

Analyse symbolique de sourires de personnages virtuels

Magalie Ochs*, Edwin Diday** Filipe Afonso ***

*CNRS LTCI Télécom ParisTech,
magalie.ochs@telecom-paristech.fr

** CEREMADE Université Paris Dauphine,
diday@ceremade.dauphine.fr

*** SYROKKO - Aéroport Paris / Roissy CDG
afonso@syrokko.com

Résumé. Afin de concevoir des personnages virtuels capables d'exprimer différents types de sourire durant une interaction avec un utilisateur, nous avons collecté une base de données de sourires de personnage virtuel directement créés par des utilisateurs. Cette base de données a été explorée à travers une analyse symbolique descriptive et supervisée afin d'identifier les caractéristiques morphologiques et dynamiques des sourires d'amusement, de politesse et d'embarras. Une analyse non-supervisée de la base de données a permis de mettre en évidence d'autres types de combinaisons de sourires.

1 Introduction

Aujourd'hui, les ordinateurs sont de plus en plus utilisés pour adopter des rôles typiquement incarnés par des humains, tel que le rôle de tuteur dans une classe virtuelle ou d'assistant pour la réalisation d'une tâche. Plusieurs recherches ont montré que les utilisateurs tendent à interagir avec les ordinateurs comme s'ils étaient de véritables personnes, lorsque ces machines possèdent des capacités communicatives similaires à celles des humains (Reeves et Nass (1996)). Les *agents conversationnels animés* (ACAs) sont des personnages virtuels créés par l'ordinateur qui peuvent converser avec les utilisateurs d'une façon naturelle, similaire à celle appliquée par les humains (Cassell (2000)). Un des signaux sociaux jouant un rôle prépondérant dans les interactions interpersonnelles, est le *sourire*. Dans le cadre des interactions humain-machine, les recherches montrent que les personnages virtuels *souriant* améliorent l'interaction, par exemple la perception de la tâche, de l'agent, mais aussi la motivation et l'enthousiasme de l'utilisateur (Krumhuber et al. (2008); Theonas et al. (2008)).

Un sourire peut traduire différentes significations suivant des caractéristiques subtiles de l'expression faciale. Par exemple, un sourire peut communiquer de l'amusement, de la politesse ou encore de l'embarras suivant les muscles du visage qui sont activés. Dans les interactions interpersonnelles, les individus expriment consciemment et inconsciemment ces différents sourires et sont capables de les distinguer lorsqu'ils sont exprimés par leur interlocuteur (Frank et al. (1993)).

L'objectif de nos recherches est de doter un agent conversationnel animé (ACA) de la capacité d'exprimer différents sourires durant une interaction avec un utilisateur. Pour ce faire,

les expressions faciales, *i.e.* les caractéristiques morphologiques et dynamiques, associées aux différents types de sourire doivent être identifiées. La méthodologie proposée repose sur une *approche centrée sur la perception de l'utilisateur*, consistant à collecter une base de données de sourires d'un personnage virtuel directement créés par des utilisateurs (Section 2). Les données sont ensuite analysées à partir de méthodes descriptives d'analyse symbolique (Section 3). Dans les sections 4 et 5, nous explorons plus particulièrement les différents types de sourire pouvant émerger d'une analyse supervisée et non-supervisée des données.

2 Représentation et collecte de sourires

Pour construire une base de données de sourires d'un personnage virtuel, une première problématique consiste à identifier comment représenter les différents sourires pouvant apparaître dans une interaction interpersonnelle et les caractéristiques de ces derniers. Dans la section suivante, nous introduisons les études théoriques et empiriques constituant les fondements de notre étude.

2.1 Fondements théoriques : les sourires des individus

Le sourire est l'un des signaux les plus rapidement et facilement reconnus sur un visage (Ekman et Friesen (1982)). Pour créer un sourire, seulement deux muscles (les zygomatiques majeurs) de chaque côté du visage doivent être activés. Cependant, d'autres muscles peuvent être impliqués dans l'expression d'un sourire. Suivant les muscles activés et la manière dont ils sont activés, différents types de sourire traduisant différentes significations peuvent être distingués. Un sourire associé à l'expression de joie est le *sourire d'amusement* (appelé aussi sourire de Duchenne). Ce dernier est souvent opposé au *sourire de politesse* (appelé aussi faux sourire ou sourire contrôlé) (Frank et al. (1993)). Un sourire peut aussi être exprimé dans des situations négatives, par exemple par *embarras* (Keltner (1995)) ou *anxiété* (Harrigan et O'Connell (1996)). Dans cet article, nous focalisons sur les trois types de sourire suivants : le sourire d'*amusement*, de *politesse*, et d'*embarras*. Ces sourires ont l'avantage d'avoir été étudiés en Sciences Humaines et Sociales à la fois du point de vue de l'encodeur (*i.e.* celui qui sourit) (Ekman et Friesen (1982); Krumhuber et Manstead (2009)) que du décodeur (*i.e.* celui qui perçoit le sourire) (Ambadar et al. (2009); Krumhuber et Manstead (2009)).

Les sourires de politesse, d'amusement et d'embarras ont différentes caractéristiques morphologiques et dynamiques qui permettent de les distinguer. Les *caractéristiques morphologiques* sont, par exemple, l'ouverture de la bouche ou l'élévation des pommettes. Les *caractéristiques dynamiques* correspondent au déroulement temporel du sourire. La dynamique est généralement décrite sur trois intervalles de temps : le *début (onset)* correspondant à l'intervalle de temps durant lequel l'expression atteint son maximum en terme d'intensité en partant de l'état neutre, le *pic (apex)* est le temps durant lequel l'expression est maintenue avec son intensité maximale, et la *fin (offset)* est l'intervalle durant lequel l'expression décroît de son intensité maximale à l'expression neutre (Ekman et Friesen (1982)). Dans les études sur les sourires (Ambadar et al. (2009); Krumhuber et Manstead (2009); Ekman et Friesen (1982)), les caractéristiques suivantes sont généralement considérées pour distinguer les sourires de politesse, d'amusement et d'embarras :

- *les caractéristiques morphologiques (les unités d'action se réfèrent au système de codage des expressions faciales (FACS - Facial Action Coding System) proposé par Ekman (Ekman et al. (2002)))* : l'élévation des pommettes (unité d'Action 6), la tension des lèvres (unité d'action 24), l'élévation des coins des lèvres (zygomatique majeur - unité d'action 12), la symétrie du sourire, l'ouverture de la bouche (unité d'action 25), et l'amplitude du sourire ;
- *Les caractéristiques dynamiques* : la durée du sourire et la vitesse sur les différents intervalles de temps (début et fin).

