes les étapes du projet. Principalement, sur les thématiques de tests et d'évaluations, des partenaires sont trouvés dans la région. Il s'agit d'une part du Centre Mutualiste de Rééducation et de Réadaptation Fonctionnelles de Kerpape, avec lesquels l'équipe a déjà travaillé et obtenu les premiers résultats d'expérimentation de Paro. Les hôpitaux et Institut médicaux éducatifs de la région vannetaise seront sollicités pour participer aussi aux tests et à l'évaluation des prototypes de MAPH.

Le partenariat technologique avec l'AIST au Japon permet le prêt de matériel, notamment des robots Paro afin de les tester.

4.3.1 Kerpape

Le Centre Mutualiste de Rééducation et de Réadaptation Fonctionnelles de Kerpape accueille des patients adultes et enfants nécessitant des soins de rééducation/réadaptation dans le cadre d'une hospitalisation à temps plein, à temps partiel de jour, ou de traitements ambulatoires. Dans le cadre du schéma régional d'organisation des soins de Bretagne, le Centre de Kerpape développe une double réponse :

- de soins de rééducation spécifiques à vocation régionale (affections neurologiques, brûlés, cardiaques, etc...)
- de soins de rééducation polyvalents à vocation de proximité (orthopédie-traumatologie-amputés-vasculaires...)

Le savoir-faire et l'expérience de ses professionnels, conjugué à un plateau technique performant confirment sa vocation de Centre de Ressources en Rééducation et Réadaptation Fonctionnelles, en articulation avec les structures de court séjour en amont et médico-sociales en aval. Situé dans un parc de 35 hectares en bord de mer, le Centre de Kerpape accueille, chaque jour,

400 personnes (2/3 d'adultes, 1/3 d'enfants). Prise en charge des enfants en rééducation fonctionnelle :

- les enfants et adolescents sont répartis en cinq unités poly-pathologiques, selon leur âge et leur type de prise en charge (hôpital de jour, hospitalisation complète)
- la prise en charge allie une rééducation spécialisée, une scolarisation adaptée jusqu'à la classe de 3eme, un accompagnement éducatif et psychologique individualisé en relation avec les familles
- kinésithérapie - balnéothérapie : techniques adaptées aux diverses pathologies
- ergothérapie : activités de vie quotidienne, aides techniques personnalisées, choix et installations des fauteuils roulants, prise en compte des
- troubles des fonctions supérieures et de l'oculomotricité
- orthoptie
- motricité buccofaciale, troubles du langage, dysarthrie
- pour les enfants sans parole : codes de communication et synthèse de parole
- psychomotricité
- activités sportives : équitation, natation, foot-fauteuil, tir (arc, sarbacane ...), voile
- appareillage : atelier d'orthoprothèse sur place (corsets, coquilles, orthèses, prothèses, masques et vêtements compressifs ...).

4.3.2 AIST

Le laboratoire "Intelligent Systems Institute" au sein du National Institute of Advanced Industrial science and technology (AIST) héberge le groupe de recherche "fonctions ubiquitaire" du professeur Shibata où ont été conçus les robots Paro. Le but du groupe est la recherche et le développement des fonctions ubiquitaires. Ce sont des informations spatiales, physiques, distribuées dans l'environnement et interconnectées pour fournir des services aux applications.

Les thèmes développés sont les systèmes répartis, reconfigurables et intelligents ainsi que l'assistance aux personnes par l'usage efficace des fonctions d'environnement. Leurs projets recourent automatisme, robotique, informatique et psychologie.

Chapitre 5

Synthèse d'émotions - expressions faciales

5.1 méthodologie de la synthèse d'émotion

Dans le cadre de ce stage, nous nous plaçons dans l'optique d'une utilisation du modèle entièrement robotisé pour MAPH. Il s'agit donc de déterminer par quels moyens un robot physique peut simuler des émotions et surtout que celles-ci soient crédibles. Pour restreindre encore le champ d'investigation, nous nous concentrons sur l'aspect des expressions faciales de la synthèse d'émotions. D'autres supports d'expression des émotions, notamment par l'utilisation de positions corporelles pourront être ajoutés pour amplifier les effets de ces expressions faciales.

5.1.1 Rapport avec les travaux de Ekman

Ekman a étudié depuis longtemps les expressions faciales, son système de codage FACS des expressions du visage est reconnu et utilisé. Nous décidons de nous servir des mêmes primitives émotionnelles que lui pour notre système de synthèse d'expression. Ce choix de se limiter aux six expressions primaires (peur, joie, colère, surprise, dégoût, tristesse) s'explique par le fait qu'elles sont reconnues et réparties universellement. Pour exprimer ces émotions primaires, FACS préconise l'utilisation de 14 unités d'actions uniquement à la place de la quarantaine que nous sommes capables de contrôler par les muscles de visage.

La différenciation par rapport aux travaux de Ekman et surtout le fait que l'on ne puisse pas appliquer à la lettre les résultats de FACS ou encore EMOFACS provient de la définition du problème. Nous souhaitons pouvoir intégrer le modèle de visage à un robot qui doit être mobile, maniable, solide et autonome. L'utilisation par des enfants contraint fortement la réalisation mécanique. En terme de robotique, il s'agira de limiter à tout prix le nombre

de moteurs et actionneurs embarqués dans l'appareil. On parle de réduire au maximum les degrés de libertés. Un visage, même composé de 14 unités d'actions élémentaires, reste trop complexe à animer et surtout engendrerait une fragilité de l'appareil que l'on ne peut pas permettre. Nous cherchons donc à limiter au minimum nécessaire les unités d'actions pour que le visage puisse générer les 6 expressions de façon satisfaisante.

5.1.2 Simplification des visages

En utilisant certaines des primitives du visage de Ekman, nous allons définir des visages articulés, comme on pourrait en construire sur un robot réel et essayer, à partir de ces visages, de retrouver les six émotions primaires en manipulant les éléments de base sur ce visage. Les éléments "animables" du visage sont assimilables aux organes du visage humain qui sont manipulés par les unités d'action FACS. Par exemple des éléments peuvent être les yeux, la bouche, le nez, les oreilles ou encore les cheveux.

Prise indépendamment, l'animation de tous ces éléments nécessite quatorze unités d'actions pour exprimer les émotions primaires. Pour simplifier le système, nous allons joindre le fonctionnement mécanique de certains des éléments. Le système "yeux" pourra être constitué, dans un cas de visage complexe, par un seul élément : la pupille... Dans un système pour un visage simplifié, on va lui adjoindre la paupière ou/et le sourcil. C'est à dire dans ce cas, que ces éléments vont être solidaires et bouger ensemble. Nous avons réduit les éléments constitutifs d'un oeil en un sous-ensemble, réduisant au passage la complexité mécanique liée à l'animation de cet ensemble.

La réduction de la complexité va aussi dans le sens d'une simplification du nombre des éléments nécessaires pour construire un visage expressif. Une bouche simple peut être constituée d'une seule lèvre, au contraire d'une bouche peut-être plus juste en terme anthropomorphique, constituée d'une lèvre supérieure mais aussi d'une lèvre inférieure à la complexité mécanique au moins deux fois plus importante qu'un modèle simple de bouche. Deux yeux ne sont pas forcément nécessaires non plus. La plupart du temps, ils bougent en synchronisation.

La troisième simplification vient de la mécanique en elle-même, les éléments sont animables en rotation (un moteur permet de récupérer une rotation .. très simple) et en translation. Éventuellement une combinaison de ces deux mouvement est possible. Ces mouvements s'appliquent à un plan 2D, même si dans la réalité les éléments mécaniques sont disposés sur une sphère. Par exemple, le robot Sparky a un sage disposé sur un semi-cylindre mais pris indépendamment, chacune des articulations des éléments de son visage bouge sur un plan 2D. Nous ne chercherons pas à constituer des visages utilisant des systèmes mécaniques en profondeur (il est quand même assez rare de voir un oeil sortir de son orbite). La langue est exclue du modèle car inadaptée pour l'utilisation par des enfants qui pourraient avoir envie de la

tirer entraînant un possible détérioration du robot.

Nous utiliserons ces simplifications pour proposer des visages qui nous serviront à des tests pour savoir lequel d'entre eux possède le meilleur rapport entre richesse expressive et simplicité mécanique.

