



Modélisation de la prise de décision d'un agent conversationnel animé en fonction de son attitude sociale

Florian Pecune

► To cite this version:

Florian Pecune. Modélisation de la prise de décision d'un agent conversationnel animé en fonction de son attitude sociale. Intelligence artificielle [cs.AI]. Télécom ParisTech, 2016. Français. NNT : 2016ENST0054 . tel-03752348

HAL Id: tel-03752348

<https://pastel.hal.science/tel-03752348>

Submitted on 16 Aug 2022

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

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



EDITE - ED 130

Doctorat ParisTech

THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

TELECOM ParisTech

Spécialité « Traitement du Signal et des Images »

présentée et soutenue publiquement par

Florian PECUNE

le 29 septembre 2016

Modélisation de la prise de décision d'un agent conversationnel animé en fonction de son attitude sociale

Directeur de thèse : **Catherine PELACHAUD**
Co-encadrement de la thèse : **Magalie OCHS**

Jury

Mme Justine Cassell, Professeur, ArticuLab, Université Carnegie Mellon

M. Pierre De Loor, Professeur, LabSTICC, ENIB

M. Jean-Louis Dessalles, Maître de conférences, CNRS-LTCI, Télécom-Paristech

M. Emiliano Lorini, Chargé de recherche, IRIT, Université Toulouse 3 Paul Sabatier

M. Nicolas Sabouret, Professeur, LIMSI-CNRS, Université Paris Sud

TELECOM ParisTech

école de l'Institut Mines-Télécom - membre de ParisTech

46 rue Barrault 75013 Paris - (+33) 1 45 81 77 77 - www.telecom-paristech.fr

Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur

T
H
È
S
E

Remerciements

Il risque d'être difficile de retranscrire au travers de ces quelques lignes tout ce que j'ai pu vivre et ressentir au cours de ma thèse. Mon expérience ressemble probablement à celle de millions d'autres avant moi, faite de découvertes extraordinaires, de lectures passionnantes, de voyages inoubliables mais surtout de grands moments de rigolade. Ce serait cependant mentir de ne pas évoquer les quelques moments de frustration, de déception et d'incompréhension que bon nombre de thésards ont probablement déjà dû ressentir également. Ces moments de doute où l'on se demande si l'on pourra un jour être à la hauteur de nos illustres prédécesseurs dont les noms fourmillent dans notre bibliographie. Ces doutes ne s'effacent pas une fois le diplôme en poche et ne s'effaceront probablement jamais tant le chemin est encore long à parcourir. Mais de mes années à Paris, je retiens avant tout une aventure humaine incroyable, ponctuée de rencontres qui le sont tout autant. J'ai eu la chance insigne de côtoyer des personnes formidables qui ont chacune à leur manière contribué à rendre mon expérience extrêmement enrichissante, aussi bien sur le plan professionnel que personnel. La moindre des choses est donc de leur rendre justice en leur réservant ces quelques mots.

J'ai eu l'immense privilège d'être jugé par des chercheurs pour lesquels j'ai beaucoup d'estime, et dont la bienveillance n'a d'égal que leur talent pour la recherche. En premier lieu, je voudrais donc remercier chaleureusement Mme Justine Cassell et M. Pierre De Loor pour avoir cru en mes travaux et pour avoir accepté de relire cette thèse. Merci à vous pour vos retours détaillés et votre analyse critique qui m'ont permis de comprendre que l'écriture du présent document n'était pas une finalité en soi, mais bien le début d'une aventure plus passionnante encore. Merci également à M. Jean-Louis Dessalles, M. Emiliano Lorini et M. Nicolas Sabouret pour l'ensemble de vos retours et de vos questions qui m'auront forcé à reconsidérer mes travaux sous un autre angle. Merci à vous tous d'avoir constitué mon jury de thèse et d'avoir fait en sorte, par votre gentillesse et votre bonne humeur, que ma soutenance reste et restera pour moi un extraordinaire souvenir.

L'intégralité des pages qui constituent ce manuscrit n'aurait bien évidemment jamais pu voir le jour sans l'aide et le soutien permanent de mes deux directrices de

thèse Catherine Pelachaud et Magalie Ochs. Merci infiniment à vous deux pour toute la confiance que vous m'avez accordée depuis le début, alors même que je n'étais qu'un simple stagiaire arrivé les mains dans les poches. Merci encore pour votre patience, pour votre indulgence et pour m'avoir toujours mis dans les meilleures conditions possibles du début à la fin. Merci pour vos innombrables conseils qui m'ont permis de ne jamais me perdre dans les limbes de la recherche. Merci à vous d'avoir toujours fait l'effort de comprendre ce qui n'allait pas, d'avoir toujours été disponibles quand j'en avais besoin, d'avoir toujours trouvé le temps de répondre à mes incessantes questions et de m'avoir proposé des alternatives et des solutions quand j'étais perdu. Merci de m'avoir constamment fait regarder vers le haut alors qu'il aurait parfois été plus tentant de simplement fermer les yeux.

Cette thèse ne serait évidemment pas non plus ce qu'elle est sans la fabuleuse Greta Team dont l'inaltérable bonne humeur m'aura accompagné des années durant. Des pauses cafés rue Dareau au déménagement à l'ISIR, en passant par la file d'attente du FIAP et le court de tennis de Barrault, vous n'aurez jamais cessé de me faire marrer comme un tordu.

A ce petit groupe d'irréductibles thésards avec qui j'ai partagé la majeure partie de mon aventure : Brian, mon binôme de thèse, arrivé en même temps que moi dans ce fameux bureau DB304 (le bureau des vrais, comme chacun sait) et sans qui ma thèse ne se serait probablement pas déroulée de la même manière. Merci (ou pas) à toi pour Jack Reacher, Expandables 2, EscapePlan, les remix dubsteps de 10h, Chiddy Bang, Fifa Street, les bols de prot' et bien d'autres choses encore. Merci pour les voyages (Dubrovnik avec mamie Jelle, Lisbonne et New York avec La Cholle et Porto avec Lucile) et surtout pour les innombrables fous rires sur tout et n'importe quoi. Surtout sur n'importe quoi... Mathieu, l'homme aux 1000 surnoms, avec qui j'ai partagé bon nombre de soirées (nanards, LAN, tacos et Cie) durant mon séjour. Merci de m'avoir permis de squatter ton matelas gonflable KingSize pour IVA, et de nous avoir montré les *places to be* de L.A. (nous n'en attendions pas moins de toi !). Nesrine, la quatrième mousquetaire, pour ton éternelle bonne humeur et ta capacité à t'émerveiller d'un rien (encore plus en voyant un X-Men tout nu). Bon courage à toi pour l'épreuve du bébé qui demandera au moins autant de courage que celle de la thèse !

A nos glorieux anciens qui étaient déjà là quand je suis arrivé mais que j'ai vu s'envoler vers d'autres cieux avant que je ne fasse de même : Ken (merci la Prep' pour ta vision de la recherche, ton intégrité et ta philosophie en général), Pierre

Philippe (merci d'avoir partagé avec moi ta passion de l'Intelligence Artificielle et des voyages, merci de ne pas m'avoir partagé ta passion des "films" Daredevil et Catwoman ;), Radek (grâce à qui tout à commencé, l'air de rien), Le Quoc-Anh (le seul et l'unique), papa Jing (incroyable...), ce sacré Ding Yu (HA !) et Sylwya (que je n'ai pas vraiment eu le temps de connaître).

A ceux que j'ai vu arriver, puis repartir : Debo (parti à CMU avant moi), Abishek (et son envoutante danse du gobelet), Van Hanh (Van Hallen N'Guyen pour les intimes), Nadine (Rrrrrrrrrlasch), Herwin (à qui nous aurons quand même eu le temps d'infliger quelques mauvais films), Sabrina (tu reprendras bien une Texas Balls ?), Clémence (partie trop tôt rejoindre le côté obscur), Amyr Borges Fortes Neto (et son nom bien trop classieux), David (Top Kek), Ali (OKLM), Floriane (avec qui j'ai partagé le goût des coupes de cheveux peu académiques) et notre joyeuse bande de stagiaires, Pierre Chauvin, Jessica, Ling, Hector, Lucas, Rachel et Nick.

A ceux que j'ai vu arriver et qui restent, tels des vainqueurs de Question pour un Champion : Caroline (merci d'avoir un esprit au moins aussi mal tourné que le mien), Kevin (merci pour Ratatat et Hanafuda, "merci" aussi pour Cinéman), Thomas (ami personnel de Barack Obama), Irina (amie personnelle de Vladimir Poutine), Valentin (promis, on se fera un tennis un jour!), Soumia (cuisinière/pâtissière hors pair), Brice (fervent défenseur d'Apple et des suppléments merguez), Atef (et son robot Pepper), Varun (le petit dernier de la famille Greta), Chloé (à ne pas confondre avec Céline), Beatrice (qui doit désormais détester l'hymne à la joie, les mouches, les indiens et les ronds avec les doigts) et Angelo (digne successeur de la Prep', merci pour ton intégrité, pour m'avoir partagé ton expérience et pour ton éternelle bonne humeur) A celui qui était là bien avant que je n'arrive, et sera probablement encore là jusqu'à la nuit des temps, j'ai nommé André-Marie (Pezipez). Sachez que derrière chaque ligne de code de Greta (voire du monde !) se cache un André-Marie, prêt à surgir pour tout déboguer proprement.

J'ai par ailleurs eu l'occasion durant ma thèse de collaborer avec différentes équipes et de travailler avec des chercheurs provenant d'horizons divers et variés. Merci tout d'abord à ceux qui ont partagé avec moi l'aventure du projet MoCA à travers l'hexagone et m'ont donc accompagné tout du long : Caroline, Wafa et Matthieu chez les "juniors", Jean-Claude, Céline (à ne pas confondre avec Chloé), Sylvie et Dominique chez les "séniors". De l'autre côté de la Manche, merci à Marc Cavazza, Fred Charles et Gabor Aranyi pour leur incroyable professionnalisme et pour m'avoir embarqué durant quelques mois avec eux dans un fascinant projet. De

l'autre côté des Alpes, merci à Maurizio Mancini de m'avoir permis de travailler sur un projet dont Beatrice et moi nous souviendrons probablement encore dans longtemps.

J'ai également eu la chance (merci encore Catherine) de traverser l'Atlantique pour pouvoir apprendre au côté d'une personne que j'admire énormément, tant professionnellement que humainement. S'il n'est pas officiellement considéré comme l'un de mes encadrants, Stacy Marsella a pour autant contribué pour beaucoup à l'aboutissement de cette thèse. J'aimerais donc le remercier non seulement pour la qualité de ses conseils et pour la quantité de savoir dispensée, mais aussi pour tous ces moments passés à discuter de tout et de rien autour d'un café/whisky/cigare/burger/feu d'artifice du premier de l'an qui n'est jamais venu. De Boston, un gros merci également à Margot et sa compagne Emilie pour leur accueil plus que chaleureux lors de mon arrivée au pays de l'oncle Sam. Vous m'avez fait me sentir là bas comme chez moi, et ces moments partagés avec vous m'auront fait oublier les kilomètres qui me séparaient alors de ma maison. Merci aux autres étudiants du Cesar Lab, Yuyu, Dan, Sophie et Will avec qui j'ai partagé ce bureau de Northeastern dont la température intérieure frôlait parfois le zéro absolu (sans exagérer bien entendu).

Côté enseignement, merci à Jean-Claude Dufourd et Eric Lecolinet d'avoir accepté de me confier quelques étudiants (les pauvres) pour que je leur transmette les rudiments de la programmation, même si la majorité d'entre eux en connaissait déjà bien plus que moi. Côté administration, merci à Laurence Zelmar, Janique Regis et Florence Besnard pour leur efficacité et pour avoir su rendre mes démarches administratives bien plus simples que ce qu'elles auraient pu être.

Cette thèse n'est finalement que la suite plus ou moins logique d'une aventure qui a débuté il y a quelques années déjà et dont chaque étape me conduit toujours un peu plus au nord de mon petit village natal. Merci donc à tous les autres élèves que j'ai eu le plaisir de côtoyer dans la joie et la bonne humeur sur les bancs de la fac. En remontant dans le temps (et donc en descendant dans les latitudes), merci à mes collègues Johana, Benoit, Sabrina, Christophe et Gihane de Paris 8. Une mention spéciale à Ludivine à qui je souhaite le meilleur pour la suite. Merci aux ERE d'Orsay, en particulier Florian (mon homonyme maléfique du Cantal, merci pour ces parties de FM à rallonge au Résid'Home de Bures-sur-Yvettes), Stéphane, Thomas et Loïc, aux TSRIT de Toulouse, Elie, Michel, Alain, Julien, Loïc, Wilfried et aux blagnacais Damien, J-C et Baptiste.

Merci aussi à tous les enseignants ou encadrants que j'ai croisé durant ma scolarité. Un immense merci à Jean-Marc Mauborgne et Patrick Harmel, Good cop / Bad cop, qui m'auront redonné le goût d'apprendre. Merci particulièrement à Patrick pour sa pédagogie peu orthodoxe qui aura été à 100% efficace avec moi. Merci à Jérôme Préfot, Antoine Delaunay et Paulo Braga (et à toute la team Volcom d'Anglet) pour m'avoir permis de travailler en short et en tong dans une ambiance ultra cool et pour les matchs de foot dantesques IT/Compta Vs Market'. Merci à Antoine Alvarez de la mission locale de Tarbes pour m'avoir grandement aidé à me remettre en selle alors que j'avais la motivation d'un bulot et pour m'avoir donné cette seconde chance que je vais tout faire pour ne pas gaspiller.

Il serait évidemment indécent de ne pas parler de ceux qui sont toujours là depuis ces si longues années. Merci donc à tous mes amis du sud-ouest qui partagent avec moi ce délicieux accent qui fleure bon le soleil, Guillaume, Sébastien, Romain, Christophe, Sylvain, le grand Julien et le petit aussi.

Je finirai enfin cette litanie de remerciements par des personnes que les mots seuls ne permettent pas de remercier à leur juste valeur. Merci à ma grande famille (et aux familles Callebert et Fourleignie) pour leur présence et leur soutien durant tout ce temps. Merci à mes grands-mères Jacqueline et Annie de croire aussi fort en moi depuis le début. Merci à mes grands-pères Georges et Henri à qui j'aurais tant aimé montrer mon si beau chapeau de diplômé... Merci à mes parents Pascal et Gisèle pour absolument tout. Merci à Lucile pour le chemin déjà parcouru ensemble, et pour celui qu'il reste à parcourir.



Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Les agents relationnels	2
1.2	Contexte de la thèse et problématiques de recherches	5
1.3	Méthodologie et contributions	8
1.4	Organisation du document	10
2	Fondements Théoriques	13
2.1	Définition, représentation et expression d'une attitude sociale	14
2.2	Initialisation et évolution de l'attitude sociale	21
2.3	Les attitudes sociales dans un contexte d'apprentissage	29
2.4	Conclusion	34
3	État de l'art	37
3.1	Modèles computationnels d'attitudes sociales	38
3.2	Lien entre attitude sociale et prise de décision	45
3.3	Expression d'attitudes sociales au travers du comportement non-verbal	54
3.4	Conclusion	62
4	Modélisation computationnelle de l'attitude sociale d'un agent conversationnel animé	65
4.1	Définition du cadre formel	66
4.2	Formalisation de l'attitude sociale exprimée par un agent	68

4.3	Dynamique de l'attitude sociale actuelle d'un agent	72
4.4	Modèle de prise de décision sociale	83
4.5	Implémentation du modèle	86
4.6	Conclusion	93
5	Evaluation	97
5.1	Définition du scénario	98
5.2	Simulation 1: De l'importance des émotions	103
5.3	Simulation 2: De l'importance de la gestion de l'impression	107
5.4	Simulation 3: De l'importance de l'horizon	111
5.5	Synthèse des scénarios	114
5.6	Protocole expérimental	116
5.7	Analyse des résultats et discussion	123
5.8	Conclusion	128
6	Imitation et alignement du comportement non-verbal	131
6.1	Génération de comportement non-verbal influencé par un utilisateur .	132
6.2	Expérience 1 : Un agent capable d'adapter son niveau d'engagement .	134
6.3	Expérience 2 : Un agent capable d'adapter son comportement non-verbal de rire	144
6.4	Conclusion	153
7	Conclusion	157
7.1	Résumé des contributions	157
7.2	Limites	161

7.3 Perspectives et travaux futurs	164
A Documents de l'évaluation du tuteur virtuel	169
A.1 Lexique utilisé lors de l'expérience	169
A.2 Captures d'écran issues de l'évaluation en ligne	171
A.3 Résultats de l'évaluation en ligne	174
B Publications	179



Liste des Figures

1.1	Quelques exemples d'agents conversationnels.	3
1.2	Illustration du projet MoCA.	6
2.1	Différentes représentations d'une attitude sociale sur le circomplexe interpersonnel.	18
2.2	Exemple de situations consistantes et inconsistantes.	25
2.3	Différents cas de complémentarité interpersonnelle.	29
2.4	Circomplexe interpersonnel dédié aux styles des enseignants lors d'interactions avec des élèves.	31
2.5	Annotation des valeurs d'affiliation et de statut au cours d'une inter- action entre un enseignant et ses élèves.	33
3.1	Outil de configuration de scénario pour Avatar Arena.	43
3.2	Différentes étapes du modèle d'expression d'attitudes sociales de Calle- jas.	47
3.3	Modèle conceptuel de l'agent Rea.	50
3.4	Machine à état permettant la gestion des tours de parole du modèle de Ravenet.	56
3.5	Configuration de l'expérience sur la première impression menée par Cafaro.	59
3.6	Capture d'écran de deux personnages du projet Gunslinger.	61
4.1	Emotions du modèle OCC.	74

LISTE DES FIGURES

4.2	Synthèse de notre modélisation de la dynamique des attitudes sociales.	82
4.3	Arbre de décision PsychSim	90
4.4	Implémentation de notre modèle d'attitudes sociales dans PsychSim. .	93
5.1	Différents modèles de l'étudiant utilisés dans notre scénario.	102
5.2	Architecture utilisée pour la réalisation de nos simulations.	103
5.3	Comparaisons des différentes séquences d'actions générées par nos trois simulations.	114
5.4	Comparaisons des niveaux d'affiliation exprimés par <i>Bob</i> et <i>Alice</i> au cours de l'interaction dans les trois simulations présentées.	115
5.5	Vue d'ensemble de l'architecture utilisée pour notre étude perceptive.	117
5.6	Capture d'écran d'une des vidéos utilisée comme stimulus dans notre étude.	118
5.7	Valeurs moyennes de statut et d'affiliation calculées par notre modèle.	119
5.8	Comparaison des valeurs d'attitudes moyennes calculées par notre modèle avec les valeurs d'attitudes perçues par les participants. . . .	126
6.1	Fonctionnement général de l'outil permettant de manipuler en temps réel le comportement non verbal de notre agent.	133
6.2	Architecture de notre agent pour l'expérience sur les expressions fa- ciales.	135
6.3	Protocole expérimental pour l'expérience sur les expressions faciales. .	136
6.4	Progression du comportement non-verbal de l'agent en fonction de son niveau d'engagement.	137
6.5	Liste des unités d'actions utilisées dans notre expérience sur les ex- pressions faciales.	138

LISTE DES FIGURES

6.6	Différents comportements de l'agent déclenchés si l'agent perçoit un faible engagement de l'utilisateur.	139
6.7	Graphe liant le niveau d'engagement de l'utilisateur au comportement non-verbal adopté par l'agent en retour.	140
6.8	Engagement moyen des huit comportements non-verbaux tel que perçu par les participants.	142
6.9	Exemple de bloc réussi dans notre expérience sur les expressions faciales.	144
6.10	Conditions expérimentales définies pour l'expérience sur le rire. . . .	146
6.11	Déroulement de l'expérience sur le rire.	147
6.12	Architecture de notre agent capable d'imiter le comportement de rire de l'utilisateur.	147
6.13	Architecture de notre agent capable d'imiter le comportement de rire de l'utilisateur.	148
A.1	Questionnaire démographique présenté au début de l'évaluation. . . .	171
A.2	Vidéo et questionnaire présentés aux participants.	172
A.3	Page de débriefing présentée à la fin de l'évaluation.	173
A.4	Statistiques descriptives.	174
A.5	Effet principal de la variable inter-sujets.	175
A.6	Effet principal de la variable intra-sujets.	176
A.7	Interaction entre les variables.	177

Liste des Tables

4.1	Buts sociaux d'un agent en fonction de ses niveaux d'affiliation et de statut exprimés.	92
5.1	Conditions expérimentales de notre expérience	121
5.2	Résultats ANOVA.	124
5.3	Résultats posthocs	125



Introduction

"Et si la seule différence significative entre une simulation intelligente et un être humain était le bruit que chacun fait lorsqu'on le frappe..."

Terry Pratchett
La Longue Terre

Les machines occupent une place de plus en plus importante dans notre vie quotidienne et nous sommes de plus en plus à l'aise à l'idée d'interagir avec elles [Turkle, 2010]. Il est donc nécessaire d'adapter les interfaces afin de rendre les interactions entre humains et machines les plus naturelles possibles. C'est dans cette optique que les Agents Conversationnels Animés (ACAs) ont été développés [Cassell, 2000]. En effet, les ACAs sont des interfaces représentant des personnages virtuels capables de reproduire les différentes modalités de la communication humaine telles que la parole, les gestes, les expressions faciales ou le regard. On retrouve de tels agents dans de nombreuses applications. Des ACAs sont par exemple utilisés sur des sites internet commerciaux pour répondre aux questions des clients, à l'instar d'Ines¹ de Nespresso, Yoko² de Toshiba ou encore Thomas³ de Natixis présentés en figure 1.2. Différents musées ont également intégré des ACAs à taille réelle afin de guider, d'orienter et de conseiller les visiteurs. C'est le cas du Heinz Nixdorf Museums Forum qui héberge Max, un agent à taille réelle capable d'interagir avec les utilisateurs [Kopp et al., 2005]. Plus récemment, le musée des sciences de Boston a lui aussi tenté l'expérience, en espérant attirer l'attention des visiteurs sur le monde scientifique : si Tinker se souvient des visiteurs qu'il a déjà rencontrés et les guide vers de nouvelles découvertes [Swartout et al., 2010], les jumelles Ada et Grace sont là pour dispenser leurs connaissances scientifiques à un plus large public

1. <https://www.nespresso.com/fr/fr/service-customer-care>

2. <http://www.toshiba.fr/support/laptops/>

3. https://www.interepargne.natixis.com/jcms/c_5138/fr/natixis-interepargne

[Bickmore et al., 2008]. Il n'est pas non plus rare de retrouver des ACAs dans le rôle de formateur virtuel. Leur but est alors de préparer les utilisateurs à des situations qu'ils seront amenés à vivre dans le cadre de leur fonction. STEVE est par exemple l'un des premiers ACAs utilisé pour l'apprentissage de tâches procédurales lors de la maintenance de machines complexes [Rickel and Johnson, 1998]. Ce dernier est capable d'expliquer aux futurs opérateurs les différentes tâches à effectuer tout en désignant les objets importants à manipuler. Diverses expériences ayant pour but de permettre aux psychologues débutants de corriger leurs défauts mettent elles-aussi en scène un patient virtuel [Kenny et al., 2010] [Talbot et al., 2012]. Enfin, avec le Mission Rehearsal Exercise System, l'Armée américaine confronte ses jeunes recrues à des situations de guerre réalistes, afin d'améliorer et d'optimiser leurs prises de décision sur le terrain [Hill Jr et al., 2003]. Si la plupart de ces ACAs ont pour objectif d'aider leurs utilisateurs dans un cadre précis pour atteindre un objectif particulier, d'autres ACAs sont eux utilisés de manière plus générale afin de tisser des liens avec leurs utilisateurs. Ces ACAs particuliers capables d'établir et de maintenir une relation à long-terme avec leurs utilisateurs sont appelés des *agents relationnels*. Dans ce chapitre, nous allons donc voir dans un premier temps ce que sont ces agents relationnels et en quoi ils nous intéressent (section 1.1). Puis nous décrirons le contexte de notre thèse et les problématiques de recherche liées à ce contexte (section 1.2). Nous expliquons ensuite notre méthodologie et précisons nos contributions (section 1.3) avant de présenter le plan détaillé que nous suivrons dans cette thèse (section 1.4).

1.1 LES AGENTS RELATIONNELS

Si le rêve de Bledsoe [Bledsoe, 1986] de voir des humains se lier d'amitié avec des machines est encore loin d'être une réalité, de nombreux efforts sont mis en œuvre pour rendre ces machines capables de construire et de maintenir une relation à long terme avec leurs utilisateurs. C'est dans cette optique que les agents relationnels ont été développés. Les agents relationnels sont des artefacts pouvant prendre différentes formes et dont l'objectif est de construire et de maintenir une relation à long-terme avec l'utilisateur [Bickmore, 2003]. Le célèbre tamagotchi, par exemple, permet d'élever et d'éduquer un animal virtuel à l'aide d'un petit appareil électronique. L'animal en question garde en mémoire les actions passées de l'utilisateur et son comportement évolue en conséquence. L'intérêt grandissant suscité par les



Figure 1.1 : Quelques exemples d’agents conversationnels. De gauche à droite : Ines de Nespresso, Yoko de Toshiba et Thomas de Natixis.

agents relationnels peut être expliqué par différents travaux issus du domaine de la psychologie sociale. Maslow définit par exemple une hiérarchie des besoins fondamentaux de l’être humain, parmi lesquels se trouvent les besoins d’affiliation, d’amour, et d’appartenance [Maslow, 1943]. Selon Maslow, le comportement et les motivations d’un individu peuvent être expliqués par l’état actuel de ses besoins. Ainsi, dès lors que les besoins physiologiques (boire, manger, dormir...) et de sécurité (physique et psychologique) d’un individu sont satisfaits, ce dernier va chercher à satisfaire son besoin d’affiliation. Différentes études en psychologie mettent également en avant le rôle central des relations sociales dans la vie d’un individu [Sutcliffe et al., 2012] [Cohen, 2004] [Willitts et al., 2004]. Si les agents relationnels ne sont pas amenés à remplacer des partenaires humains, ils peuvent cependant compenser le manque de relations sociales dans certains cas particuliers. C’est par exemple le cas de Homie [Kriglstein and Wallner, 2005], un chien artificiel utilisé pour tenir compagnie à des personnes âgées isolées et capable d’exprimer des émotions à travers ses expressions faciales et sa posture. Dans [Cavazza et al., 2010], l’agent cherche à créer une relation avec son utilisateur en discutant de sujets liés au travail.

Lorsque nous interagissons avec ces agents relationnels, et avec les machines en général, nous appliquons les mêmes règles sociales que lorsque nous interagissons

avec des humains [Reeves and Nass, 1996] [Krämer, 2008]. L'un des enjeux majeurs pour la création d'agents conversationnels crédibles et efficaces est donc de les rendre capable de répliquer ces modalités humaines. Plusieurs travaux soulignent particulièrement l'intérêt de doter les ACAs de capacités socio-émotionnelles [Beale and Creed, 2009][Gratch et al., 2007]. Ces agents doivent ainsi être capables de détecter et comprendre les émotions et attitudes sociales de leurs interlocuteurs, mais doivent également avoir la capacité de gérer leurs propres émotions et attitudes afin d'adopter un comportement conforme au contexte de l'interaction. Cette compétence, appelée "Intelligence Émotionnelle" [Mayer et al., 2004], joue un grand rôle dans la vie d'un individu, que ce soit dans sa vie de couple [Brackett et al., 2005], pour sa réussite scolaire [Petrides et al., 2004], pour ses relations sociales [Lopes et al., 2003] ou plus généralement dans sa vie quotidienne [Bastian et al., 2005][Brackett et al., 2004]. Permettre à un ACA de percevoir les émotions et les attitudes de son interlocuteur, de raisonner sur ces mêmes émotions et attitudes et d'exprimer des émotions et des attitudes sociales cohérentes est donc crucial.

De nombreux travaux se sont déjà penchés sur la question des émotions, notamment via des modèles computationnels permettant à un agent d'exprimer une émotion cohérente au regard de la situation dans laquelle il se trouve [Marsella et al., 2010]. D'autres s'intéressent plus particulièrement à la notion d'attitude sociale, que Scherer décrit comme un "style affectif colorant une interaction" [Scherer, 2005]. Il peut par exemple être intéressant pour un agent endossant le rôle d'un tuteur virtuel d'exprimer un certain niveau de dominance afin de motiver son utilisateur à effectuer les tâches demandées. Toujours selon Scherer [Scherer, 2005], une attitude sociale peut être exprimée de manière spontanée et/ou stratégique. Pour qu'un agent soit capable d'exprimer une telle attitude sociale, il est donc nécessaire de comprendre et de modéliser ces aspects spontanés et stratégiques inhérents à la formation et au développement d'une attitude sociale. Il est également nécessaire de comprendre et de modéliser l'influence que cette même attitude sociale peut avoir sur le comportement de l'agent. Dans le cas d'un tuteur virtuel, nous devons donc représenter la manière dont la dominance de ce dernier va être exprimée, et l'influence de cette attitude sociale sur sa prise de décision. Certains travaux s'intéressent particulièrement à l'influence de l'attitude sociale sur le comportement non-verbal d'un agent (i.e., ses gestes, son regard, ses expressions faciales...) [Ravenet et al., 2013][Chollet et al., 2014]. Dans notre thèse, nous nous intéressons plus particulièrement à l'expression d'attitudes sociales à travers les choix d'actions effectués par ce même

agent. Nous essayons également de comprendre comment ces attitudes se forment et évoluent au cours d'une interaction. Dans la section suivante, nous décrivons le contexte de notre thèse et expliquons pourquoi nous nous sommes intéressés aux attitudes sociales d'un ACA. Nous décrivons également les différentes problématiques de recherche que nous traitons dans ces travaux de thèse.

1.2 CONTEXTE DE LA THÈSE ET PROBLÉMATIQUES DE RECHERCHES

Cette thèse s'est déroulée dans le cadre du projet ANR MoCA⁴ (mon petit Monde de Compagnons Artificiels) dont l'objectif est de créer un microcosme de compagnons artificiels capables d'assister un enfant seul à son domicile. Un compagnon artificiel peut être défini comme *"un robot ou un agent conversationnel animé possédant un certain niveau d'intelligence et d'autonomie ainsi que des compétences sociales lui permettant d'établir et de maintenir des relations à long terme avec les utilisateurs"* [Lim, 2012]. Les compagnons artificiels incarnés sous la forme d'un agent conversationnel animé sont donc comparables à des agents relationnels. Dans le projet MoCA, les compagnons peuvent incarner cinq différents rôles en fonction de la situation :

- *Compagnon de jeu.* L'objectif du compagnon de jeu est de proposer à l'enfant des activités amusantes et distrayantes.
- *Tuteur.* L'objectif du tuteur est de motiver l'enfant à faire ses devoirs en lui proposant divers exercices au contenu pédagogique adapté. Il est également capable d'aider l'enfant si ce dernier éprouve des difficultés.
- *Garde du corps.* L'objectif du garde du corps est de veiller à la sécurité de l'enfant.
- *Coach.* L'objectif du coach est de partager du savoir non scolaire avec l'enfant. Il peut l'inciter à faire du piano, à lire des livres, ou à faire une activité physique.
- *Confident.* L'objectif du confident est d'écouter l'enfant, de montrer de l'empathie, et de le réconforter en cas de besoin.