D'autres éléments du visage, tels que le regard ou les mouvements des sourcils, peuvent influencer la manière dont un sourire est perçu. Cependant, dans ce travail, nous focalisons sur le sourire et ne considérons pas les autres éléments du visage.

Parmi les différentes études en Sciences Humaines et Sociales visant à identifier les caractéristiques propres à chaque type de sourire chez l'humain (Ekman (2003); Ekman et al. (2002); Duchenne (1990); Krumhuber et Manstead (2009); Keltner (1995); Hess et Kleck (1990); Ekman et Friesen (1982)), il n'existe pas de consensus. Par exemple, alors que l'élévation des pommettes a longtemps été associé aux sourires d'amusement (Duchenne (1990)), de récents travaux montrent que les muscles associés sont aussi activés dans les expressions délibérées tel que le sourire de politesse (Krumhuber et Manstead (2009)). Une hypothèse pourrait être que pour chaque type de sourire, il existe plusieurs façons de l'exprimer. Dans l'étude présentée dans cet article, notre objectif est d'identifier les différentes manières d'exprimer, pour un personnage virtuel, différents types de sourire, *i.e.* les ensembles de caractéristiques morphologiques et dynamiques de chacun des trois types de sourire. Pour ce faire, nous avons développé une application permettant de collecter des sourires d'un personnage virtuel. Cet outil ainsi que la base de données résultante sont présentés dans la section suivante.

2.2 La collecte de sourires d'un personnage virtuel

Afin d'identifier les caractéristiques morphologiques et dynamiques des sourires d'amusement, de politesse et d'embarras d'un personnage virtuel, nous avons proposé une approche centrée sur la perception de l'utilisateur. Nous avons développé une application web qui permettait à un utilisateur de créer facilement différents types de sourire sur le visage d'un personnage virtuel (Figure 1). L'interface de l'application (Figure 1) est composée de 4 parties :

1. dans la partie supérieure, une description de la tâche : le sourire que l'utilisateur doit créer, par exemple un sourire d'amusement ;
2. dans la partie gauche, une vidéo montrant, en boucle, l'animation de l'expression faciale du personnage virtuel ;
3. dans la partie droite, un panneau avec les différents paramètres (par exemple la durée) que l'utilisateur peut changer pour créer le sourire (l'animation à gauche change automatiquement en conséquence) ;
4. dans la partie inférieure, une échelle de Likert (Likert (1932)) permet à l'utilisateur d'indiquer sa satisfaction quant au sourire qu'il vient de créer.

A partir de boutons radio sur l'interface (Figure 1, partie 3), l'utilisateur peut générer des multitudes de sourires en choisissant des combinaisons de 7 paramètres (l'amplitude du sourire, sa durée, l'ouverture de la bouche, la symétrie du sourire, la tension des lèvres, et la

Analyse symbolique de sourires de personnages virtuels



FIG. 1 – Capture d'écran de l'application web pour collecter des sourires d'un personnage virtuel

dynamique du début et de la fin du sourire). Ces paramètres, et les variables discrètes choisies, ont été sélectionnés à partir des travaux théoriques et empiriques sur les sourires des individus (introduits dans la section précédente). Lorsque l'utilisateur change un de ces paramètres sur l'interface, la vidéo correspondant à un personnage virtuel souriant change automatiquement (Figure 1, partie 2). En considérant toutes les combinaisons des paramètres, nous avons créé 192 vidéos différentes. L'utilisateur avait comme instruction de créer un sourire pour chaque type (amusement, politesse et embarras) (Figure 1, partie 1). Après la création de chaque sourire, il lui a été demandé s'il était satisfait par le sourire créé (satisfaction indiquée sur une échelle de Likert de 7 points). Un exemple de séquence d'images vidéo d'un personnage virtuel souriant est illustré Figure 2.



FIG. 2 – Exemple d'une séquence des premières images d'une vidéo d'un personnage virtuel souriant créée en utilisant l'application de création de sourires

2.3 Une base de données de sourires d'un personnage virtuel

Trois cents quarante huit participants (dont 195 femmes) avec un âge moyen de 30 ans, ont créé des sourires. Nous avons ainsi collecté 1044 descriptions de sourires : 348 pour chaque type de sourire. En moyenne, les participants étaient satisfaits des sourires créés (5.28 sur une échelle de Likert de 7 points)¹. De manière à donner plus de poids aux sourires avec un grand niveau de satisfaction, nous avons effectué un *sur-échantillonnage* : chaque sourire créé a été dupliqué n fois, n étant le niveau de satisfaction associé au sourire. Par exemple, un sourire avec un niveau de satisfaction de 7 a été dupliqué 7 fois alors qu'un sourire avec un niveau de satisfaction de 1 n'a pas été dupliqué. L'ensemble de données résultant est composé de 5517 descriptions de sourires : 2057 sourires d'amusement, 1675 sourires de politesse et 1785 sourires d'embarras.

Dans la base de données, chacun des sourires créés est donc représenté par 9 variables :

- un numéro d'identification ($ID \in [1, 5517]$),
- le type du sourire ($TYPE \in \{amused, polite, embarrassed\}$),
- la taille du sourire ($SMILE_SIZE \in \{small, large\}$),
- l'ouverture de la bouche ($MOUTH_OPEN \in \{open, close\}$),
- la symétrie du sourire ($SMILE_SYMETRIE \in \{sym., asym.\}$),
- la tension des lèvres ($LIPS_TENSION \in \{no - tension, tension\}$),
- l'élévation des pommettes ($SMILE_AU6 \in \{no - AU6, AU6\}$),
- la vitesse de début et de fin de sourire ($SMILE_ONOFFSET \in \{short, medium, long\}$),
- la durée totale du sourire ($SMILE_DURATION \in \{short, long\}$).

Ces variables et leurs valeurs discrètes correspondent à celles indiquées par l'utilisateur dans l'application de création de sourires (Figure 1). Dans la section suivante, nous décrivons plus précisément la base de données à travers une analyse descriptive.