5.2 Éléments de la base

Ayant défini quelles sont les simplifications possibles par rapport au visage humain, nous construisons une base d'éléments du visage qui nous servira au dessin et à l'animation des visages.

Chaque élément de cette base est de constitution plus ou moins simple. Il existe plusieurs possibilités d'yeux, de bouches et un certain nombre d'éléments décoratifs comme le nez ou les oreilles.

Chacun des éléments est en fait une image, constituée sur un même plan. Il est possible d'en réaliser une maquette sur un robot.

5.2.1 Sous-ensemble bouche

La bouche est un élément à part dans la construction du visage. C'est le seul où les déformations soient nécessaires. Pour réaliser une bouche, on va disposer des points de contrôles sur le visage que l'on va lier entre eux pour réaliser une figure polygonale. Les liens entre point de contrôle vont servir de bord à la bouche. Il suffit ensuite d'animer les points de contrôles pour composer des formes de bouches.

Certains des points de contrôle de la bouche ne sont pas actifs, c'est à dire qu'il ne sont pas liés à des actionneurs mécaniques et ne sont pas mobiles. Ils ne servent dans ce cas qu'à l'attache de côtés du polygone qui forme la bouche.

Il est tout à fait possible d'imaginer des bouches avec une multiplicité de point de contrôles; en fait plus on en dispose, plus il est possible de se rapprocher des déformations obtenues sur une bouche humaine. Pour des raisons de simplicité mécanique, nous proposerons des modèles de 2, 3 ou 4 points de contrôles actifs au maximum pour la bouche.

Bouche rigide

Ce sont des segments de droite qui constituent les bord de la bouche. Le type1 (Figure 5.1(a)) en trois points de contrôle est une lèvre fendue (ligne brisée) qui permet de dessiner des sourires vers le haut, le bas ou de travers. Le type2 (Figure 5.1(b)) est composé de 4 points de contrôle. La bouche forme un polygone fermé et il est possible de dessiner des bouches ouvertes puisque les deux segments hauts du polygone et les deux segments bas forment respectivement une lèvre supérieure et une lèvre inférieure. Le

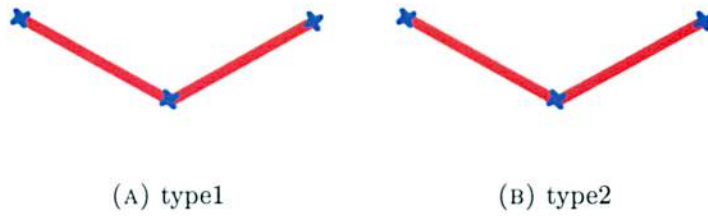


FIG. 5.1 – Bouche rigide

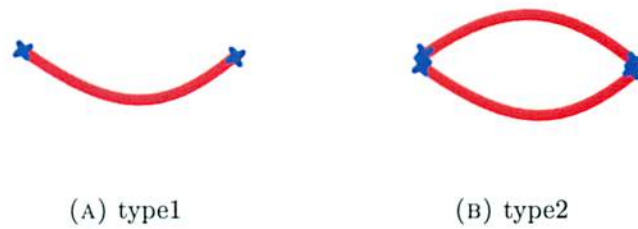


FIG. 5.2 – Bouche déformable

type2, plus complet mais aussi plus complexe que le type1 permet de dessiner toutes les figures de bouche du type1.

D'un point de vue réalisation pratique sur le robot, les segments pour une bouche rigide sont des éléments mécaniques qui doivent pouvoir se contracter ou s'étirer, on pensera particulièrement aux ressorts ou à des élastiques.

Bouche déformable

Pour représenter plus fidèlement les bouches humaines, il est possible sans augmenter beaucoup la complexité mécanique d'utiliser des éléments déformables à la place des segments rigides. On peut ainsi dessiner des courbes et des arrondis pour les lèvres.

On trouve aussi deux types pour ce modèle. Type1 (Figure 5.2(a)) en deux points de contrôle permet de dessiner une spline unique. Il est possible de représenter des courbes vers le haut ou vers le bas, des sourires en coin et des lèvres jointes en rictus S. Le type2 (Figure 5.2(b)) en 4 points de contrôle permet en fait de rajouter une lèvre supérieure et de dessiner des bouches ouvertes. La réalisation de ces bouches déformables sur le robot pourra être effectuée en déformant des ressorts, un peu comme pour la bouche du robot Felix.

5.2.2 Sous ensemble oeil

Le sous-ensemble oeil est constitué des éléments du haut visage de Ekman. On classe dans le sous-ensemble oeil quatre éléments : le sourcil, la pupille, la paupière haute, la paupière basse et le fond de l'oeil. Chacun de ces éléments peut être animé séparément ou alors pour simplifier le système mécanique, des éléments peuvent être liés entre eux. Chaque élément mobile de l'oeil est lié à un point de contrôle. Un sous-ensemble oeil est composé de 1 à 5 points de contrôle, suivant les regroupements d'éléments qui peuvent être faits.

Sur un haut visage composé de deux yeux, il est possible de lier et de faire bouger en synchronisation les deux sous-ensembles oeil. On divise ainsi le nombre de points de contrôle nécessaire à l'animation des yeux par deux mais on perd les possibilités d'animation en rotation.

Oeil libre

Tous les éléments constitutifs du sous-ensemble oeil sont libres et animables séparément. Il faut quatre à cinq points de contrôle pour ce modèle, soit entre 8 et 10 pour deux yeux. Une simplification consiste à limiter le nombre de paupières à une seule (la haute). On représente un maximum d'expression avec l'oeil libre : clin d'oeil, mouvements de pupille, fermeture ouverture de paupière, paupière sur le coté, sourcil sur les cotés, etc (Figure 5.3(e)).

Oeil pupille-sourcil

Inspiré des dessins simples de type cartoons, l'oeil pupille sourcil est un modèle en un seul point de contrôle mais nécessitant obligatoirement un symétrique (soit deux yeux pupille-sourcil, deux points de contrôle). La pupille est en fait l'extrémité du sourcil. Le creux du sourcil pouvant être vu comme le fond de l'oeil (Figure 5.3(c)).

Oeil sourcil-paupière

Ici on utilise deux points de contrôle : un pour la pupille et un pour l'ensemble paupière haute - sourcil (Figure 5.3(d)).

Oeil pupille et sourcil

Deux éléments : la pupille et le sourcil. Deux points de contrôles sont nécessaires mais seul celui contrôlant le sourcil est actif. Dans ce modèle d'oeil, le sourcil tourne autour de la pupille, qui elle reste fixe (Figure 5.3(f)).

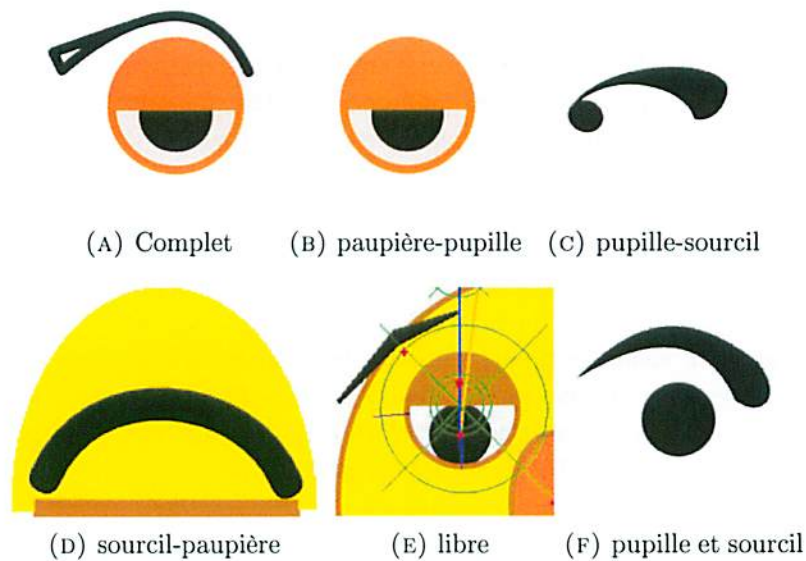


FIG. 5.3 – Sous système Oeil

Oeil paupière-pupille

La paupière, le fond de l'oeil et la pupille sont solidaires, on ajoute un sourcil mobile. Deux points de contrôle sont nécessaires à l'animation. Comme pour l'oeil pupille-sourcil, le point de contrôle du sourcil peut être le seul actif (Figure 5.3(b)).