L'un des enjeux de ce projet, outre celui de permettre aux agents de créer et de maintenir des relations sur le long-terme, est de permettre aux agents d'exprimer

4. <http://moca.imag.fr/>

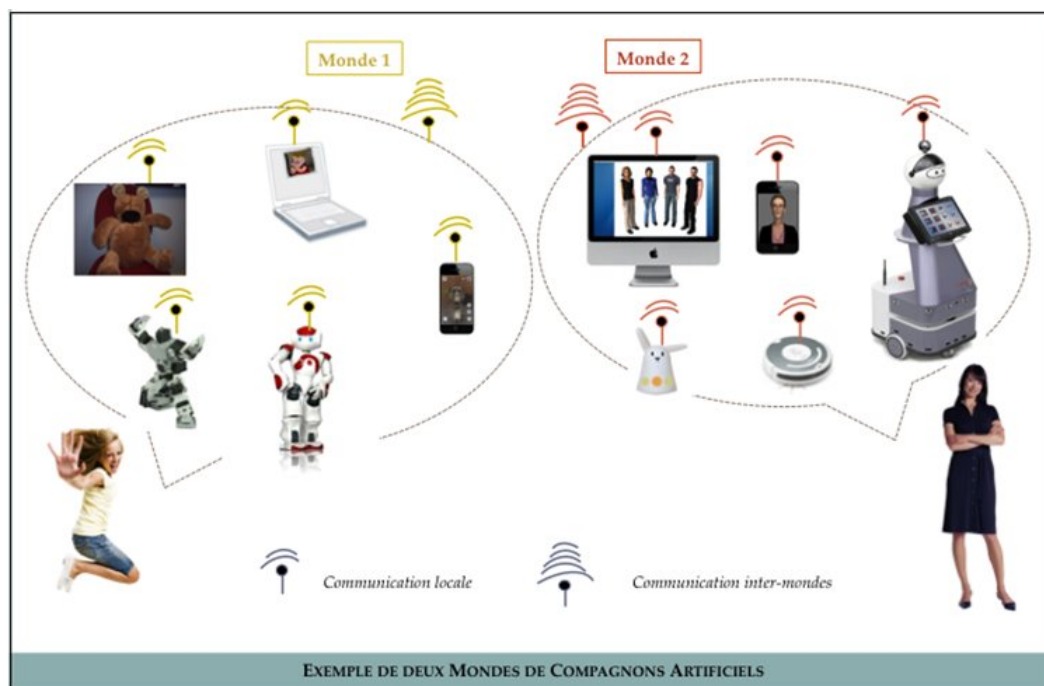


Figure 1.2 : Illustration du projet MoCA dans lequel deux mondes de compagnons peuvent s'échanger des informations.

des attitudes sociales différentes en fonction de leur rôle et du déroulement de l'interaction. Dans cette thèse, nous avons cherché à répondre à la problématique suivante : *Comment doter un agent conversationnel animé de la capacité de raisonner sur ses attitudes sociales ?* Nous avons étudié cette problématique à travers deux aspects différents : le premier concerne la capacité d'un agent à adapter son attitude sociale en fonction du contexte et des actions de son interlocuteur. Le second concerne l'influence que l'attitude sociale peut avoir sur la prise de décision de ce même agent.

Adapter l'attitude d'un agent en fonction du contexte social et des actions de son interlocuteur

Selon Bickmore [Bickmore and Cassell, 2005], un agent relationnel crédible doit voir sa relation sociale envers son interlocuteur évoluer au cours d'une interaction. Cet agent doit donc être capable d'exprimer des attitudes sociales différentes reflétant cette relation. En effet, il paraît difficile de s'attacher à un agent exprimant toujours la même attitude sociale, quels que soient les actions et le comportement de son interlocuteur. Il ne paraît par exemple pas crédible qu'un agent reste extrêmement amical après que son interlocuteur lui ait manqué de respect à plusieurs reprises.

Cependant, l'évolution de l'attitude sociale d'un agent ne dépend pas uniquement de la relation le liant à son interlocuteur. Scherer différencie ainsi ces aspects relationnels et spontanés d'aspects plus stratégiques [Scherer, 2005]. L'attitude sociale de l'agent doit donc également refléter son rôle au cours de l'interaction. En effet, l'attitude sociale d'un compagnon de jeu n'est pas nécessairement identique à celle d'un tuteur. Si le premier est prévu pour se plier aux exigences de son interlocuteur, le second devra au contraire savoir se montrer plus dominant afin de motiver ce dernier à faire ses devoirs. Notre premier objectif est donc de comprendre les mécanismes inhérents à la formation et à la dynamique des attitudes sociales. Cela nous permettra de connaître l'attitude sociale exprimée par un ACA à chaque instant de l'interaction (voir chapitre 4).

Modéliser l'influence de l'attitude sociale d'un agent sur sa prise de décision

Une fois que nous connaissons l'attitude de l'agent, il est nécessaire de comprendre et de modéliser son influence sur son comportement. En effet, un agent amical n'agira pas de la même manière qu'un agent hostile. Nous ne parlons pas ici de comportement non-verbal, mais bien d'actions effectuées par l'agent. Afin de comprendre le lien entre l'attitude sociale d'un agent et les actions qu'il effectue, il est nécessaire de comprendre comment un agent prend ses décisions. Il existe deux différents types d'approches permettant de modéliser la prise de décision d'un agent. L'approche connexionniste modélise les phénomènes cognitifs inhérents à la prise de décisions en tant que processus émergents [Sun, 2006]. Si cette approche est fortement liée aux sciences cognitives, il n'est cependant pas toujours évident de comprendre les mécanismes sous-jacents à la prise de décision et de maîtriser les comportements obtenus. L'approche symbolique permet de modéliser les états mentaux d'un agent via des "symboles" tels que ses buts et ses croyances [Laird et al., 1987]. Afin de modéliser l'influence de l'attitude sociale d'un agent sur sa prise de décision, il est donc indispensable de représenter cette attitude comme une combinaison d'états mentaux. L'agent pourra alors raisonner à partir de cette combinaison, et prendre une décision cohérente par rapport à la situation. Finalement, les questions soulevées dans cette thèse sont les suivantes :

- Comment définir et représenter les attitudes sociales d'un agent conversationnel animé ?
- Comment combiner les aspects spontanés (i.e. ressentis) et stratégiques (i.e. liés au rôle) de l'attitude sociale ?

- Comment modéliser la dynamique des attitudes sociales au cours d’une interaction ?
- Comment modéliser l’influence de l’attitude sociale sur la prise de décision d’un agent ?

Dans la section suivante, nous expliquons la méthodologie utilisée afin de répondre à ces questions, et détaillons les contributions apportées par les travaux décrits dans ce document.

1.3 MÉTHODOLOGIE ET CONTRIBUTIONS

Première contribution : *Formalisation de la dynamique des attitudes sociales*

Dans un premier temps, nous nous sommes appuyés sur la littérature en sciences humaines et sociales pour représenter et formaliser l’attitude sociale d’un agent conversationnel animé. Nous nous sommes appuyés sur le modèle d’Argyle [Argyle, 1988] afin de représenter l’attitude sociale par les deux dimensions de statut et d’affiliation. Nous nous sommes également appuyés sur la définition de Scherer [Scherer, 2005] afin de décomposer l’attitude sociale exprimée par un agent en une attitude sociale idéale et une attitude sociale actuelle. L’attitude sociale idéale est statique et définie par la manière dont l’agent voit son rôle dans l’interaction. L’attitude sociale actuelle est dynamique et dépend des croyances et des buts de l’agent. Nous avons donc proposé un modèle de logique formelle afin de représenter l’attitude sociale exprimée par un agent en fonction de ses croyances et de ses buts.

Deuxième contribution : *Modélisation de la prise de décision d’un agent en fonction de son attitude sociale*

Dans cette thèse, nous avons modélisé la prise de décision d’un agent en fonction de son attitude sociale envers son interlocuteur. Pour cela, nous avons étudié les mécanismes de prise de décision et de planification d’agents afin de comprendre comment l’attitude sociale pouvait influencer le choix d’actions d’un agent. Cette prise de décision, et donc le choix d’actions de l’agent, doit prendre en compte les aspects spontanés (via l’attitude sociale actuelle) et stratégiques (via l’attitude sociale idéale) inhérents à l’attitude sociale tels que définis dans notre première contribution. Nous introduisons donc des buts sociaux représentant l’attitude sociale qu’un agent désire voir exprimée par son interlocuteur. Ces buts sociaux dépendent

de l'attitude sociale exprimée par l'agent et de la théorie de la complémentarité interpersonnelle [Sadler and Woody, 2010]. Notre agent aura donc pour but social de voir son interlocuteur exprimer une valeur d'affiliation identique à la sienne, mais une valeur de statut opposé. En fonction de la valeur de rigidité interpersonnelle de l'agent, ces buts sociaux viendront plus ou moins influencer la prise de décision de l'agent. Cette rigidité personnelle permet en effet de savoir si un agent est capable ou non d'adapter volontairement son attitude sociale au cours d'une interaction [Tracey, 2005].

Troisième contribution : *Intégration du modèle dans une architecture complète et évaluation*

Compte tenu de notre formalisation, nous avons implémenté notre modèle dans la plateforme PsychSim [Marsella et al., 2004]. PsychSim permet en effet de représenter les buts et les croyances d'un agent, et ses mécanismes de prise de décision s'appuient sur la théorie de l'esprit [Baron-Cohen et al., 1985]. La théorie de l'esprit permet aux agents d'avoir des représentations mentales des buts et croyances des autres agents présents dans l'interaction. Nous avons également défini un scénario afin d'effectuer des simulations dans le but de générer des séquences d'actions entre deux agents. Nous avons observé que ces séquences d'actions étaient différentes en fonction des paramètres de notre modèle utilisés en entrée des simulations. Afin de vérifier si les attitudes sociales générées par notre modèle étaient bien perçues, nous avons également mené une évaluation subjective. Nous avons pour cela intégré notre modèle dans la plateforme VIB [Pecune et al., 2014] basée sur l'architecture SAIBA [Kopp et al., 2006]. Pour cela, nous avons créé un lexique permettant de transformer différentes actions générées par notre modèle en intentions communicatives interprétables par la plateforme VIB. Nous avons par la suite demandé à des participants d'évaluer l'attitude sociale exprimée par un agent lors d'une interaction.

Quatrième contribution : *Création d'un outil permettant d'adapter le comportement non-verbal d'un agent en fonction de celui de son interlocuteur.*

Notre contribution porte principalement sur les processus cognitifs inhérents à la formation et au développement des attitudes sociales. Nous nous sommes cependant également intéressés à des processus de l'ordre du réflexe à travers l'imitation du comportement non-verbal. Nous avons ainsi mis au point un outil graphique permettant de coupler dynamiquement le comportement non-verbal de notre agent

virtuel avec celui d'un utilisateur humain. Nous avons testé et évalué cet outil via deux différentes applications. Pour la première application, nous avons construit un agent capable d'imiter le comportement de rire de l'humain avec lequel il interagit. Dans la seconde un participant humain est invité à avoir des pensées positives, et l'agent virtuel a pour objectif de donner un retour expressif lié à ces pensées.

Dans la section suivante, nous décrivons de manière détaillée le plan que nous allons suivre tout au long de ce document.

1.4 ORGANISATION DU DOCUMENT

Cette thèse est organisée de la façon suivante. Nous présentons tout d'abord dans le *chapitre 2* les fondements théoriques sur les attitudes sociales. Nous expliquons entre autres choses comment les attitudes sociales peuvent être représentées et exprimées, et comment elles peuvent évoluer durant une interaction. Nous étudions également comment sont définis les aspects spontanés et stratégiques inhérents à une attitude sociale. Enfin, nous verrons en quoi les attitudes sociales sont importantes dans les situations d'apprentissage.

Dans le *chapitre 3*, nous présentons un état de l'art des recherches dans le domaine des Agents Conversationnels Animés orienté selon les thématiques suivantes: la modélisation de la dynamique des attitudes sociales d'un ACA, l'influence des attitudes sociales sur la prise de décisions d'un ACA, et l'expression de cette attitude à travers le comportement non-verbal.

Le *chapitre 4* est dédié à l'architecture cognitive de notre modèle. Nous y détaillons les principales notions en lien avec notre modèle, et définissons en quoi les buts et croyances de l'ACA viennent influencer son attitude sociale. Après avoir introduit le cadre logique formel utilisé, nous expliquons comment la relation sociale d'un ACA évolue en fonction des émotions qu'il ressent. Nous étudions également dans ce chapitre les liens existant entre l'attitude sociale d'un ACA et sa prise de décision, et expliquons comment nous avons implémenté notre modèle.

Nous présentons ensuite différentes simulations issues de notre implémentation dans le *chapitre 5*. A travers un scénario mettant en scène un tuteur virtuel et un étudiant virtuel, nous verrons comment l'état initial du scénario influence le déroulement de l'interaction. Nous évaluons plusieurs de ces interactions au travers

CHAPTER 1. INTRODUCTION

de l'étude perceptive présentée dans ce même chapitre. Après avoir décrit le protocole expérimental, nous présentons les résultats obtenus avant de les analyser et d'en discuter.

Le *chapitre 6* est dédié à deux autres évaluations portant sur l'importance accordée à la résonance motrice et à l'imitation dans la perception d'attitudes sociales. La première évaluation se focalise principalement sur l'importance des expressions faciales tandis que la seconde évaluation porte sur les mouvements du corps.

Enfin, dans le *chapitre 7*, nous concluons en dressant les limites de nos travaux avant d'explorer la liste des perspectives de travaux futurs.



2

Fondements Théoriques

"La plupart des erreurs consistent en cela seul que nous ne donnons pas correctement leurs noms aux choses."

Baruch Spinoza
L'Ethique

L'objectif de cette thèse est de créer un agent conversationnel animé capable d'exprimer son attitude sociale au cours d'une interaction. Nous nous intéressons particulièrement à l'expression de cette attitude au travers des décisions prises par l'ACA. Nous avons pour cela étudié la littérature dans le domaine des Sciences Humaines et Sociales afin de mettre en évidence l'importance de l'attitude sociale sur le comportement humain.

Dans ce chapitre, nous étudions donc les fondements théoriques sur lesquels nous nous sommes appuyés afin de construire notre modèle. Dans un premier temps, nous définissons le concept d'attitude sociale et décrivons les différentes façons qu'il existe de le représenter et de l'exprimer (section 2.1). Puis, nous expliquons comment les attitudes sociales se forment lors d'une interaction, mais également comment elles sont amenées à évoluer au fil de cette même interaction (section 2.2). Enfin, nous étudions l'importance des attitudes sociales dans un contexte d'apprentissage, que ce soit lors d'interactions entre un enseignant et ses élèves ou lors d'interactions entre un parent et son enfant (section 2.3).

2.1 DÉFINITION, REPRÉSENTATION ET EXPRESSION D'UNE ATTITUDE SOCIALE

Dans cette section, nous allons dans un premier temps étudier les différentes définitions d'une attitude sociale que l'on peut trouver dans la littérature (section 2.1.1). Nous verrons ensuite comment une attitude sociale peut être représentée (section 2.1.2) mais également par quel moyen elle peut être exprimée (section 2.1.3).

2.1.1 Définition d'une attitude sociale

2

S'il existe de nombreuses définitions dans la littérature, une attitude (aussi appelée *stance* en anglais) est généralement définie comme une évaluation, une croyance ou un positionnement par rapport à un objet, un concept ou une personne [Du Bois, 2007][Scherer, 2005][Chindamo et al., 2012]. Cette attitude peut être positive ou négative, et se construit selon trois différents processus [Fazio and Olson, 2007] : (1) quand un individu émet des croyances vis-à-vis des attributs désirables (ou non) d'un objet, il forme son attitude selon un processus *cognitif*. Par exemple, si une personne gagne un quart d'heure de temps de trajet en empruntant le métro lorsqu'elle va au travail, elle émettra une attitude positive envers ce moyen de transport. (2) Si un individu émet une attitude envers un objet en fonction d'émotions déclenchées par l'objet en question, le processus est *affectif*. Ainsi, une personne peut émettre une attitude positive envers le chocolat car elle ressent de la joie lorsqu'elle en mange. (3) Enfin, en l'absence de processus cognitif et affectif, un individu peut former une attitude vis-à-vis d'un objet en fonction de ses *comportements antérieurs*. Par exemple, quelqu'un n'ayant aucun avis sur la couleur rouge mais achetant majoritairement des habits rouges finira par se rendre compte qu'il a une attitude positive envers la couleur rouge elle-même. En outre, les attitudes peuvent s'exprimer à travers des modalités différentes [Chindamo et al., 2012]. Une attitude peut ainsi être exprimée par le biais du comportement verbal (contenu linguistique, niveau de langage) et/ou du comportement non-verbal (gestes, postures, expressions faciales, prosodie) d'un individu. Dans cette thèse, nous nous intéresserons aux attitudes aux travers des processus affectifs et cognitifs qui les composent.

Dans notre travail, nous nous intéressons plus particulièrement aux *attitudes sociales interpersonnelles*. Ces attitudes sont exprimées par rapport à une autre

personne, et représentent l'évaluation et le positionnement que nous faisons vis-à-vis de cette personne. Scherer définit une attitude sociale comme un "*affective style that spontaneously develops or is strategically employed in the interaction with a person or a group of persons*" (un "style affectif qui se développe spontanément ou qui peut être stratégiquement employé lors d'une interaction avec une personne ou un groupe de personnes" en français) [Scherer, 2005]. Les processus stratégiques peuvent être compris à la lumière des rôles sociaux. Il n'est en effet pas rare de devoir endosser un rôle spécifique dans un contexte social particulier, et d'exprimer une attitude sociale en accord avec ce rôle [Goffman, 1949]. Ainsi, dans un restaurant (contexte social), un serveur (rôle social) est censé être agréable et poli (attitude sociale). Il en est de même pour un enseignant donnant un cours dans une salle de classe : ce dernier voudra être perçu comme autoritaire et contrôlant la situation. Les processus spontanés peuvent être compris à la lumière des relations sociales. En effet, les relations sociales entre deux individus influencent leur comportement et leur attitude sociale. Par exemple, deux personnes qui s'apprécient ont spontanément tendance à accepter les requêtes de l'autre, exprimant ainsi une attitude amicale [Cialdini and Goldstein, 2004]. De plus, en fonction de leurs actions durant l'interaction, leurs relations sociales sont amenées à évoluer. Leurs attitudes sociales suivent donc cette évolution : si ces deux mêmes personnes finissent par se détester, elles exprimeront probablement plus d'hostilité et se plieront moins volontiers aux requêtes de l'autre. A travers ces définitions, un parallèle peut par ailleurs être effectué entre les processus stratégiques et spontanés de Scherer [Scherer, 2005] et les processus cognitifs et affectifs décrits dans [Fazio and Olson, 2007] : l'attitude sociale d'un individu est aussi bien façonnée par les émotions qu'il ressent que par ses propres buts.

Dans cette thèse, nous cherchons à modéliser les processus stratégiques et spontanés décrits par Scherer. A travers son attitude, l'ACA que nous souhaitons développer devra donc être capable d'exprimer à la fois son *rôle* dans l'interaction vis-à-vis de son interlocuteur, mais également sa *relation sociale* envers ce dernier. Afin de doter un ACA de la capacité d'exprimer son attitude, il est toutefois nécessaire de comprendre comment la représenter et de choisir la représentation adéquate.

2.1.2 Représentation d'une attitude sociale

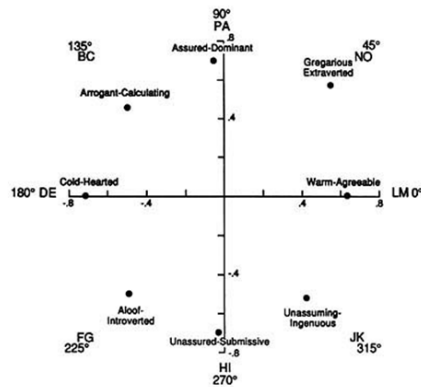
Il existe de nombreuses façons de représenter les attitudes sociales interpersonnelles. Burgoon [Burgoon et al., 1984] propose ainsi une représentation des attitudes sociales selon douze différentes dimensions. Les sept premières dimensions sont indépendantes : la dominance, l'excitation émotionnelle, le calme, la similarité, la formalité, l'orientation tâche ou sociale, l'intimité. Les cinq dernières sont liées à la notion d'intimité : confiance, superficialité, affection, engagement et inclusion. Certains autres modèles représentent les attitudes selon un nombre de dimensions réduit. Schutz, par exemple, propose les dimensions d'inclusion (besoin de participer à des activités de groupe), de contrôle (besoin de contrôler les interactions au sein du groupe) et d'affection (besoin d'être proche et intime avec les membres du groupe) [Schutz, 1958]. Dans [Heise, 2007], l'auteur représente les attitudes sociales selon les dimensions d'évaluation (positif vs négatif), de puissance (puissant vs sans pouvoir) et d'activité (excité vs calme). Le PAD de Mehrabian s'appuie quant à lui sur les trois dimensions de plaisir (Pleasure), excitation (Arousal), et Dominance pour mesurer et représenter les comportements [Mehrabian, 1996]. De nombreux modèles se limitent cependant à l'étude d'une seule de ces dimensions. C'est le cas des modèles *équilibrés* qui représentent l'attitude sociale selon le seul axe de valence (positif vs. négatif) [Heider, 1958][Osgood and Tannenbaum, 1955][Du Bois, 2007]. D'autres travaux se focalisent quant à eux sur les notions d'engagement [Thibaut and Kelley, 1959][Rusbult et al., 1998], de dominance [Emerson, 1962][Hexmoor, 2002][Castlefranchi et al., 1992][Raven, 2008], de familiarité [Altman and Taylor, 1973] ou encore de confiance [Schoorman et al., 2007][Fogg and Tseng, 1999].

La représentation la plus utilisée dans le domaine des attitudes sociales repose sur les deux dimensions de *statut* et d'*affiliation* [Argyle, 1988]. Le statut représente la supériorité ou l'infériorité sociale d'un individu par rapport à son interlocuteur. Cette notion est comparable aux notions de dominance et de pouvoir [Ellyson and Dovidio, 1985]. Une valeur élevée (respectivement faible) de statut indique une supériorité (respectivement infériorité) sociale. On parle alors d'attitude dominante (respectivement soumise). La dimension d'affiliation représente le fait d'apprécier ou non son interlocuteur, et l'envie ou non d'avoir une relation proche avec lui. Une valeur positive (respectivement négative) d'affiliation indique un bon (respectivement mauvais) niveau d'appréciation. On parle alors d'attitude amicale (respectivement hostile). En outre, ces deux dimensions sont souvent représentées sous la

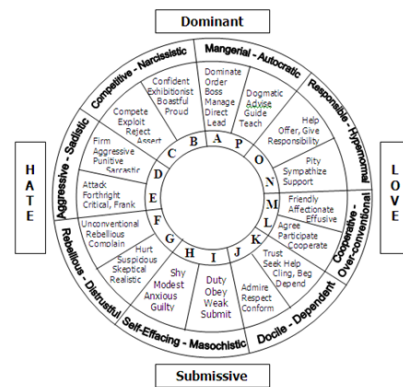
forme d'un circomplexe interpersonnel, comme indiqué sur la figure 2.1 [Gurtman and Pincus, 2003][Acton and Revelle, 2002]. Il existe de nombreuses façons de positionner une attitude sociale sur ce circomplexe. Wiggins définit une attitude sociale par ses coordonnées angulaires sur le cercle [Wiggins et al., 1988]. Par exemple, un angle à 90° représente un individu dominant alors qu'un angle à 45° représente un individu extraverti. Selon Leary, une attitude sociale peut être représentée par une sous-partie du circomplexe [Leary, 1957]. Ainsi, la sous-partie allant de 315° à 360° représente un individu coopératif (faible statut, affiliation élevée) tandis que la sous-partie allant de 90° à 135° décrit un individu narcissique (faible affiliation, statut élevé). L'avantage de cette représentation est de représenter l'attitude sociale d'un individu par un label, plus compréhensible et facile à interpréter qu'une valeur d'angle. Une attitude sociale peut enfin être représentée par un vecteur dont l'origine est le centre du circomplexe [Gurtman, 2010]. Les deux caractéristiques importantes du vecteur sont sa direction et sa longueur. La direction (ou angle) suggère le thème interpersonnel prédominant de l'individu. Avec un angle de 45° , un individu exprime une valeur égale de statut et d'affiliation. Un individu représenté par un vecteur de 60° exprime plus de statut que d'affiliation. L'avantage de cette représentation est qu'elle permet de modéliser la capacité d'un individu à adapter son comportement. En effet, la longueur du vecteur est inversement proportionnelle à la capacité d'un individu à adapter son comportement lors d'une interaction. Plus la taille du vecteur est élevée, moins un individu changera son comportement en fonction du déroulement d'une interaction. Un individu dont l'attitude sociale est représentée par un court vecteur saura donc plus facilement s'adapter à son interlocuteur. Cette notion est similaire à la *rigidité interpersonnelle* [Tracey, 2005], que nous étudierons plus en détail dans la section 2.2.3.

Dans notre thèse, nous nous appuyons sur les travaux d'Argyle pour représenter l'attitude sociale de notre ACA selon les deux axes de statut et d'affiliation. Nombre de travaux en Sciences Humaines et Sociales se basent en effet sur ces deux dimensions pour étudier le comportement d'un individu, notamment dans un contexte d'enseignement comme nous le verrons dans la section 2.3. Ces deux dimensions sont également régulièrement utilisées dans le domaine des agents conversationnels animés, comme nous le verrons dans l'état de l'art présenté dans le chapitre 3. De plus, Isbister préconise l'utilisation de ces deux dimensions pour améliorer et crédibiliser les personnages virtuels utilisés dans le domaine du jeu vidéo [Isbister, 2006]. Enfin, nous nous appuyerons sur la représentation de Gurtman pour modéliser

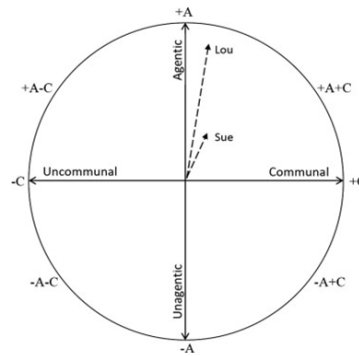
2.1. DÉFINITION, REPRÉSENTATION ET EXPRESSION D'UNE ATTITUDE SOCIALE



(Wiggins, Trapnell et Phillips, 1988)
Circomplexe (a)



(Leary, 1957)
Circomplexe (b)



(Locke et Adamic, 2012)
Circomplexe (c)

Figure 2.1 : Différentes représentations d'une attitude sociale sur le circomplexe interpersonnel. Sur le circomplexe a), l'attitude est représentée par une valeur d'angle. Sur le circomplexe b), l'attitude est représentée par une sous-section du disque. Sur le circomplexe c), l'attitude est représentée par un vecteur.

l'attitude sociale d'un agent par un vecteur sur le circomplexe interpersonnel. Cela nous permettra de modéliser la capacité d'adaptation de notre ACA face aux actions de son interlocuteur. Dans la section suivante, nous allons voir comment un individu peut inférer l'attitude sociale de son interlocuteur à partir de son comportement.

2.1.3 Perception et expression d'attitudes sociales

Selon Mehrabian les comportements verbaux, para-verbaux et non-verbaux fournissent chacun une quantité d'information différente lors d'une interaction [Mehra-

bian and Wiener, 1967][Mehrabian and Ferris, 1967]. Afin de mieux appréhender son interlocuteur et d'avoir une meilleure compréhension de l'interaction, il est donc nécessaire d'inférer l'attitude sociale que ce dernier exprime, que ce soit à partir de son comportement verbal, para-verbal ou non-verbal. Connaître l'attitude sociale de notre interlocuteur permet en effet de faciliter notre prise de décision lors de situations interpersonnelles [Fazio and Olson, 2007]. Le mécanisme sous-jacent à l'interprétation des signaux sociaux s'appelle la théorie de l'esprit [Baron-Cohen et al., 1985]. Cette théorie désigne les différents processus permettant à un individu d'inférer les buts, les croyances et les intentions de son interlocuteur. Par exemple, si nous observons un individu en train de manger une pomme avec plaisir, nous pouvons probablement inférer qu'il avait faim, et qu'il aime les pommes. Cette théorie de l'esprit nous permet donc d'imaginer l'attitude sociale qu'exprime notre interlocuteur en fonction des croyances que l'on a sur lui et de son comportement lors de l'interaction. Nous pouvons par exemple imaginer qu'une personne que nous connaissons depuis longtemps, et qui est en train de nous sourire en nous touchant l'épaule est amicale envers nous. Si cette personne s'éloigne brusquement avec un froncement de sourcil, nous pouvons penser que nous avons dit ou fait quelque chose qui ne lui a pas plus. Nous verrons cependant dans la section 2.2.1 que les individus ne disent pas toujours ce qu'ils pensent, et qu'ils peuvent agir d'un façon qui ne reflète pas du tout leur état actuel [Leary and Kowalski, 1990][Snyder, 1974]. Inférer l'attitude sociale de notre interlocuteur en fonction de son comportement n'est donc pas toujours fiable, et peut nous induire en erreur [Hogg and Reid, 2006].

Dans cette section, nous allons donc voir que les comportements para-verbaux, verbaux et non-verbaux vont fortement influencer l'attitude sociale d'un individu perçue par son interlocuteur. Vinciarelli [Vinciarelli et al., 2009] propose une liste de signaux sociaux tels que les gestes ou l'expression faciale et décrit leur influence sur la perception de comportements tels que l'expression d'émotions, de la personnalité, mais également de l'attitude sociale à travers les dimensions de rapport (i.e. confiance mutuelle) et de dominance. De nombreux autres travaux étudient l'influence de ces signaux sociaux sur la perception de l'attitude sociale [Burgoon et al., 1984][Dunbar and Burgoon, 2005][Carney et al., 2005]. Certains travaux ont étudié plus en détails l'influence de chacun de ces signaux ou chacune de ces modalités sur l'attitude sociale perçue. On découvre ainsi que les expressions faciales constituent un important vecteur dans l'expression d'attitudes sociales. Les individus perçus avec une valeur de statut élevée sont par exemple capables de pro-

2.1. DÉFINITION, REPRÉSENTATION ET EXPRESSION D'UNE ATTITUDE SOCIALE

2 duire des expressions faciales variées et expriment plus facilement de la colère ou du dégoût que de la tristesse ou de la peur [Carney et al., 2005]. Les sourires et expressions de joies sont principalement corrélés à la dimension d'affiliation : les individus souriant plus souvent sont ainsi perçus avec un niveau d'affiliation élevé [Knutson, 1996][Burgoon et al., 1984]. Le regard donne également de précieux indices quant à l'attitude sociale exprimée. Des individus avec une valeur de statut élevée soutiennent plus facilement le regard de leurs interlocuteurs [Carney et al., 2005], mais les échanges de regard peuvent également être perçus comme des signes d'affiliation [Burgoon et al., 1984]. La posture et la distance à laquelle un individu se tient vis-à-vis de son interlocuteur sont d'autres moyens de déterminer son attitude sociale. Adopter la même posture que son interlocuteur exprime par exemple une valeur d'affiliation élevée [Yabar and Hess, 2007]. Imiter le comportement de son interlocuteur exprime généralement une affiliation élevée. Se pencher en avant et orienter son corps en direction de son interlocuteur permet d'exprimer une attitude positive [Burgoon et al., 1984]. Au contraire, se pencher en arrière et se détourner de son interlocuteur est considéré comme une attitude hostile. Se tenir proche de son interlocuteur permet d'exprimer une amicalité élevée, et donc une forte valeur d'affiliation. Enfin, avoir sa tête penchée sur le côté lorsque l'on s'adresse à son interlocuteur indique une forte valeur d'affiliation envers ce dernier [Debras and Cienki, 2012].