3 Analyse symbolique des sourires de politesse, d'embarras et d'amusement

L'approche "symbolique" (Diday et Billard (2006); Diday (2005); Noirhomme-Fraiture et Diday (2008); Cohen et Lefebvre (2005)) est fondée sur le principe suivant : i) on décrit des classes d'individus en prenant en compte la variation des valeurs prises sur les variables qui caractérisent leur choix. Cette variation s'exprime par des diagrammes de fréquences quand les variables sont qualitatives. Comme un diagramme n'est pas un nombre, on dit que c'est une donnée symbolique. On obtient ainsi des variables dites "symboliques" à valeur diagramme pour chaque classe considérée comme nouvelle unité statistique. Le tableau de données dit "symbolique" qui en résulte contient dans chacune de ses cases un diagramme ; ii) on analyse ensuite ce tableau par des méthodes d'analyse et de fouille de données étendues à ce type de données, comme par exemple la classification automatique, l'analyse factorielle ou l'arbre de description discriminant.

Afin d'identifier les caractéristiques des différents types de sourire créés par les utilisateurs, nous avons réalisé une première analyse symbolique des données.

1. Globalement, la satisfaction des utilisateurs était la même pour les trois sourires (entre 5.2 et 5.5)

3.1 Fréquences des caractéristiques pour chaque type de sourire

Pour illustrer la fréquence de chaque valeur discrète des variables pour chaque type de sourire, une représentation graphique sous forme d'étoile en 3D a été utilisée (Figure 3). Cette représentation graphique a été générée à l'aide de la méthode SOE due à M. Noirhomme et M. Rouard (Noirhomme-Fraiture et Rouard (2000)). Cette méthode est implantée dans le logiciel libre SODAS. La visualisation en étoile repose sur des axes radiaires, où chaque axe représente une variable. Les axes de l'étoile correspondent aux variables caractéristiques des sourires : la tension des lèvres (LIPS_TENSION), la durée de début et de fin du sourire (SMILE_ONOFFSET), la durée totale du sourire (SMILE_DURATION), la taille du sourire (SMILE_SIZE), l'ouverture de la bouche (MOUTH_OPEN), l'élévation des pommettes (SMILE_AU6) et la symétrie du sourire (SMILE_SYMETRIE). La figure en étoile regroupe les données pour chaque concept, *i.e.* pour chaque type de sourire (amusé et embarrassé) représenté chacun par une couleur particulière. Cette représentation graphique

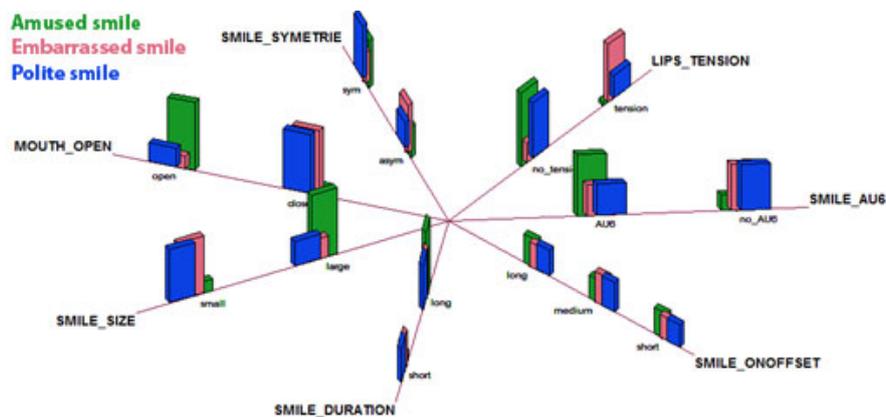


FIG. 3 – Etoile ZOOM des caractéristiques des sourires d'amusement, d'embarras et de politesse

montre que les *sourires d'amusement* sont principalement caractérisés par l'absence de tension des lèvres (92,2%), une durée longue (84,4%), une grande taille (83,6%), une ouverture de bouche (85,6%) et l'élévation des pommettes (78,4%). Bien que la différence soit moins significative, les sourires d'amusement semblent plus souvent marqués par une symétrie (59,9%). Les *sourires d'embarras* semblent caractérisés par une tension des lèvres (74,6%), une petite taille (73,1%), une fermeture de la bouche (81,8%), une asymétrie du sourire (59,1%) et un non-élévation des pommettes (59%). La durée de ces sourires semble plus fréquemment longue (56,4%). Enfin, les sourires de politesse partagent à la fois des caractéristiques des sourires d'embarras et d'amusement. Ils sont caractérisés par une absence de tension des lèvres (69,4%), une petite taille (67,7%), une fermeture de la bouche (76%), une symétrie du sourire (67,1%) et un non-élévation des pommettes (58,9%). Les trois sourires avec ces caractéristiques prédominantes sont illustrés Figure 4. Dans la section suivante, nous analysons plus précisément les variables discriminantes des trois types de sourire.



FIG. 4 – Images de trois types de sourire (au pic d’amplitude) avec les caractéristiques les plus fréquentes identifiées dans la base de données (de gauche à droite) : sourire d’amusement, d’embarras et de politesse

3.2 Les variables discriminantes des sourires

Afin d’identifier les variables permettant de distinguer les types de sourire, un classement des variables ordonnées selon leur pouvoir discriminant (par ordre décroissant, Figure 5) vis-à-vis des trois types de sourire, a été généré à l’aide du module TABSYR du logiciel SYR². La ligne “Variations” permet de représenter la variation entre le minimum des fréquences de la catégorie correspondante (valeur inférieure), le maximum (valeur supérieure) et la moyenne. L’ouverture de la bouche (MOUTH_OPEN) apparaît comme la variable la plus discriminante



FIG. 5 – Variables descriptives des sourires ordonnées selon leur pouvoir discriminant par ordre décroissant

parmi les 7 variables. Cette variable permet en particulier de discriminer au mieux les sourires d’amusement des sourires de politesse et d’embarras. La variable de tension des lèvres (LIPS_TENSION) est également importante pour distinguer les classes de sourires d’amusement et de politesse de celle d’embarras. Les variables moins discriminantes caractérisant la taille du sourire (SMILE_SIZE) et l’élévation des pommettes (SMILE_AU6) permettent de distinguer les sourires d’amusement des sourires d’embarras et de politesse. Moins importante, la variable reflétant la symétrie du sourire (SMILE_SYMETRIE) permet néanmoins de

2. Ce logiciel est fourni par SYROKKO company.

discriminer les sourires d’embarras des sourires de politesse et d’amusement. La variable de vitesse de début et fin de sourire (SMILE_ONOFFSET) n’apparaît pas comme essentiel pour la distinction des trois classes de sourire.