Oeil complet

Tous les éléments du système oeil sont liés : pupille, paupière haute, fond, sourcil. Un seul point de contrôle est nécessaire à l'animation (Figure 5.3(a)).

Synchronisations

Les éléments comme les pupilles, paupières ou sourcils peuvent être liés deux à deux sur les visages à deux yeux. Dans ce cas, un seul point de contrôle est nécessaire par binôme à la place de deux.

5.2.3 Éléments décoratifs, actifs ou non

Le visage le plus simple nécessite au moins un sous-ensemble bouche et un sous-ensemble oeil. Les éléments qui s'ajoutent à cette base la plus simple sont dits décoratifs (Figure 5.4). Ils sont chacun liés à un point de contrôle qui peut être optionnellement actif. On retrouve comme éléments décoratifs :

- le fond du visage,
- le nez qui peut être stylisé ou au contraire fidèle à un nez humain,

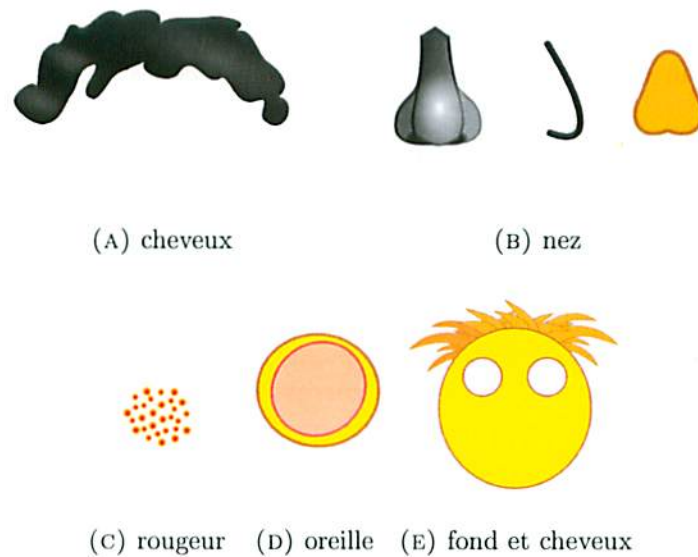


FIG. 5.4 – Eléments de décoration

- les cheveux sont soit purement décoratifs soit liés sur certaines figures à des points de contrôles actifs
- les oreilles, là aussi actives ou non (chez le chien, les oreilles jouent un rôle important dans la transmission des émotions - beaucoup moins chez l'homme)
- rougeur sur les joues qui peuvent apparaître ou disparaître.

5.3 Construction des visages

La base d'éléments du visage consiste en une quarantaine de primitives, nous en avons détaillé quelques-unes. A partir des ces primitives, nous assemblons des visages tests. Un visage doit comprendre au minimum un sous-ensemble bouche et un sous-ensemble oeil pour réussir à exprimer les émotions primaires de Ekman.

Les visages sont construits du plus simple vers le plus compliqué, le but est de trouver quelle doit être la complexité minimum du visage pour différencier clairement chacune des émotions primaires. Toutefois, si l'on voulait tester toutes les combinaisons des quarante éléments du visage, l'étude devrait porter sur plus de 200 visages différents. Une simplification est nécessaire et nous allons dessiner des visages utilisant les éléments les plus intéressants à notre sens, c'est à dire qui combinent une simplicité d'animation et un intérêt pour la représentation d'expressions faciales. Par exemple, le sous-ensemble oeil "paupière-pupille" ne sera pas utilisé dans la construction des visages, nous lui préférons le sous-élément oeil "complet", plus

simple mais pourtant plus riche en terme de possibilités d'expressions.

Nous arrivons au final à 14 visages complets qu'il va nous être possible d'animer pour construire différentes expressions faciales sur chacun d'eux.

5.3.1 Animation des éléments

La complexité d'animation de chacun des visages est jugée en terme de points de contrôle actifs. Plus un visage comporte de points de contrôle actif (qui vont devoir bouger), plus il offrira de possibilités d'animation et d'expression.

Il est possible de faire bouger un point de contrôle de deux façons différentes, rotation et translation, qui correspondent à des mouvements mécaniques simples. Rappelons que nous travaillons dans un plan et que les mouvements sont définis en deux dimensions uniquement.

En rotation, un point de contrôle tourne autour d'un centre de rotation. L'élément du visage qui lui est associé va pouvoir bouger sur un cercle de diamètre [centre du cercle \bar{U} point de contrôle]. Des butées en rotations peuvent être appliquées pour contraindre l'angle de rotation à un maximum.

En translation, un point de contrôle se ballade sur un segment de ligne droite. L'élément associé au point de contrôle suit ce dernier dans les mouvements de translation. Les translations sont naturellement contraintes par les extrémités du segment de translation.

La composition de rotation sur une translation (l'ordre est important) permet de déplacer un point de contrôle sur un cercle comme pour le déplacement en rotation. Ce cercle étant lui même en translation sur un segment de translation. Cette fois-ci, le point de contrôle auquel est associé cette composition de mouvements se déplace sur une surface de forme oblongue ("stade").

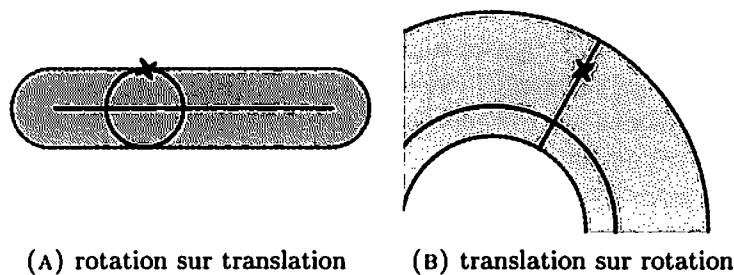


FIG. 5.5 - Composition de mouvements

La composition de translation sur une rotation est à l'inverse un mouvement simple de translation que l'on va fixer sur un cercle en rotation. La surface couverte va du disque (si le centre du cercle de rotation et l'une des extrémités du segment de translation sont confondus) à l'intersection de deux disques.

La figure 5.5 illustre les mouvements en composition. Cercle et segment sont les primitives de mouvement, la surface délimitée par les pointillés est la zone accessible au point de contrôle.

Les animations composées nécessitent l'utilisation de deux moteurs, l'un pour la translation, l'autre pour la rotation. On parle d'animation à deux degrés de liberté. Les mouvements de translation et de rotations simples nécessitent eux un seul degré de liberté pour l'animation. Pour la robotique, plus le visage comporte de degrés de libertés, plus il va être dur à construire et à intégrer dans MAPH, connaissant les contraintes liées à son utilisation. Il y a une opposition entre la richesse d'animation qui dépend du nombre de points de contrôle actifs et facilité de construction dépendante du nombre de degrés de libertés (moteurs) de la figure.

5.4 Visages proposés

Je présente ici les quatorze visages dessinés à partir des éléments de la base, du plus complexe au plus simple en terme de degré de libertés. La figure 5.6 présente chacun de ces visages et les axes d'animation pour chacun des points de contrôle actifs.

Visage Complet

22 degrés de liberté. Pupilles, paupières et sourcils sont indépendants et composent le sous-système oeil. Chacun des éléments s'articule suivant une composition de rotation et de translation. La bouche est rigide de type2, en quatre points de contrôle actifs. Deux en simple translation et deux en combinaison de rotation sur translation. Nez et fond du visage constituent des éléments décoratifs. La pupille peut devenir rouge.

Visage Cheveux

16 degrés de liberté. Au niveau du sous-système oeil, les pupilles et les sourcils sont indépendants. Les pupilles bougent sur une composition de rotation sur translation, les sourcils bougent autour de l'oeil, sur une composition de translation sur rotation. Les sourcils des deux yeux sont liés. Haut et bas bougent suivant une translation verticale. La bouche est rigide de type2, les bords extérieurs bougent sur deux rotations, les points du milieu suivent deux translations verticales. Dans les éléments de décoration, les cheveux jouent un rôle actif, on peut les dresser ou pas.