La prosodie est un bon indicateur permettant de détecter l'attitude sociale exprimée par un individu. Plus l'amplitude de la voix est élevée, plus la personne qui parle est perçue comme dominante [Tusing and Dillard, 2000]. L'analyse de la fréquence de la parole donne un résultat opposé : plus une personne parle rapidement, moins elle est perçue comme dominante. Concernant les gestes, il existe plusieurs paramètres permettant de distinguer leur influence sur l'attitude sociale perçue. Toucher son interlocuteur peut être pris pour un signe d'amicalité ou de dominance [Burgoon et al., 1984][Yabar and Hess, 2007], alors que se toucher soi-même manifeste un certain niveau de soumission, et donc un faible statut [Carney et al., 2005]. En outre, les individus avec une forte valeur de statut auront tendance à effectuer de nombreux gestes, et à les faire de manière plus large qu'une personne de faible statut [Carney et al., 2005]. Knapp décrit l'influence du physique et de l'apparence sur l'attitude sociale perçue [Knapp et al., 2013]. La constitution physique d'un individu constitue une source de préjugés. Les individus corpulents et plutôt ronds (mésomorphes) sont considérés comme amicaux, les individus ath-

létiques et musculaires sont perçus comme dominants alors que les individus fins et longilignes paraissent comme plus soumis. Plus généralement, les individus de grande taille sont perçus avec une forte valeur de statut, tout comme les personnes attirantes physiquement [Naumann et al., 2009]. Pour finir, la façon dont nous parlons et la manière dont nous participons aux conversations influencent grandement l'attitude que nous exprimons. Un individu parlant beaucoup et accaparant le temps de parole sera par exemple perçu comme étant dominant [Mast, 2002]. Cependant, couper constamment la parole des autres dans le seul but d'exprimer son opinion est bien souvent perçu comme de l'hostilité. À l'inverse, des interruptions coopératives dont le but est d'étayer les propos du locuteur peuvent être perçues comme amicales [Goldberg, 1990]. Le niveau de langage d'un individu donne également un indice sur son attitude sociale vis-à-vis de son interlocuteur. Un manque de politesse peut par exemple être interprété comme un niveau de statut élevé alors qu'une politesse excessive pourra être confondu avec de la soumission [Brown and Levinson, 1987].

Nous venons de voir dans cette section qu'une attitude sociale représentait une évaluation à l'égard d'un individu pouvant s'exprimer de manière spontanée et/ou stratégique à travers le comportement verbal, para-verbal et verbal. S'il existe une multitude de dimensions permettant de représenter une attitude sociale, les deux dimensions de statut (dominance Vs. soumission) et d'affiliation (amicalité Vs. hostilité) sont les plus communément utilisées. Dans le paragraphe suivant, nous allons voir comment l'attitude sociale entre deux individus se forme et évolue au cours d'une interaction.

2.2 INITIALISATION ET ÉVOLUTION DE L'ATTITUDE SOCIALE

Dans cette section, nous étudions dans un premier temps la manière dont se forme une attitude sociale envers un individu (section 2.2.1). Comme le souligne Scherer [Scherer, 2005] et tel que décrit dans la section 2.1.1, l'attitude sociale d'un individu est influencée par des aspects spontanés mais également stratégiques. Dans cette section nous nous attardons donc à la fois sur ces aspects spontanés, mais également sur les aspects stratégiques en étudiant en détail leurs influences sur l'attitude sociale. Si la personnalité d'un individu influence grandement son attitude initiale vis-à-vis de son interlocuteur, ses buts et ses émotions jouent également un rôle important dans l'évolution de cette même attitude au fil de l'interaction. Nous

études également les aspects stratégiques, notamment à travers le concept de gestion de l'impression. Dans un second temps, nous expliquons comment l'attitude sociale d'un individu évolue au cours d'une interaction en fonction des actions de son interlocuteur (section 2.2.2). Les buts et les émotions d'un individu jouent un rôle important dans la dynamique des attitudes. Nous décrivons enfin le processus de complémentarité interpersonnelle et le rôle que joue la théorie de l'esprit dans l'obtention de cette complémentarité (section 2.2.3).

2.2.1 L'attitude sociale initiale

Même lorsque nous rencontrons quelqu'un pour la première fois, l'attitude que nous exprimons n'est pas neutre. Il existe en effet des liens entre la personnalité d'un individu et l'attitude sociale qu'il exprime. Les travaux présentés dans [Trapnell and Wiggins, 1990][Saucier, 1992][Hofstee et al., 1992] et [Stankov, 2007] font le lien entre les cinq traits de personnalité du Big Five [McCrae and Costa Jr, 1999] et le circomplexe interpersonnel. Ces travaux décrivent ainsi les liens entre le trait d'agréabilité et la dimension d'affiliation. Un individu ayant un score élevé d'agréabilité aura ainsi de grandes chances d'être plus amical avec les personnes qu'il rencontre. La dimension d'extraversion, quant à elle, est étroitement liée à la dimension de statut. Un individu avec un score élevé d'extraversion sera plus facilement perçu comme étant dominant. Notre genre et notre ethnie jouent également un rôle sur la façon dont nous nous présentons aux autres, et donc sur l'attitude sociale que nous exprimons. Les femmes accordent par exemple moins d'importance à l'apparence physique de leur interlocuteur [Banaji and Prentice, 1994]. Or, selon [Naumann et al., 2009], une personne négligeant son apparence physique inspire généralement un niveau d'affiliation plus faible qu'une autre personne à l'apparence plus soignée.

Si nous ne faisons pas toujours attention à l'attitude sociale que nous exprimons, il est toutefois des situations au cours desquelles il est très important de contrôler notre comportement. Il paraît par exemple difficilement concevable de se comporter de manière hostile lors d'un entretien d'embauche. Goffman compare ainsi la vie sociale à une pièce de théâtre dans laquelle chaque individu endosse un rôle particulier [Goffman, 1949]. Toutes les autres personnes représentent alors une audience, chargée d'observer la performance de cet "acteur" et réagissant en con-

séquence. Cette capacité de contrôler son comportement et son attitude sociale est appelée *gestion de l'impression* et est étudiée dans les travaux de Leary [Leary and Kowalski, 1990]. Selon les auteurs, nous sommes amenés à gérer l'impression que nous donnons pour trois raisons. (1) Obtenir ce que l'on désire de notre interlocuteur, (2) améliorer son estime de soi et (3) développer notre identité propre. Selon Snyder [Snyder, 1974], nous cherchons principalement à cacher notre état émotionnel ou au contraire à l'exagérer afin qu'il soit bien perçu. Leary définit de surcroît plusieurs variables qui viennent influencer l'impression donnée par un individu, et donc l'attitude sociale qu'il exprime, parmi lesquelles le rôle endossé par ce même individu lors de l'interaction. Nous n'exprimons effectivement pas la même attitude lorsque nous sommes dans le rôle d'un enseignant face à ses élèves que lorsque nous interagissons avec des amis. Dans son étude, Heise fait le lien entre différents rôles et l'attitude sociale telle qu'imaginée par les participants [Heise, 2010]. Ainsi, les anglophones jugent que les professeurs d'université sont aussi amicaux que leurs élèves, mais ces derniers sont jugés comme moins dominants. En outre, un individu peut exprimer une attitude négative s'il pense que c'est ce qu'attend son interlocuteur.

Plusieurs stratégies peuvent être déployées pour exprimer l'attitude sociale que l'on souhaite. Nous avons vu dans la section 2.1.3 que le comportement non-verbal était un important vecteur d'attitude sociale. Se tenir proche de son interlocuteur, lui sourire en cherchant le contact visuel peut nous rendre plus sympathique à ses yeux. L'apparence vestimentaire est également un bon moyen de biaiser la perception que les autres ont de nous [Naumann et al., 2009]. Un individu bien habillé et faisant attention à son apparence apparaîtra par exemple comme plus dominant, au contraire d'un autre au style plus négligé. Il existe par ailleurs de nombreuses stratégies permettant de paraître plus dominant et donc d'influencer son interlocuteur. Raven définit six bases de pouvoir sur lesquelles s'appuyer afin d'accroître son statut vis-à-vis de son interlocuteur [Raven, 2008] : le pouvoir *compensatoire* s'exprime lorsque un individu est capable d'influencer son interlocuteur en lui proposant une récompense. Par exemple, un parent pourra convaincre son enfant de faire la vaisselle en récompense de quoi il obtiendra 2€. Le pouvoir *informationnel* consiste à expliquer de manière rationnelle pourquoi un individu devrait effectuer une tâche particulière. Par exemple, un artisan pourra expliquer à un de ses pairs comment effectuer son travail plus efficacement. Le pouvoir *expert* vient du fait qu'un individu pense que son interlocuteur possède des compétences ou des connaissances supérieures aux siennes. Par exemple, un apprenti boulanger fera confiance

2 à son formateur pour tout ce qui concerne la fabrication de pain. A la différence du pouvoir *informationnel*, le pouvoir *expert* ne nécessite pas que la cible comprenne pourquoi elle doit effectuer telle ou telle action. Le pouvoir expert joue donc sur la confiance entre un individu et son interlocuteur. Le pouvoir *coercitif* s'exprime lorsqu'un individu est capable de contraindre son interlocuteur en le menaçant. Un exemple d'utilisation de pouvoir coercitif serait de menacer son enfant de le priver de sortie si ce dernier ne veut pas faire ses devoirs. Le pouvoir *légitime* est directement lié au lien hiérarchique liant deux individus. Par exemple, un employé se sentira "obligé" d'effectuer une tâche précise si son supérieur hiérarchique lui demande de le faire. Enfin, le pouvoir *référent* peut être lié aux notions de respect et d'admiration. Un individu effectuera une tâche précise parce qu'il admire la personne qui lui a demandé de le faire. Cialdini définit quant à lui trois types de buts sur lesquels un individu peut jouer pour influencer le comportement de son interlocuteur [Cialdini and Goldstein, 2004]: son but de *précision* qui vise à conserver une vision exacte de la réalité, son but d'*affiliation* qui vise à maintenir des relations à long-terme avec d'autres personnes et son but de *garder une bonne image de lui-même*. L'auteur décrit par la suite deux grands types de stratégies permettant d'influencer ces trois mêmes buts. Les stratégies de *complaisance* visent à exprimer des requêtes nécessitant une réponse précise. Les stratégies de *conformité* font en sorte que notre interlocuteur réplique nos propres comportements. Les comportements amicaux étant souvent réciproques, il peut par exemple être intéressant d'exprimer une attitude amicale vis-à-vis de son interlocuteur afin d'obtenir un service mineur de sa part. Dans ce cas là, la stratégie de conformité s'applique au but d'affiliation.

Nous venons de voir comment se forme l'attitude sociale d'un point de vue spontané et stratégique. Dans cette thèse, nous nous appuyons principalement sur la notion de gestion de l'impression de Leary [Leary and Kowalski, 1990] afin de définir l'attitude sociale idéalement exprimée par un agent en fonction de son rôle. Dans la sous-section suivante, nous allons étudier plus en détail la manière dont cette même attitude évolue au cours d'une interaction.

2.2.2 La dynamique de l'attitude sociale

De nombreux travaux se sont penchés sur la manière dont l'attitude sociale évolue au fil des interactions au travers des dimensions de statut et d'affiliation. Les

théories de la *consistance* modélisent la dynamique de l'affiliation en s'appuyant sur un schéma triangulaire entre un individu P, un autre individu O et un concept X qui peut être un objet, une idée, voire un autre individu [Heider, 1958][Osgood and Tannenbaum, 1955][Zajonc, 1960]. Les schémas présentés dans la figure 2.2 décrivent chacun l'attitude sociale de P envers O, l'attitude de P envers X et l'attitude de O envers X. Une situation est dite consistante dès lors que toutes les attitudes sont positives ou seulement une attitude est positive. Par exemple, la situation est consistante si Alice aime le chocolat (affiliation positive), Bob aime le chocolat (affiliation positive) et Alice aime Bob (affiliation positive). Elle n'est *pas consistante* dans le cas contraire, par exemple si Alice aime Bob et le chocolat (affiliations positives) mais Bob n'aime pas le chocolat. L'une des solutions que P peut mettre en œuvre pour réduire l'inconsistance déclenchée par ce genre de situations est de changer son attitude sociale envers O. Ainsi, dans le cas où Bob et Alice ont des avis divergents sur le chocolat, Alice peut changer d'avis sur Bob et diminuer son affiliation envers lui.

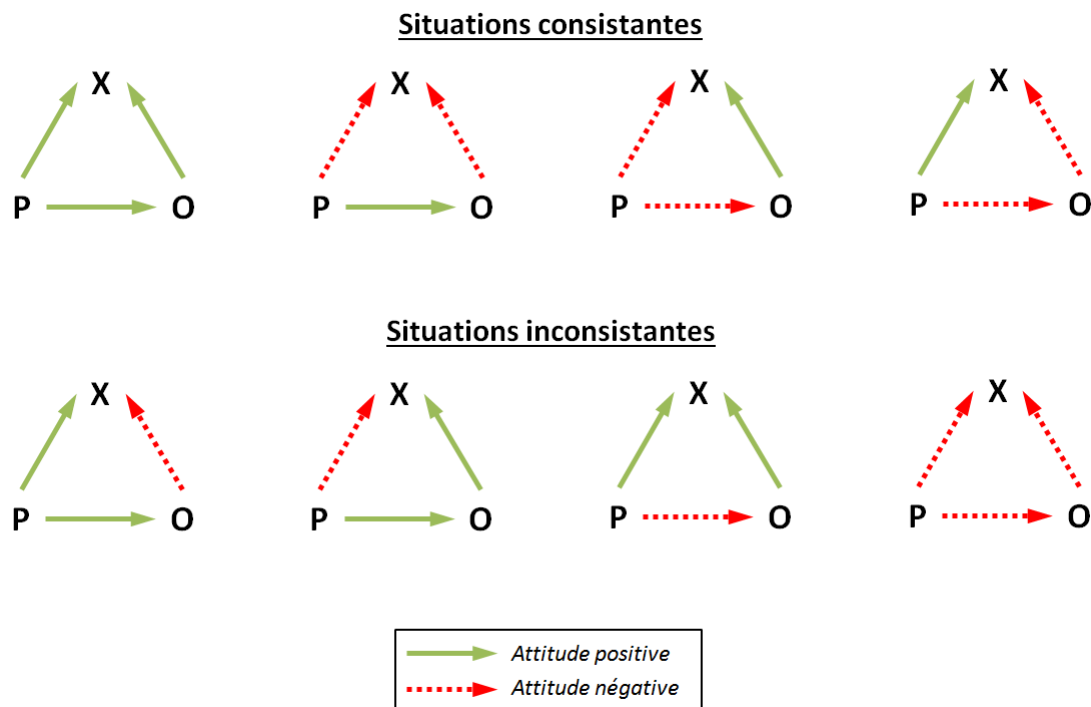


Figure 2.2 : Différentes situations consistantes et inconsistantes entre un individu P, un autre individu O et un concept X. Les flèches en pointillés de couleur rouge représentent les attitudes négatives d'une entité envers une autre. Les flèches pleines de couleur vertes représentent des attitudes positives d'une entité envers une autre.

Une autre façon de modéliser la dynamique de l'affiliation repose sur les *émotions*. Selon Ortony, les émotions ressenties par un individu et déclenchées par son interlocuteur viennent influencer l'affiliation du premier envers le dernier [Ortony, 1991]. La direction de l'évolution est déterminée par la valence de l'émotion ressentie : les émotions positives améliorent la valeur d'affiliation alors que les émotions de valences négatives détériorent cette même valeur d'affiliation. Shiota et ses collègues décrivent l'influence des émotions positives sur les relations sociales en fonction du type même de la relation [Shiota et al., 2004] : relation parentale, romantique, d'amitié ou de groupe. Pour chaque type de relations, les auteurs mettent en évidence deux phases : une phase d'identification et une phase de développement. Les expressions positives ne sont pas les mêmes et s'expriment de manière différente selon le type de relation et la phase dans laquelle on se trouve. Par exemple, un sourire est lié à une émotion de joie lors de l'identification d'une relation amicale. Un autre exemple serait l'expression de désir consécutif à un comportement de flirt lors du développement d'une relation romantique. Contrairement aux théories de la consistance, ces théories affectives affirment que l'on apprécie une personne parce que l'on a passé de bons moments avec elle (i.e. ressenti beaucoup d'émotions positives en sa présence), et non parce que l'on partage les mêmes opinions.

"Quiconque veut être libre ne doit ni vouloir ni refuser quoi que ce soit des choses qui dépendent des autres" [Hadot et al., 2001]. C'est probablement en s'inspirant de cette citation du manuel d'Epictète que la majorité des travaux récents modélisent la dimension de statut et son évolution. Ces travaux s'appuient en effet sur les buts et désirs d'un individu pour définir son niveau de dominance. Emerson représente tout d'abord le niveau de dépendance d'un individu A par rapport à un individu B selon deux critères [Emerson, 1962]. Ainsi, le niveau de dépendance de A par rapport à B est (1) "directement proportionnel à l'investissement émotionnel relatif aux buts de A sur lesquels B à une influence" et (2) "inversement proportionnel à la disponibilité de ces buts pour A en dehors de sa relation avec B". En d'autres termes, si B peut influencer un but de A que ce dernier considère très (respectivement peu) important, alors A sera très (respectivement peu) dépendant envers B. Par ailleurs, si A connaît d'autres personnes pouvant également influencer ce but (i.e. B n'est pas le seul à pouvoir influencer le but de A), alors A sera moins dépendant envers B. Le niveau de statut de A est donc la différence entre le niveau de dépendance de A envers B et le niveau de dépendance de B envers A. Ainsi, si B est plus dépendant envers A que A ne l'est envers B, alors A sera dominant envers B (i.e. son statut sera élevé).

Castelfranchi formalise les différents patterns de dépendance qui apparaissent dans une relation [Castelfranchi et al., 1992]. Selon les auteurs, un individu A est socialement dépendant d'un individu B si ce dernier peut l'aider à réaliser l'un de ses buts, mais il existe quelques cas particuliers. A se retrouve dans une situation de dépendance *exclusive* si plusieurs agents peuvent effectuer la même action pour aider A à réaliser un de ses buts ou si plusieurs agents peuvent effectuer des actions différentes permettant de réaliser ce même but. A se retrouve dans une situation de dépendance *inclusive* si A dépend de plusieurs agents pour réaliser un seul de ses buts ou si A dépend du même agent pour réaliser plusieurs de ses buts. Enfin, A se retrouve dans une situation de dépendance *bilatérale* si A et B dépendent l'un de l'autre pour réaliser un même but ou si A et B dépendent l'un de l'autre pour réaliser des buts différents. Dans ces modèles le niveau de dépendance de A envers B peut évoluer si A change l'importance d'un de ses buts pour lequel B a une influence, ou si A trouve une solution alternative pour l'aider à réaliser son but. L'agent A peut également diminuer sa dépendance (i.e. augmenter son statut) en rendant B dépendant à son tour. Il y a cependant une différence entre le fait d'avoir une influence sur les buts de son interlocuteur et exprimer une attitude dominante [Anderson et al., 2012]. La dominance étant également influencée par la personnalité, un individu introverti n'exprimera par conséquent pas forcément de la dominance vis-à-vis d'un interlocuteur sur lequel il a pourtant de l'influence.

La plupart des théories que nous venons de voir étudient l'évolution de chaque dimension séparément. L'affiliation d'un individu évolue en fonction de ses croyances ou de ses émotions, alors que son niveau de dominance est influencé par ses buts. Il existe en outre une théorie qui étudie l'évolution de l'attitude sociale d'un individu à travers ses deux dimensions : la théorie de la complémentarité interpersonnelle.

2.2.3 La théorie de la complémentarité interpersonnelle

La théorie de la complémentarité interpersonnelle étudie la qualité de la relation entre deux individus en s'appuyant sur les deux dimensions de statut et d'affiliation [Sadler and Woody, 2010][Markey et al., 2003][Locke and Sadler, 2007][Sadler and Woody, 2003]. Selon cette théorie, deux individus auront une relation durable et de bonne qualité s'ils sont capables d'exprimer des attitudes *complémentaires* : les deux individus expriment des attitudes similaires sur l'axe d'affiliation (les deux ex-

2 priment une attitude amicale par exemple), mais opposées sur l'axe de statut (l'un exprime une attitude dominante, l'autre exprime une attitude soumise). Deux personnes exprimant le même niveau de statut (deux dominants ou deux soumis) et des niveaux différents d'affiliation (l'un hostile et l'autre amical) auront plus de mal à garder une relation de bonne qualité sur le long-terme. Leur relation est alors dite *anti-complémentaire* [Pincus and Ansell, 2003]. De nombreux travaux soulignent l'importance de la complémentarité interpersonnelle dans les relations entre les enseignants et leurs élèves [Thijs et al., 2011], entre les membres d'un même groupe de musique [O'Connor and Dyce, 1997] et dans les relations entre les médecins et leurs patients [Kiesler and Auerbach, 2006]. Dans chacun de ces cas, la complémentarité interpersonnelle constitue un bon prédicteur de la qualité de la relation sur le long-terme. S'il est possible que deux individus expriment toujours la même attitude sociale lorsqu'ils interagissent ensemble, il n'est pas rare que ces attitudes évoluent. Sadler définit ainsi trois cas de complémentarité représentés par la figure 2.3 [Sadler and Woody, 2010]. Dans le premier cas, deux individus maintiennent la même attitude complémentaire tout le long de leur relation. On parle alors de décalage interpersonnel. Dans le seconde cas, les deux individus expriment des attitudes complémentaires lors de certaines tâches précises. On parle alors d'explosion interpersonnelle. Le troisième type de complémentarité est représenté par des cycles de dominance au cours desquels les individus peuvent exprimer de la dominance ou de la soumission au fil des interactions dans le but de s'adapter à leur partenaire. Il s'agit là d'oscillations interpersonnelles. Dans chacun de ces cas, l'adaptation a pour but de maintenir la complémentarité et donc de maintenir la relation sur le long-terme. Tout le monde n'est cependant pas capable d'adapter son attitude sociale en faveur du contexte. En effet, les individus faisant preuve de rigidité interpersonnelle ont tendance à toujours exprimer la même attitude, quel que soit leur interlocuteur [Tracey, 2005][Locke and Adamic, 2012]. Ces derniers ont donc beaucoup de mal à s'adapter à l'attitude de leur interlocuteur et à atteindre cette complémentarité. Par conséquent, les individus faisant preuve de rigidité interpersonnelle ont plus de difficulté à conserver des relations sur le long-terme.

Dans la section suivante, nous nous attardons sur les situations d'apprentissage au cours desquelles les attitudes sociales jouent un rôle très important. Dans nos travaux, nous nous intéressons en effet particulièrement à ces situations d'apprentissage, dans lesquelles un individu doit faire étudier son interlocuteur.

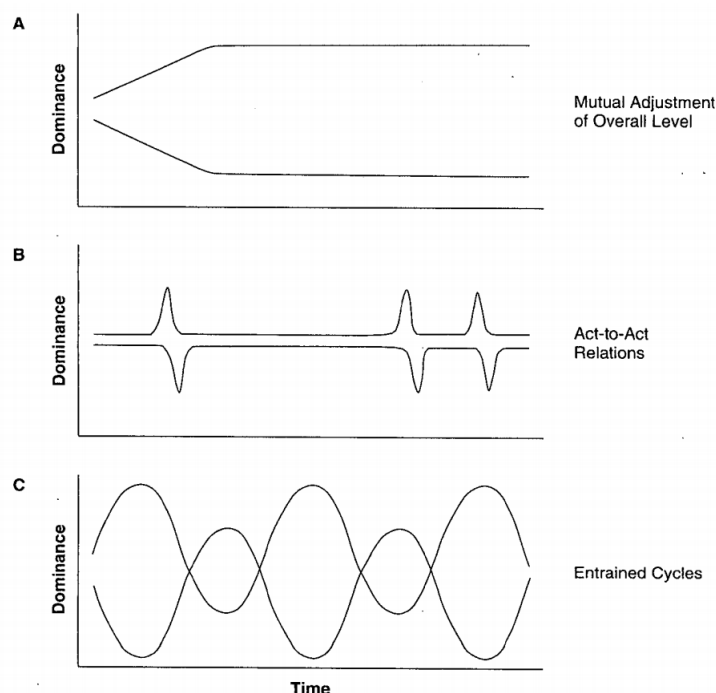


Figure 2.3 : Différents cas de complémentarité interpersonnelle. L'adaptation peut se faire de manière globale (cas A), au cas par cas (cas B) ou de manière cyclique (cas C) [Sadler and Woody, 2010].

2.3 LES ATTITUDES SOCIALES DANS UN CONTEXTE D'APPRENTISSAGE

Il est souvent nécessaire de motiver les enfants afin de leur faire faire leurs devoirs, et cette tâche n'est pas des plus aisée. Non seulement leur niveau de motivation fluctue, mais leurs envies et leurs objectifs également. Au même titre que les adultes, les enfants sont motivés par des choses diverses [Ryan and Deci, 2000]. L'un peut par exemple vouloir faire ses devoirs pour devenir le meilleur en classe, un autre fera ses devoirs parce qu'il veut impressionner ses amis, tandis qu'un autre aura simplement envie d'apprendre et de connaître de nouvelles choses sur le monde qui l'entoure. Afin de motiver aux mieux les enfants et de les faire travailler le plus efficacement possible, il est donc nécessaire d'adapter son comportement, et de personnaliser ou contextualiser les exercices proposés [Cordova and Lepper, 1996]. Mais les enfants ont également différents buts sociaux [Ojanen et al., 2005][Trucco et al., 2013]. Certains auront envie de contrôler les interactions là où d'autres préféreront se sentir proches de leurs interlocuteurs. Nous allons donc voir dans cette section l'importance que peut avoir l'attitude sociale vis-à-vis d'un enfant dans

un contexte d'apprentissage. Parents et enseignants jouant un rôle différent dans ce genre de contexte [Wentzel, 1998], nous étudierons leur influence séparément. Dans un premier temps, nous nous intéressons aux attitudes sociales d'enseignants lors d'interactions avec leurs élèves (section 2.3.1). Dans un second temps, nous étudions les attitudes sociales des parents lorsqu'ils interagissent avec leurs enfants (section 2.3.2).

2.3.1 Les attitudes sociales lors d'interactions enseignants/élèves

2 Si les compétences et les connaissances d'un enseignant sont indispensables à la réussite de ses élèves, l'attitude sociale de celui-ci joue également un grand rôle dans cette réussite [Wubbels et al., 2012]. De récentes études démontrent en effet qu'un enseignant capable de maintenir une bonne relation avec ses élèves parvient à améliorer la motivation et les résultats académiques de ces derniers [Pennings et al., 2014][Thijs and Koomen, 2008]. Cette influence de l'attitude sociale de l'enseignant sur les résultats et le comportement des élèves s'applique aussi bien à l'apprentissage des mathématiques [Lapointe et al., 2005] que de la physique [Fricke et al., 2012] ou de l'anglais [Wei et al., 2009]. En outre, les travaux présentés dans [Spilt et al., 2011] précisent que l'attitude de l'enseignant a également une influence sur son propre bien-être. Ainsi, un enseignant maintenant une bonne ambiance de travail au sein de sa classe réduira le stress provoqué par les conflits avec ses élèves. Certaines études définissent l'attitude sociale d'un enseignant selon deux extrémités. Un enseignant peut ainsi laisser peu de libertés à ses élèves ou au contraire promouvoir leur autonomie [Reeve, 1998][Deci et al., 1981]. Les enseignants laissant peu de libertés à leurs élèves donnent généralement à ces derniers des agendas très précis des tâches à effectuer. Ils utilisent des directives très strictes et jouent avec les motivations extrinsèques des élèves pour les contraindre à respecter ce calendrier. Un élève est extrinsèquement motivé s'il effectue une action pour des raisons extérieures à la tâche qu'il est en train d'effectuer. Par exemple, un étudiant sera motivé extrinsèquement pour faire ses devoirs d'histoire s'il pense qu'il sera puni par son professeur s'il ne le fait pas. Les enseignants soutenant l'autonomie de leurs élèves incitent au contraire ces derniers à réaliser eux-mêmes un calendrier des tâches à effectuer, favorisant leurs initiatives et jouant sur leurs motivations intrinsèques. Un élève est intrinsèquement motivé s'il effectue une action pour des raisons qui lui sont propres, et directement liées à la tâche. Par exemple, un étudiant sera motivé

intrinsèquement pour faire ses devoirs d'histoire s'il a envie de découvrir ce qu'il s'est passé durant la seconde guerre mondiale. Les résultats de ces études démontrent que les élèves ayant des enseignants soutenant leur autonomie obtiennent de meilleurs résultats que les élèves ayant des enseignants leur laissant peu de libertés. Il en va de même pour le niveau de motivation et la créativité. Ces résultats sont confirmés par [Assor et al., 2005][Deci et al., 1999][Lepper et al., 1997] dont les études montrent que les enseignants laissant peu de liberté à leurs élèves ont tendance à saper les résultats de leurs élèves. Afin d'obtenir de meilleurs résultats, un enseignant a donc tout intérêt à faire comprendre à ses étudiants pourquoi ils apprennent, et non à les menacer de punitions si jamais ils n'apprennent pas.

D'autres travaux ont quant à eux positionné l'attitude sociale des enseignants sur le circomplexe interpersonnel de Leary [Wubbels and Brekelmans, 2005]. Wubbels divise ainsi le circomplexe en huit octants représentant chacun un style d'enseignement particulier comme l'indique la figure 2.4. Un enseignant avec un haut niveau de statut et d'affiliation organisera et dirigera la classe tout en inspirant confiance à ses élèves. Un enseignant avec un faible niveau de statut et d'affiliation aura plutôt tendance à critiquer et à attendre que la classe s'organise d'elle-même.