4 Analyse non supervisée des sourires

Dans la section précédente, nous sommes partis de l’hypothèse qu’il existait 3 types de sourires : le sourire d’amusement, de politesse et d’embarras. Dans cette section, notre objectif est d’explorer, via une analyse non-supervisée, les différents types de sourire pouvant se distinguer sans présupposer de l’existence *a priori* de trois types de sourire. Pour ce faire, nous avons utilisé un algorithme de type “nuées dynamiques” via le module NETSYR du logiciel SYR. Ce logiciel permet de faire l’ACP d’un tableau de données symboliques où les lignes représentent chaque classe et les colonnes sont les modalités des histogrammes. Autrement dit, le tableau de données symboliques est considéré comme un tableau de données numériques dont chaque case contient la fréquence d’une modalité d’une variable symbolique pour une classe donnée. On peut néanmoins projeter les variables symboliques dans le premier quadrant du cercle de corrélation par une méthode développée dans (Diday (2011)).

Nous avons étudié des partitions de 3 à 15 classes. Le choix du nombre de classes a été réalisé empiriquement en testant le partitionnement jusqu’à 20 classes. La courbe des inerties intra-classes des partitions est illustrée Figure 6. Les critères mathématiques permettant le

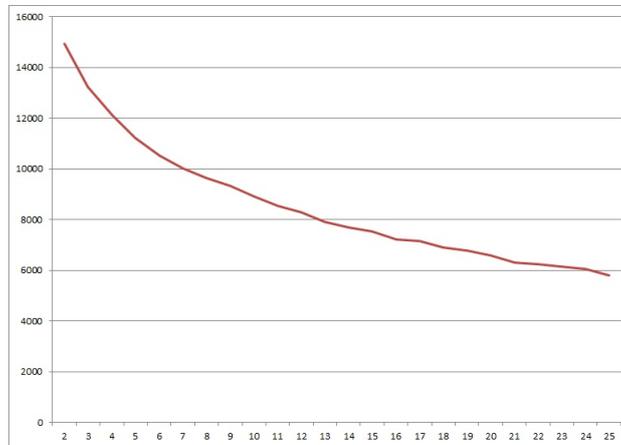


FIG. 6 – Courbe des inerties intra-classes pour les partitions de 2 à 25 classes

choix du nombre de classes (parmi différentes partitions réduisant l’inertie de façon efficace) sont nombreux. Ils ne correspondent pas nécessairement à la sémantique du domaine. De plus la solution fournie n’est pas toujours unique. En conséquence, le choix du meilleur critère mathématique est en fait souvent subjectif. Par contre, le choix de l’expert, ici 15 classes, est proche de la réalité du domaine qu’il connaît bien. Dans cette étude, la courbe des inerties des partitions obtenues selon leur nombre de classes (Figure 6) réconforte ce choix en faisant

apparaître un plateau relatif entre les partitions de 14 à 17 classes. Nous présentons dans les sections ci-dessous les résultats de ces partitions.

4.1 Typologie des sourires en trois classes

Pour réaliser l'analyse non-supervisée, nous avons considéré le tableau de données contenant l'ensemble des valeurs des variables des sourires (décrit Section 2.3), sauf la variable type de sourire, afin de ne pas présupposer l'existence *a priori* de trois types de sourire. Une première classification non supervisée en 3 classes permet d'analyser si effectivement les 3 classes de sourires définies *a priori* (amusement, politesse et embarras) existent pour les 7 variables obtenues. La partition obtenue est illustrée Figure 7³.



FIG. 7 – Classification en trois classes faite sur les 7 variables qui caractérisent le sourire décrites en 2.3

Cette typologie en trois classes fait clairement apparaître, selon le type de sourire (SMILE_TYPE), que la classe C3 est de type 1 (sourires d'amusement), la classe C2 de type 3 (sourire de politesse) et la classe C1 de type 2 (sourire d'embarras). La classe C3 est principalement composée de sourires d'amusement. Les classes C2 et C1 correspondent plus particulièrement à un mélange de sourire d'embarras et de politesse. Finalement, cette typologie à trois classes de la population ne correspond pas tout à fait à la typologie définie *a priori*. En effet, il n'apparaît pas de classes quasiment uniquement composées de sourires d'embarras ou de politesse. Ces sourires semblent se combiner faisant apparaître deux nouvelles classes correspondant à des mélanges de sourires d'embarras et de politesse avec une prédominance de l'un des deux types.

Le critère optimisé de cette classification est l'inertie. Alors que le taux d'inertie pour la partition à 3 classes induite par les 3 modalités de SMILE_TYPE (classification supervisée) est de 16 051, le taux d'inertie pour la partition à trois classes présentée ci-dessus est de 13 235. Cette classification non-supervisée a donc donné des classes nettement plus homogènes. En comparaison avec la figure 5, on peut remarquer que la variation (*i.e* l'inertie) entre les trois classes est beaucoup plus grande entre les classes issues du clustering (Figure 7) pour les variables SMILE_SYMETRIE, SMILE_SIZE, SMILE_AU6, plus grande pour MOUTH_OPEN, SMILE_ONOFFSET et sensiblement la même pour SMILE_DURATION.