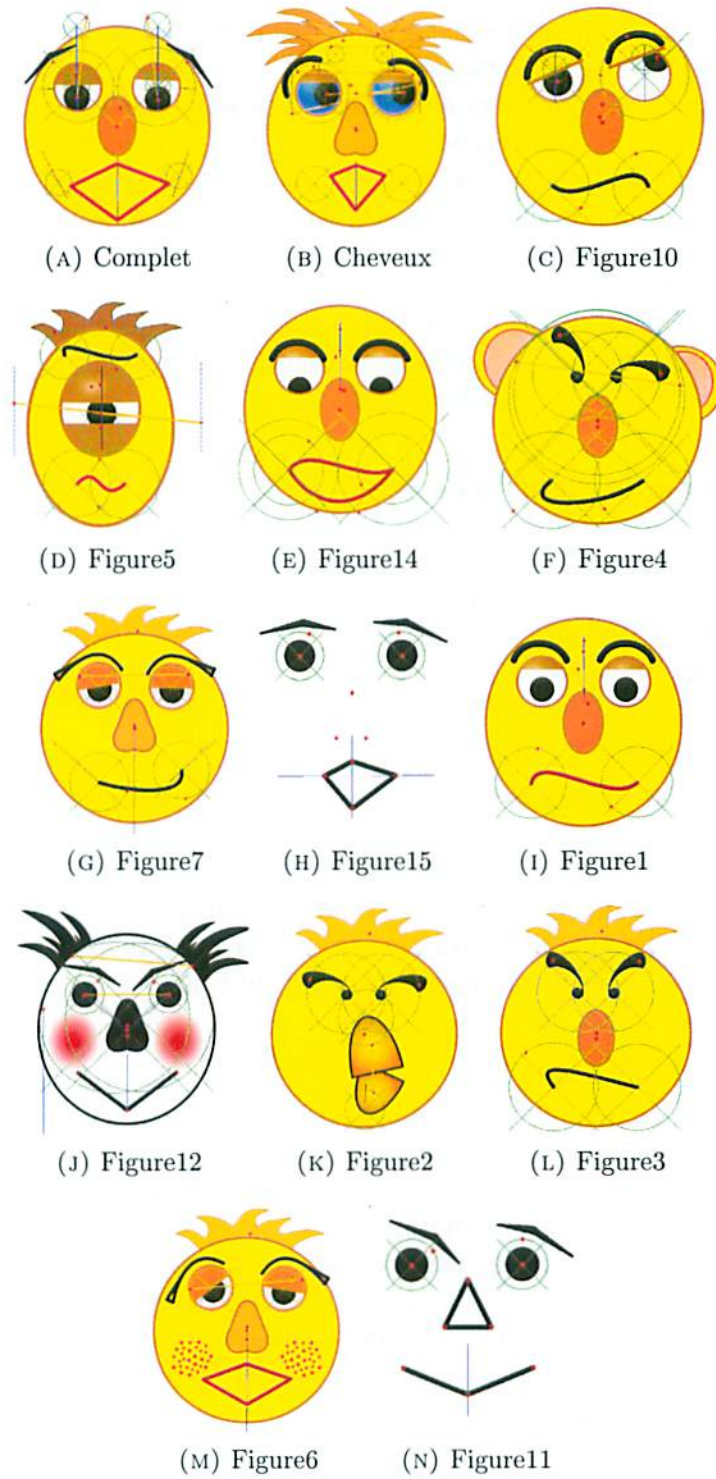


FIG. 5.6 – Visages définis à partir des éléments

Visage Figure10

10 degrés de liberté. On utilise des yeux "sourcils paupière" animable sur une composition de translation sur rotation. Les pupilles bougent suivant une translation sur rotation. La bouche est déformable de type1, en deux points de contrôle actifs en rotation simple.

Visage Figure5

8 degrés de liberté. Ici l'anthropomorphisme n'est pas respecté. L'idée est de voir ce qu'il est possible d'améliorer sur le modèle d'Emuu, la borne cyclope. L'oeil est libre, tous ces éléments s'animent en rotation et en translation. La construction du sourcil est non standard, on utilise ici le même procédé que pour la bouche déformable de type1. La bouche est déformable de type1, tout comme pour le visage figure10. Les cheveux s'ajoutent aux éléments décoratifs, sans qu'ils jouent un rôle actif.

Visage Figure14

En 7 degrés de liberté. L'intérêt de ce visage est la bouche déformable de type2, avec laquelle il est possible de dessiner des bouches rondes. Chacun des quatre points de contrôle de la bouche s'anime sur une rotation simple. Les yeux bougent en synchronisation sur une translation simple pour chacun des couples d'éléments : pupilles, paupière haute et sourcils. Pas d'éléments décoratif à part le nez et le fond du visage.

Visage figure4

6 degrés de liberté. La figure4 utilise des yeux pupille-sourcil qui bougent suivant deux rotations simples et une bouche déformable de type 1. Les oreilles sont des éléments de décoration actifs, elles peuvent bouger sur le contour du visage en suivant deux rotations simples.

Visage figure7

En 6 degrés de liberté. Les yeux sont de type complet, tous les éléments y sont liés et bougent suivant une rotation simple. La bouche est déformable de type1, ses points d'ancrage sont liés à une rotation sur translation. La large translation, qui remonte en biais le long des joues permet d'étirer très largement le sourire ou de dessiner des rictus remontant jusqu'au nez. Éléments de décoration, les cheveux sont inactifs

Visage Figure15

En 6 degrés de liberté. Pas d'éléments décoratifs pour cette image, les yeux sont les plus simples, de type pupille et sourcil avec uniquement les

sourcils animés en rotation simple. La bouche est rigide de type2 ; ses quatre points de contrôle bougent suivant des translations simples (deux verticales et deux horizontales).

Visage figure1

En 5 degrés de liberté. Le visage est le même que le visage figure14 à la différence de la bouche qui est ici déformable de type1, plus simple.

Visage figure12

En 5 degrés de liberté. Visage original, sur fond blanc. Les yeux sont de type pupille et sourcil, la pupille est fixe et les sourcils bougent en rotation simple autour de la pupille. La bouche est rigide de type1, animée par un seul point de contrôle en translation simple. Les éléments de décoration sont importants : les cheveux bougent en rotation, les joues peuvent rougir et les pupilles peuvent devenir rouges.

Visages figure2 et figure 3

Respectivement en 5 et 4 degrés de liberté. Les yeux sont de type pupille et sourcil, comme pour le visage figure4, animés en rotation. Les bouches différents. Dans figure3, c'est une simple bouche déformable de type1 alors que pour le visage2, nous proposons un bec qui peut s'ouvrir en hauteur ou sur les côtés. Nous voulions proposer une alternative à l'utilisation de la bouche pour connaître l'influence réelle de la bouche sur la transmission \bar{U} perception des émotions.

Visage Figure6

En 4 degrés de liberté. Les yeux sont complets, animés en rotation simple, la bouche est rigide de type2 avec seulement deux points de contrôle en translation. Les joues peuvent laisser apparaître des taches de rousseur.

Visage Figure11

En trois degrés de liberté. Le plus simple et voulu comme tel. Sans fond de visage ni cheveux, avec juste un nez triangulaire stylisé comme décoration. La bouche est rigide de type1 et les yeux sont de type pupille et sourcil, avec une rotation simple au niveau des sourcils.

5.5 Base de visage EmotiveFaceDB

La base EmotiveFaceDB est constituée d'une liste d'exemples la plus complète possible des expressions faciales qu'il est possible d'obtenir sur chacun des quatorze visages. Elle contient d'un part des images pour chacune des expressions faciales de chacun des visages et des fichiers de coordonnées "clé" qui servent à identifier les positions des points de contrôles des figures. Nous avons constitué EmotiveFaceDB dans deux buts. Nous nous servirons du contenu de cette base comme contrôle lors des tests d'utilisateur et dans la suite du projet, EmotiveFaceDB pourra servir de guide de passage d'une émotion à une autre lors de l'animation en temps réel d'expressions faciales.

5.5.1 Principe de construction

Pour un visage donné parmi les quatorze, nous rajoutons des positions clés au point de contrôle des éléments. Ces positions clés sont déterminées suivant les possibilités de mouvements des unités d'action FACS. Nous essayons de proposer des positions clés qui respectent les possibilités musculaires définies dans FACS. De cette façon, EmotiveFaceDB contiendra des visages possibles, réalistes et à priori universels.