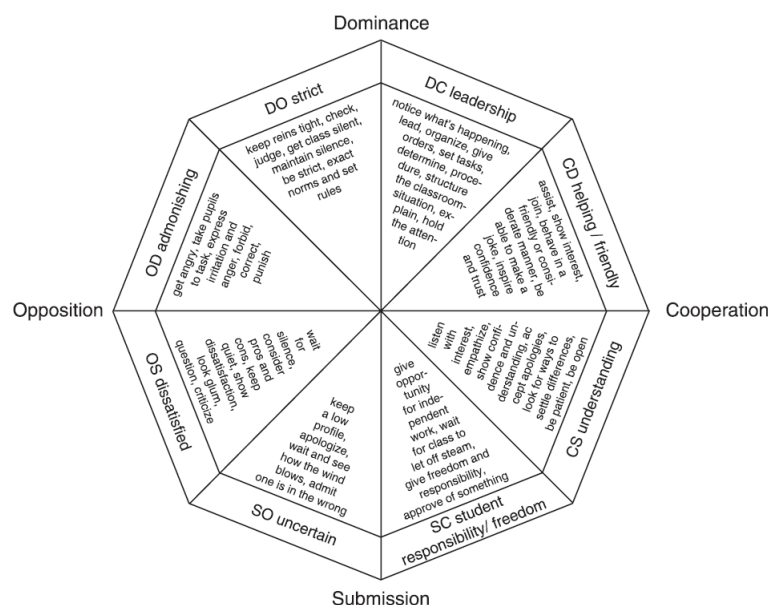


Figure 2.4 : Représentation du circomplexe interpersonnel dédié aux styles des enseignants lors d'interactions avec des élèves [Wubbels and Brekelmans, 2005].

L'attitude sociale de l'enseignant n'est pas la seule caractéristique à prendre en

2 compte dans la réussite académique de ses élèves. L'attitude sociale de ces derniers doit également être prise en compte. Nous avons vu dans la section 2.2.3 que la complémentarité interpersonnelle entre un enseignant et ses élèves influence la qualité de leur relation [Thijs et al., 2011]. D'autres travaux se sont penchés sur cette complémentarité d'un point de vue temporel en se posant la question suivante : un enseignant dont l'attitude sociale vis-à-vis de ses élèves varie régulièrement obtient-il de meilleurs résultats qu'un enseignant exprimant une attitude sociale constante [Mainhard et al., 2012] [Pennings et al., 2014] ? Pour répondre à cette question, des observateurs ont annoté les attitudes de deux enseignants et de leurs élèves à un intervalle de temps régulier selon les axes de statut et d'affiliation. L'ensemble de ces annotations est présenté dans la figure 2.5. Les résultats de ces études montrent qu'un enseignant dont l'attitude sociale vis-à-vis de ses élèves varie régulièrement obtient de moins bons résultats qu'un enseignant exprimant une valeur stable et élevée de statut et d'affiliation. Ces résultats sont donc différents de ceux présentés dans la section 2.2.3. En effet, les résultats présentés en section 2.2.3 montrent qu'un individu faisant preuve d'une rigidité faible (et donc s'adaptant plus facilement à son interlocuteur) a des relations de meilleure qualité et qui durent plus longtemps qu'un individu avec une rigidité élevée [Tracey, 2005][Locke and Adamic, 2012]. Or, les résultats dans le domaine de l'enseignement montrent qu'un enseignant avec une rigidité élevée gère mieux sa classe et ses relations avec les élèves qu'un enseignant dont la rigidité est faible. Il semblerait donc que la théorie de la rigidité interpersonnelle ne s'applique pas de la même manière selon le contexte social dans lequel l'interaction se situe. Nous venons de voir que l'attitude sociale des enseignants avait une forte influence sur les résultats et le comportement de leurs élèves. Dans la prochaine sous-section, nous nous plaçons toujours dans une situation d'apprentissage en analysant si l'attitude sociale des parents joue un rôle important lorsque ces derniers essaient de motiver leurs enfants à travailler.

2.3.2 Les attitudes sociales lors d'interactions parents/enfants

Bien que les enfants en bas-âge soient souvent motivés pour apprendre et découvrir de nouvelles choses, leur motivation peut décroître en grandissant. En effet, un grand nombre de parents déplore le manque de motivation de leurs enfants dès lors qu'ils sont scolarisés [Cordova and Lepper, 1996]. Ce manque de motivation peut être en partie réglé si les parents eux-mêmes sont motivés par la réussite scolaire

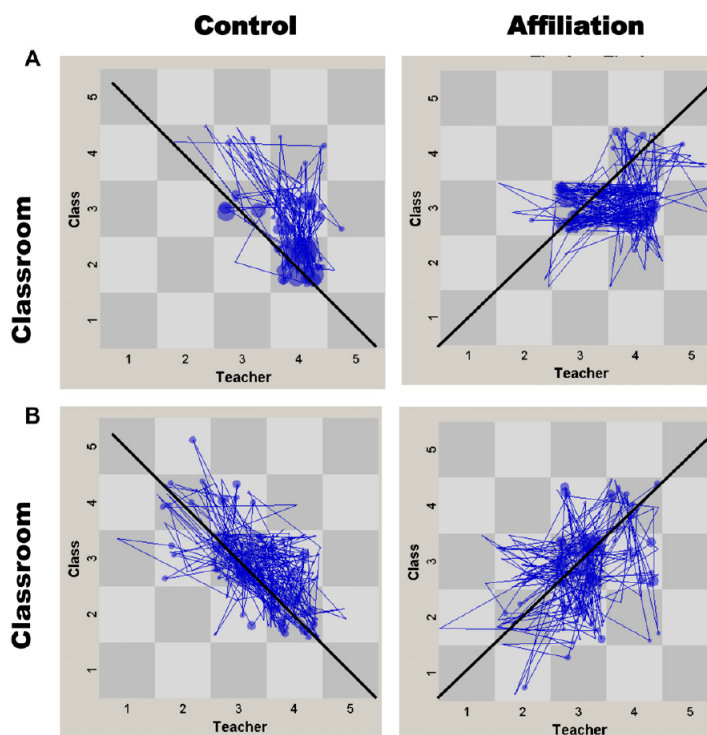


Figure 2.5 : Annotation des valeurs d’affiliation et de statut au cours d’une interaction entre un enseignant et ses élèves [Mainhard et al., 2012].

de leurs enfants [Katz et al., 2011]. De plus, au même titre que les enseignants, les parents peuvent adopter différents styles pour motiver les enfants [Spera, 2005]. Certains vont essayer de les contrôler en appliquant des règles strictes, en vérifiant systématiquement leurs devoirs et leurs bulletins de notes ou en utilisant des stratégies coercitives telles que les punitions ou les blâmes. Certains sont au contraire plus patients, compréhensifs, et soutiennent leurs enfants de manière plus amicale. Dans [Grolnick and Ryan, 1989] et [Cooper et al., 2000], les auteurs présentent trois dimensions définissant les différents styles parentaux d’apprentissage : (1) le *soutien de l’autonomie* représente la manière dont les parents encouragent leurs enfants à réfléchir par eux-mêmes, (2) l’*engagement* représente la façon dont les parents s’investissent dans la scolarité de leurs enfants et (3) la *structure* représente la manière dont les parents utilisent des directives strictes et précises pour éliminer les éventuelles distractions. Les études présentées dans ces travaux démontrent que la dimension de *soutien de l’autonomie* a non seulement une influence positive sur les compétences acquises par les enfants, mais également sur leur autonomie et leur comportement vis-à-vis de leurs parents. Les dimensions de *structure* et d’*engagement*

n'ont cependant qu'un faible impact sur ces mêmes résultats. Dans [Froiland, 2015] Froiland s'appuie sur des autoévaluations de parents pour proposer différentes stratégies de *soutien de l'autonomie*. Ces stratégies sont : (1) généraliser au delà des devoirs et expliquer à l'enfant pourquoi il est important d'étudier, (2) éviter de trop vouloir contrôler l'enfant, (3) rendre l'apprentissage plus amusant et (4) fournir de l'aide et des retours fréquents. Les résultats confirment que le style parental de soutien de l'autonomie est fortement lié à la réussite scolaire des enfants, et leur permet en outre de mieux apprécier leurs devoirs.

Si nous comparons les trois dimensions de *soutien de l'autonomie*, d'*engagement* et de *structure* au circomplexe interpersonnel des enseignants représenté par la figure 2.4, nous pouvons faire un parallèle entre la dimension de *soutien de l'autonomie* et le quadrant dominant/coopératif du circomplexe. La dimension de *structure* est quant à elle liée au quadrant dominance/opposition de ce même circomplexe. Ainsi, les parents exprimant des niveaux de statut et d'affiliation élevés vis-à-vis de leurs enfants les motiveront plus aisément et plus efficacement que des parents exprimant un faible niveau d'affiliation.

2.4 CONCLUSION

Afin de modéliser l'expression d'attitudes sociales à travers les différentes séquences d'actions d'un agent conversationnel animé, il est nécessaire de comprendre comment ces attitudes se forment et évoluent. Nous avons vu, dans un premier temps, qu'une attitude sociale comportait à la fois des aspects spontanés mais également stratégiques. Ces aspects spontanés sont généralement étudiés à travers le prisme des relations sociales : un individu appréciant son interlocuteur aura spontanément tendance à exprimer de l'amicalité envers ce dernier. L'aspect stratégique est quant à lui lié à la notion de gestion de l'impression, et particulièrement au rôle endossé par l'individu dans l'interaction. Une personne endossant le rôle d'un enseignant souhaitera ainsi exprimer de la dominance envers son élève. Il est cependant important de noter que certains individus faisant preuve d'une forte rigidité interpersonnelle ne sont pas capables d'adapter leur attitude sociale à la situation à laquelle ils font face. L'aspect stratégique est donc fortement inhibé pour ces individus, qui expriment donc spontanément ce qu'ils ressentent sans possibilité de masquer ce ressenti.

Nous avons également vu dans ce chapitre comment nos attitudes sociales étaient amenées à évoluer au cours d'une interaction en fonction des actions de notre interlocuteur. L'affiliation peut évoluer selon la théorie de la consistance : plus nous partageons les mêmes opinions que notre interlocuteur, plus notre attitude envers ce dernier sera amicale et inversement. Dans notre thèse, nous nous appuyons sur les processus affectifs afin de modéliser la dynamique de l'affiliation. Lors d'une interaction, les émotions ressenties par un individu feront évoluer son amicalité envers son interlocuteur. Les émotions positives rendront l'individu plus amical, alors que les émotions négatives le rendront plus hostile. Le statut d'une personne est quant à lui fortement lié à ses buts et à ceux de son interlocuteur. Plus cette personne découvre qu'elle peut influencer les buts de la personne avec qui elle interagit, plus elle sera dominante. Au contraire, plus elle dépendra de l'autre pour réaliser ses buts, plus elle sera soumise.

En dehors de ces évolutions spontanées de l'attitude sociale, le phénomène de complémentarité interpersonnelle permet également de réguler les interactions entre deux individus. En effet, si nous voulons qu'une interaction se déroule sous les meilleurs auspices, et si nous voulons maintenir notre relation avec notre interlocuteur, nous avons tout intérêt à exprimer des attitudes qui soient complémentaires. Il faut pour cela que tous deux expriment un même niveau d'affiliation, mais que chacun exprime un statut diamétralement opposé. Ainsi, plus nous exprimons d'amicalité envers l'autre, plus nous espérons qu'il en fasse de même. Si nous souhaitons en outre contrôler l'interaction en exprimant de la dominance, nous attendons de notre interlocuteur qu'il fasse preuve de soumission. Il est donc possible de voir des cycles de dominance apparaître au cours d'une interaction, comme indiqué en figure 2.3.

Nous avons enfin étudié l'attitude sociale au travers d'un type d'interaction bien précis. Nous nous sommes donc placés dans un contexte d'apprentissage afin d'explorer en détail les interactions entre un enseignant et ses élèves, mais également entre un parent et son enfant. Les résultats montrent qu'exprimer une attitude amicale et dominante dans un contexte d'apprentissage permet d'améliorer les résultats académiques de l'élève/enfant, mais également son comportement général dans des situations identiques.

De cette étude de la littérature en Sciences Humaines et Sociales, nous pouvons retirer plusieurs enseignements sur lesquels nous nous appuyons dans cette thèse

afin d'améliorer la conception d'agents conversationnels animés. Les deux dimensions de *statut* (dominance Vs soumission) et d'*affiliation* (amicalité Vs hostilité) définies par Argyle pour représenter une attitude sociale sont les plus répandues dans la littérature. Représenter cette attitude sous la forme d'un vecteur permet en outre de modéliser la capacité d'un agent à s'adapter à son interlocuteur. Avoir une attitude complémentaire avec son interlocuteur permettant de maintenir une bonne relation avec ce dernier, notre ACA doit être capable d'exprimer un même niveau d'affiliation, mais un niveau de statut opposé à celui de son interlocuteur. Pour cela, l'agent doit être capable de gérer l'attitude qu'il exprime, notamment grâce au rôle qu'il endosse durant l'interaction, mais il doit également être capable d'inférer l'attitude sociale de son interlocuteur. Enfin, pour modéliser la dynamique de l'attitude sociale, il est nécessaire de simuler l'influence des actions d'un agent sur les dimensions d'affiliation et de statut de son interlocuteur. Dans le chapitre suivant, nous dressons un état de l'art des différents modèles d'attitude sociale pour des agents conversationnels animés, en nous intéressant particulièrement aux aspects développés ci-dessus.

Synthèse du chapitre

1. L'attitude sociale d'un individu représente son positionnement vis-à-vis de son interlocuteur. Bien qu'il existe de nombreuses représentations, les deux dimensions de *statut* (dominance Vs soumission) et d'*affiliation* (amicalité Vs hostilité) sont les plus répandues.
2. L'attitude sociale peut se développer *spontanément* ou être exprimée *stratégiquement*. La personnalité influence spontanément l'attitude sociale initialement exprimée, mais la gestion de l'impression permet de gérer stratégiquement cette attitude.
3. L'attitude sociale d'un individu évolue au cours d'une interaction. Les actions de son interlocuteur sont la cause de cette évolution : elles peuvent déclencher des émotions ou provoquer une inconsistance dans les croyances de l'individu, ce qui modifiera son attitude sociale envers son interlocuteur.
4. L'attitude sociale joue un rôle très important dans un contexte d'apprentissage. Elle a une influence sur les résultats académiques de l'enfant et sur la qualité de l'interaction.

3

État de l'art

"Autant de têtes, autant d'avis ; chacun va dans son sens ; il n'y a pas moins de différences entre les cerveaux qu'entre les palais."

Baruch Spinoza
L'Ethique

Comme le montre l'état de l'art de Marsella *et al.* [Marsella et al., 2010], de nombreux travaux dans le domaine des agents conversationnels animés se sont déjà penchés sur la modélisation des émotions. S'il paraît effectivement impensable d'interagir avec un agent incapable d'exprimer des émotions, nous avons vu dans le chapitre précédent que les attitudes sociales étaient également un élément à ne pas négliger afin de modéliser des interactions crédibles. Que ce soit dans le but de créer et de maintenir une relation avec un utilisateur ou de paraître plus efficace, de nombreux agents sont aujourd'hui dotés de la capacité d'exprimer ou de gérer leurs attitudes sociales.

Dans ce chapitre, nous dressons donc un état de l'art des différents travaux modélisant l'attitude sociale d'un agent conversationnel animé. Nous étudions cet état de l'art à travers trois thématiques distinctes. Nous avons en effet vu avec Scherer [Scherer, 2005] dans la section précédente (section 2.1.1) que l'attitude sociale comportait des aspects spontanés et stratégiques. Ainsi, nous présentons dans la première section de cet état de l'art différents travaux modélisant l'aspect spontané de l'attitude sociale (section 3.1). Nous étudierons la dynamique des attitudes sociales d'un agent au cours de l'interaction en fonction des actions de son interlocuteur. Puis, dans un second temps, nous verrons comment sont modélisés les liens entre l'attitude sociale et la prise de décision dans le domaine des agents conversationnels animés (section 3.2). Nous verrons en quoi l'attitude sociale influence les choix d'actions d'un agent, mais également son comportement verbal. Pour finir,

nous étudierons l'expression de l'attitude sociale d'un agent à travers son comportement non-verbal 3.3. Nous verrons comment l'attitude sociale influence les gestes et les expressions faciales d'un agent, mais également sa prise de parole lors d'une interaction.

3.1 MODÈLES COMPUTATIONNELS D'ATTITUDES SOCIALES

3 La plupart des travaux modélisant la dynamique des attitudes sociales d'un ACA se basent sur des dimensions comparables à celles de statut et d'affiliation. Les noms et les définitions de ces dimensions varient cependant selon les modèles. Dans SCREAM [Prendinger et al., 2002] et Demeanour [Ballin et al., 2004] par exemple, la dimension de statut représente le niveau hiérarchique séparant deux agents tel que chacun le perçoit. Dans les travaux de Prada [Prada and Paiva, 2009] et Ochs [Ochs et al., 2009], ce même statut est représenté plus généralement comme la capacité d'un agent à influencer le comportement des autres. Il en va de même pour la dimension d'affiliation, qui est définie dans [Moshkina and Arkin, 2003] comme *"un sentiment général et durable pouvant être positif ou négatif à propos d'une personne"*. Dans [Ballin et al., 2004] et [Isbister, 2006], la dimension d'affiliation intègre également la notion d'engagement (i.e. l'envie de maintenir la relation). Ces dimensions de statut et d'affiliation sont généralement traitées de manière asymétriques : ce n'est pas parce qu'un agent A aime un agent B que cela est réciproque. De la même manière, A et B peuvent tous les deux se considérer dominants lors d'une interaction. Dans cette section, nous étudions en détail les mécanismes inhérents à l'évolution des attitudes sociales d'un ACA lors d'une interaction. Nous regroupons ces travaux suivant deux catégories définies par Fazio [Fazio and Olson, 2007] (i.e. dynamique des attitudes sociales d'un point de vue affectif et d'un point de vue cognitif). Dans un premier temps, nous étudions donc les travaux modélisant la dynamique des attitudes sociales d'un point de vue affectif (section 3.1.1). Puis dans un second temps, nous nous intéressons aux travaux modélisant la dynamique des attitudes sociales d'un point de vue cognitif (section 3.1.2).

3.1.1 Modèles de dynamique affective des attitudes sociales

Les différents modèles que nous présentons dans cette section se basent sur les émotions ressenties par l'agent pour faire évoluer son attitude sociale.

Dans SCREAM [Prendinger et al., 2002], les auteurs modélisent à la fois la relation sociale entre deux agents A et B représentée par une valeur d'appréciation, et l'attitude sociale de A envers B, représentée par les deux variables de distance sociale et de pouvoir social de Brown et Levinson [Brown and Levinson, 1987]. Les auteurs s'appuient sur le modèle d'émotions OCC [Ortony et al., 1988] selon lequel la valence et l'intensité des émotions ressenties par l'agent jouent un rôle important dans l'évolution de la relation sociale. Ainsi, si l'agent A ressent une émotion positive (respectivement négative) dont un autre agent B est à l'origine, A appréciera plus (respectivement moins) B. L'importance de l'évolution dépend de l'intensité de l'émotion ressentie. Dans SCREAM, les auteurs formalisent donc les différentes émotions décrites dans OCC en fonction de l'état mental de l'agent : ses croyances, ses buts, ses standards et ses attitudes. Par exemple, un agent A appréciant un autre agent B et croyant que ce dernier ressent une émotion de joie sera content pour B (émotion *"happy-for"* en anglais). L'intensité de l'émotion ressentie est calculée selon les valeurs accordées aux différents états mentaux. Par exemple, l'agent A sera d'autant plus content pour l'agent B s'il l'apprécie énormément (i.e. la valeur accordée à l'attitude est élevée). Les auteurs se basent ensuite sur la valence et l'intensité de l'émotion ressentie par l'agent A pour calculer sa nouvelle relation sociale envers B. Si l'émotion ressentie par l'agent est négative (respectivement positive), l'intensité de cette même émotion viendra se soustraire (respectivement rajouter) à la valeur de relation actuelle. Plus l'intensité de l'émotion est élevée, plus elle aura d'impact sur la valeur d'appréciation. Par exemple, si l'agent A apprécie son interlocuteur B avec une valeur de 4, mais ressent une émotion très fortement négative d'intensité 6 dont B est là cause, alors la nouvelle valeur de relation sociale de A envers B sera de -2. Les émotions ont également une influence sur la distance sociale entre A et B. En effet seules les émotions positives sont prises en compte, et l'intensité de ces émotions vient se soustraire à la valeur de distance sociale actuelle. Plus l'agent A ressent des émotions positives intenses déclenchées par l'agent B, plus la distance séparant A et B sera réduite, et plus ils seront proches socialement. SCREAM modélise cependant uniquement l'évolution de la distance sociale séparant deux agents, le pouvoir social restant fixe durant l'interaction.

On retrouve une dynamique similaire dans le modèle proposé par Ochs *et al.* [Ochs et al., 2009] dans lequel les auteurs décrivent l'influence d'émotions précises sur les valeurs d'appréciation, de dominance, de solidarité et de familiarité telles que définies par Svennevig [Svennevig, 2000]. Ces valeurs sont en premier lieu initialisées en fonction du rôle de l'agent vis à vis de son interlocuteur lors de l'interaction. Ainsi, un agent endossant le rôle d'un policier sera initialisé avec une valeur d'appréciation négative s'il interagit avec un agent jouant le rôle d'un gangster. Cette valeur aurait été différente si le même agent policier avait été amené à interagir avec un de ses collègues. L'évolution de ces valeurs d'appréciation et de dominance se fait en fonction du type d'émotion ressenti par l'agent. Comme pour SCREAM décrit précédemment, ce modèle s'appuie sur la théorie OCC [Ortony et al., 1988] afin de formaliser le déclenchement des émotions selon des règles préétablies. L'émotion déclenchée dépend de la désirabilité que l'agent A accorde à l'évènement l'ayant déclenchée, l'attitude de l'agent envers la cible de l'évènement, et la certitude avec laquelle l'agent A croyait que cet évènement arriverait. Par exemple, un évènement désirable déclenchera de la joie chez l'agent s'il se produit, de l'espoir s'il peut potentiellement se produire, et de la déception s'il pouvait se produire mais ne se produit finalement pas. L'intensité de l'émotion dépend de la désirabilité accordée par l'agent à l'évènement qui vient de se produire, et de la certitude avec laquelle l'agent croit que l'évènement va se produire. L'évolution de la valeur d'appréciation dépend de la valence de l'émotion déclenchée. Les émotions positives de joie, d'espoir, d'admiration et de fierté augmentent donc la valeur d'appréciation alors que les émotions négatives de détresse, de peur, de colère et de honte viennent diminuer cette même valeur. La valence des émotions joue également un rôle dans l'évolution de la solidarité. Si deux agents ressentent la même émotion face à une même situation (les deux agents ressentent une émotion de colère par exemple), la valeur de solidarité entre ces deux agents augmente. Si ces mêmes agents ressentent des émotions de valences opposées (l'un ressent de la joie, l'autre de la tristesse), la valeur de solidarité diminue. La valeur de dominance évolue elle aussi en fonction des émotions, et les auteurs s'appuient sur [Shiota et al., 2004] pour cela. Un agent ressentant des émotions de fierté ou de colère fera augmenter sa dominance envers son interlocuteur. Des émotions de tristesse, de peur ou d'admiration viendront au contraire faire diminuer ce niveau de dominance. Les auteurs s'appuient également sur les travaux de Knutson pour prendre en compte les émotions exprimées par l'interlocuteur de l'agent A [Knutson, 1996]. Ainsi, si l'agent B exprime de la peur ou de la tristesse envers l'agent A, la dominance de l'agent A est augmentée.

Le calcul de la nouvelle relation sociale entre deux agents A et B est effectué via une fonction prenant en entrée l'émotion ressentie par l'agent A et les émotions exprimées par l'agent B. Ce modèle présente l'avantage de modéliser la dynamique de l'appréciation et de la dominance, là où SCREAM ne prend en compte qu'une seule dimension. La fonction permettant de calculer l'évolution de ces deux dimensions n'est cependant pas explicitée en détail par les auteurs et il n'est donc pas possible de quantifier l'évolution de l'attitude sociale. De plus, l'état mental de l'agent lors de l'interaction (i.e. ses buts et croyances) n'est pas représenté de manière explicite dans ce modèle.

Kasap *et al.* modélisent également la dynamique de l'attitude sociale de leur agent EVA selon deux valeurs de dominance et d'amicalité [Kasap et al., 2009]. Contrairement aux agents modélisés dans [Ochs et al., 2009], le rôle de EVA est fixe : elle est chargée d'enseigner la géographie à des étudiants sur plusieurs séances. Au début de chaque séance, son attitude sociale est initialisée en fonction des attitudes sociales atteintes en fin de chaque session précédente, pondérées par la personnalité de l'agent (i.e. sa valeur de neuroticisme). Ici, l'attitude sociale d'EVA est mise à jour à la fin de chaque séance en fonction des émotions qu'elle a ressenties au cours de la séance. Les émotions positives de gratitude et de joie augmentent l'amicalité d'EVA alors que les émotions négatives de colère et de tristesse diminuent cette même amicalité. Gratitude et tristesse ont pour effet de diminuer la dominance d'EVA, tandis que la joie et la colère l'augmentent. L'impact d'une émotion sur l'attitude dépend du nombre de fois où l'agent ressent cette émotion durant la séance. Par exemple, imaginons qu'Eva commence une séance avec des valeurs de dominance et d'amicalité égales à 0 et qu'elle ressente des émotions de gratitude à trois reprises durant la séance. A la fin de la séance, Eva aura une valeur d'amicalité de 3 et une valeur de dominance de -3 envers son interlocuteur. Si ce modèle permet de modéliser l'évolution des deux dimensions de dominance et d'amicalité, l'attitude sociale n'évolue qu'entre les différentes séances, et reste donc la même lors d'une simple interaction. En outre, l'intensité des émotions ressenties n'intervient pas dans le calcul de l'attitude finale : une émotion de faible intensité aura le même impact sur l'attitude sociale qu'une émotion très intense.

Les travaux que nous venons de voir ont fait le choix de modéliser la dynamique de l'attitude sociale à travers des processus affectifs mettant ainsi en avant les émotions ressenties par l'agent. Les travaux que nous allons voir dans la section suivante se sont quant à eux principalement appuyés sur la théorie de la consistance afin de

modéliser l'évolution des attitudes sociales de leur agent.

3.1.2 Modèles de dynamique cognitive des attitudes sociales

Avatar Arena se concentre sur la dimension d'affiliation dans un scénario au cours duquel un utilisateur doit négocier et planifier des rendez-vous avec plusieurs agents dans un calendrier déjà chargé [Rist et al., 2003] [Rist and Schmitt, 2002]. Avant chaque session, la valeur d'affiliation entre chaque participant est fixée. Cette valeur peut être positive, neutre ou négative. De plus, chaque agent a également des préférences en faveur de certains centres d'intérêts liés aux rendez-vous. Ces préférences peuvent être faibles, moyennes ou élevées. Par exemple, un agent A voudra impérativement garder sa réunion professionnelle de 15h car il considère sa carrière avec une importance élevée. Un autre agent B sera par contre plus enclin à décaler son rendez-vous chez le dentiste à la même heure, considérant sa santé avec une faible importance. Les outils permettant de configurer chaque scénario sont présentés dans la figure 3.1. Les auteurs se basent ensuite sur la théorie de la consistance [Heider, 1958] décrite en section 2.2.2 pour faire évoluer le niveau d'affiliation en fonction des propositions de chaque participant. Par exemple, si un utilisateur veut absolument planifier un rendez-vous à 15h avec l'agent A, mais que ce dernier a déjà planifié un rendez-vous professionnel, l'agent pensera que l'utilisateur n'accorde qu'une faible importance au concept de carrière. L'agent A considérant au contraire la carrière comme un concept très important, la situation sera considérée comme inconsistante, et l'agent devra changer son affiliation envers l'utilisateur, devenant moins amical. Si l'attitude fixée au début de la session était positive, elle deviendra neutre. Si l'attitude était neutre, elle deviendra négative. Si ces travaux mettent en avant les préférences de chaque agent, ils ne modélisent cependant pas leurs buts de manière explicite. De plus, la dimension de statut n'est pas représentée ici.

Dans SGD (Synthetic Group Dynamics), les auteurs essaient de faire collaborer des humains avec des agents virtuels autour de tâches communes en formalisant de manière logique les dimensions d'attraction et d'influence [Prada and Paiva, 2009]. L'évolution des attitudes sociales ne s'appuie cependant pas sur les émotions ressenties par l'agent, mais sur le contenu des interactions entre les différents protagonistes. Les auteurs différencient en effet les actions socio-émotionnelles des actions

Specify Peedy's relationship to:

	positive	neutral	negative
Merlin	☐	☒	☐
Robby	☒	☐	☐
Genie	☐	☐	☒

	low	medium	high
Career	☐	☐	☒
Hobby	☒	☐	☐
Wellness	☐	☐	☒
Social Contacts	☐	☒	☐
Culture, Art and Education	☒	☐	☐

Figure 3.1 : Ces tableaux représentent les outils de configuration de scénario pour Avatar Arena [Rist and Schmitt, 2002]. Le tableau de gauche permet de configurer le niveau d'affiliation d'un agent envers les autres agents présents dans le scénario. Le tableau de droite permet de configurer les préférences d'un agent en faveur des centres d'intérêts possibles.

instrumentales. Les actions instrumentales regroupent les actions ayant un impact sur la réalisation d'une tâche. Ces actions ont pour conséquence d'augmenter ou de diminuer la compétence de quelqu'un, mais peuvent également faciliter ou empêcher la réalisation d'une tâche particulière. Dans SGD, l'agent ou l'humain à la source d'une action instrumentale modifiera son influence vis à vis de la cible de son action. Ainsi, si un agent aide (respectivement empêche) un humain à réaliser une tâche, ce dernier sera moins (respectivement plus) influent. Selon les auteurs, les actions instrumentales positives peuvent être associées aux pouvoirs expert et informationnel décrits par Raven [Raven, 2008], justifiant ainsi la hausse d'influence des auteurs de ces actions. Les actions socio-émotionnelles ne sont pas liées à la réalisation d'une quelconque tâche. Les actions socio-émotionnelles positives ont pour but d'encourager, ou de montrer son accord vis-à-vis de l'action d'un membre du groupe. Au contraire, les actions socio-émotionnelles négatives expriment un désaccord voire une critique vis-à-vis d'une action. Comme pour Avatar Arena, les auteurs s'appuient sur la théorie de la consistance de Heider [Heider, 1958] afin de modéliser l'évolution de la dimension d'attraction. Dans SGD, un agent ou humain à l'origine d'une action socio-émotionnelle modifiera l'attraction de sa cible. Par exemple, un agent encouragé par un humain sera plus attiré par ce dernier. Au contraire, si un humain montre son désaccord suite à l'action d'un agent, ce dernier sera moins attiré par l'humain. Contrairement à Avatar Arena, SGD offre une représentation explicite des buts des agents. Cependant, la formalisation utilisée dans SGD ne permet pas de quantifier l'influence d'une action sur l'attitude sociale de la cible de l'action. Si l'on sait qu'une action instrumentale positive augmente l'influence de

son auteur, le modèle ne précise pas si cette augmentation est faible ou élevée. Dans la section suivante, nous discutons des avantages et des inconvénients des différents modèles de dynamique affective et cognitives des attitudes sociales.