3. Nous avons indiqué dans le tableau la variable type de sourire (bien qu'elle n'est pas été considéré dans l'analyse non-supervisée) pour mettre en évidence comment ces sourires se répartissent dans les classes générées par l'algorithme non-supervisé

4.2 Typologie des sourires en 3 à 15 classes

Pour affiner cette typologie des sourires, nous avons étudié des partitions de 3 à 15 classes. Afin de tenir compte de toutes les classes issues des partitions de 3 à 15 classes, nous avons effectué une ACP sur les prototypes associés aux classes de toutes les partitions de 3 à 15 classes, soit 117 classes. Les prototypes correspondent aux moyennes des histogrammes de la classe. Nous avons partitionné en 15 classes, elles-mêmes partitionnées en 5 classes. La figure 8 illustre la partition en 15 classes par la représentation des 15 prototypes qui leur sont associés et par une partition en 5 classes de ces 15 prototypes. Cette partition en 5 classes a été obtenue par le même algorithme de classification automatique (*i.e.* nuées dynamiques) que celui précédemment utilisé en considérant comme tableau de données les prototypes des 15 classes. Le choix des 5 classes a été retenu car il permet de représenter les combinaisons de sourires. Le cercle de corrélation de l'ACP relatif à cette représentation est présenté Figure 10 et 11. Cette analyse non-supervisée met en exergue des partitions avec une forte fréquence

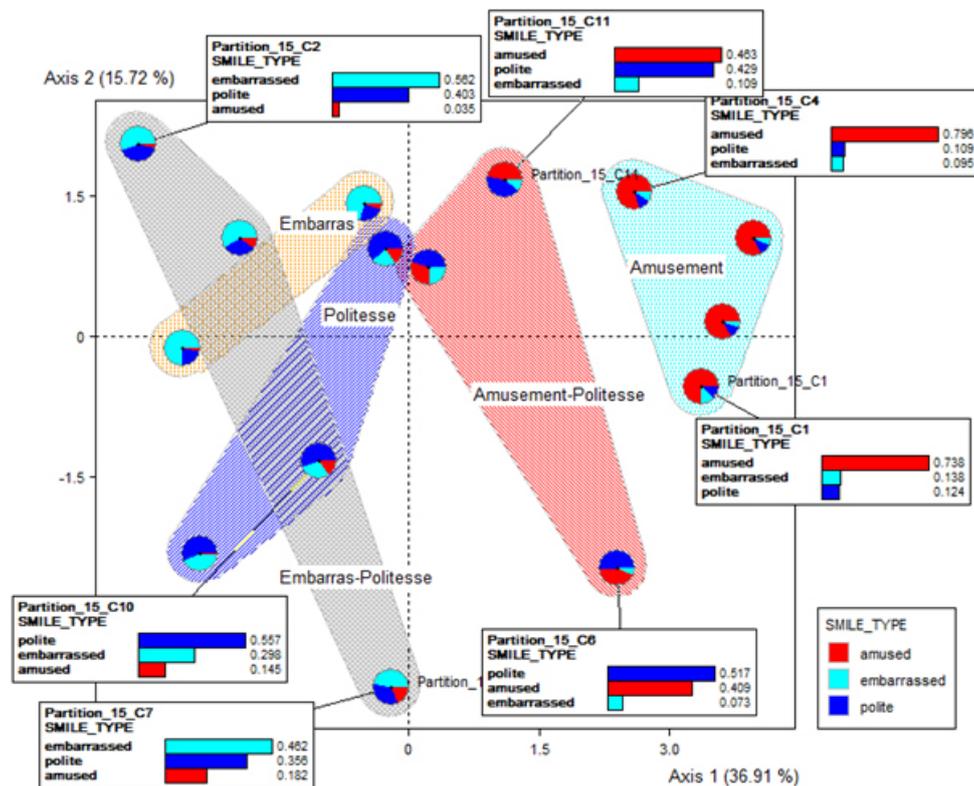


FIG. 8 – Typologie en 5 classes des 15 classes décrites par des fréquences uniquement fondées sur la variable "type de sourire" (sur les axes 1 et 2)

d'un des sourires prototypiques. Par exemple, la classe nommée "Amusement" (Figure 8) de la partition à 5 classes est principalement composée de sourires d'amusement. Suivant la matrice

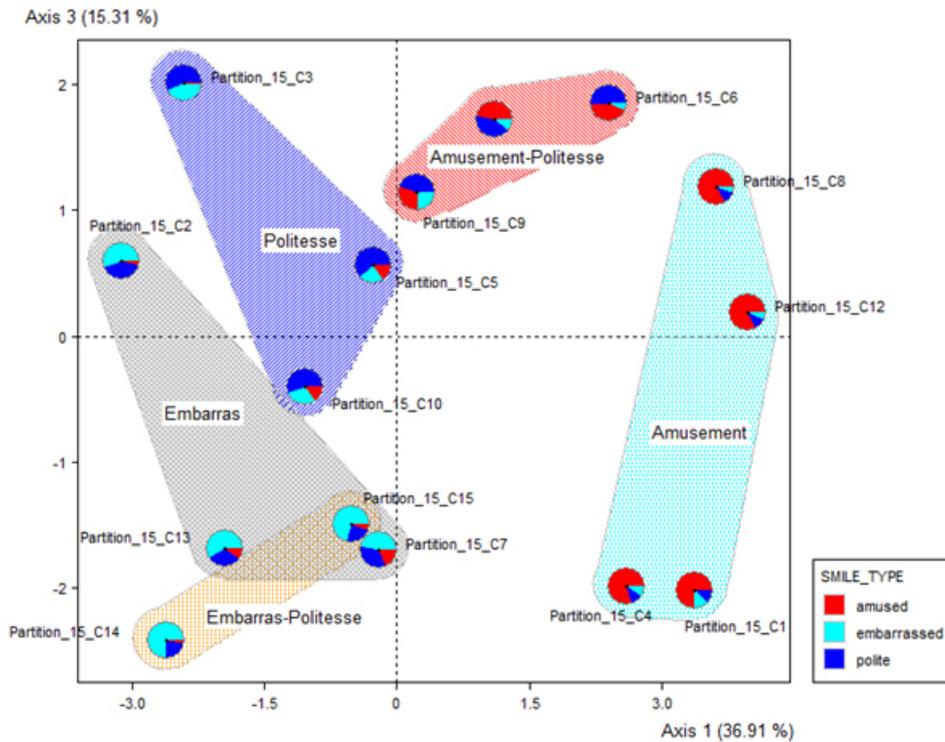


FIG. 9 – Typologie en 5 classes des 15 classes décrites par des fréquences uniquement fondées sur la variable “type de sourire” (sur les axes 1 et 3)

des histogrammes des individus des partitions qui composent cette classe, il apparaît que les caractéristiques des sourires de cette classe correspondent à celles identifiées dans la section 3.1 (l’absence de tension des lèvres, une durée longue, une grande taille, une ouverture de bouche et l’élévation des pommettes). La classe nommée “Embarras” (Figure 8) caractérise plus particulièrement les sourires d’embarras. On retrouve dans cette classe les caractéristiques des sourires d’embarras (petite taille, bouche fermée, asymétrie, tension des lèvres et absence d’élévation des sourcils). Concernant la politesse, bien que fortement mélangée aux sourires d’embarras, la classe nommée “Politesse” reste composée en majorité de sourires de politesse. Les sourires de cette classe ont des caractéristiques du sourire prototypique de politesse identifié section 3.1 (petite taille, fermeture de la bouche et une absence de tension des lèvres).