Une étude plus approfondie concernant la mise en place des positions clé serait toutefois nécessaire; n'ayant pas accès à l'intégralité de la base FACS (seulement à un chapitre du livre), nous avons dû nous fier à notre bon sens pour déterminer les positions clés des éléments du bas visage (bouche). Chaque position clé illustre une configuration crédible pour un élément du visage, dans le respect des contraintes mécaniques définies lors de la constitution des visages. Nous allons combiner chacune des clés d'un élément avec les clés des autres éléments du visage pour générer une expression faciale de ce visage.

Cette génération peut être très coûteuse en terme de génération. Par exemple, pour le visage complet, la combinaison des positions clés définies sur chacun des éléments a généré 40000 expressions faciales. Plus le visage est complexe, plus il va être possible d'y dessiner un nombre important d'expressions. Pour éviter une explosion combinatoire, pour certains visages (Cheveux, Figure5, etc) nous lions plusieurs points de contrôle dans un groupe et nous créons des clés de groupes plutôt que des clés individuelles pour chaque élément du groupe. On évite aussi avec cette méthode un grand nombre de visages inutiles dans la base (inutile par exemple de représenter des variations de la position des pupilles si les paupières sont closes ...).

5.5.2 Fichiers de coordonnées

La génération automatique produit pour chaque expression un fichier de coordonnées. Il contient pour chaque point de contrôle actif de la figure,

les coordonnées utiles à son placement sur la figure. A savoir sa position absolue sur le visage et s'il est lié à une rotation (composition ou simple), les coordonnées absolues du centre de cette rotation.

A partir des fichiers de coordonnées, il est possible de calculer des proximités entre deux expressions d'une même figure. Ces fichiers vont être réutilisés pour reproduire une expression d'un visage lors des tests d'utilisation.

Suivant la complexité du visage et les simplifications et regroupement d'éléments qu'il est possible d'effectuer, entre 40000 et 80 expressions de visages et donc fichiers de coordonnées sont générés. EmotiveFaceDB contient en tout environ 60000 fichiers de coordonnées répartis entre les 14 visages.

Chapitre 6

Évaluation des visages

6.1 Procédure de test

Nos tests sont motivés par deux buts. D'une part, il s'agit de valider un ou plusieurs visages pour la synthèse efficace des émotions primaires parmi les quatorze que nous avons construit. Si aucun des visage ne permet une représentation efficace des émotion, nous pourrons au moins déterminer quels éléments des visages jouent un rôle dans la représentation d'émotion. D'autre part, nous avons construit la base de données EmotiveFaceDB pour retrouver des expressions faciales proches des expressions répertoriées dans FACS et nous voulons savoir si cette similitude est utile dans le cas de nos visages simplifiés voire caricaturaux.

Le test comporte deux grandes étapes, chacune répondant à une partie du but fixé. Un test nécessite entre 1 et 3 minutes, suivant le temps que l'utilisateur passe sur la partie dessin.

Nous avons exclus trois figures du test. La figure "Complet" est trop complexe à animer et à manipuler, de plus, elle ne répond pas à la problématique de simplification mécanique imposée par le projet. La Figure3 est écartée car elle n'apporte rien de plus en terme de possibilités de codages par rapport à la figure4. La figure12, bien que simple en terme de degré de liberté, n'est pas efficace pour une représentation des émotions. Nos pré-séries de tests ont montré que les gens sont biaisés par l'aspect clownesque du visage.

6.1.1 Public du test

Nous allons mener des tests auprès d'utilisateurs à une large échelle en mettant en place une interface Web pour les tests. En particulier, celle-ci contient un visualiseur écrit en java qui permet au testeur de manipuler directement le visage en déplaçant les points de contrôle du visage.

Le public visé sont donc des utilisateur d'Internet et du Web, nous les contactons par mailing direct ou par mailing sur des listes de diffusion universitaires ou associatives ainsi qu'en postant des messages annonçant

le test sur différents forums ou techniques, scientifiques ou divers (notamment : guitariste.com, commentcamarche.com, iup.aromate.org, hardware.fr, futura-sciences.com, etc).

Il nous faut toucher le public le plus large possible pour avoir des résultats significatifs sur chacun des visages.

6.1.2 Tests de dessin

La première étape du test consiste pour l'utilisateur à dessiner sur l'un des visages une émotion. Le système choisi pour lui un visage parmi les onze restant et une émotion au choix parmi les six émotions primaires que l'on se propose de tester. Un énoncé de test pourrait être "dessiner l'expression de peur sur le visage Figure2".

L'utilisateur a alors jusqu'à quatre minutes pour manipuler les éléments du visages et tirant à la souris sur les points de contrôle de chacun des éléments. Les points de contrôles sont bien sur toujours liés aux contraintes mécaniques que nous avons mise en place lors de la construction des visages. Il n'est pas possible de faire passer un oeil à la place d'une oreille ou inversement. Par contre, nous avons éliminer tous les positions clés des points de contrôle, si bien qu'il est possible de déplacer un élément partout ou son point de contrôle le permet.

Nous demandons après le dessin l'âge de l'utilisateur pour classer nos résultats par catégories et surtout, nous l'interrogeons pour savoir si selon lui, son dessin représente bien l'émotion demandée. L'utilisateur nous signale s'il est satisfait ou non.

6.1.3 Comparaison d'un élément de la base

A l'étape suivante, nous lui proposons de comparer son visage à une expression faciales du même visage issue de EmotiveFaceDB, sensé représenter la même émotion et nous lui demandons si selon lui le ce visage exprime bien l'émotion demandée.

Pour trouver l'expression la plus proche du dessin de l'utilisateur dans EmotiveFaceDB, nous effectuons une comparaisons une à une des entrée de la base avec le fichier de coordonnées calculé à partir du dessin. Celui ci est au même format que les entrées de la base et contient les coordonnées nécessaire au positionnement et à l'orientation de chacun des points de contrôle du visage.

Nous calculons pour chaque entrée de la base quelle est la distance euclidienne D la séparant du fichier de coordonnées du dessin de l'utilisateur.

Cela revient à faire la somme des distances entre chaque point de contrôle P_{Base} du fichier de la base et les points de contrôles de l'utilisateur P_{User} . Pour chaque points, on ajoute aussi les distances entres les coordonnées de centres de rotation éventuels $P_{rotUser}$ et $P_{rotBase}$. pour les coordonnées du

$$D = \sum_P \left| \frac{\sqrt{(X_{P_{Base}} - X_{P_{User}})^2 + (Y_{P_{Base}} - Y_{P_{User}})^2} + \sqrt{(X_{P_{rotBase}} - X_{P_{rotUser}})^2 + (Y_{P_{rotBase}} - Y_{P_{rotUser}})^2}}{2} \right|$$

Le fichier de la base pour lequel la distance D au fichier de l'utilisateur est la plus petite est considéré comme le plus proche et sera soumis à l'approbation de l'utilisateur.

A l'issue du test, on propose à l'utilisateur d'en effectuer un nouveau.

6.1.4 Annotation des fichiers de coordonnées

La première partie du test nous permet de générer un fichier de coordonnées contenant le visage proposé par l'utilisateur. En plus des données communes aux fichiers de EmotiveFaceDB, dans les ".cle" des utilisateurs, nous annotons l'émotion à laquelle le visage se rattache (c'est l'émotion que l'on a demandé de représenter) ainsi que l'avis de l'utilisateur sur son travail, sous forme d'une valeur booléenne (0 pour plutôt mauvais, 1 pour plutôt bon).

Le fichier de coordonnées utilisateur est ensuite ajouté à EmotiveFaceDB, c'est à dire que si lors d'un nouveau test, un autre testeur propose un visage très proche, le fichier ajouté pourra éventuellement être celui soumis à l'approbation du nouvel utilisateur.

La deuxième partie du test nous permet de donner une note pour classer la valeur "émotionnelle" d'une expression issue de la génération automatique dans EmotiveFaceDB. Si l'utilisateur approuve le visage proposé après comparaison avec sa propre solution, alors on ajoute 1 point au score de l'émotion représentée pour l'expression trouvée dans EmotiveFaceDB ; si l'utilisateur désapprouve le visage proposé, on retranche un point au score de l'émotion. Certains des fichiers (ceux proches des solutions des utilisateurs) de EmotiveFaceDB seront donc annotés avec des scores par émotion.