3.1.3 Discussion

Les modèles que nous venons de voir représentent à leur façon l'aspect spontané d'une attitude sociale en décrivant comment celle-ci évolue naturellement au cours d'une interaction. Parmi les travaux listés dans cet état de l'art, tous ne modélisent pas la dynamique des deux dimensions d'affiliation et de statut. En outre, parmi les travaux modélisant l'évolution des deux dimensions, seul SGD représente explicitement l'état mental de l'agent en termes de buts et de croyances. Aucun de ces travaux ne s'appuie sur la théorie de l'esprit afin de doter chaque agent d'une représentation mentale de ses interlocuteurs, permettant d'adapter leur comportement en fonction de ce qu'ils savent sur eux, et de ce qu'ils pensent que les autres pensent d'eux. De plus, seul SCREAM et EVA permettent de quantifier l'évolution de l'attitude, que ce soit en fonction de l'intensité des émotions pour SCREAM, ou le nombre d'émotions ressenties pour EVA. Enfin, aucun des travaux listés ci-dessus ne s'intéresse aux aspects stratégiques inhérents aux attitudes sociales. Dans ces modèles, l'attitude sociale d'un agent n'a souvent qu'une influence minimale dans sa prise de décision. Les agents expriment donc directement l'attitude sociale qu'ils "ressentent". Il existe pourtant des situations lors desquelles un agent devrait pouvoir contrôler l'attitude sociale qu'il exprime. Il paraît par exemple difficile d'imaginer un enseignant exprimer de la soumission, tout comme un serveur dans un café devrait savoir rester amical en toute circonstance vis à vis de ses clients.

Dans cette thèse, nous proposons donc un modèle computationnel représentant les aspects à la fois spontanés et stratégiques d'une attitude sociale. Nous formalisons la dynamique des dimensions de statut et d'affiliation à travers les buts et les croyances d'un agent (en particulier ses croyances sur les buts et les croyances de son interlocuteur). Nous définissons également l'importance qu'un agent accorde à ses buts et la certitude que ce dernier accorde à ses croyances afin de quantifier l'évolution de l'attitude sociale. Cette formalisation de l'état mental de l'agent permettra par la suite à l'agent de prendre des décisions en fonction de ses attitudes sociales.

Dans la prochaine section, nous allons donc étudier les modèles représentant l'aspect stratégique inhérent aux attitudes sociales. Le tableau 3.1.3 permet de faire une synthèse des différents modèles présentés dans cette section selon les caractéristiques suivantes : quelles dimensions de l'attitude sociale modélisent-ils ? Présentent-ils de manière explicite l'état mental de l'agent ? Quantifient-ils l'évolution de l'attitude sociale de l'agent ?

	Affiliation	Statut	Etat mental	Quantifie
[Prendinger et al., 2002]	Oui		Oui	Oui
[Ochs et al., 2009]	Oui	Oui		
[Kasap et al., 2009]	Oui	Oui		
[Rist and Schmitt, 2002]	Oui		Préférences	
[Prada and Paiva, 2009]	Oui	Oui	Oui	

3.2 LIEN ENTRE ATTITUDE SOCIALE ET PRISE DE DÉCISION

Les différents modèles que nous venons de voir se concentrent majoritairement sur le calcul et l'évolution de l'attitude sociale d'un agent en fonction des actions effectuées par son interlocuteur. Les travaux suivants modélisent quant à eux les liens existant entre l'attitude sociale d'un agent et sa prise de décision. Dans cette section, nous séparons ces modèles en plusieurs catégories. La première catégorie regroupe les travaux modélisant l'influence de l'attitude sociale d'un agent sur son style linguistique (section 3.2.1). Puis, nous décrivons les modèles de dialogues influencés par l'attitude sociale de l'agent (section 3.2.2). Enfin, nous décrivons les travaux dans lesquels l'attitude sociale de l'agent influence directement les actions qu'il choisit d'effectuer (section 3.2.3).

3.2.1 Lien entre attitude sociale et style linguistique

L'un des premiers travaux à s'être intéressé aux liens entre l'attitude sociale d'un agent et sa prise de décision est l'oeuvre de Walker *et al.* [Walker et al., 1997]. Ces travaux se basent sur les dimensions de pouvoir et de distance sociale décrites dans [Brown and Levinson, 1987] pour modéliser le style linguistique d'un agent. Lorsqu'il s'apprête à s'adresser à son interlocuteur B, un agent A calcule en premier

lieu une valeur de menace $\theta_{A,B}$, résultat de la somme des valeurs de pouvoir de B sur A, et de distance entre A et B, plus un facteur dépendant de la situation. Ce facteur peut par exemple prendre une valeur élevée dans le cas où l'agent demande une faveur importante. Selon ce calcul, plus la distance entre A et B est grande, plus le pouvoir de B sur A est grand, et plus la situation est importante, plus la valeur $\theta_{A,B}$ de menace est élevée. Les auteurs définissent ensuite plusieurs stratégies pour un même acte de langage en fonction de cette valeur de menace, et donc de l'attitude sociale liant deux agents. Un $\theta_{A,B}$ très faible représente une situation où les deux agents sont très proches socialement et où B n'a aucun pouvoir sur A. Ceci conduira A à employer une stratégie *directe*. Par exemple, un agent A demandera un verre d'eau de la manière suivante : "Donnez moi un verre d'eau tout de suite". L'agent A utilisera une stratégie d'*approbation* s'il est très proche de B, et que chacun a une même valeur de pouvoir l'un sur l'autre. Dans ce cas, les deux agents sont de bons amis et A pourra donc demander de l'eau de la façon suivante : "Hé, mon ami, pourrais-tu m'apporter un verre d'eau ?". S'il existe une grande différence de pouvoir entre les deux agents, ou s'ils ne sont pas proches l'un de l'autre, un agent A préférera employer une stratégie orientée *autonomie* : "Pourrions-nous avoir de l'eau ?". Enfin, si un agent A a beaucoup moins de pouvoir qu'un autre agent B, et qu'ils sont également très distants, l'agent A sera *extrêmement poli*, et demandera de l'eau de la manière suivante : "Il semblerait que personne ne nous ait apporté d'eau pour l'instant.". Dans ces travaux, l'attitude sociale d'un agent influence principalement le choix de ses mots et son niveau de politesse. Cette attitude ne permet cependant pas de choisir entre les différents actes de langage.

Callejas *et al.* étudient également le style linguistique d'un ACA dans le but de modéliser un recruteur virtuel capable d'exprimer des attitudes sociales [Callejas et al., 2014a]. Dans ces travaux, l'attitude sociale d'un recruteur est représentée par son niveau d'affiliation et est calculée dynamiquement en fonction de la difficulté de l'interview et du niveau d'anxiété de l'utilisateur. Un recruteur pourra par exemple se montrer amical lorsque le niveau de difficulté sélectionné est faible, mais plus hostile dans des niveaux de difficultés élevés. Le recruteur va donc stratégiquement changer son style linguistique afin de mettre l'utilisateur à l'aise ou, au contraire, pour essayer de le déstabiliser. Le style linguistique est défini par différents paramètres tels que le nombre d'auto-références, le type de pronoms utilisés, le type de vocabulaire ou encore la longueur des phrases. Un agent amical utilisera plus de pronoms, moins de synonymes et un style plus informel. Ce même agent préférera

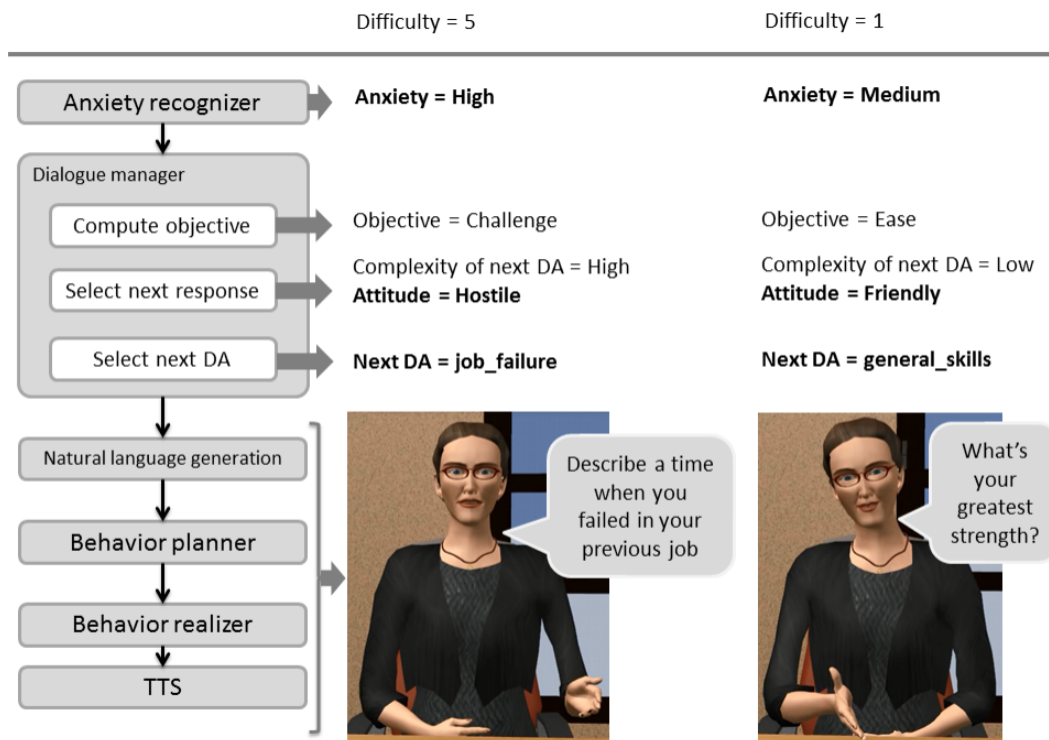


Figure 3.2 : Différentes étapes du modèle d'expression d'attitudes sociales de Callejas [Callejas et al., 2014b]. L'agent de gauche exprime de l'hostilité, et essaie de déstabiliser son interlocuteur. L'agent de droite est amical et essaie de mettre son interlocuteur à l'aise.

par ailleurs utiliser des verbes plutôt que des noms. Un agent hostile utilisera au contraire un vocabulaire plus varié, un style plus formel et évitera l'utilisation de pronom, rendant les phrases plus longues. Ses tournures de phrases seront en outre souvent négatives. Par exemple un agent amical terminera l'entretien d'embauche de la manière suivante : "Nous vous donnerons une réponse dans une semaine environ". Un agent hostile préférera la tournure de phrase suivante : "Vous ne recevrez pas de réponse avant une semaine". Le scénario étant scripté, le niveau d'affiliation de l'agent n'a d'influence que sur le style linguistique de la réponse. L'objectif était ici d'étudier l'effet des paramètres linguistiques sur l'attitude sociale perçue chez le recruteur.

Ces travaux se concentrent majoritairement sur le comportement verbal de l'agent, à travers le type de vocabulaire utilisé. L'attitude sociale de l'agent n'influence cependant pas le déroulement du scénario dans lequel il intervient. Dans la section suivante, nous étudions donc des modèles de dialogue dans lesquels l'attitude sociale

influence le choix des phrases sélectionnées par l'agent, et donc le déroulement de l'interaction.

3.2.2 Lien entre attitude sociale et dialogue

3 A l'instar des travaux de [Callejas et al., 2014a], le projet TARDIS¹ modélise également l'attitude sociale d'un recruteur virtuel au cours d'un entretien d'embauche avec un participant humain [Anderson et al., 2013]. Dans ce projet, le recruteur va choisir son sujet de discussion et les questions qu'il pose en fonction de son attitude sociale. Dans un premier temps, le système dérive l'état émotionnel du participant en fonction de son comportement non-verbal. Cet état émotionnel est représenté par les trois dimensions de plaisir, d'excitation et de dominance décrits par Mehrabian [Mehrabian, 1996]. L'agent vérifie ensuite si cet état émotionnel perçu correspond à ses croyances vis-à-vis de son interlocuteur. Par exemple, si l'agent perçoit une faible valeur d'excitation et de dominance chez l'utilisateur après lui avoir posé une question sur ses compétences techniques, il peut penser que l'agent n'est pas très confiant sur ce sujet. Cette information permettra à l'agent de modifier ses croyances vis-à-vis de son interlocuteur, et de modifier le déroulement du scénario. En effet, un recruteur amical cherchera à mettre le participant à l'aise en abordant des sujets pour lesquels il pense que ce dernier est compétent. Au contraire, un recruteur hostile aura tendance à favoriser les sujets de discussion pour lesquels il croit que son interlocuteur n'est pas à l'aise. Il est intéressant de noter que le déroulement du dialogue dans TARDIS dépend à la fois de l'attitude sociale du recruteur virtuel et de ce qu'il pense du participant. Les mécanismes permettant de sélectionner les questions que le recruteur doit poser ne sont cependant pas explicités dans l'article. Il est donc difficile de comprendre comment l'attitude et les croyances du recruteur influencent sa prise de décision.

Rea est un autre exemple d'agent capable d'adapter ses stratégies dialogiques en fonction de son attitude sociale [Cassell et al., 1999][Bickmore, 2003]. Endossant le rôle d'un agent immobilier virtuel, Rea est capable d'avoir une discussion orientée tâche (i.e. parler des caractéristiques de l'appartement qu'elle est en train de faire visiter) mais peut également parler de tout et de rien (*small talk* en anglais) avec son interlocuteur. Selon [Cassell and Bickmore, 2003], ces *small talks* sont un excellent

1. <http://researcher.tardis-project.eu/the-project/presentation>

moyen de mettre son interlocuteur en confiance, en améliorant son affect, sa familiarité et sa solidarité. Les auteurs définissent donc différentes stratégies dialogiques afin d'améliorer la confiance de l'utilisateur de leur système (voir figure 3.3). Les stratégies de coordination permettent d'améliorer l'affect de l'interlocuteur envers l'agent. Ce dernier peut également divulguer des informations personnelles, incitant l'utilisateur à en faire de même dans le but d'améliorer la familiarité. L'agent peut aussi montrer des signes d'appréciation réciproque afin d'augmenter le niveau de solidarité de son interlocuteur. L'agent peut enfin augmenter cette même solidarité en faisant preuve de la politesse attendue de la part d'un agent immobilier. Lors d'une interaction, Rea va donc utiliser dans un premier temps ces différentes stratégies afin d'améliorer l'affect, la solidarité et la familiarité de son interlocuteur. Une fois qu'elle pense avoir suffisamment mis son interlocuteur en confiance, celle-ci va commencer à parler de l'appartement qu'elle fait visiter. Ici, l'attitude sociale de l'agent est vue sous un angle différent : ce n'est pas une caractéristique propre à l'agent, mais plutôt un but à atteindre. En effet, Rea cherche à mettre son interlocuteur en confiance, en améliorant son affect, sa familiarité et sa solidarité. Son attitude peut être vue comme un but social à atteindre, complémentaire de son but orienté-tâche. Si Rea veut réussir à trouver la bonne maison pour son client (i.e. résoudre son but orienté-tâche), elle a tout intérêt à mettre son interlocuteur en confiance auparavant (i.e. résoudre son but social). Le modèle développé ici est cependant trop dépendant du contexte d'application et les buts sociaux de l'agent sont identiques d'un scénario à l'autre. De plus, l'attitude sociale n'étant pas modélisée comme une caractéristique propre à l'agent, il n'est pas possible de connaître son évolution en fonction des actions de l'agent.

Les travaux présentés dans cette section sont des modèles de dialogue permettant d'orienter la discussion en fonction de l'attitude sociale de l'agent. Ils se limitent néanmoins à des scénarios précis (i.e. entretien d'embauche ou vente de bien immobilier) dans lesquels des phases d'interaction bien distinctes sont déjà définies. En effet, un recruteur virtuel ne va pas demander à un participant ses compétences techniques avant de connaître son nom. Dans la prochaine section, nous allons donc étudier des modèles de prise de décision plus génériques permettant à un agent de sélectionner une action en fonction de son attitude sociale vis-à-vis de son interlocuteur.

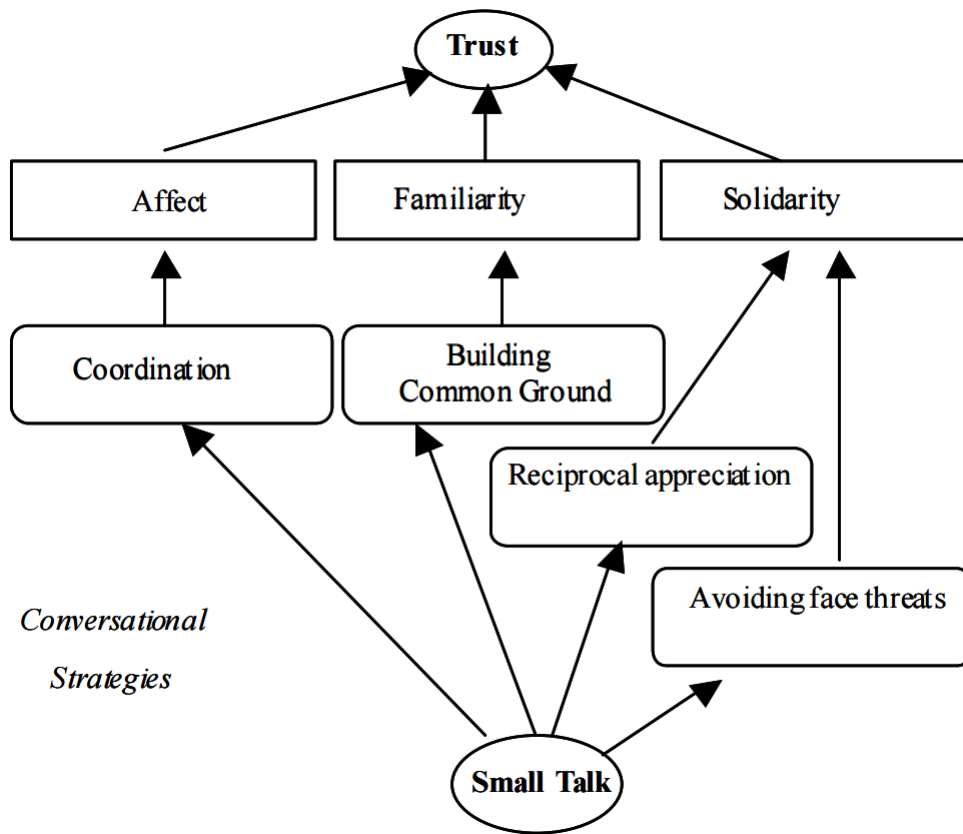


Figure 3.3 : Ce schéma représente le modèle conceptuel utilisé par l'agent Rea [Bickmore, 2003] en décrivant les différentes stratégies de *small talk* utilisées par l'agent afin de mettre son interlocuteur en confiance.

3.2.3 Lien entre attitude sociale et actions

Comme l'explique Gratch, il est nécessaire d'intégrer une dimension sociale aux environnements virtuels afin de les rendre plus crédibles et plus engageants [Gratch, 2002]. Ce dernier propose ainsi un modèle dans lequel un composant social gère les communications entre différents agents. L'aspect social est décomposé en une partie statique comprenant ses buts, sa relation sociale et son statut social, et une partie dynamique comprenant l'historique de l'interaction, un module de planification d'action de l'état émotionnel de l'agent. Ce composant social permet de biaiser la planification d'actions de ces mêmes agents en fonction du contexte social. Ces travaux décrivent principalement une architecture globale permettant de modéliser le contexte social dans lequel évolue un agent conversationnel animé. La description des parties statiques et dynamiques de la couche sociale n'est cependant pas suff-

isante pour comprendre les mécanismes sous-jacents à la prise de décision de l'agent. De plus, si ce modèle prend bien en compte la dimension sociale de l'interaction, il ne représente pas l'attitude sociale d'un agent durant cette même interaction.

Dans [Rousseau and Hayes-Roth, 1998], les auteurs se penchent sur la question de l'improvisation théâtrale et cherchent à lier l'attitude sociale d'un acteur virtuel à sa performance artistique. Avant chaque session, l'attitude sociale d'un agent vis à vis de ses interlocuteurs est initialisée en fonction de son rôle dans la pièce. Les auteurs ne définissent pas l'attitude sociale d'un agent envers un autre agent selon des dimensions prédéfinies. Cette attitude pourra être définie par de l'appréciation dans un scénario, de la confiance et de la dominance dans un autre, ou une combinaison des trois. Les valeurs d'attitude varient entre -10 et +10. Chaque agent a également une liste d'actions qu'il peut effectuer avec, pour chaque action, une ou plusieurs valeurs d'attitudes associées. Dans le cas où une action est associée à plusieurs attitudes, des poids compris entre 0 et 1 permettent de signifier quelle attitude est prépondérante. Par exemple, l'action *insulter* est associée à une valeur d'appréciation très faible (-8) et une valeur de dominance élevée (+3). Comme l'on considère qu'insulter est principalement une marque d'hostilité, le poids associé à l'attitude d'appréciation sera de 0,9, contre seulement 0,1 pour la dominance. Dès lors qu'un agent doit s'adresser à un interlocuteur, il effectue l'action dont les valeurs d'attitudes associées sont les plus proches de son attitude sociale actuelle vis à vis de cet interlocuteur, en prenant en compte les poids. L'attitude sociale d'un agent est donc ici directement liée à l'action qu'il effectue. L'attitude sociale n'évoluant pas au fil du scénario, un même agent effectuera cependant toujours les mêmes actions quelque soit ce qui se passe au cours de l'interaction.

Sichman *et al.* se sont concentrés sur l'étude de la dimension de statut afin de proposer un modèle de raisonnement social basé sur la notion de dépendance dans un système multi-agents [Sichman et al., 1998]. Les auteurs s'appuient sur la formalisation de Castelfranchi pour décrire les différentes formes de dépendance. Ainsi, un agent A peut dépendre d'un agent B de trois manières différentes. A peut dépendre des actions de B pour réaliser son but, mais il peut également dépendre de ses ressources ou des deux (actions et ressources). Les auteurs définissent ensuite six différentes situations de dépendance entre deux agents A et B. Un agent A est indépendant d'un agent B pour un but G si A ne dépend pas des actions de B pour réaliser son but G. Deux agents A et B sont dépendants mutuellement si A et B ont un même but G, et chaque agent dépend de l'autre pour réaliser ce but G.

Cette situation est une situation de coopération, les deux agents partageant le même objectif. Deux agents A et B peuvent également avoir une dépendance réciproque si A dépend de B pour effectuer un but G, mais que B dépend de A pour effectuer un autre but G'. Enfin, un agent A dépend unilatéralement d'un autre agent B pour un but G si A a besoin de B pour réaliser son but, mais qu'il n'a aucune influence sur les buts de B. Les actions de chaque agent dépendent donc de leur niveau de dépendance envers chacun des autres agents du système. Les mécanismes de prise de décision ne sont cependant pas décrits en détail dans ces travaux.

Pereira *et al.* s'appuient quant à eux sur la théorie de Raven [Raven, 2008] décrite en section 2.2.1 afin de modéliser le pouvoir d'un agent et son influence sur ses actions [Pereira et al., 2013]. Les auteurs formalisent les quatre formes de pouvoir suivantes : le pouvoir sur le bien-être de l'interlocuteur, le pouvoir légitime, le pouvoir expert et le pouvoir référent (voir description section 2.2.1). Un agent A possède du pouvoir sur le bien-être d'un autre agent B si A peut effectuer une action dont B peut bénéficier ou pâtir. Cette formalisation de pouvoir sur le bien-être regroupe donc les pouvoirs coercitifs et compensatoires décrits par Raven. Toujours dans ce modèle, un agent A possède un pouvoir légitime sur un agent B s'il endosse un rôle dans l'interaction lui donnant des droits par rapport au rôle endossé par B. Un agent A possède un pouvoir référent sur un agent B si ce dernier s'identifie à A à travers une relation. Enfin, un agent A peut exercer un pouvoir expert sur un agent B si A possède plus de compétences que B sur un même sujet C. Chacune de ces formes de pouvoir est ensuite associée à une probabilité que l'agent utilise ce pouvoir, et à une valeur d'intensité. La force qu'un agent A peut exercer sur un agent B est la somme des valeurs d'intensité de chaque pouvoir multipliées par la probabilité que l'agent A exerce ce pouvoir. Lorsqu'un agent doit prendre sa décision, il prend en considération la force de son interlocuteur, mais également l'intérêt de sa potentielle action sur ses propres buts (i.e. l'utilité de l'action). Cette valeur d'utilité est positive si l'action effectuée bénéficie à son auteur, négative sinon. Au final, l'agent effectuera une action si la somme de la force de son interlocuteur et de l'utilité de l'action est positive : soit l'agent considère que l'utilité de son action est supérieure au pouvoir de son interlocuteur, soit l'interlocuteur a suffisamment de pouvoir pour forcer l'agent à effectuer une action qui ne lui est pas utile. L'avantage de ce modèle est de présenter différentes formes de pouvoir et donc de dominance. Cependant le pouvoir est ici intrinsèque à l'agent, et défini au début du scénario. Il ne dépend pas de croyances sur des potentielles actions et ne peut donc pas évoluer.

Les travaux présentés dans cette section décrivent des agents dont les décisions sont influencées par leur attitude sociale. Peu d'entre eux décrivent cependant en détail comment la prise de décision est effectuée, en termes de croyances et de buts. Certains travaux voient par exemple les attitudes sociales comme des tendances à l'action, liant directement des valeurs d'attitude à des actions précises [Rousseau and Hayes-Roth, 1998]. En outre, les travaux modélisant les buts de l'agent représentent uniquement la dimension de statut. Si Sichman décrit comment le niveau de dominance d'un agent envers d'autres agents influence la personne vers laquelle il va s'adresser pour coopérer [Sichman et al., 1998], Pereira s'intéresse plutôt aux actions qu'un agent va décider ou non de faire en fonction des différents types de pouvoir de son interlocuteur [Pereira et al., 2013]. Dans la section suivante, nous discutons des avantages et des inconvénients des différents travaux modélisant le lien entre l'attitude sociale d'un agent et sa prise de décision.

3.2.4 Discussion

Bien que les modèles présentés dans cette section représentent l'influence des attitudes sociales sur la prise de décision d'un ACA, la plupart d'entre eux s'appuient sur des variables statiques : l'agent n'adapte pas sa prise de décision en fonction du déroulement de l'interaction, et ne prend donc pas en compte les actions de son interlocuteur. Un agent configuré comme étant amical le restera donc tout le long du scénario, même si son interlocuteur se comporte de manière extrêmement hostile et désagréable. Cette limite est liée au fait que de manière générale, aucun des agents listés ci-dessus n'a de représentation mentale de son interlocuteur. Leur raisonnement se base donc uniquement sur leurs buts et leurs croyances propres, ne permettant pas d'adaptation. En outre, peu des modèles décrits dans cette section s'appuient sur une représentation explicite des buts et croyances de l'agent. Les mécanismes de prise de décision sont donc rarement détaillés. Le tableau 3.2.4 permet de faire une synthèse des différents modèles présentés dans cette section selon les caractéristiques suivantes : quelles dimensions de l'attitude sociale modélisent-ils ? présentent-ils de manière explicite l'état mental de l'agent ? Ont-ils une représentation mentale de l'interlocuteur ?

3.3. EXPRESSION D'ATTITUDES SOCIALES AU TRAVERS DU COMPORTEMENT NON-VERBAL

	Affiliation	Statut	Etat mental	Théorie de l'esprit
[Walker et al., 1997]	Oui	Oui		
[Callejas et al., 2014a]	Oui	Oui		Niveau d'anxiété
[Anderson et al., 2013]	Oui	Oui		Oui
[Bickmore and Picard, 2005]	Oui			
[Gratch, 2002]				
[Rousseau and Hayes-Roth, 1998]	Oui	Oui		
[Sichman et al., 1998]		Oui	Oui	Oui
[Pereira et al., 2013]		Oui		Oui

3.3 EXPRESSION D'ATTITUDES SOCIALES AU TRAVERS DU COMPORTEMENT NON-VERBAL

Notre thèse portant sur les agents conversationnels animés, nous nous sommes également intéressés aux travaux modélisant l'influence de l'attitude sociale d'un agent sur son comportement non-verbal. En effet, comme nous l'avons vu en section 2.1.3, le comportement non-verbal est essentiel à l'expression d'attitude sociale dans une interaction. Dans un premier temps, nous étudions les travaux se focalisant sur les stratégies de prise de parole (section 3.3.1). Puis, nous étudierons les travaux faisant le lien entre l'attitude sociale d'un agent et ses expressions faciales (section 3.3.2) avant de voir les travaux s'intéressant à l'expression multimodale des attitudes (section 3.3.3).

3.3.1 Lien entre attitude sociale et prise de parole

De nombreux travaux se sont penchés sur les relations entre les attitudes sociales et la prise de parole. Ter Maat *et al.* étudient ainsi les stratégies de prise de parole au cours d'une discussion entre un humain et un agent virtuel contrôlé par un magicien d'Oz [Ter Maat et al., 2010]. Ces stratégies sont au nombre de trois et reflètent le temps d'attente avant la prise de parole. Pour la stratégie hâtive, l'agent commence à parler avant que son interlocuteur n'ait fini, provoquant ainsi un recoupement de parole. Pour la stratégie directe, l'agent commence à parler immédiatement après la fin du tour de parole de son interlocuteur. Enfin, pour la stratégie tardive, l'agent attend quelques secondes après que son interlocuteur ait fini de parler avant de pren-

dre la parole à son tour. L'étude montre qu'un agent appliquant la stratégie hâtive est perçu comme plus assuré mais moins amical qu'un agent appliquant la stratégie directe, lui même perçu comme plus assuré et moins amical qu'un agent appliquant la stratégie tardive. Ces travaux seront appliqués dans le projet SEMAINE² afin de générer quatre agents aux attitudes sociales bien distinctes et donnant des retours à leurs interlocuteurs dans des phases d'écoutes [Schröder et al., 2012]. Chaque agent est en effet associé à un comportement d'écoute précis, spécifiant la régularité et la nature de ses interventions. Spike, agent hostile et dominant, coupe par exemple plus régulièrement la parole à son interlocuteur qu'Obadiah, agent soumis et dépressif. Les retours donnés par Spike sont très souvent négatifs et agressifs, alors que Poppy, agent amicale et dominante, sera plus positive dans ses retours.