Les autres classes font apparaître différents types de *combinaisons de sourires*. Par exemple, dans la classe nommée “Embarras-Politesse”, les classes de la partition à 15 classes 15_C2 et 15_C10 caractérisent une combinaison de sourires de politesse et d’embarras. Leur séparation en deux classes distinctes (la classe 15_C2 et la classe 15_C10) reflète le fait que cette combinaison de sourires peut être exprimée de deux façons différentes. Les lèvres seront plus tendues et la durée sera plus longue dans la classe 15_C2 que dans la classe 15_C10. Ces distinctions entre ces deux classes caractérisent la prédominance de l’embarras dans la classe

15_C2 comparée à la classe 15_C10 dans laquelle la politesse prédomine. En d'autres termes, un personnage virtuel pourra exprimer des sourires correspondant à une combinaison de politesse et d'embarras et faire varier la tension de ses lèvres et la durée du sourire pour caractériser un sourire plus embarrassé ou plus poli. Un autre type de combinaison incluant à la fois le sourire de politesse et le sourire d'amusement apparaît à travers la classe nommée "Amusement-Politesse". Les classes de la partition à 15 classes contenu dans cette classe se distinguent par l'ouverture de la bouche, l'élévation des pommettes et la durée du sourire. La fréquence des sourires d'amusement et de politesse dans ces deux classes étant quasiment équivalente, il semble exister plusieurs expressions faciales distinctes permettant d'exprimer cette même combinaison d'amusement et de politesse. Finalement, il semble que le sourire de politesse se combine souvent avec un autre sourire dans les expressions créées par les utilisateurs. A l'inverse, le sourire d'embarras se combine très peu avec le sourire d'amusement. Ces résultats sont tout à fait cohérents avec le sens que transmettent ces sourires : l'embarras et l'amusement étant relativement antinomiques, ils se combinent rarement sur une même expression faciale.

4.3 Analyse des corrélations entre les variables symboliques

Les corrélations entre les variables symboliques ont été calculées à partir des formules décrites dans (Diday (2011)). Le cercle de corrélation des variables symboliques (Figure 10 et 11) permet de distinguer trois groupes de variables plus ou moins orthogonaux qui expriment la variation selon les trois premiers axes d'inertie. Ce sont d'abord les variables d'ouverture de la bouche (MOUTH_OPEN), de la taille du sourire (SMILE_SIZE) et dans une moindre mesure de la tension des lèvres (LIPS_TENSION) qui expriment le premier axe d'inertie. Le second axe exprime la variation des variables de durée du début et fin du sourire (SMILE_ONOFFSET) et de la durée totale du sourire (SMILE_DURATION) qui jouent donc un rôle orthogonal aux deux premières. Enfin, la variable de symétrie du sourire (SMILE_SYMETRIE) exprime fortement la variation selon l'axe 3 et joue donc un rôle orthogonal aux précédentes. La variable représentant l'élévation des pommettes (SMILE_AU6) demeure de faible importance. Ce cercle de corrélation permet de mettre en évidence des méta-paramètres pour la création des sourires de personnages virtuels. En effet, au lieu de manipuler les 7 variables précédemment définies, trois méta-paramètres pourraient être manipulés correspondant aux trois groupes de variables orthogonaux (i.e. trois axes factoriels). Le cercle de corrélation des modalités des variables fait apparaître clairement que le premier axe peut jouer le rôle d'une échelle de graduation du sourire depuis le plus amusé jusqu'au plus embarrassé. En effet, à droite, les modalités caractérisent le sourire amusé (grande taille, ouverture de la bouche, pas de tension des lèvres et l'élévation des pommettes) qui s'opposent aux modalités contraires à gauche (petite taille, fermeture de la bouche, tension des lèvres, non-élévation des pommettes). Cela explique que dans le plan de représentation des classes (Figure 8), les classes de sourires d'amusement à droite s'opposent aux classes de sourires d'embarras à gauche, les sourires de politesse se trouvant plutôt au centre. Ces sourires de politesse se mélangent à gauche avec ceux d'embarras et à droite avec ceux d'amusement. Ce cercle de corrélation des modalités des variables fait apparaître la possibilité de mettre en oeuvre un outil simple permettant de définir automatiquement des sourires de différents types en manipulant un curseur sur une échelle allant de embarrassé à gauche à amusé à droite en passant par poli au centre.

En conclusion de cette analyse exploratoire des types de sourires existants, on peut distinguer 5 types de sourires correspondant à des sourires d'amusement, d'embarras, de politesse ou

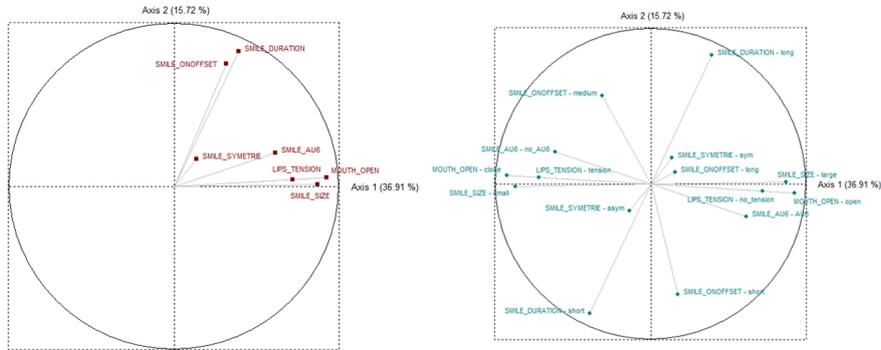


FIG. 10 – Cercle de corrélation des variables symboliques (à gauche) et des modalités des variables (à droite) : Axe 1 et 2