6.2 Résultats et analyse des tests

Nous avons laissé tourner les tests pendant dix jours avec des relances régulières. Pour commencer à avoir des résultats représentatifs, nous estimions qu'il faudrait environs 10 dessins d'utilisateurs pour chaque émotion de chaque visage. Soit environ 660 tests effectués. Au bout de dix jours, lors de l'analyse des tests, nous en aurons presque le double (≈ 1100 tests). Notre analyse porte sur 16 dessins par émotion par visage.

6.2.1 Perspectives sur les propositions des utilisateurs

Les utilisateurs ont pris le test au sérieux, il n'y a pas trop de résultats discordant et dans l'ensemble, les résultats sont plutôt satisfaisants. Il n'y a

pas non plus trop d'abérations comme un utilisateur dessinant un mauvais visage et s'en disant satisfait. Les résultats sont exploitables.

Nous donnons en annexe B le listing complet des proposition des utilisateurs. Le tri par émotion permet de voir quelle émotions se représente avec la meilleure satisfaction mais aussi quelle est le classement des onze visages pour la représentation de l'émotion. Le tri par visage permet de connaître les performance globale d'un visage en général et par catégorie d'âge et d'apprécier les performance pour la synthèse par émotion. Les pourcentages expriment le taux de satisfaction avec entre parenthèses le nombre de personnes satisfaites. Dans le listing même des figures, les encadrés rouges font ressortir les visages pour lesquels l'utilisateur n'est pas satisfait. A contrario, les cadres verts sont les visages pour lesquels l'utilisateur s'est dit satisfait. Pour chaque image, on donne si possible l'âge du testeur en haut à gauche. Catégorisation par age

nous avons trié les utilisateurs en trois catégories : moins de vingt et un an , entre vingt et un an et trente cinq ans et enfin plus de trente six ans.

Les plus de trente six ans sont rares (environs 10% à 15% des tests) les deux autres catégories sont équilibrées. Les catégories d'âge ne nous permettent pas de conclure à une influence de l'âge de la personne sur sa façon de représenter les émotions. Les scores de satisfaction pour un visages dans chacune des trois catégories sont souvent très proches, éloignées de 10 à 20 %. De même, si l'on regarde la satisfaction globale sur tout les visages des différente catégories, aucune ne prends le pas sur l'autre, c'est à dire que chacune des trois catégories d'âge éprouvent les mêmes difficultés (ou facilités) dans la représentation des émotions.

Catégorisation par émotion

Les taux de satisfactions par émotions vont de 53% à 90%.

La peur est la moins bien représentée avec 53% de satisfaction. Le pire score de la série allant au visage "Figure2" avec seulement 12% de satisfaction sur la série "Peur". Les visages disposant d'une bouche rigide de type2 ou déformable de type2 obtiennent Clairement les meilleurs résultats (environ 30% de satisfaction au dessus). L'exception à cette règle est la figure6, qui malgré sa bouche articulée en 4 points de contrôles ne permet pas de bonnes expressions pour la peur. Cela s'explique par le fait que les yeux sont de type complet et que l'on ne peut pas ouvrir les paupière.

La surprise obtient 61 % de satisfaction. Ici, ce sont les visages disposant de bouches types2 mais surtout sur lesquels ont peut manipuler les sourcils en hauteur et/ou sur les cotés qui ont les meilleurs scores. Pour la figure les testeurs de la figure "cheveux" ont utilisé les possibilités d'animation au niveau des cheveux pour amplifier l'effet de surprise. C'est aussi sur cette figure que l'on conserve le plus de possibilités d'animations des sourcils (cotés, haut, bas). Son score est le meilleur pour cette émotion (93%) .

Le dégoût cumule 68% d'utilisateurs satisfaits. On retrouve difficilement des éléments remarquables dans les figures du dégoût. L'utilisation des éléments des yeux sont très variables (regards haut, bas centrés ũ paupière baissée ou ouverte ũ etc). Seul élément distinctif, les bouches déformables sont quasiment systématiquement utilisées pour dessiner un rictus en "≈". A tel point que nous pensons y trouver un signe d'identification du dégoût. Les visages permettant le rictus obtiennent de meilleurs scores, en moyenne 30% de satisfaction en plus pour un visage avec bouche déformable.

La joie, qui est selon Ekman l'émotion la plus simple à représenter, obtient lors de nos tests 77% de taux de satisfaction. La bouche est l'élément primordial qui permet d'exprimer la joie. Notre visage d'oiseau et son bec n'obtient que 6% de satisfaction (1 utilisateur, et encore, c'est sûrement une erreur dans son appréciation). Les meilleurs scores vont aux visages dotés d'une bouche déformable de type1, mais les différences sont moins marquées, on mesure un bénéfice d'environ 10% d'utilisateurs satisfait en plus avec les visages proposant cette bouche. Score notable de 100% de satisfaction pour la figure7 qui permet d'afficher de larges sourires.

La colère obtient 89% de taux de satisfaction, le meilleurs score du test. L'élément le plus discriminant est la capacité à froncer ou non les sourcils. S'il est possible, vers l'intérieur, sur le haut du nez. La bouche est la plupart du temps fendue et tournée vers le bas, dans le cas d'une bouche type1, le sourire est inversé ou alors la bouche reste droite. Il est intéressant de noter que entre la moins bon visage (figure6 ũ 75%) et la meilleure (figure7 ũ 100%), seule la bouche diffère. Il semble qu'une bouche rigide de type2 ne joue pas en faveur d'une bonne expression de la colère (confirmé par le visage "cheveux" obtenant lui aussi seulement 75%). Sur la figure6, la bouche est souvent réduite pour être assimilable à une rigide type1 (bouche fermée).

La tristesse enfin, termine à égalité avec la colère avec 89% de satisfaction. La bouche est tirée vers le bas, légèrement ouverte s'il s'agit d'une type2 mais cela ne semble pas être discriminant. Au niveau des yeux, les sourcils libres obtiennent de bons résultats, ils sont en général légèrement écartés sur les cotés. Les sourcils liés comme sur les figures1 ou figure14 sont rabaissées plus près des pupilles. S'il est possible, les pupilles sont orientées vers le bas. Les scores sont très équilibrés, même la figure2 obtient un résultat correct (75%) en regard de ses autres scores.

Catégorisation par visages

Les résultats les plus intéressants sont ressortis avec le tri par visage ou des visages que nous n'attendions pas forcément obtiennent de très bons scores. Je commente ici les visages qui me semblent présenter les résultats les plus intéressants.

Avec seulement 43% de satisfaction, la figure2 est la moins bonne parmi les 11. L'absence de bouche et le manque de possibilité dans l'animation du

bec expliquent ce score particulièrement bas. De même, les yeux type pupille-sourcil sont trop simple. Dans EmotiveFaceDB, nous avons 80 entrées pour la figure2 seulement, ce qui indique bien une certaine limitation dans les possibilités d'expressions de ce visage.

La Figure 11, la plus simple du jeu de visages (3 degrés de liberté) obtient le meilleur rapport entre complexité mécanique et capacité d'expression faciales (73% de satisfaction). Le fait de l'absence de décoration, a part un nez très simple ne semble pas gêner la faculté d'expression, bien au contraire. La limites de la figure11 sont au niveau de sa bouche sur les émotion de peur, surprise ou dégoût ou l'on a vu que la possibilité d'ouvrir la bouche est souvent très utilisée.

Avec des scores autour de 75-80%, les visages figure14, figure10 et figure1 affichent des résultats honorables. Ils sont caractérisés par l'utilisation des bouches déformables en type1 ou en type2. L'indépendance des éléments des yeux expliquent les meilleurs scores de ces trois visages par rapport aux visages comme Figure4 ou Figure6. Les pupilles sont systématiquement différenciées des sourcils et des paupières alors que les yeux complet de Figure4 et Figure7 ne permettent pas autant de variations.

La figure Cheveux obtient 83% de satisfaction, le même score que le cyclope Figure5. Cheveux est construit en 16 degrés de libertés, alors que Figure5 n'en comporte que 8, deux fois moins, pour un score au final égal. Le très bon score de Figure5 non démontre que l'importance de l'anthropomorphisme est relatif dans le cas de figures caricaturales comme nous avons proposé.