Ravenet *et al.* proposent également un modèle de prise de parole [Ravenet et al., 2015]. Dans ces travaux, les tours de paroles au sein d'un groupe d'agents sont définis sous la forme d'une machine à état, représentée par la figure 3.4. Les sept états décrits dans le modèle sont : (1) l'agent est seul à parler, (2) l'agent parle en même temps que quelqu'un d'autre, (3) l'agent vient de finir de parler (4) l'agent s'est fait interrompre, (5) l'agent écoute la conversation sans que personne ne lui parle directement, (6) l'agent écoute une personne qui lui parle directement et (7) l'agent veut prendre la parole. Les transitions entre les différents états sont fortement influencées par le niveau de statut et d'affiliation des agents. Ainsi, Ravenet définit des fonctions mathématiques permettant de vérifier si un agent peut passer d'un état à un autre. Le temps qu'un agent doit attendre pour passer de l'état d'auditeur à celui où il veut prendre la parole est inversement proportionnel à la moyenne entre sa valeur de dominance et d'affiliation. Plus un agent est dominant ou amical, plus vite il aura envie de parler. Pour qu'un agent passe de l'état dans lequel il veut parler à l'état dans lequel il prend effectivement la parole, la fonction est la suivante : l'agent prendra effectivement la parole si la somme de son statut et de la valeur absolue de son affiliation est positive. Pour qu'un agent prenne effectivement la parole, il faut donc que son niveau de statut soit suffisamment élevé ou que son niveau d'affiliation soit proche des extrêmes (i.e. l'agent est soit très amical, soit très hostile). Si tel est le cas, il participera activement à la conversation au risque de parler en même temps que d'autres membres du groupe. Une fois encore, l'attitude sociale de l'agent permettra de savoir s'il doit s'interrompre ou s'il va au contraire continuer de parler. Selon la fonction de transition entre l'état interrompu et les états où l'agent écoute

2. <http://www.semaine-project.eu/>

3.3. EXPRESSION D'ATTITUDES SOCIALES AU TRAVERS DU COMPORTEMENT NON-VERBAL

la conversation, l'agent va s'arrêter de parler si la somme de son statut et de la valeur absolue de son affiliation est négative. Un agent trop soumis, ou avec une valeur d'affiliation proche de la valeur neutre sera donc plus apte à s'interrompre si quelqu'un d'autre parle en même temps que lui. Ce modèle de tour de parole a été évalué en combinaison avec un modèle de comportement non-verbal de cohésion de groupe. L'avantage de ces travaux est de proposer une approche émergente des tours de parole en fonction de l'attitude sociale des membres du groupe. Une limite de ce modèle réside dans le fait qu'il ne considère pas le contenu sémantique des interruptions, ni même de la phrase que la personne interrompue était en train de prononcer.

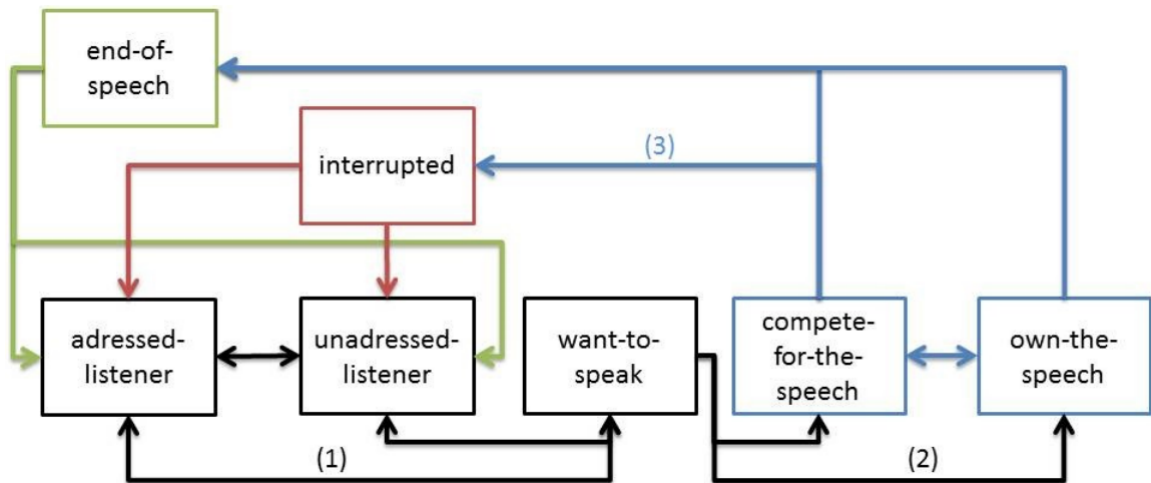


Figure 3.4 : Représentation de la machine à état permettant la gestion des tours de parole du modèle de Ravenet [Ravenet et al., 2015].

Cafaro *et al.* s'intéressent quant à eux au contenu sémantique de ces interruptions et proposent différents paramètres d'interruption permettant d'exprimer des attitudes sociales différentes [Cafaro et al., 2016]. Les auteurs définissent deux principales stratégies d'interruption : les interruptions coopératives permettent de continuer la discussion en cours, alors que les interruptions disruptives ont pour objectif de mettre fin à cette même discussion ou de changer de sujet. Parmi ces deux stratégies, les interruptions sont ensuite séparées selon des caractéristiques bien distinctes. Le *type* d'interruption correspond au temps que l'interlocuteur met avant d'arrêter de parler après qu'il ait été interrompu. Il peut prononcer plusieurs mots avant d'arrêter, s'interrompre immédiatement, ou finir sa phrase avant d'être interrompu. La *fonction* d'interruption correspond quant à elle à l'acte de dialogue choisi pour

interrompre. L'agent peut poser une question à propos de ce que son interlocuteur vient de dire, donner son opinion, donner une information ou réorienter le sujet. Par exemple, si un agent commence à dire : "J'ai lu le livre Alice au pays des merveilles. Il raconte l'histoire..." et que son interlocuteur le coupe avant qu'il n'ait fini de parler en demandant : "Tu parles du livre de Lewis Carroll ?", il s'agit d'une interruption coopérative, de fonction *Question* et comme l'agent s'est immédiatement arrêté de parler lorsque son interlocuteur l'a interrompu, le type est *Recouvrement de parole*. Si, pour le même type d'interruption (i.e. *Recouvrement de parole*), l'interlocuteur avait répondu : "J'ai lu le livre de la Belle et la Bête", l'interruption aurait été disruptive, et de fonction *Changer de sujet*. Les auteurs ont évalué leur modèle au travers d'un dialogue portant sur le livre Alice au Pays des merveilles, l'objectif étant d'évaluer l'effet de chacun des paramètres sur l'attitude sociale de l'interrupteur et de l'interrompu. Les résultats montrent que le type d'interruption (la durée durant laquelle l'interlocuteur parle avant de s'arrêter une fois interrompu) a une influence plus forte sur l'attitude que la stratégie d'interruption (disruptif ou coopératif). Un agent parlant plus longtemps une fois interrompu est perçu comme plus dominant et moins amical qu'un agent s'arrêtant de parler immédiatement. L'agent interrupteur était quand à lui perçu comme amical (respectivement hostile) lorsqu'il usait de stratégies coopératives (respectivement disruptives) pour interrompre son interlocuteur. Ce travail permet principalement de classer des interruptions en fonction de leur contenu sémantique, et de les associer à une attitude sociale. Les auteurs ne présentent cependant pas de modèle génératif permettant à un agent conversationnel animé de choisir la manière dont il interrompt son interlocuteur en fonction de son attitude sociale vis-à-vis de celui-ci.

3.3.2 Lien entre attitude sociale et expressions faciales

Fukayama *et al.* proposent un modèle computationnel permettant de modéliser l'influence de l'attitude sociale sur le regard d'un agent [Fukayama et al., 2002]. Basé sur un modèle de Markov à deux états (i.e. regarde l'interlocuteur ou évite le regard de l'interlocuteur), ce modèle prend comme paramètres la quantité des regards dirigés vers l'interlocuteur, la durée moyenne de ces regards, et la direction des regards lorsque l'agent évite son interlocuteur. Les résultats de l'expérience montrent entre autres que maintenir constamment un contact visuel avec son interlocuteur donne une forte impression de dominance et d'hostilité. Esquiver le

3.3. EXPRESSION D'ATTITUDES SOCIALES AU TRAVERS DU COMPORTEMENT NON-VERBAL

regard de l'autre en regardant vers le bas transmet une valeur élevée d'hostilité et un faible statut, tandis qu'une personne regardant vers le haut est considérée comme dominante.

Les travaux de Takashima *et al.* se focalisent quant à eux sur la dimension d'affiliation. Dans [Takashima et al., 2008], les auteurs étudient en effet l'influence des clignements des yeux sur l'amicalité perçue chez des agents virtuels réalistes ou cartooniques. Leurs résultats montrent des différences de perception en fonction du genre de l'avatar. Les agents féminins sont perçus comme plus amicaux lorsqu'ils effectuent 18 clignotements par minute. Ce taux de clignotement est au contraire synonyme d'hostilité chez les agents masculins. Un faible nombre de clignotements dénote d'une faible valeur d'amicalité dans tous les cas.

D'autres travaux se sont pour leur part penchés sur l'étude d'une seule des deux dimensions d'Argyle. Ainsi, Bee *et al.* présentent deux études se concentrant sur la dimension de statut. Dans la première étude, les auteurs examinent l'influence des expressions d'émotions au travers d'expressions faciales, des positions de la tête et du regard d'un agent sur la dominance perçue [Bee et al., 2009]. Les auteurs ont trouvé que les expressions faciales exprimant la joie, la colère et le dégoût étaient perçues comme dominantes, alors que les expressions faciales exprimant les émotions de tristesse et de peur étaient perçues comme des expressions de soumission. L'évitement de regard et la position de la tête étaient corrélés à l'émotion exprimée. Ainsi, éviter le regard de son interlocuteur n'est perçu comme un signe de soumission que lorsque l'agent exprime une émotion de joie. Dans leur seconde étude, les auteurs s'appuient sur leur précédents travaux pour étudier l'influence des comportements verbaux et non-verbaux d'un agent sur sa dominance perçue [Bee et al., 2010]. Aux regards et au mouvements de tête décrits dans [Bee et al., 2009] viennent s'ajouter des phrases générées en fonction de la personnalité de l'agent définie selon deux axes d'extraversion et d'amabilité. Selon leurs observations, aucune des deux modalités (verbale ou non-verbale) n'est prédominante par rapport à l'autre dans la perception de la dominance. Ainsi, le comportement verbal de l'agent aura une plus grande influence sur la dominance perçue lorsqu'il a une personnalité définie par une valeur d'amabilité élevée. La valeur d'extraversion de l'agent aura par contre une influence mineure sur le niveau de dominance exprimé par rapport au regard et à la position de tête de l'agent.

Cafaro *et al.* étudient l'influence du regard, de la distance interpersonnelle et des

sourires d'un agent sur son amicalité lors de situations d'approche et de salutation [Cafaro et al., 2012]. L'agent effectuait différents comportements en fonction de la distance le séparant de l'utilisateur, représenté par un avatar. Il pouvait sourire ou ne pas sourire si l'avatar se trouvait loin de lui, le regarder quand l'avatar se trouvait à mi-distance, et faire un pas vers l'avatar quand ce dernier se trouvait proche de lui. Les résultats montrent que les sourires de l'agent sont fortement liés à l'amicalité perçue. Les regards ne sont significativement perçus comme un signe d'amicalité que dans le cas où les participants ont une personnalité peu aimable. Le pas en avant était quant à lui lié au niveau d'extraversion de l'agent, et non à son amicalité. La configuration utilisée pour cette expérience est présentée dans la figure 3.6.

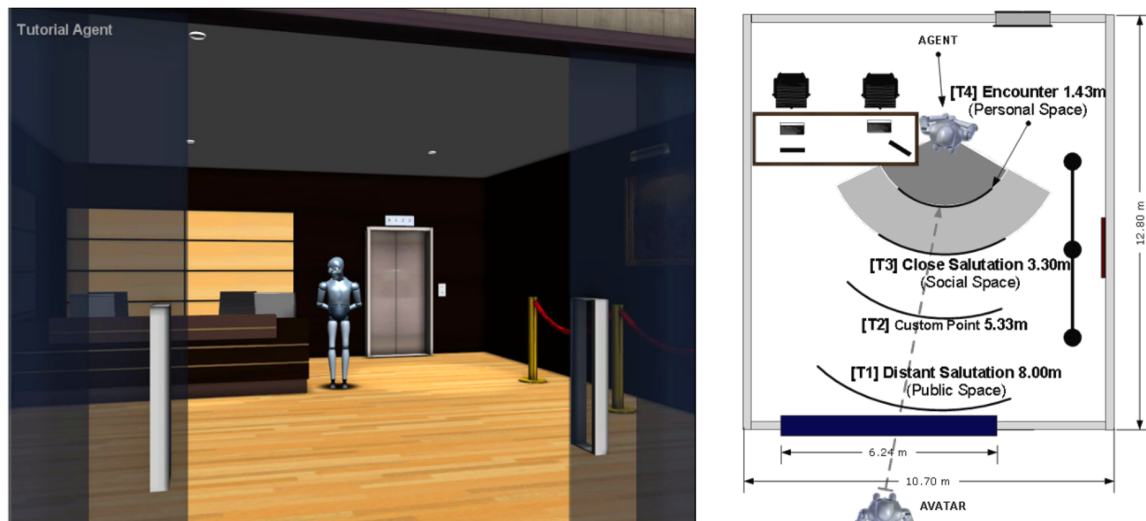


Figure 3.5 : Configuration de l'expérience sur la première impression menée par Cafaro [Cafaro et al., 2012].

3.3.3 Lien entre attitude sociale et comportement multimodal

Le projet Demeanour est l'un des premiers à étudier les liens existant entre les comportements non-verbaux d'un agent et son attitude sociale. Comme pour [Walker et al., 1997], les auteurs s'intéressent à l'improvisation théâtrale. Dans ce projet, il est en effet possible de configurer les attitudes sociales de plusieurs agents appartenant à un même groupe selon les axes de statut et d'affiliation [Ballin et al., 2004]. En fonction de leurs attitudes, les agents expriment des comportements non-verbaux différents, que ce soit leurs postures, gestes ou regards. Un agent configuré

3.3. EXPRESSION D'ATTITUDES SOCIALES AU TRAVERS DU COMPORTEMENT NON-VERBAL

de manière amicale aura par exemple tendance à se tourner vers les autres membres du groupe.

Ravenet *et al.* ont mis au point une plateforme internet afin de demander aux utilisateurs de créer eux-mêmes le comportement non-verbal d'un agent en fonction de son attitude sociale (statut et affiliation), de son intention communicative et de son genre [Ravenet et al., 2013]. Les participants pouvaient moduler l'expression faciale de l'agent (neutre, souriant, froncement de sourcil), ses gestes (pas de geste, mouvements de tête, mouvements de bras ou les deux), l'amplitude et l'accélération des gestes, la position de la tête et le regard. Les données récupérées ont permis de générer un réseau bayésien modifiant le comportement non-verbal d'un agent en fonction de son attitude sociale et de son intention communicative. Ce modèle a ensuite été utilisé en combinaison avec un modèle de dialogue dans [Callejas et al., 2014a]. L'objectif de cette étude était de comparer l'importance des modalités verbales et non-verbales dans la perception de l'amicalité d'un agent. L'étude montre que le comportement non-verbal seul permet de reconnaître des agents amicaux, mais n'est pas suffisant pour reconnaître l'attitude hostile. Le comportement verbal seul ne permet de reconnaître aucune des attitudes (hostile ou amical), alors que la combinaison des deux permettait de reconnaître les attitudes hostiles et amicales.

Chollet *et al.* se sont appuyés sur des enregistrements issus d'entretiens d'embauche réels pour construire leur modèle de génération de comportement non-verbal d'un recruteur virtuel en fonction de son attitude sociale [Chollet et al., 2014]. Les auteurs ont demandé à des participants d'annoter des séquences de comportements non-verbaux en les associant à des variations de statut ou d'affiliation. Ces annotations ont permis de créer un modèle de génération de séquences de comportements non-verbaux transmettant une attitude sociale. Ce modèle a ensuite été intégré dans un recruteur virtuel et évalué dans un scénario d'entretien d'embauche. L'évaluation montre que les comportements hostiles, amicaux et dominants générés par un tel modèle sont reconnus par les participants. Les comportements transmettant une attitude soumise ne sont quant à eux pas reconnus.

L'agent Laura a été développé afin d'inciter ses utilisateurs à faire du sport au travers d'interactions répétées [Bickmore and Picard, 2005]. Une étude a été effectuée afin de comparer les effets d'une Laura amicale avec une Laura neutre. La version amicale de Laura effectue des mouvements de tête et des gestes plus fréquents, regarde plus souvent l'utilisateur, se rapproche de ce dernier au fur et à mesure des

interactions et exprime de l'empathie à travers ses expressions faciales. La Laura neutre garde quant à elle ses distances avec l'utilisateur, effectue peu de gestes et de mouvements de tête, et n'exprime pas d'empathie. Les dialogues, scriptés, étaient identiques dans les deux conditions. Les résultats montrent que la seconde Laura a obtenu des scores d'affiliation significativement plus élevés que la Laura neutre, démontrant une nouvelle fois l'importance du comportement non-verbal dans la perception d'attitude sociale.

Le projet Gunslinger met en avant l'attitude sociale d'agents ayant un rôle secondaire au cours d'une interaction [Lee and Marsella, 2011]. Dans ce projet, quatre agents peuvent interagir avec un participant humain, en fonction d'un scénario prédéfini. Ces agents expriment une attitude sociale particulière envers chacun des autres agents. Lorsque le participant humain interagit avec l'un des agents, les autres expriment leur attitude envers ce dernier à travers leur langage non-verbal. Ainsi, si l'agent A est soumis envers l'agent B, et que A est présent lorsque le participant interagit avec B, A va faire un pas en arrière, pencher la tête, éviter le regard de B et se recroqueviller. Afin de construire ces différentes règles, et ainsi modéliser l'influence du comportement non-verbal sur l'attitude sociale, les auteurs ont enregistré et étudié des acteurs improvisant en fonction d'un scénario et des attitudes de chacun des personnages.



Figure 3.6 : Capture d'écran de deux personnages du projet Gunslinger [Lee and Marsella, 2011].

3.4 CONCLUSION

3 Nous avons dressé dans ce chapitre une liste non exhaustive des différents travaux modélisant les attitudes sociales d'un agent conversationnel animé. Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés aux travaux modélisant la dynamique des attitudes sociales au cours d'une interaction. Certains de ces travaux représentent l'évolution des dimensions de statut et d'affiliation en fonction des émotions ressenties par l'agent. D'autres représentent l'évolution de l'affiliation via la théorie de la consistance décrite en section 2.2.2. Enfin, d'autres travaux se concentrent sur la dimension de statut, et représentent son évolution à travers les différents buts de l'agent. Ces travaux présentent plusieurs limites : peu nombreux sont les modèles quantifiant l'évolution de l'attitude sociale en fonction des actions des autres agents. De plus, aucun de ces modèles ne modélise les processus stratégiques de gestion de l'impression qui peuvent être liés au rôle de l'agent vis à vis de son interlocuteur. L'attitude sociale des agents reflète uniquement ce qu'ils "ressentent", sans qu'ils soient capables de modifier cela.

Dans un second temps, nous avons étudié les travaux représentant l'influence de l'attitude sociale d'un agent sur sa prise de décision. L'attitude sociale peut impacter le style linguistique de l'agent, son choix de dialogue, voire même son choix d'actions. Certains travaux représentent cette influence comme un but à atteindre pour l'agent. Ainsi, l'agent cherchera à atteindre une attitude sociale particulière. Ce but est généralement fixé par le rôle de l'agent lors de l'interaction, et n'évolue pas en fonction des actions de son interlocuteur. Par ailleurs, peu d'agents possèdent une représentation mentale des autres agents présents dans l'interaction. Il leur est donc impossible de s'adapter et de raisonner sur l'attitude sociale de leur interlocuteur.

Enfin, nous nous sommes concentrés sur les travaux modélisant l'influence de l'attitude sociale sur le comportement non-verbal d'un agent. Une grande partie des modèles étudiés s'intéressent à l'expression d'attitude sociale à travers les gestes ou les expressions faciales, le regard ou la distance interpersonnelle. En outre, l'attitude sociale est très souvent statique dans ces modèles, et n'évolue pas au cours de l'interaction.

Dans cette thèse, nous proposons un modèle de prise de décision combinant les aspects dynamiques de l'attitude sociale aux processus stratégiques de gestion de l'impression. L'agent sera ainsi capable de planifier ses actions en fonction de son

rôle social, mais ses décisions seront également modulées par les actions de son interlocuteur.

Synthèse du chapitre

1. Les travaux modélisant l'attitude sociale d'agents virtuels peuvent être regroupés en trois catégories : les travaux modélisant la dynamique des attitudes sociales au cours d'une interaction, ceux modélisant l'influence de l'attitude sociale sur la prise de décision de l'agent et ceux modélisant l'expression d'attitudes sociales à travers le comportement non-verbal d'un agent. Rares sont les travaux regroupant ces trois aspects.
2. Les travaux modélisant la dynamique de l'attitude sociale d'un agent se basent sur les émotions ressenties par ce dernier (théorie affective) ou sur la théorie de la consistance (théorie cognitive). Peu de travaux quantifient l'évolution de l'attitude sociale de l'agent en fonction des actions de son interlocuteur.
3. Certains travaux s'intéressent à l'influence de l'attitude sociale sur la prise de décision d'un agent. Cette attitude sociale peut influencer le style linguistique, le choix des actes de dialogue ou d'actions. Ces modèles ne représentent généralement pas les buts et croyances de l'agent de manière explicite ou se limitent à des scénarios bien précis.
4. De nombreux travaux modélisent l'expression d'attitude sociale au travers du comportement non-verbal d'un agent. Ces travaux s'intéressent à la prise de parole de l'agent au cours d'une interaction, à ses expressions faciales ou à son comportement multimodal (généralement gestes et expressions faciale).

4

Modélisation computationnelle de l'attitude sociale d'un agent conversationnel animé

"La question n'est pas de savoir si les machines intelligentes ont des émotions, mais plutôt de savoir si les machines peuvent être intelligentes sans aucune émotion."

Marvin Minsky
The Society of Mind

L'objectif de ce travail de thèse est de construire un agent conversationnel animé capable de prendre ses décisions en fonction de son attitude sociale. L'attitude sociale de l'agent doit en outre comporter à la fois des processus stratégiques et spontanés, mais elle doit également pouvoir évoluer au cours de l'interaction. En effet, un agent ne devrait pas rester amical indéfiniment si, par exemple, son interlocuteur lui manque de respect à plusieurs reprises. Les actions prises par l'agent doivent donc refléter l'état actuel de son attitude sociale. Dans ce chapitre, nous proposons donc un modèle formel permettant à un agent de prendre des décisions et d'agir en fonction de son attitude sociale envers son interlocuteur.

Dans un premier temps, nous définissons le cadre formel dans lequel nous nous situons pour construire notre modèle (section 4.1). Puis nous formalisons l'attitude sociale exprimée par un agent en nous appuyant sur le cadre formel défini auparavant (section 4.2). Dans notre modèle, l'attitude sociale exprimée par un agent dépend à la fois de son attitude actuelle (sa relation sociale envers son interlocuteur) et de sa relation idéale (définie par le rôle de l'agent au cours de l'interaction). Nous expliquons ensuite comment l'attitude sociale actuelle de l'agent est amenée à évoluer au cours de l'interaction (section 4.3). Puis nous décrirons comment nous modélisons les buts de l'agent, et comment ce dernier prendra sa décision (section 4.4). Enfin, nous expliquerons comment nous avons implémenté ce modèle dans la plateforme PsychSim [Marsella et al., 2004] (section 4.5). Cette plateforme permet

en effet de simuler des interactions entre plusieurs agents s'appuyant sur la théorie de l'esprit pour prendre leurs décisions.

4.1 DÉFINITION DU CADRE FORMEL

Avant de décrire en détail notre modèle, il est indispensable d'expliquer le cadre formel dans lequel nous nous situons. Nous avons choisi une formalisation de type BDI nous permettant de représenter les différents états mentaux de l'agent, plus particulièrement ses buts et ses croyances. En effet, afin de comprendre comment les attitudes sociales de l'agent se forment et évoluent au cours d'une interaction, il est nécessaire d'avoir une représentation des croyances et des buts de ce même agent. En effet, les théories sur lesquelles nous nous appuyons pour formaliser la dynamique du statut reposent toutes deux sur les buts d'un agent et ses croyances sur son interlocuteur [Castlefranchi et al., 1992] [Emerson, 1962]. En outre, nous nous appuyons sur les émotions pour modéliser la dynamique de l'affiliation [Ortony, 1991]. Nous verrons en section 4.3.1 que ces émotions peuvent elles aussi être formalisées en fonction des buts et des croyances d'un agent [Lorini, 2011][Guiraud et al., 2011][Adam et al., 2009].

- $\neg$, $\wedge$, $\vee$ et $\Rightarrow$ sont les connecteurs logiques représentant respectivement la négation logique, la conjonction, la disjonction et l'implication.
- $\exists$ et $\forall$ sont les quantificateurs existentiels et universels.
- i et j sont les variables représentant des agents différents (qu'ils soient virtuels ou humains).
- a et a' sont les variables représentant des actions différentes.
- h , k et l sont les variables représentant respectivement un degré de certitude, d'importance et d'intensité.
- ϕ et ψ sont des formules logiques.

Les croyances et les buts de l'agent sont respectivement formalisés par les opérateurs modaux B et G :

- $B_i^h(\phi)$ peut être lu comme le fait que l'agent i croit que ϕ est vraie avec un degré de certitude $h \in [0, 1]$. Ainsi, plus la valeur h est élevée, plus l'agent i est certain que ϕ est vraie. $B_i^1(\phi)$ signifie donc que l'agent i est sûr que ϕ est vraie. $B_i^0(\phi)$ signifie que l'agent i est sûr que ϕ est fausse.
- $G_i^k(\phi)$ signifie que l'agent i a pour but que ϕ soit vraie. L'importance accordée

à ce but est égale à $k \in]0, 1]$. Ainsi, plus la valeur k est élevée, plus l'agent i désire que ϕ soit vraie.

Nous définissons également les opérateurs temporels suivants, ainsi que deux abréviations syntaxiques s'appuyant sur ces opérateurs :

- $After_a(\phi)$ signifie que ϕ est vraie après que l'action a ait été effectuée.
- $Before_a(\phi)$ signifie que ϕ est vraie avant que l'action a soit effectuée.
- $Resp_i(a)$ signifie que l'agent i est l'auteur de l'action a .
- $Done_i(a, \phi) \stackrel{\text{def}}{=} Before_a(\neg\phi) \wedge Resp_i(a) \wedge \phi$ signifie que l'agent i a effectué une action a après laquelle ϕ est devenue vraie.
- $CanDo_i(a, \phi) \stackrel{\text{def}}{=} \neg\phi \wedge \exists a(Resp_i(a) \wedge After_a(\phi))$ signifie que l'agent i peut effectuer une action a après laquelle ϕ deviendra vraie.

Nous nous appuyons sur [Belkaid and Sabouret, 2014] et [Ochs, 2007] pour définir les axiomes suivants :

- $B_i^h(\phi) \Rightarrow B_i^1(B_i^h(\phi))$ signifie que l'agent i est capable d'introspection positive sur ses croyances. En d'autres termes, l'agent i croit qu'il croit ce qu'il croit.
- $\neg B_i^h(\phi) \Rightarrow B_i^1(\neg B_i^h(\phi))$ signifie que l'agent i est capable d'introspection négative sur ses croyances. En d'autres termes, l'agent i croit qu'il ne croit pas ce qu'il ne croit pas.
- $B_i^h(\phi) \Rightarrow B_i^{1-h}(\neg\phi)$ signifie que si un agent i croit avec une degré de certitude h que ϕ est vraie, alors il croit avec une certitude $1 - h$ que ϕ est fausse.
- $B_i^h(\phi) \wedge B_i^{h'}(\phi \Rightarrow \psi) \Rightarrow B_i^{f(h, h')}(\psi)$ signifie que si un agent i croit avec une degré de certitude h que ϕ est vraie, et qu'il croit avec un degré de certitude h' que si ϕ est vraie, ψ est vraie aussi, alors i croit avec un degré de certitude $f(h, h')$ que ψ est vraie. Dans ces travaux, nous considérons que $f(h, h') = \frac{h+h'}{2}$.
- $G_i^k(\phi) \Rightarrow B_i^1(G_i^k(\phi))$ signifie que l'agent i est capable d'introspection positive sur ses buts. En d'autres termes, l'agent i croit qu'il a le but que ϕ soit vraie.
- $G_i^k(\phi) \Rightarrow \neg G_i^k(\neg\phi)$ signifie que si un agent i a un but ϕ , il ne peut pas avoir le but contraire.

4.2 FORMALISATION DE L'ATTITUDE SOCIALE EXPRIMÉE PAR UN AGENT

Nous nous appuyons sur la définition de Scherer pour modéliser l'attitude sociale d'un ACA. Ce dernier définit en effet une attitude sociale comme un *"style affectif qui se développe spontanément ou qui peut être stratégiquement employé lors d'une interaction avec une personne ou un groupe de personnes"* [Scherer, 2005]. Dans cette section, nous allons voir comment ces aspects spontanés et stratégiques sont définis dans notre thèse. Dans un premier temps, nous nous intéressons donc aux aspects stratégiques (section 4.2.1) avant d'étudier les aspects spontanés (section 4.2.2). Enfin, nous décrivons en section 4.2.3 comment nous calculons l'attitude finalement exprimée par un agent selon son attitude actuelle et idéale.

4

4.2.1 L'attitude sociale idéale

Les aspects stratégiques dépeints par Scherer sont liés à la notion de *gestion de l'impression* étudiée par Leary [Leary and Kowalski, 1990] (voir section 2.2.1). Il s'agit de l'attitude sociale qu'un individu *souhaite* exprimer lors d'une interaction. Leary définit ainsi le rôle endossé par une personne au cours de l'interaction comme un facteur important dans l'expression d'attitude. Par exemple, un enseignant et un étudiant n'exprimeront pas la même attitude sociale s'ils interagissent entre eux [Heise, 2007]. L'attitude de l'enseignant sera par ailleurs différente s'il interagit avec un collègue ou un parent d'élève. Dans notre modèle, le *rôle social* d'un agent représente donc son soi idéal dans un contexte social particulier. Tout d'abord, le rôle permet de définir la fonction de l'agent au cours de l'interaction : l'agent peut endosser le rôle d'un enseignant, d'un étudiant, d'un collègue de travail, etc... Mais ce rôle définit également l'état idéal de sa relation envers son interlocuteur étant donnée la situation dans laquelle il se trouve : l'agent veut-il être un professeur autoritaire face à son étudiant, ou veut-il au contraire paraître plus conciliant ? L'agent veut-il jouer le rôle d'un étudiant hostile envers son professeur, ou préfère-t-il être amical ? Comme dans [Callejas et al., 2014a] et [Anderson et al., 2013], nous représentons l'*attitude sociale idéale* d'un agent i envers un autre agent j dans un contexte social particulier par les deux dimensions de statut et d'affiliation, que nous formalisons de la manière suivante :

- $IdealAff_{i,j}^{vIA}$ représente la valeur $vIA \in [-1; 1]$ d'affiliation idéale d'un agent

i envers un agent j . Un agent i avec une valeur d'affiliation idéale $IdealAff_{i,j}^{vIA}$ inférieure (respectivement supérieure) à 0 souhaite exprimer de l'hostilité (respectivement de l'amicalité) envers un autre agent j .