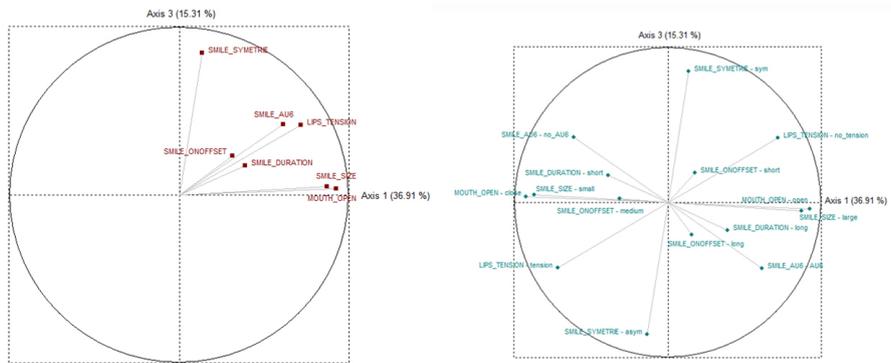


FIG. 11 – Cercle de corrélation des variables symboliques (à gauche) et des modalités des variables (à droite) : Axe 1 et 3

des combinaisons d’embarras et de politesse (avec une prédominance de politesse ou d’embarras) ou d’amusement et de politesse. La classification en 5 classes des 15 classes uniquement sur la variable type de sourire fait bien apparaître sur le premier plan factoriel ces 5 classes (Figure 8).

5 Analyse supervisée par un arbre de décision discriminant à partir des données symboliques associées aux 15 classes

Afin de déterminer des règles permettant de sélectionner les caractéristiques des sourires d’amusement, de politesse, d’embarras ou de leur combinaison, nous avons généré un arbre à partir de données symboliques associées aux 15 classes décrites ci-dessus. L’arbre (Figure 12) est construit sur les 15 classes de la meilleure partition issue de 20 tirages. Les variables explicatives sont les 7 variables retenues et la variable à expliquer est le type de sourire. L’arbre

Analyse symbolique de sourires de personnages virtuels

a été généré en utilisant le logiciel SYROKKO⁴. Le critère utilisé pour la construction de l'arbre est un critère d'inertie. Le critère à minimiser exprime la somme des distances deux à deux des valeurs prises par la variable classe pour chaque classe de la coupure.

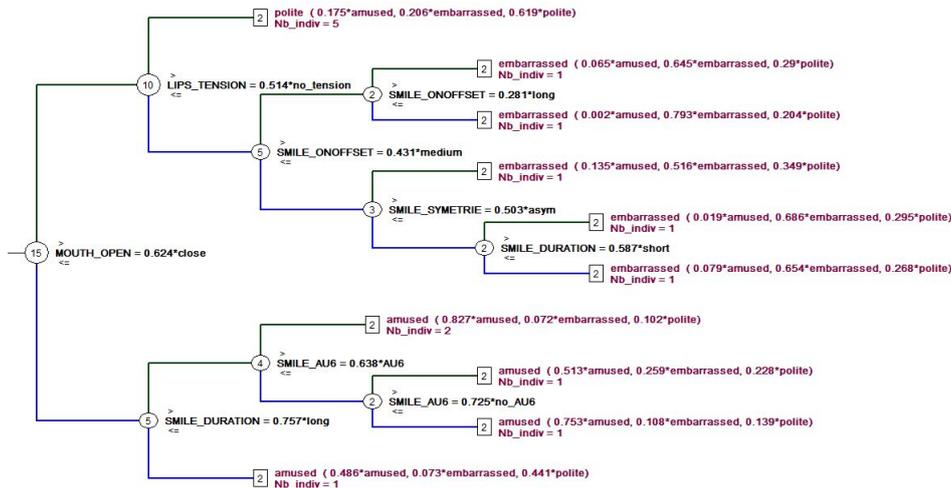


FIG. 12 – Arbre de description discriminant à partir des données symboliques associées aux 15 classes

L'arbre résultant est composé de 10 nœuds terminaux. En d'autres termes, 10 des 15 classes sont identifiables. Le premier nœud de l'arbre correspond bien à la variable identifiée comme ayant un fort pouvoir discriminant (Section 3.2) : l'ouverture de la bouche (MOUTH_OPEN). Chaque nœud terminal est une partie des 15 classes considérées puisque l'arbre segmente ces 15 classes. La variable *nb_individu* correspond au nombre de classes contenu dans ce nœud. Par exemple, $nb_individu = 3$ signifie que ce nœud contient 3 classes parmi les 15 de départ. La probabilité d'obtenir chaque type de sourire est indiquée entre parenthèses sur chaque nœud. Par exemple, $0.001 * amused$ signifie que la probabilité d'avoir le sourire de type amusement est de 0.001. Certains nœuds ont donc une plus forte probabilité de correspondre à des sourires de politesse (e.g. 1^{er} nœud terminal), d'embarras (e.g. 3^{eme} nœud terminal) ou d'amusement (e.g. 7^{eme} nœud terminal). Ainsi, les nœuds correspondant à des sourires d'amusement se distinguent des autres classes par une ouverture de la bouche. On retrouve cette caractéristique dans les sourires prototypiques d'amusement identifiés en 3.1. Il en est de même des nœuds à prédominance de sourires de politesse ou d'embarras. De plus, les multiples feuilles pour un même type de sourire traduisent le fait qu'un sourire d'un certain type peut être exprimé à travers différentes expressions faciales. Cela confirme l'hypothèse que pour chaque type de sourire, il existe plusieurs façons de l'exprimer (Section 2.1). Cette variabilité des sourires des personnages virtuels reflète la variabilité des sourires humains : nous ne sourions pas toujours de la même façon dans une même situation. Simuler la variabilité des sourires dans un personnage virtuel devrait permettre d'améliorer la crédibilité du personnage virtuel perçu par l'utilisateur et ainsi augmenter son engagement. Cet arbre peut être utilisé

4. Ce logiciel est fourni par SYROKKO company.

pour déterminer les caractéristiques morphologiques et dynamiques d'une expression faciale d'un personnage virtuel étant donné le type de sourire cible.