En Tête de classement, la figure15 obtient 85% de satisfaction. Au final, c'est l'une des figure mécaniquement les plus simples (6 degrés de libertés) qui s'en sort le mieux, ce qui est de bonne augure pour la construction du robot. Figure15 présente quelques difficultés pour exprimer le dégoût. Cela est sûrement dus au manque de définition claire de cette émotion et à l'absence de bouche déformable pour dessiner un rictus en "≈". Nous relativisons encore une fois l'importance des éléments décoratifs, la figure15 est absolument sans fioriture. Nous allons vérifier dans un second test l'importance des décorations.

6.2.2 Tri de EmotiveFaceDB

la seconde partie du test nous à permis de trier et annoter un nombre à peu près équivalent de visages (1100) de EmotiveFaceDB. Les scores issus des annotations des visages de EmotiveFaceDB suivent les scores constatés sur les dessins des utilisateurs, que ce soit en classant par émotions ou en classant par visages. Les scores obtenus par les figures de EmotiveFaceDB sont moins bons, environs 30 à 40 % en dessous du score équivalent sur le visage proposé par l'utilisateur. Cette apparente médiocrité n'est pas en réalité si préjudiciable. Elle nous permet d'annoter la base non seulement

avec des visages qui sont de bons candidats pour représenter une émotion mais aussi avec ceux qui sont au contraire de mauvais candidats.

Les testeurs jugent aussi plus sévèrement un visage qui n'est pas leur création et sont sans doute un peu trop indulgents avec leur propre dessin. Il est intéressant de constater que si l'on fait une moyenne entre les scores attribués aux meilleurs visages de EmotiveFaceDB avec les meilleurs visages des utilisateurs (Figure15, Figure5, Cheveux), on obtient des taux de satisfaction par émotions proches des taux de reconnaissances mesurés par Ekman et confirmés sur un modèles robotiques par l'équipe de Fukuda [FJN⁺04].

6.2.3 Second test

Les résultats de ce premier test nous ont encouragé à pousser plus loin nos investigations avec la figure15. Nous voulons savoir s'il est possible d'améliorer ses scores déjà élevés en la rendant plus anthropomorphique. Nous allons la décliner en trois versions (Figure 6.2.3) et effectuer les mêmes tests de dessins auprès d'utilisateurs sur Internet. Cette fois-ci, l'étape d'association à un visage de EmotiveFaceDB n'est plus nécessaire (la mécanique est la même, nous avons déjà stocké les résultats de la figure15).

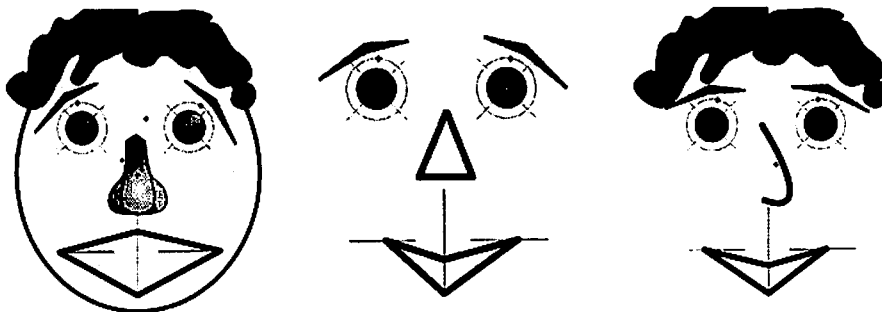


FIG. 6.1 - Variation du visage "Figure15"

Nous donnons en annexe C les résultats partiels de cette série de tests. Les annotations sont les mêmes que pour la première série.

Résultats partiels

Nous avons pu mener environ 200 tests, ce qui nous donne 12 dessins par émotions et par visage. Les résultats sont donnés à titre d'information et ne doivent pas être considérés comme définitifs. Le jeu de test n'est pas encore suffisant pour pouvoir affirmer des résultats, tout au plus pouvons-nous constater certaines tendances.

D'une part, les résultats restent bons mais toujours inférieurs aux scores obtenus par la figure 15 lors du premier test. Nous ne réussissons pas à améliorer ce score de 85% en rajoutant des éléments de décoration inactifs. Il se

produit même l'effet inverse à celui attendu, le visage le plus anthropomorphique est celui qui obtient les moins bons scores.

L'émotion de dégoût est toujours la moins facilement représentable et colère et tristesse sont toujours les mieux placées, pour chacun des trois visages. L'ajout de décoration n'influence pas la représentation des émotions.

Nous constatons comme sur la figure15 quelques constantes. La totalité des dessins de colère représentent à plus ou moins forte intensité les sourcils froncés à l'intérieur. Pour la joie, le sourire est en large triangle avec la lèvre supérieure brisée ou non, indifféremment soit vers le haut soit vers le bas. Pour la surprise, on retrouve très souvent une bouche en losange orientée étirée vers le bas (forme de diamant). Les sourcils à l'extérieur sont une caractéristique de la tristesse, pas d'unité de dessin de bouche pour cette émotion.

Les visages proposées sont tout plus ou moins symétriques, au niveau des yeux, les sourcils bougent à l'inverse l'un de l'autre et les bouches sont en symétrie suivant l'axe central du visage. Il devrait donc être possible de supprimer un degré de liberté au niveau des yeux et un degré au niveau de la bouche pour avoir un personnage tout a fait valable en 4 degrés de libertés uniquement.

Une extension pouvant faire l'objet d'un troisième test serait d'équiper la figure15 d'une bouche déformable de type2 pour voir si l'on parvient à améliorer les résultats du dégoût. D'un point de vue mécanique, la complexité est la même entre bouche déformable type2 et rigide type2.

Discussion et Perspectives

Bilan

Ce travail autour des émotions, de la synthèse des expressions faciales pour un robot pose les bases de la thématique "synthèse d'émotion" du projet MAPH.

Nous avons proposé une méthode d'abstraction et de simplification des visages par rapport aux travaux existants, en se basant sur le système reconnu et très largement utilisé FACS.

L'outil logiciel développé permet virtuellement d'animer toute transformation mécanique dans le plan (hors homothétie). Nous l'avons utilisé pour produire des visages illustrant nos principes de simplifications des unités d'action FACS. Cet outil logiciel n'est pas limité à la synthèse de visage et s'avère tout à fait adapté s'il s'agit de modéliser les animations mécaniques d'autres parties du corps ou d'autres objets. Il suffit pour cela de dessiner de nouvelles primitives pour la base d'éléments. Nous avons construit quatorze visages allant du plus simple au plus complexe, en mélangeant les primitives de visage de la base d'éléments.

La base EmotiveFaceDB, construite par génération automatique de visage contient des variations d'expressions pour chacun des quatorze visages. Ces variations illustrent de façon exhaustive les possibilités de placement des éléments d'un visage.

Nous avons mené une série de tests auprès d'utilisateurs sur Internet pour trouver quel sont les meilleurs visages, c'est à dire ceux qui combinent simplicité mécanique et capacité d'expression d'émotion maximale. Il ressort de ces tests que la complexité du visage n'aide pas forcément la représentation des émotions et que l'on peut trouver des visages simples et avec malgré tout des capacités d'expressions faciales très riches.

Perspectives

Les résultats de nos premiers tests doivent être validés par des tests de reconnaissance, c'est à dire en utilisant les visages annotés de EmotiveFaceDB, demander à des utilisateurs s'ils y reconnaissent l'expression d'une émotion.

Cette démarche pourra s'effectuer en priorité sur les meilleurs visages trouver lors des tests de représentation.

Si un même visage obtient de bon résultats en représentation et en perception, il pourra être un candidat sérieux pour la construction sur MAPH.

Il pourrait être utile aussi de créer et tester un nouveau visage en mélangeant les éléments du visages s'illustrant par leur utilisation dans certaines émotions (bouche en "≈" par exemple) pour voir s'il est possible d'améliorer encore les score de représentation.

La suite logique de se projet serait maintenant de passer à l'animation des expressions du visage, en se concentrant sur les visages les meilleurs. L'animation joue un rôle important dans la perception des émotions. Nous avons pu avec succès déterminer des primitives de visages statiques pour chaque expressions de base, il reste à trouver une méthode pour le passage entre ces émotions.