- $IdealSta_{i,j}^{vIS}$ représente la valeur $vIS \in [-1; 1]$ de statut idéal d'un agent i envers un agent j . Un agent i avec une valeur de statut idéal $IdealSta_{i,j}^{vIS}$ inférieure (respectivement supérieure) à 0 souhaite exprimer de la soumission (respectivement de la dominance) envers un agent j .

Dans cette thèse, nous supposons que le rôle de l'agent reste le même durant le cours de l'interaction. Ces deux valeurs $IdealAff_{i,j}^{vIA}$ et $IdealSta_{i,j}^{vIS}$ sont donc statiques.

4.2.2 L'attitude sociale actuelle

L'aspect spontané d'une attitude sociale tel que dépeint par Scherer est lié aux processus affectifs décrits par [Ortony, 1991]. Les émotions ressenties par l'agent jouent donc un rôle dans l'attitude sociale exprimée. Par exemple, un individu ressentant de la colère exprimera plus d'hostilité envers la personne à l'origine de cette émotion de colère. Nous étudierons en détail cette influence des émotions dans la formalisation en section 4.3. Dans ces travaux de thèse, nous nous intéressons surtout à cette influence et non aux émotions en elles-mêmes. De la même manière que nous définissons l'attitude sociale idéale, nous représentons *l'attitude sociale actuelle* d'un agent i envers un autre agent j et à un instant t par les deux dimensions de statut et d'affiliation.

- $ActualAff_{i,j}^{vAA}$ représente la valeur $vAA \in [-1; 1]$ d'affiliation actuelle d'un agent i envers un agent j . Un agent avec une valeur d'affiliation actuelle $ActualAff_{i,j}$ inférieure (respectivement supérieure) à 0 ressentira de l'hostilité (respectivement de l'amicalité) envers j .
- $ActualSta_{i,j}^{vAS}$ représente la valeur $vAS \in [-1; 1]$ de statut actuel d'un agent i envers un agent j . Un agent avec une valeur de statut actuel $ActualSta_{i,j}^{vAS}$ inférieure (respectivement supérieure) à 0 ressentira de la soumission (respectivement de la dominance) envers j .

A la différence de l'attitude sociale idéale, les valeurs $ActualAff_{i,j}^{vAA}$ et $ActualSta_{i,j}^{vAS}$ sont dynamiques. Nous décrivons cette dynamique de l'attitude sociale actuelle dans la section 4.3.

4.2.3 L'attitude sociale exprimée

Finalement, l'attitude sociale exprimée par l'agent i résultera de son attitude sociale idéale (attitude qu'il souhaiterait exprimer) et de son attitude sociale actuelle (attitude qu'il ressent). Or, selon la théorie de la rigidité interpersonnelle décrite en section 2.1.2, un individu n'est pas toujours capable d'adapter son attitude sociale en fonction de la situation [Tracey, 2005]. Ces individus ne sont donc pas capables de gérer l'impression qu'ils donnent, minimisant ainsi l'influence de leur rôle sur leur attitude sociale exprimée. Dans notre modèle, nous définissons l'*attitude sociale exprimée* par un agent i envers un autre agent j via les valeurs d'affiliation exprimée et de statut exprimé suivantes :

- $ActualAff_{i,j}^{vAA} \wedge IdealAff_{i,j}^{vIA} \Rightarrow ExpressedAff_{i,j}^{vEA=f(vIA,vAA)}$ représente la valeur d'affiliation exprimée $vEA \in [-1; 1]$ par un agent i vis-à-vis d'un agent j en fonction de son affiliation idéale $IdealAff_{i,j}^{vIA}$ et de son affiliation actuelle $ActualAff_{i,j}^{vAA}$. Nous définissons la fonction $f(vIA, vAA) = \alpha(vAA) + (1 - \alpha)vIA$ avec $\alpha \in [0; 1]$ telle que le niveau d'affiliation exprimé par un agent i envers un agent j soit égal à la moyenne de son affiliation actuelle et de son affiliation idéale, pondérée par sa valeur de rigidité α . Un agent avec une valeur d'affiliation exprimée $ExpressedAff_{i,j}^{vEA}$ inférieure (respectivement supérieure) à 0 exprimera de l'hostilité (respectivement de l'amicalité).
- $ActualSta_{i,j}^{vAS} \wedge IdealSta_{i,j}^{vIS} \Rightarrow ExpressedSta_{i,j}^{vES=f(vIS,vAS)}$ représente la valeur de statut exprimée $vES \in [-1; 1]$ par un agent i vis-à-vis d'un agent j en fonction de son statut idéal $IdealSta_{i,j}^{vIS}$ et de son statut actuel $ActualSta_{i,j}^{vAS}$. Nous définissons la fonction $f(vIS, vAS) = \alpha(vAS) + (1 - \alpha)vIS$ avec $\alpha \in [0; 1]$ telle que le niveau de statut exprimé par un agent i envers un agent j soit égal à la moyenne de son statut actuel et de son statut idéal, pondérée par sa valeur de rigidité α . Un agent avec une valeur de statut exprimée $ExpressedSta_{i,j}^{vES}$ inférieure (respectivement supérieure) à 0 exprimera de la soumission (respectivement de la dominance).

Ici, le coefficient α représente la valeur de rigidité de l'agent. Le niveau de statut exprimé par un agent i envers un agent j est égal à la moyenne de son statut actuel et de son statut idéal, pondérée par sa valeur de rigidité α . Un agent avec un coefficient α élevé est considéré comme étant rigide et donc peu capable de s'adapter

CHAPTER 4. MODÉLISATION COMPUTATIONNELLE DE L'ATTITUDE SOCIALE D'UN AGENT CONVERSATIONNEL ANIMÉ

à la situation. L'influence de son rôle, et donc de son attitude sociale idéale sur son attitude sociale exprimée est minime. Au contraire, un agent avec un coefficient α faible n'est pas considéré comme étant rigide. Il est donc capable de s'adapter à son interlocuteur et d'exprimer l'attitude sociale qu'il souhaite en fonction de son rôle. Dans ce cas, l'influence de son attitude sociale actuelle est minime. Afin d'illustrer nos propos, prenons l'exemple suivant :

Exemple

Bob est un agent qui joue le rôle d'un tuteur virtuel devant faire travailler son étudiante *Alice*. *Bob* souhaite exprimer une attitude à la fois très dominante et plutôt amicale envers son élève *Alice*, car il pense que c'est l'attitude adéquate à exprimer dans ce genre de situations. Nous avons donc :

$$IdealAff_{Bob,Alice}^{0,5} \quad \text{et} \quad IdealSta_{Bob,Alice}^{0,8}$$

Or, cela fait une heure que *Bob* essaie de faire travailler *Alice* sans succès. Celle-ci rechigne à la tâche ce qui déclenche de nombreuses émotions négatives (e.g. colère) chez *Bob*. Nous avons donc :

$$ActualAff_{Bob,Alice}^{-0,6} \quad \text{et} \quad ActualSta_{Bob,Alice}^{0,5}$$

Sachant que *Bob* est un agent avec une forte rigidité interpersonnelle ($\alpha = 0.9$), il exprimera l'attitude sociale suivante :

$$ActualAff_{Bob,Alice}^{-0,6} \wedge IdealAff_{Bob,Alice}^{0,5} \Rightarrow ExpressedSta_{i,j}^{vEA=f(-0,6,0,5)}$$

avec $vEA = (0,9 * -0,6) + (0,1 * 0,5) = -0,49$

$$ActualSta_{Bob,Alice}^{0,5} \wedge IdealSta_{Bob,Alice}^{0,8} \Rightarrow ExpressedSta_{i,j}^{vES=f(0,5,0,8)}$$

avec $vES = (0,9 * 0,5) + (0,1 * 0,8) = 0,53$

Dans cette situation donc, *Bob* exprimera une attitude plutôt hostile et dominante :

$$ExpressedAff_{Bob,Alice}^{-0,49} \quad \text{et} \quad ExpressedAff_{Bob,Alice}^{0,53}$$

Maintenant que nous venons de voir comment était définie l'attitude sociale exprimée par un agent i envers un agent j , nous expliquons en détail la façon dont l'attitude sociale actuelle évolue au cours de l'interaction.

4.3 DYNAMIQUE DE L'ATTITUDE SOCIALE ACTUELLE D'UN AGENT

Dans cette section, nous étudions la dynamique de l'attitude sociale actuelle d'un agent envers son interlocuteur. Dans un premier temps, nous formalisons les émotions pouvant être ressenties par notre agent (section 4.3.1). Nous nous concentrons ensuite sur l'évolution de l'affiliation actuelle via les émotions ressenties par l'agent et déclenchées par son interlocuteur (section 4.3.2). Puis nous expliquerons les processus inhérents à la dynamique du statut actuel de l'agent, en fonction de ses buts et de ses croyances vis-à-vis des actions de son interlocuteur (section 4.3.3). Enfin, nous concluons à l'aide d'un exemple synthétique afin de mieux appréhender les différents processus décrits dans cette formalisation (section 4.3.4).

4

4.3.1 Formalisation des émotions

Afin de modéliser la dynamique de l'affiliation actuelle $ActualAff_{i,j}$ d'un agent i envers un autre agent j , nous nous appuyons sur la théorie affective défendue entre autre par Ortony [Ortony, 1991] et décrite en section 2.2.2. Selon cette théorie, une émotion de valence positive ressentie par i et déclenchée par j a un effet positif sur la valeur d'affiliation actuelle de i envers j . Au contraire, une émotion de valence négative ressentie par i et déclenchée par j aura un effet négatif sur la valeur d'affiliation actuelle de i envers j . La dynamique de l'affiliation ne dépend pas seulement de la valence de l'émotion ressentie par i , mais également de l'intensité de cette émotion. En effet, selon [Petty and Cacioppo, 1986], notre cerveau propose deux routes distinctes pour analyser les actions d'un individu : la route centrale et la route périphérique. Si les actions de l'individu ont une grande influence sur nos buts, alors nous emprunterons la route centrale pour l'évaluer. Le résultat de cette action sur notre valeur d'affiliation sera alors plus important, et plus durable. Au contraire, si ce même individu effectue une action ayant peu d'impact sur nos buts, nous analyserons cette action via la route périphérique. L'influence de l'action sur notre affiliation sera alors minime. De ce fait, dans notre modèle, plus l'intensité l d'une émotion est importante, plus cette même émotion aura d'influence sur la valeur d'affiliation.

Si nous voulons comprendre comment évoluent les attitudes sociales d'un agent i envers un autre agent j , il est avant tout indispensable de comprendre comment

sont déclenchées les émotions ressenties par ce même agent i . Nous nous appuyons pour cela sur la théorie de l'évaluation cognitive définie par Ortony, Clore et Collins [Ortony et al., 1988]. Cette théorie, aussi appelée théorie OCC, est l'une des plus répandues dans le domaine de l'informatique affective et est intégrée dans divers agents conversationnels animés [Bartneck, 2002] [Kasap et al., 2009] [Gebhard, 2005]. Les auteurs de cette théorie définissent 22 émotions réunies en 6 groupes distincts en fonction de leurs conditions de déclenchement. Ces conditions sont (1) les événements impactant les buts de l'individu, (2) les événements affectant les standards et les normes de l'individu et (3) les événements liés à l'attrait d'un objet particulier. En outre, dans la théorie OCC, chaque émotion est associée à une valence positive ou négative. Cela permet par exemple d'éviter des ambiguïtés telles que la surprise, qui peut être bonne ou mauvaise, voire même neutre [Ortony et al., 1988]. Dans cette thèse, nous nous intéressons particulièrement aux émotions suivantes : gratitude, colère, espoir, peur, soulagement, peur confirmée, déception et satisfaction (voir figure 4.1). En effet, les deux premières émotions (i.e. gratitude et colère) sont les deux émotions du modèle OCC qui sont déclenchées par les actions d'un autre agent, ces actions ayant une influence directe sur l'agent ressentant l'émotion. Les émotions d'espoir et de peur sont des émotions déclenchées en fonction d'attentes à propos d'un événement ou de l'action d'un autre agent. Enfin, les émotions de soulagement, peur confirmée, déception et satisfaction sont déclenchées par la réalisation ou la non réalisation de l'événement ou de l'action attendus.

Plusieurs formalisations logiques des émotions ont déjà été proposées. Si [Guiraud et al., 2011] et [Adam et al., 2009] proposent une formalisation des différentes émotions OCC en fonction des buts et des croyances d'un agent, ces travaux ne représentent pas l'intensité des émotions ressenties par l'agent. Lorini [Lorini, 2011], quant à lui, modélise bien l'intensité des émotions qu'il formalise, mais se concentre sur les émotions basées sur les attentes ("prospect-based" dans le modèle OCC) telles que la peur, l'espoir, la peur confirmée, le soulagement, la satisfaction et la déception. Nous proposons donc dans cette section une formalisation des émotions ressenties par un agent et déclenchées par son interlocuteur. Nous formalisons également l'intensité de ces émotions en fonction de l'importance des buts de l'agent et du degré de certitude accordé à ses croyances. Nous regroupons ces émotions en trois catégories distinctes, en suivant la taxonomie d'OCC : (1) les émotions déclenchées par les actions d'un autre agent (gratitude et colère), (2) les émotions déclenchées en fonction des croyances sur les actions potentielles d'un autre agent (peur et espoir)

4.3. DYNAMIQUE DE L'ATTITUDE SOCIALE ACTUELLE D'UN AGENT

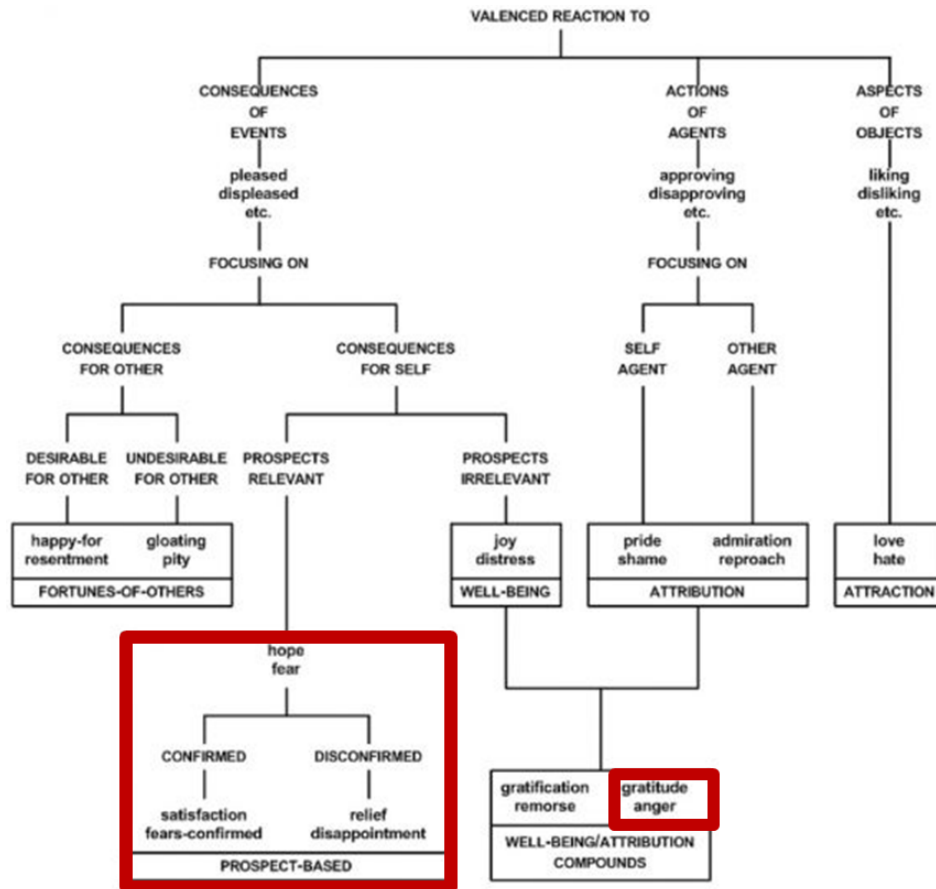


Figure 4.1 : Ce schéma représente les 22 émotions OCC catégorisées en fonction de leurs conditions de déclenchement [Ortony et al., 1988]. Dans cette thèse nous nous intéressons aux émotions situées dans l'encadré rouge : la peur, l'espoir, la peur confirmée, le soulagement, la satisfaction, la déception, la gratitude et la colère.

et (3) les émotions déclenchées par la réalisation ou non de ces actions potentielles (peur confirmée, satisfaction, soulagement et déception).

Émotions déclenchées par les actions d'un autre agent

Nous nous appuyons sur les travaux décrits par [Guiraud et al., 2011] et [Adam et al., 2009], afin de proposer notre formalisation des émotions ressenties par un agent i et déclenchées par les actions d'un autre agent j . Nous nous appuyons donc sur ces travaux pour proposer une formalisation des deux émotions de colère et de gratitude via l'équation 4.1 :

$$\begin{cases} Gratitude_{i,j}^l(a, \phi) \stackrel{\text{def}}{=} G_i^k(\phi) \wedge Done_j(a, \phi) \\ Anger_{i,j}^l(a, \phi) \stackrel{\text{def}}{=} G_i^k(\neg\phi) \wedge Done_j(a, \phi) \\ \text{avec } l = k \end{cases} \quad (4.1)$$

Ainsi, un agent i ressent de la gratitude envers un autre agent j concernant une proposition ϕ si i a le but que ϕ soit vraie et que j a effectué une action a après laquelle ϕ est devenue vraie. Ce même agent i ressent de la colère envers j concernant une proposition ϕ si i a le but que ϕ soit fausse et que j a effectué une action a après laquelle ϕ est devenue vraie. En d'autres termes, un agent i ressent de la gratitude (respectivement de la colère) envers son interlocuteur j si ce dernier l'a aidé à (respectivement empêché de) réaliser l'un de ses buts. L'intensité l de ces deux émotions de gratitude et de colère est égale à l'importance k accordée par i à son but. Plus le but est important, plus l'émotion ressentie est intense.

Émotions déclenchées en fonction des croyances sur les actions potentielles d'un autre agent

Pour les émotions basées sur les croyances de l'agent (peur et espoir), nous nous appuyons sur les travaux décrits par [Adam et al., 2009] et [Lorini, 2011]. Nous proposons donc une formalisation des émotions de peur et d'espoir via l'équation 4.2 :

$$\begin{cases} Hope_{i,j}^l(a, \phi) \stackrel{\text{def}}{=} G_i^k(\phi) \wedge B_i^h(CanDo_j(a, \phi)) \\ Fear_{i,j}^l(a, \phi) \stackrel{\text{def}}{=} G_i^k(\neg\phi) \wedge B_i^h(CanDo_j(a, \phi)) \\ \text{avec } l = \frac{k + h}{2} \end{cases} \quad (4.2)$$

Ainsi, un agent i ressent de l'espoir envers un autre agent j concernant une proposition ϕ si i a le but que ϕ soit vraie et que i croit que j peut effectuer une action a après laquelle ϕ serait vraie. Ce même agent i ressent de la peur envers j concernant une proposition ϕ si i a le but que ϕ soit fausse et que i croit que j peut effectuer une action a après laquelle ϕ serait vraie. En d'autres termes, un agent i ressent de l'espoir (respectivement de la peur) envers son interlocuteur j s'il croit que ce dernier peut l'aider à (respectivement l'empêcher de) réaliser l'un de ses buts. L'intensité l de ces deux émotions d'espoir et de peur est égale à la

moyenne de l'importance k accordée par i à son but et du degré de certitude auquel i croit que j peut effectuer l'action a . Plus le but est important, et plus l'agent i est certain que j peut effectuer une action influençant son but, plus l'émotion ressentie est intense.

Émotions déclenchées par la réalisation d'actions potentielles

Toujours en nous appuyant sur [Adam et al., 2009] et [Lorini, 2011], nous proposons une formalisation des émotions de soulagement, de peur confirmée, de déception et de satisfaction via l'équation 4.3 suivante :

$$\begin{cases} \text{Relief}_{i,j}^l(a, \phi) \stackrel{\text{def}}{=} \text{Fear}_{i,j}^l(a, \phi) \wedge \text{Done}_j(a', \neg\phi) \\ \text{FearConfirmed}_{i,j}^l(a, \phi) \stackrel{\text{def}}{=} \text{Fear}_{i,j}^l(a, \phi) \wedge \text{Done}_j(a, \phi) \\ \text{Disappointment}_{i,j}^l(a, \phi) \stackrel{\text{def}}{=} \text{Hope}_{i,j}^l(a, \phi) \wedge \text{Done}_j(a', \neg\phi) \\ \text{Satisfaction}_{i,j}^l(a, \phi) \stackrel{\text{def}}{=} \text{Hope}_{i,j}^l(a, \phi) \wedge \text{Done}_j(a, \phi) \end{cases} \quad (4.3)$$

Ainsi, un agent i ressent du soulagement envers un autre agent j concernant une proposition ϕ si i avait peur que j effectue une action a rendant ϕ vraie mais que j effectue finalement une action a' rendant ϕ fausse. En d'autres termes, un agent i ressent du soulagement envers son interlocuteur j s'il avait peur que ce dernier l'empêche de réaliser l'un de ses buts, mais que j l'aide finalement à réaliser ce but. Ce même agent i ressent de la peur confirmée envers j concernant une proposition ϕ si i avait peur que j rende ϕ vraie via une action a et que j réalise effectivement cette action a rendant ϕ vraie. En d'autres termes, un agent i ressent de la peur confirmée envers son interlocuteur j s'il avait peur que ce dernier l'empêche de réaliser l'un de ses buts, et que j l'empêche effectivement de réaliser ce but. L'agent i ressent de la déception envers j concernant une proposition ϕ si i avait l'espoir que j rende ϕ vraie en effectuant une action a mais que j effectue finalement une action a' rendant ϕ fausse. En d'autres termes, l'agent i ressent de la déception envers son interlocuteur j s'il avait l'espoir que ce dernier l'aide à réaliser l'un de ses buts, mais que j l'empêche finalement de réaliser ce but. Enfin, un agent i ressent de la satisfaction envers j concernant une proposition ϕ si i avait l'espoir que j effectue une action rendant ϕ vraie et que j réalise effectivement cette action a rendant ϕ vraie. En d'autres termes, un agent i ressent de la satisfaction envers son interlocuteur j s'il avait l'espoir que ce dernier l'aide à réaliser l'un de ses buts, et que j l'aide finalement à réaliser ce but. L'intensité l de ces quatre émotions de soulagement,

CHAPTER 4. MODÉLISATION COMPUTATIONNELLE DE L'ATTITUDE SOCIALE D'UN AGENT CONVERSATIONNEL ANIMÉ

de peur confirmée, de déception et de satisfaction est égale à l'intensité de peur ou d'espoir qui leur sont liés. Plus l'agent i avait peur que j rende ϕ vraie, plus il sera soulagé envers j dans le cas où ϕ est fausse. Plus l'agent i avait peur que j rende ϕ vraie, plus sa peur envers j sera confirmée dans le cas où ϕ est effectivement vraie. De la même manière, plus un agent i avait l'espoir de voir j rendre ϕ vraie, plus il sera déçu de j dans le cas où ϕ est fausse. Plus un agent i avait l'espoir de voir j rendre ϕ vraie, plus il sera satisfait de j dans le cas où ϕ est effectivement vraie.

Exemple

Bob est un agent qui joue le rôle d'un tuteur virtuel devant faire travailler son étudiante *Alice*. *Alice* a pour but de faire ses devoirs mais également de jouer aux jeux vidéos. L'importance accordée par *Alice* au but de s'amuser est élevée ($k=0.8$). Nous formalisons ce but de la manière suivante :

$$G_{Alice}^{0.8}(HaveFun)$$

Durant l'interaction, *Bob* promet à *Alice* qu'il jouera avec elle si jamais cette dernière termine ses devoirs. *Alice* croit donc que *Bob* peut effectuer une action *PlayGames* grâce à laquelle elle s'amusera. Ayant confiance en son tuteur, *Alice* accorde un degré élevé de certitude à cette nouvelle croyance ($h=0.9$). Nous avons donc :

$$B_{Alice}^{0.9}(CanDo_{Bob}(PlayGames, HaveFun))$$

Sachant qu'*Alice* a pour but de s'amuser et selon notre formalisation des émotions, *Alice* va ressentir de l'espoir (voir équation 4.2). Nous obtenons la formule suivante :

$$Hope_{Alice,Bob}^{0.85}(PlayGames, HaveFun) \stackrel{\text{def}}{=} G_{Alice}^{0.8}(HaveFun) \wedge B_{Alice}^{0.9}(CanDo_{Bob}(PlayGames, HaveFun))$$

L'intensité l de l'émotion d'espoir ressentie par *Alice* est d'autant plus grande que la certitude avec laquelle elle croit que *Bob* va jouer avec elle est élevée ($h=0.9$) et que son but de s'amuser est important ($k=0.8$). L'intensité l est calculée de la manière suivante : $l = \frac{k+h}{2} = \frac{0.8+0.9}{2} = 0,85$.

4.3.2 Dynamique de l'affiliation actuelle

Comme nous l'avons vu avec [Ortony, 1991], l'évolution de l'attitude sociale actuelle d'un agent i envers un autre agent j dépend de la valence de l'émotion ressentie par i . Les émotions de gratitude, d'espoir, de satisfaction et de soulagement étant des émotions de valence positive, elles améliorent le niveau d'affiliation actuelle $ActualAff_{i,j}^{vAA}$ de i envers j . A l'inverse, les émotions de colère, de peur, de peur confirmée et de déception étant des émotions de valence négative, elles diminuent le niveau d'affiliation actuelle $ActualAff_{i,j}^{vAA}$ de i envers j . Finalement, nous pouvons donc résumer les processus inhérents à la dynamique de l'affiliation actuelle via les équations 4.4 et 4.5 :

4

$$\left\{ \begin{array}{l} Gratitude_{i,j}^l(a, \phi) \wedge ActualAff_{i,j}^{vAA} \Rightarrow ActualAff_{i,j}^{f(vAA,l)} \\ Hope_{i,j}^l(a, \phi) \wedge ActualAff_{i,j}^{vAA} \Rightarrow ActualAff_{i,j}^{f(vAA,l)} \\ Satisfaction_{i,j}^l(a, \phi) \wedge ActualAff_{i,j}^{vAA} \Rightarrow ActualAff_{i,j}^{f(vAA,l)} \\ Relief_{i,j}^l(a, \phi) \wedge ActualAff_{i,j}^{vAA} \Rightarrow ActualAff_{i,j}^{f(vAA,l)} \\ \text{avec } f(vAA, l) = \min(vAA + l; 1) \end{array} \right. \quad (4.4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Anger_{i,j}^l(a, \phi) \wedge ActualAff_{i,j}^{vAA} \Rightarrow ActualAff_{i,j}^{f(vAA,l)} \\ Fear_{i,j}^l(a, \phi) \wedge ActualAff_{i,j}^{vAA} \Rightarrow ActualAff_{i,j}^{f(vAA,l)} \\ FearConfirmed_{i,j}^l(a, \phi) \wedge ActualAff_{i,j}^{vAA} \Rightarrow ActualAff_{i,j}^{f(vAA,l)} \\ Disappointment_{i,j}^l(a, \phi) \wedge ActualAff_{i,j}^{vAA} \Rightarrow ActualAff_{i,j}^{f(vAA,l)} \\ \text{avec } f(vAA, l) = \max(vAA - l; -1) \end{array} \right. \quad (4.5)$$

Les émotions positives de gratitude, d'espoir, de satisfaction et de soulagement ressenties par un agent i et déclenchées par son interlocuteur j influencent positivement le niveau d'affiliation actuelle de i envers j . La nouvelle valeur d'affiliation actuelle $ActualAff_{i,j}^{f(vAA,l)}$ correspond à la somme bornée de la valeur d'affiliation actuelle $ActualAff_{i,j}^{vAA}$ et de l'intensité l de l'émotion ressentie. En d'autres termes, un agent i appréciera d'autant plus son interlocuteur j si ce dernier lui procure de fortes émotions positives. Au contraire, les émotions négatives de colère, de peur, de peur confirmée et de déception ressenties par un agent i et déclenchées par son interlocuteur j influencent négativement le niveau d'affiliation actuelle de i envers

j . La nouvelle valeur d'affiliation actuelle $ActualAff_{i,j}^{f(v^{AA,l})}$ correspond à la différence bornée entre la valeur d'affiliation actuelle $ActualAff_{i,j}^{v^{AA}}$ et l'intensité l de l'émotion ressentie. En d'autres termes, un agent i appréciera d'autant moins son interlocuteur j si ce dernier lui procure de fortes émotions négatives. Si l'on combine les formules 4.1, 4.2 et 4.3 avec les formules 4.4 et 4.5, nous pouvons donc représenter l'évolution de l'affiliation actuelle d'un agent i envers un autre agent j en fonction de l'état mental de i . Par exemple, si i a pour but d'assister à un concert, et que j lui offre un ticket pour ce même concert, i ressent de la gratitude envers j . L'affiliation actuelle de i envers j augmente et i exprime donc une amicalité plus élevée qu'auparavant. La nouvelle valeur d'affiliation dépend de l'intensité de l'émotion de gratitude ressentie, et par conséquent, de l'importance accordée par i au but d'assister au concert. Maintenant que nous venons de voir comment l'affiliation actuelle d'un agent évolue en fonction de son état mental, nous nous penchons plus en détail sur l'évolution du statut actuel de ce même agent.