6 Conclusion

La plupart des personnages virtuels existants expriment un ou au plus deux sourires différents durant une interaction avec un utilisateur (Tanguy (2006); Poggi et Pelachaud (2000)). La méthode généralement utilisée pour identifier les caractéristiques de ces sourires repose sur une analyse des sourires des individus à partir des travaux en Sciences Humaines et Sociales sur ce sujet (Albrecht et al. (2005); Bui (2004)). Parce que ces mêmes travaux n'apportent pas de consensus sur les caractéristiques morphologiques et dynamiques des sourires, nous avons proposé de collecter une base de données de sourires de personnage virtuel directement créés par des utilisateurs. Cette base de données a été explorée par une analyse symbolique descriptive, supervisée et non-supervisée. Cette exploration des données a permis de mettre en évidence (1) les caractéristiques morphologiques et dynamiques des expressions faciales de personnage virtuel pour trois types de sourire (politesse, amusement et embarras), (2) les différentes expressions faciales caractérisant chaque type de sourire et permettant ainsi une grande variabilité expressive du personnage virtuel et (3) les expressions faciales pouvant être associées à des combinaisons de plusieurs types de sourire.

Cette analyse soulève de nombreuses questions. Le protocole utilisé pour collecter les données a restreint l'étude à un personnage virtuel féminin et à des utilisateurs de nationalité principalement française. On peut se demander si les résultats de l'analyse peuvent s'étendre à un personnage virtuel masculin et à d'autres nationalités.

Il n'apparaît pas un nombre de classes particulier à partir du critère d'inertie car il décroît régulièrement sauf un petit palier autour de 10 classes. D'autres critères pourraient être utilisés comme par exemple le nombre ou le taux de classes pures de la variable type de sourires.

Remerciements

Cette recherche a été financée par le réseau d'excellence de recherche européenne *Social Signal Processing Network* (NoE SSPNet).

Références

- Albrecht, I., M. Schroder, J. Haber, et H. Seidel (2005). Mixed feelings : expression of non-basic emotions in a muscle-based talking head. *Special issue of Journal of Virtual Reality on Language, Speech and Gesture* 8(4), 201–212.
- Ambadar, Z., J. F. Cohn, et L. I. Reed (2009). All Smiles are Not Created Equal : Morphology and Timing of Smiles Perceived as Amused, Polite, and Embarrassed/Nervous. *Journal of Nonverbal Behavior* 17-34, 238–252.
- Bui, T. D. (2004). *Emotions And Facial Expressions For Embodied Agents*. Ph. D. thesis, University of Twente, Department of Computer Science.

- Cassell, J. (2000). More than just another pretty face : Embodied conversational interface agents. *Communications of the ACM* 43, 70–78.
- Cohen, H. et C. Lefebvre (2005). *Handbook of Categorization in Cognitive Science, 1st Edition*. Elsevier.
- Diday, E. (2005). Categorization in Symbolic Data Analysis. In H. Cohen et C. Lefebvre (Eds.), *Handbook of categorization in cognitive science*, pp. 845–867. Elsevier.
- Diday, E. (2011). Principal Component Analysis for Categorical Histogram Data : Some Open Directions of Research. In B. Fichet, D. Piccolo, R. Verde, et M. Vichi (Eds.), *Classification and Multivariate Analysis for Complex Data Structures*, pp. 3–15. Springer Berlin Heidelberg.
- Diday, E. et L. Billard (2006). Symbolic Data Analysis : Conceptual statistics and data Mining. In E. Diday et L. Billard (Eds.), *Symbolic Data Analysis*, Wiley Series in Computational Statistics, pp. 1–321. Wiley Interscience.
- Duchenne, G. (1990). *The Mechanism of Human Facial Expression*. Cambridge University Press.
- Ekman, P. (2003). Darwin, deception, and facial expression. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1000, 205–221.
- Ekman, P. et W. V. Friesen (1982). Felt, False, And Miserable Smiles. *Journal of Nonverbal Behavior* 6, 238–252.
- Ekman, P., W. V. Friesen, et J. C. Hager (2002). *The facial action coding system*. Weidenfeld and Nicolson.
- Frank, M. G., P. Ekman, et W. V. Friesen (1993). Behavioral markers and recognizability of the smile of enjoyment. *Journal of Personality and Social Psychology* 64, 83–93.
- Harrigan, J. et D. O’Connell (1996). How do you look when feeling anxious ? Facial displays of anxiety. *Personality and Individual Differences* 21, 205–212.
- Hess, U. et R. E. Kleck (1990). Differentiating emotion elicited and deliberate emotional facial expressions. *European J. of Social Psychology* 20(5), 369–385.
- Keltner, D. (1995). Signs of appeasement : Evidence for the distinct displays of embarrassment, amusement, and shame. *Journal of Personality and Social Psychology* 68(3), 441–454.
- Krumhuber, E. et A. Manstead (2009). Can Duchenne smiles be feigned ? New evidence on felt and false smiles. *Emotion* 9(6), 807–820.
- Krumhuber, E., A. Manstead, D. Cosker, D. Marshall, et P. Rosin (2008). Effects of Dynamic Attributes of Smiles in Human and Synthetic Faces : A Simulated Job Interview Setting. *Journal of Nonverbal Behavior* 33, 1–15.
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology* 22(140), 1–55.
- Noirhomme-Fraiture, M. et E. Diday (2008). *Symbolic Data Analysis and the SODAS Software*. Wiley Interscience.
- Noirhomme-Fraiture, M. et M. Rouard (2000). Visualizing and Editing Symbolic Objects. In H. Bock et E. Diday (Eds.), *Analysis of Symbolic Data*, pp. 125–138. Springer Berlin Heidelberg.

- Poggi, I. et C. Pelachaud (2000). Emotional meaning and expression in animated faces. In A. Paiva (Ed.), *Affective Interactions*, Volume 1814 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 182–195. Springer Berlin / Heidelberg.
- Reeves, B. et C. Nass (1996). *The media equation : how people treat computers, television, and new media like real people and places*. Cambridge University Press.
- Tanguy, E. (2006). *Emotions : the art of communication applied to virtual actors*. Ph. D. thesis, Department of Computer Science, University of Bath, England.
- Theonas, G., D. Hobbs, et D. Rigas (2008). Employing Virtual Lecturers' Facial Expressions in Virtual Educational Environments. *International Journal of Virtual Reality* 7, 31–44.

Summary

In order to create smiling virtual characters, we have collected a database of virtual character's smiles directly created by users. This database has been explored using symbolic descriptive and supervised analysis to identify the morphological and dynamic characteristics of the amused, polite and embarrassed smiles. A non-supervised analysis has enabled us to identify others types of smiles corresponding to particular combinations.