Bibliographie

- [Bar01] C. Bartneck. How convincing is mr. data's smile : Affective expressions of machines. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11(4) :279-295, 2001.
- [Bar02] C Bartneck. emuu - an embodied emotional character for the ambient intelligent home, 2002.
- [BBW89] J. K. Burgoon, D. B. Buller, and W. G. Woodall. *Nonverbal Communication : The Unspoken Dialogue*. Harper & Row, 1989.
- [BLS⁺] A. Bertrand, S. Lemonnier, M. Samson, L. Trivière, T. Shibata, C. Pallard, B. Le. Pévédic, and D. Duhaut. Study of the psychological and physiological interactions between a robot and a people having a handicap.
- [Bre02] C. Breazeal. *Designing Sociable Robots*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 2002.
- [Cañ00] Fredslund J. Cañamero, L.D. How does it feel? emotional interaction with a humanoid lego robot. pages 23-28, 2000.
- [Can27] W. B. Cannon. The james-lange theory of emotion : A critical examination and an alternative theory. *American Journal of Psychology*, 39 :10-124, 1927.
- [Dam95] A. Damasio. *Descarte's Error*. Harvard University Press, 1995.
- [Dar98] C. Darwin. *l'expression des émotions chez l'homme et les animaux*. petite bibliothèque. Rivage Poche, 1998.
- [Dat05] DataFace. Facial action coding system affect interpretation dictionary — dataface, 2005. [Online ; accessed 21-April-2005].
- [DG03] C. DiSalvo and F. Gemperle. From seduction to fulfillment : the use of anthropomorphic form in design. In *DPPI '03 : Proceedings of the 2003 international conference on Designing pleasurable products and interfaces*, pages 67-72, New York, NY, USA, 2003. ACM Press.
- [DP99] T. Dalgleish and M. Power, editors. *Handbook of Cognition and Emotion*. Willey, février 1999.

- [EFA80] P. Ekman, W. V. Friesen, and S. Ancoli. Facial signs of emotional experience. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39 :1125-1134, 1980.
- [EFH02] P. Ekman, W. V. Friesen, and J. C. Hager. *THE FACIAL ACTION CODING SYSTEM*. Weidenfeld & Nicolson, London, 2002.
- [EFOS80] P. Ekman, W. V. Friesen, M. O'Sullivan, and K. Scherer. Relative importance of face, body, and speech in judgments of personality and affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 38 :270-277, 1980.
- [EFT71] P. Ekman, W. V. Friesen, and S. S. Tomkins. Facial affect scoring technique : A first validity study. *Semiotica*, 3 :37-58, 1971.
- [Ekm72] P. Ekman. Universal and cultural differences in facial expression of emotion. In *Nebraska symposium on motivation*, pages 207-283. University of Nebraska press, 1972.
- [Ekm98] P. Ekman. *The Expression of the Emotions in Man and Animals*, chapter Commentaries. Oxford University Press, New York, 1998.
- [Ekm04] P. Ekman. *MicroExpression Training Tools and Subtle Expression Training Tools*. 2004.
- [FJN+04] T. Fukuda, M-J. Jung, M. Nakashima, F. Arai, and Y. Hasegawa. Facial expressive robotic head system for human-robot communication and its application in home environment. In *Proceedings of the IEEE*, volume 92 of 11. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004.
- [FND02] T. Fong, I. Nourbakhsh, and K. Dautenhahn. A survey of socially interactive robots, 2002.
- [fry]
- [FT] N. Fridja and A. Tcherkassof. *The psychology of facial expression*, chapter Facial expressions as modes of action readiness.
- [GFL94] J. J. Gross, B. L. Frederickson, and R. W. Levenson. The psychophysiology of crying. *Psychophysiology*, 31 :460-468, 1994.
- [GH75] J. Goodall and D. A. Hamburg. Chimpanzee behavior as a model for the behavior of early man : New evidence on possible origins of human behavior. *American Handbook of Psychiatry*, 6, 1975.
- [Gol95] D. Goleman. *Emotional Intelligence*. Bantam, New York, 1995.

- [IHMD80] 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.
- [Jam02] W. James. *La théorie de l'émotion*. Alcan, 1902.
- [KE] D. Keltner and P. Ekman. *Handbook of emotions*, chapter Facial expression of emotion.
- [KY01] H. Kozima and H. Yano. In search of ontogenetic prerequisites for embodied social intelligence. In *Emergence and Development of Embodied Cognition*, 2001.
- [Lar02] M. Larivey. *La puissance des émotions*. Les éditions de l'Homme, 2002.
- [Lib03] E. Libin. Exploring the potential of robotic psychology and robototherapy. In *1st International Conference on Cybertherapy*, San Diego, 2003.
- [Lie91] P. Lieberman. *Uniquely Human : The Evolution of Speech, Thought, and Selfless Behavior*. Harvard University Press, Cambridge, 1991.
- [LL04] A. V. Libin and E. V. Libin. Person-robot interactions from the robopsychologists' point of view : the robotic psychology and robototherapy approach. In *Proceedings of the IEEE*, volume 92 of 11. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004.
- [LLO⁺02] A. Libin, E. Libin, T. Ojika, Y. Nishimoto, T. Takeuchi, Y. Matsuda, and Y. Takahashi. On person Ū robot interactions : Cat necoro communicating in two cultures. In *8th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, Creative Digital Culture*, pages 899–905, Seoul, 2002.
- [McN92] D. McNeill. *Hand and Mind : What Gestures Reveal about Thought*. University of Chicago Press, 1992.
- [OT90] A. Ortony and T. J. Turner. What's basic about basic emotions? *Psychological Review*, 97(3) :315–331, July 1990.
- [PLL01] P. Persson, J. Laakolahti, and P. Lönnqvist. Understanding socially intelligent agents - a multilayered phenomenon. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A*, 31(5) :349–360, 2001.
- [RHM99] P. Rozin, J. Haidt, and C. R. McCauley. *Handbook of Cognition and Emotion*, chapter Disgust, pages 637–653. Willey, février 1999.
- [RL98] C. Roux-Launier. *La Culture générale de A à Z. De A à Z*. Hatier, 1998.

- [RN98] B. Reeves and C. Nass. *The media equation : how people treat computers, television, and new media like real people and places*. Cambridge University Press, New York, NY, USA, 1998.
- [SBM] E. Smith, M. Bartlet, and J. Movellan. Computer recognition of facial actions : A study of co-articulation effects.
- [SC74] R. L. Solomon and J. D. Corbit. An opponent-process theory of motivation : I. temporal dynamics of affect. *Psychological Review*, 81 :119–145, 1974.
- [Sch00] M. Scheeff. Experiences with sparky : A social robot, 2000.
- [SE82] K. R. Scherer and P. Ekman. *Handbook of methods in nonverbal behavior research*, chapter Methodological issues in studying nonverbal behavior, pages 1–44. Cambridge University Press, 1982.
- [SENIY+99] M. Seif El-Nasr, T. R. Ioerger, J. Yen, D. H. House, and F. I. Parke. Emotionally expressive agents. In *CA*, pages 48–57, 1999.
- [SERS00] D. J. Schiano, S. M. Ehrlich, K. Rahardja, and K. Sheridan. Face to interface : facial affect in (hu)man and machine. In *CHI '00 : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 193–200, New York, NY, USA, 2000. ACM Press.
- [Shi04] T. Shibata. An overview of human interactive robot for psychological enrichment. In *Proceedings of the IEEE*, volume 92 of 11. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004.
- [SS62] S. Schachter and J. E. Singer. Cognitive, social and physiological determinants of emotional states. *Psychological Review*, 69 :359–399, 1962.
- [VB05] A. J. N. Van Breemen. icat : Experimenting with animabotics. In *AISB 2005 Creative Robotics Symposium*, Hatfield, England, 2005.
- [Vin02] J-D. Vincent. *Biologie des passions*. Odile Jacob, mars 2002.
- [Wik05a] Wikipedia. Amygdala — wikipedia, the free encyclopedia, 2005. [Online; accessed 21-April-2005].
- [Wik05b] Wikipedia. Emotion — wikipedia, l'encyclopédie libre, 2005. [Online; accessed 21-April-2005].
- [Wik05c] Wikipedia. Emotion — wikipedia, the free encyclopedia, 2005. [Online; accessed 21-April-2005].
- [Wik05d] Wikipedia. Facial expression — wikipedia, the free encyclopedia, 2005. [Online; accessed 21-April-2005].

ANNEXES