4.3.3 Dynamique du statut actuel

Afin de modéliser la dynamique du statut actuel $ActualSta_{i,j}^{v^{AS}}$ d'un agent i envers un autre agent j , nous nous appuyons sur la théorie de la dépendance telle que décrite par Emerson dans la section 2.2.2. Selon cette théorie, un agent i est moins dominant envers un agent j si i croit que j peut influencer l'un de ses buts. Cette influence peut être négative (i.e. i croit que j peut l'empêcher de réaliser un but) ou positive (i.e. i croit que j peut l'aider à réaliser un but). Toujours selon la théorie d'Emerson, la valeur de statut de i envers j est modulée par l'importance accordée par i au but sur lequel il croit que j a une influence. Ainsi, plus i considère son but comme important, plus il sera soumis envers j . Cette influence dépend également du degré de certitude auquel l'agent i croit que j peut influencer son but. Plus l'agent i est certain que j peut influencer son but, plus il sera soumis. Nous formalisons donc cette baisse de statut de l'agent i via la formule 4.6 :

$$\begin{aligned}
& \exists \phi, a, a' \ G_i^k(\phi) \wedge (B_i^h(CanDo_j(a, \phi)) \vee B_i^{h'}(CanDo_j(a, \neg CanDo_i(a', \phi))) \\
& \quad \wedge ActualSta_{i,j}^{vAS} \Rightarrow ActualSta_{i,j}^{f(vAS,k,h,h')} \\
& \text{avec } f(vAS, k, h, h') = \max \left(vAS - \frac{\max(h, h') + k}{2}; -1 \right) \quad (4.6)
\end{aligned}$$

Ainsi, si l'agent i a le but que ϕ soit vraie et qu'il croit que j peut effectuer une action a après laquelle ϕ sera vraie, alors son statut envers j diminue. De la même manière, le statut de i envers j diminue si l'agent i a le but que ϕ soit vraie et qu'il croit que j peut effectuer une action a après laquelle i ne pourra plus rendre ϕ vraie. En d'autres termes, un agent i devient moins dominant envers son interlocuteur j s'il croit que ce dernier peut l'aider à ou l'empêcher à résoudre l'un de ses buts. La valeur de cette diminution est calculée via la moyenne entre l'importance k accordée au but et le degré de certitude h accordée à la croyance. Plus un agent i croit que son interlocuteur j peut influencer l'un de ses buts, et/ou plus il considère ce but comme important, plus son niveau de statut diminue. Toujours selon cette théorie, un agent i est plus dominant envers un agent j si i croit qu'il peut influencer un des buts de j . Cette influence peut être positive ou négative. Nous formalisons donc cette augmentation de statut via la formule 4.7 :

$$\begin{aligned}
& \exists \phi, a, a' \ B_i^h(G_j^k(\phi)) \wedge (CanDo_i(a, \phi) \vee CanDo_i(a, \neg CanDo_j(a', \phi))) \\
& \quad \wedge ActualSta_{i,j}^{vAS} \Rightarrow ActualSta_{i,j}^{f(vAS,k,h)} \\
& \text{avec } f(vAS, k, h) = \min \left(vAS + \frac{h + k}{2}; 1 \right) \quad (4.7)
\end{aligned}$$

Ainsi, si l'agent i pense que l'agent j a le but que ϕ soit vraie et que i peut effectuer une action a après laquelle ϕ sera vraie, alors son statut envers j augmente. De la même manière, le statut de i envers j augmente si l'agent i pense que l'agent j a le but que ϕ soit vraie et que i peut effectuer une action a après laquelle j ne pourra plus rendre ϕ vraie. En d'autres termes, un agent i devient plus dominant envers son interlocuteur j s'il croit pouvoir influencer les buts de ce dernier. La valeur de cette augmentation est calculée via la moyenne entre l'importance k accordée au but et le degré de certitude h accordée à la croyance. Plus un agent i croit que son

interlocuteur j a un but qu'il peut influencer, et/ou plus il croit que j considère ce but comme important, plus son niveau de statut augmente.

Si l'on combine les formules 4.7, 4.6 et 4.2, nous pouvons donc représenter l'évolution du statut actuel d'un agent i envers un autre agent j en fonction des émotions ressenties par i au regard de ses croyances sur les actions de j . Par exemple, si i a pour but d'assister à un concert, et que i croit que j peut lui offrir un ticket pour ce même concert, i ressent de l'espoir envers j . Parallèlement à l'augmentation du niveau d'affiliation de i envers j (i.e. l'émotion d'espoir est une émotion positive), le statut actuel de i envers j diminue et i exprime donc une dominance moins élevée qu'auparavant. La nouvelle valeur de statut dépend ici de l'intensité de l'émotion d'espoir ressentie, et par conséquent, de l'importance accordée par i au but d'assister au concert ainsi que du degré de certitude avec lequel i croit que j peut lui offrir un ticket. Dans la prochaine section, nous synthétisons ce que nous venons de voir sur la dynamique de l'attitude sociale d'un agent en fonction de son état mental.

4.3.4 Synthèse

Nous pouvons résumer la manière dont nous modélisons la dynamique de l'attitude sociale d'un agent à travers la figure 4.4. Nous nous sommes tout d'abord reposés sur Argyle [Argyle, 1988] pour représenter les deux dimensions d'affiliation et de statut. Puis, nous nous sommes appuyés sur la définition de Scherer [Scherer, 2005] afin de définir une attitude sociale idéale et une attitude sociale actuelle. L'attitude sociale idéale est fixe et dépend du rôle de l'agent durant l'interaction. L'attitude sociale est dynamique et dépend des émotions ressenties par l'agent. Nous avons modélisé la dynamique de l'affiliation en fonction de la valence des émotions ressenties [Ortony, 1991]. La dynamique du statut dépend quant à elle des croyances de l'agent sur les actions de son interlocuteur. En nous appuyant sur les différentes formalisations des émotions existantes [Lorini, 2011][Guiraud et al., 2011][Adam et al., 2009], nous avons modélisé le lien existant entre les buts et les croyances d'un agent et son attitude sociale exprimée.

En nous appuyant sur les différentes équations que nous venons de voir dans cette section, nous pouvons en outre définir les abréviations syntaxiques suivantes :

- $EstAmical_{i,j}^{h,k}(\phi) \stackrel{\text{def}}{=} B_i^h(G_j^k(\phi)) \wedge Done_i(a, \phi)$. Un agent i est amical envers

4.3. DYNAMIQUE DE L'ATTITUDE SOCIALE ACTUELLE D'UN AGENT

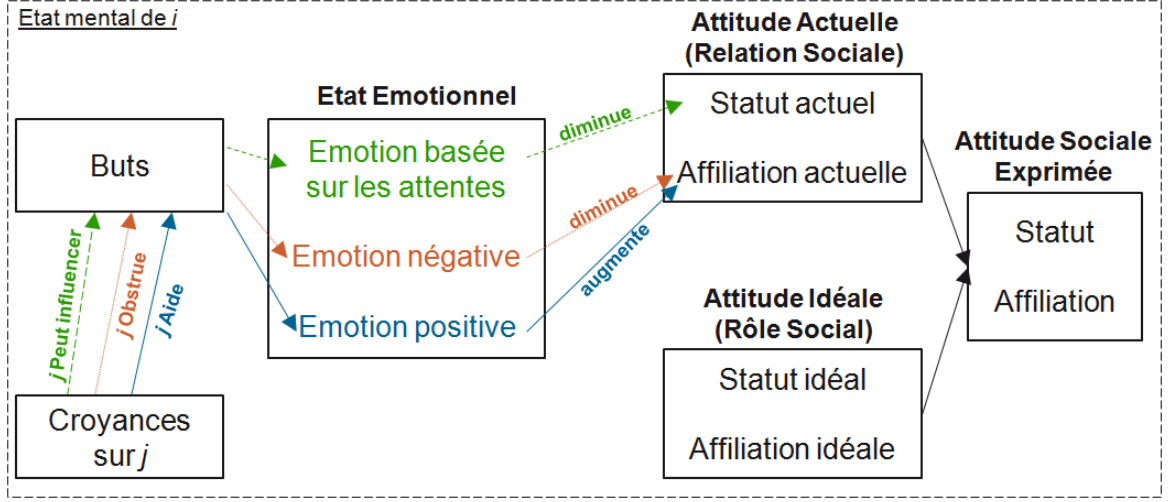


Figure 4.2 : Ce schéma représente de manière synthétique le modèle d'attitudes sociales décrit dans cette thèse. L'attitude sociale exprimée par un agent i envers son interlocuteur j est une combinaison de son attitude idéale, représentant son rôle, et de son attitude actuelle, représentant sa relation envers j . L'attitude sociale actuelle évolue en fonction des émotions ressenties par i dont j est à l'origine.

un agent j s'il croit que j a pour but que ϕ soit vraie et qu'il réalise une action a rendant ϕ vraie. En d'autres termes, un agent est amical envers son interlocuteur s'il l'aide volontairement à résoudre l'un de ses buts.

- $EstHostile_{i,j}^{h,k}(\phi) \stackrel{\text{def}}{=} B_i^h(G_j^k(\phi)) \wedge Done_i(a, \neg\phi)$. Un agent i est hostile envers un agent j s'il croit que j a pour but que ϕ soit vraie et qu'il réalise une action a rendant ϕ fausse. En d'autres termes, un agent est hostile envers son interlocuteur s'il l'empêche volontairement de résoudre l'un de ses buts.
- $EstMenaçant_{i,j}^{h,k}(\phi) \stackrel{\text{def}}{=} B_i^h(G_j^k(\phi)) \wedge Done_i(a, B_j(CanDo_i(a', \neg\phi)))$. Un agent i est menaçant envers un agent j s'il croit que j a pour but que ϕ soit vraie et qu'il réalise une action a après laquelle j croira que i peut effectuer une action a rendant ϕ fausse. En d'autres termes, un agent est menaçant envers son interlocuteur s'il lui fait croire volontairement qu'il peut l'empêcher à réaliser l'un de ses buts. Cette définition est liée à la forme de pouvoir coercitif définie par Raven [Raven, 2008] et que nous avons étudiée en section 2.2.1.
- $FaitPromesse_{i,j}^{h,k}(\phi) \stackrel{\text{def}}{=} B_i^h(G_j^k(\phi)) \wedge Done_i(a, B_j(CanDo_i(a', \phi)))$. Un agent i fait une promesse à un agent j s'il croit que j a pour but que ϕ soit vraie et qu'il réalise une action a après laquelle j croira que i peut effectuer une action a rendant ϕ vraie. En d'autres termes, un agent fait une promesse à

son interlocuteur s'il lui fait croire volontairement qu'il peut l'aider à réaliser l'un de ses buts. Cette définition est liée à la forme de pouvoir compensatoire définie par Raven [Raven, 2008] et que nous avons étudiée en section 2.2.1.

Dans la section suivante, nous nous intéressons aux différents buts d'un agent i , et expliquons comment cet agent va raisonner en fonction de ces buts et de son attitude sociale.

4.4 MODÈLE DE PRISE DE DÉCISION SOCIALE

Maintenant que nous venons de voir comment l'attitude sociale exprimée par un agent i était calculée dans notre modèle, mais également comment elle évoluait au cours de l'interaction, nous allons étudier l'influence de cette attitude sur les décisions prises par ce même agent. Pour ce faire, il est indispensable de modéliser dans un premier temps les buts de l'agent i au cours de l'interaction. Notre modèle de prise de décision sociale repose sur deux différents types de buts : (1) les buts sociaux et (2) les buts situationnels. Nous formalisons ces deux buts de la manière suivante :

$$Goals_{i,j} = \{SocG_{i,j}; SitG_i\} \quad (4.8)$$

Dans un premier temps, nous expliquons comment sont formalisés les buts sociaux dans notre modèle (section 4.4.2). Puis nous décrirons les buts situationnels ainsi que le fonctionnement de notre modèle de prise de décision sociale (section 4.4.1).

4.4.1 Buts sociaux

Les buts sociaux sont liés à la théorie de l'esprit [Baron-Cohen et al., 1985] et représentent l'attitude sociale qu'un agent i souhaiterait voir exprimée par son interlocuteur j . Par exemple, i aimerait que j exprime de la dominance et de l'amicalité envers lui. Les buts sociaux d'un agent i sont définis en fonction de son attitude sociale tout en s'appuyant sur la théorie de la complémentarité interpersonnelle [Sadler and Woody, 2010]. Selon cette théorie décrite en section 2.2.3, si deux agents i et

j expriment des attitudes complémentaires, ces derniers auront plus de chance de maintenir une relation durable sur le long-terme. Ces deux agents i et j sont complémentaires s'ils expriment un même niveau d'affiliation au cours de l'interaction, mais un niveau de statut opposé. i et j expriment donc une attitude complémentaire si, par exemple, i exprime une attitude dominante et amicale tandis que j exprime une attitude soumise et amicale (i.e. même affiliation mais statut opposé). Par contre, i et j n'expriment pas une attitude complémentaire si i ou j sont hostiles ou si i et j sont tout les deux dominants. Or, selon [Baumeister and Leary, 1995] les individus ont besoin de lier des relations durables avec leurs pairs. Nous considérons donc que nos agents virtuels ont eux aussi envie de lier des relations durables avec leurs interlocuteurs, et que cela passe par une attitude complémentaire avec ces derniers. Ainsi, en considérant sa propre attitude sociale, un agent i aura les deux buts sociaux suivants : (1) l'agent j exprime un niveau d'affiliation identique et (2) l'agent j exprime un niveau opposé de statut. Nous formalisons les buts sociaux d'un agent i envers un autre agent j de la manière suivante :

$$\begin{aligned} SocG_{i,j} = \{ & G_{i,j}^k (ExpressedAff_{i,j}^{vEA} = ExpressedAff_{j,i}^{vEA}); \\ & G_{i,j}^k (ExpressedSta_{i,j}^{vES} = -ExpressedSta_{j,i}^{vES}) \\ & \text{avec } k = ExpressedAff_{i,j}^{vEA} \end{aligned} \quad (4.9)$$

L'importance k accordée par l'agent i à ses buts sociaux dépend de la valeur d'affiliation actuelle de i . En effet, selon Cialdini, plus un agent i apprécie un autre agent j , plus il voudra maintenir sa relation avec lui [Cialdini and Goldstein, 2004]. Par conséquent, plus un agent i apprécie un autre agent j , plus il accorde d'importance à ses buts sociaux (i.e. maintenir une relation complémentaire avec j). Il est intéressant de noter que selon notre formalisation, un agent n'exprimant pas une attitude sociale amicale n'accordera aucune importance à ses buts sociaux durant l'interaction. Notre agent n'aura cependant pas que des buts sociaux à satisfaire durant une interaction. Nous introduisons donc dans la section suivante les buts situationnels d'un agent.

4.4.2 Buts Situationnels

Les buts situationnels d'un agent i représentent les buts orientés tâche de l'agent lors de l'interaction. Ces buts dépendent donc de la manière dont l'agent i voit son rôle dans la situation. Par exemple, si l'agent i endosse le rôle d'un enseignant, son but situationnel pourrait être que son étudiant j fasse ses devoirs. Les buts situationnels de l'agent i n'impliquent cependant pas nécessairement son interlocuteur. L'étudiant j peut par exemple avoir envie de jouer aux jeux-vidéo sans pour autant que son enseignant soit impliqué. L'importance k accordée à ces buts par l'agent dépend également de la manière dont il voit son rôle. Un étudiant studieux pourra par exemple accorder plus d'importance au but de faire ses devoirs qu'au but de s'amuser. Au contraire, un étudiant plus désinvolte préférera s'amuser que faire ses devoirs. Nous formalisons l'ensemble des buts situationnels $SitG_i$ d'un agent i lors d'une interaction de la manière suivante :

$$SitG_i = \{G_i^k(\phi), G_i^{k'}(\psi), G_i^{k''}(\omega)...\} \quad (4.10)$$

Finalement, les décisions que prendra l'agent au cours de l'interaction dépendront à la fois de ses buts situationnels, mais également de ses buts sociaux. Ainsi, l'agent cherchera non seulement à satisfaire ses propres objectifs liés au scénario d'interaction, mais il pourra également avoir pour but d'exprimer une attitude complémentaire à celle de son interlocuteur. Durant l'interaction, nous avons vu dans la section 4.3 que l'attitude sociale exprimée par l'agent i envers son interlocuteur j changeait en fonction des émotions qu'il ressent. Nous avons également vu que si cette attitude évoluait dans le bon sens (i est plus amical envers j), l'agent i accorderait plus d'importance à ses buts sociaux, et donc au fait de conserver une attitude complémentaire avec celle de j . L'agent prendra donc sa décision et choisira l'action qu'il doit effectuer en fonction de l'équilibre entre ses buts situationnels et sociaux. Plus l'agent i apprécie son interlocuteur j , plus il privilégiera sa complémentarité et saura se montrer coopératif envers j . Au contraire, moins l'agent i apprécie son interlocuteur j , plus il se montrera égoïste en favorisant ses propres buts situationnels par rapport à sa bonne entente avec j .

4.5 IMPLÉMENTATION DU MODÈLE

Nous avons implémenté notre modèle dans PsychSim [Marsella et al., 2004], une plateforme permettant de simuler des interactions entre plusieurs agents. Dans PsychSim, chaque agent a ses buts et ses croyances propres, et peut effectuer différentes actions. PsychSim intègre également la notion d'horizon mental d'un agent. Cet horizon permet à un agent de se projeter dans le futur en simulant les conséquences de ses propres actions mais également celles des autres agents. En effet, lorsqu'un agent se projette, il prend en compte la manière dont les autres agents peuvent réagir et changer leurs croyances. Afin de rendre cette projection possible, PsychSim intègre la théorie de l'esprit. Ainsi, un agent peut avoir un modèle mental de ses interlocuteurs, incluant les croyances, les buts et les actions de ce dernier. C'est grâce à ces modèles qu'un agent peut simuler le comportement de ses interlocuteurs. A travers la dynamique de l'état mental de l'agent, son état émotionnel peut être capturé, suivant la formalisation décrite dans le chapitre précédent. Le principal avantage de PsychSim est donc de permettre à un agent de planifier ses actions en fonction de ses croyances vis-à-vis de son interlocuteur.

Dans cette section, nous décrivons la manière dont nous avons implémenté notre modèle dans PsychSim. Dans un premier temps, nous présentons le fonctionnement de PsychSim afin de mieux comprendre ses mécanismes (section 4.5.1). Puis nous décrivons la manière dont nous avons implémenté notre modèle d'attitude sociale dans PsychSim afin de permettre à un agent de raisonner à partir de son attitude sociale vis-à-vis de son interlocuteur (section 4.5.2).

4.5.1 Description de la plateforme PsychSim

Représentation du monde

Les états du monde représentent des faits objectifs concernant chacun de agents ou le monde lui même. Ces états du monde sont définis par des caractéristiques qui peuvent être des valeurs booléennes, des ensembles finis, ou des valeurs continues bornées. Par exemple, le genre d'un agent i peut être défini par une valeur de l'ensemble $\{homme, femme\}$, et l'ensemble des pommes qu'il possède $PommesDeI$ peut être défini par une valeur entière entre $[0;99]$. L'ensemble des états du monde à un instant t sont représentés par un vecteur $\vec{s}^t$. Cependant, dans PsychSim, un

CHAPTER 4. MODÉLISATION COMPUTATIONNELLE DE L'ATTITUDE SOCIALE D'UN AGENT CONVERSATIONNEL ANIMÉ

agent n'a qu'une connaissance indirecte et subjective des ces états du monde. Ces connaissances indirectes sont donc des croyances, qui peuvent de ce fait différer de l'état actuel du monde. Un agent peut par exemple croire que son interlocuteur apprécie les mathématiques sans que cela soit vrai. L'ensemble des croyances d'un agent i à un instant t est représenté par un vecteur $\vec{b}_i^t$

Définition des actions d'un agent

Dans PsychSim, les actions constituent les possibles décisions qu'un agent peut prendre. Ces actions peuvent être des actions physiques (par exemple prendre un objet, se déplacer, éteindre la télévision...) ou des actes de dialogue. Chaque action est nécessairement définie par un nom et une source, et peut également être associée à une cible. Par exemple, une action *DonnerUnePomme* a pour source i et pour cible j . L'ensemble des actions qu'un agent i peut réaliser est représenté par un vecteur $\vec{a}_i$. La dynamique des actions telle que définie dans PsychSim représente l'influence de chaque action sur un ou plusieurs états du monde. Par exemple, l'action *DonnerUnePomme* a pour conséquence de faire diminuer l'état *PommesDeI* de 1, et d'augmenter l'état *PommesDeJ* de 1. Chaque action peut également se voir associer des pré-conditions. Par exemple, l'action *DonnerUnePomme* n'est possible pour i que s'il possède une pomme, et donc, si l'état *PommesDeI* est supérieur ou égal à 1. Cette fonction peut par exemple être linéaire (chaque action a rajoute x aux états du monde $\vec{s}^t$), logarithmique (dans le cas où répéter une même action a décroît son effet sur les états du monde $\vec{s}^t$) ou exponentielle (dans le cas où répéter une action a accroît son effet sur les états du monde $\vec{s}^t$). La dynamique d'une action a sur les états du monde $\vec{s}^t$ est représentée par une fonction de transition $T(\vec{s}^t, a)$.

Représentation des buts d'un agent

Les buts des agents représentent leurs motivations à effectuer une action plutôt qu'une autre. Dans PsychSim, les buts de chaque agent sont représentés par des fonctions de récompense portant sur un état du monde. Un agent aura donc pour but de maximiser ou de minimiser certains états du monde. Un but de maximiser (respectivement minimiser) un état du monde particulier correspond à une récompense positive (respectivement négative) proportionnelle à la valeur de l'état du monde. Par exemple, un agent i veut maximiser le nombre de pommes qu'il a en sa possession *PommesDeI*. Plus *PommesDeI* augmente, plus la récompense est grande pour l'agent. Au contraire, si le nombre de *PommesDeI* diminue, la récompense associée à ce but sera moindre. Si un agent peut avoir pour but de maximiser ou

de minimiser un état de monde qui lui est propre, comme c'est le cas avec l'exemple ci-dessus, il peut également avoir pour but de maximiser ou de minimiser un état du monde associé à son interlocuteur. Par exemple, un agent i jouant le rôle d'un tuteur virtuel peut vouloir maximiser la *ConnaissanceDeJ* de son élève j . Chaque but d'un agent est associé à un poids représentant l'importance accordée à ce but par l'agent. Plus le poids associé à un but est élevé, plus le but est considéré comme important par l'agent. L'ensemble des buts associés à leurs poids d'un agent i est représenté par un vecteur $\vec{g}_i$.

Représentation de la théorie de l'esprit via les modèles mentaux

Un agent dans PsychSim a non seulement des croyances à propos de lui même, mais également à propos des autres agents. En effet, chaque agent a au moins un modèle mental de chacun des autres agents, représentant la théorie de l'esprit. Ces modèles mentaux incluent des états du monde, des croyances, des buts et des actions de l'agent en question. Par exemple, le tuteur virtuel i peut avoir deux modèles pour son élève j . Dans le premier modèle (modèle A), i croit que j veut travailler et a donc pour but de maximiser ses *ConnaissanceDeJ*. Dans le second modèle (modèle B), i croit que j veut jouer et a pour but de maximiser son *AmusementDeJ*. Finalement, les croyances d'un agent à propos d'un autre agent sont représentées sous la forme de distribution de probabilités. Par exemple, i croit à 75% que j veut travailler et maximiser ses *ConnaissanceDeJ* (modèle A), et croit à 25% que j veut jouer et maximiser son *AmusementDeJ* (modèle B). Nous verrons dans la section suivante comment ces croyances peuvent influencer l'attitude sociale d'un agent, et notamment son niveau de statut (section 4.5.2).

Mise à jour des croyances

Dans PsychSim, un agent est capable d'inférer les buts de son interlocuteur en fonction des actions effectuées par ce dernier. L'agent est donc capable de mettre à jour sa distribution des modèles des autres en fonction de ses observations. Par exemple, si j continue de jouer alors que i lui a demandé de faire ses devoirs, i peut en inférer que j préfère jouer que travailler (i.e. j accorde plus d'importance au but de maximiser son *AmusementDeJ* qu'au but de maximiser ses *ConnaissanceDeJ*). S'il lui semble que cette information diffère de sa distribution actuelle des buts de j , il mettra à jour cette distribution. i peut ainsi revoir ses probabilités, et croire désormais à 50% que j veut travailler (modèle A) et à 50% qu'elle veut jouer (modèle B).

Utilité d'une action

En fonction du type de but (maximiser ou minimiser un état du monde) et de la valeur de ce poids, chaque action d'un agent se verra associer une valeur d'utilité. Les actions ayant une influence positive (respectivement négative) sur un état du monde lié à un but de maximisation (respectivement minimisation) auront une utilité positive. Par exemple, l'action *ExpliquerPythagore* ayant pour effet d'augmenter la valeur de *ConnaissanceDeJ* de j sera associée à une utilité positive par *Bob* si ce dernier a pour but de maximiser les *ConnaissanceDeJ* de j . L'utilité sera d'autant plus positive que le but sur lequel l'action a une influence est important. Au contraire, les actions ayant une influence négative (respectivement positive) sur un état du monde lié à un but de maximisation (respectivement minimisation) auront une utilité négative. Par exemple, l'agent i associera une utilité négative à l'action *DonnerUnePomme* s'il a pour but de maximiser le nombre de pommes en sa possession *PommesDeI*. L'utilité sera d'autant plus négative que le but sur lequel l'action a une influence est important. L'utilité d'une action a relativement aux croyances d'un agent i à un instant t est notée $\vec{g}_i \cdot T(\vec{b}_i^t, a)$.

Horizon et prise de décision

A l'instar de joueurs d'échecs, les agents dans PsychSim sont capables de se projeter dans le futur afin de prédire les résultats de toutes les séquences d'actions possibles. En effet, lorsqu'un agent doit choisir l'action qu'il va effectuer, il planifie l'ensemble des séquences d'actions possibles en fonction de ses croyances et de ses buts, mais également en prenant en compte ses croyances sur les autres agents, et ce qu'il croit que les autres agents croient à propos de lui. Dans un premier temps, l'agent i va donc se projeter afin d'estimer l'utilité de chacune de ses actions $\vec{a}_i^{h1}$. Puis, il s'appuie sur sa distribution des modèles mentaux de son interlocuteur j afin de prédire les potentielles actions $\vec{a}_j^{h2}$ de ce dernier en réaction à ses propres actions $\vec{a}_i^{h1}$. Il calcule alors l'utilité de ces actions par rapport à ses propres buts, et ajoute ces valeurs à la valeur d'utilité calculée auparavant. Une nouvelle fois, l'agent i estime l'utilité de ses actions $\vec{a}_i^{h3}$ étant donné la séquence d'actions $\vec{a}_i^{h1} - \vec{a}_j^{h2}$ précédente et leur impact potentiel sur le monde, et ainsi de suite...

Le nombre de tours d'interaction qu'un agent est capable de prédire dans PsychSim est appelé *horizon*. Un agent avec un *horizon* élevé est capable de se projeter sur de nombreux tours dans le futur, et de prédire des résultats qu'un agent au faible *horizon* ne serait pas capable de prédire. Lorsqu'un agent i est arrivé au bout de ses prédictions (i.e. il a prédit un nombre de tours égal à son horizon), il obtient donc

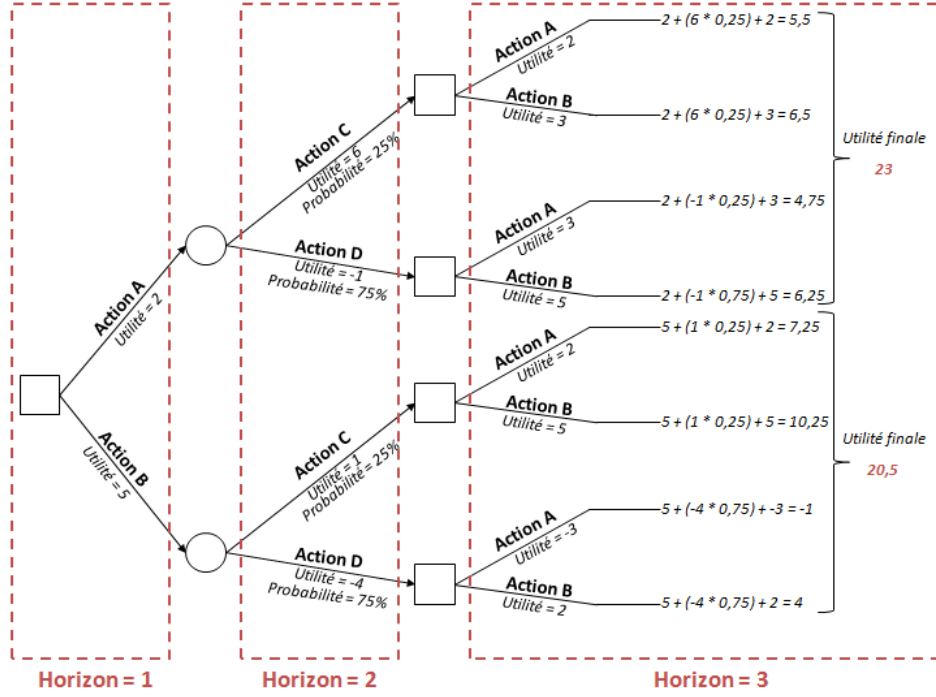


Figure 4.3 : Exemple d'arbre de décision pour un agent i . Dans cet exemple, la valeur d'horizon de l'agent i influence fortement la décision qu'il va prendre. En effet, dans notre exemple, un agent i avec un horizon de 1, choisira l'action B car son utilité est supérieure à celle de l'action A (5 pour l'action B contre 2 pour l'action A). Cependant, un même agent i avec un horizon de 3 choisira l'action A compte tenu de son utilité finale : sur le long terme, l'action A est plus intéressante (23 pour l'action A contre 20,5 pour l'action B).

un arbre de décision comme illustré par la figure 4.3. L'agent calcule alors l'utilité finale de chacune de ses actions $\vec{a}_i^{h_1}$ selon la formule 4.11. L'utilité finale d'une action représente l'impact potentiel de cette action sur les buts de l'agent étant donné ses croyances sur son interlocuteur. Par conséquent, l'agent effectue l'action associée à la valeur d'utilité finale la plus élevée.

$$\begin{aligned}
 V_a(\vec{b}_i^t) &= \vec{g}_i \cdot \vec{b}_i^t + \sum_{\vec{b}^{t+1}} V(\vec{b}^{t+1}) Pr(\vec{b}^{t+1} | \vec{b}_i^t, a, \vec{\pi}_{-i}(\vec{b}_i^{t+1})) \\
 V(\vec{b}_i^t) &= \vec{g}_i \cdot \vec{b}_i^t + \sum_{\vec{b}^{t+1}} V(\vec{b}^{t+1}) Pr(\vec{b}^{t+1} | \vec{b}_i^t, \vec{\pi}(\vec{b}_i^{t+1}))
 \end{aligned}
 \tag{4.11}$$

La formule 4.11 représente le calcul de l'utilité finale pour l'action a d'un agent i telle

que définie par Marsella [Marsella et al., 2004]. $Pr(\vec{b}^{t+1}|\vec{b}_i^{t+1}, a, \vec{\pi}_{-i}(\vec{b}_i^{t+1}))$ représente la probabilité que le monde soit dans un état à un instant $t + 1$ sachant les croyances de i , une action a et la façon dont un agent choisit ses actions $\vec{\pi}(\vec{b}_i^{t+1})$.

Nous venons de décrire dans cette section le fonctionnement de la plateforme PsychSim. Cela nous permet de voir comment un agent i choisit d'effectuer une action a en fonction de ses buts et de ses croyances. Dans la prochaine section, nous allons voir comment nous avons implémenté notre modèle dans PsychSim afin de donner à un agent la capacité de raisonner sur son attitude sociale vis-à-vis de son interlocuteur.

4.5.2 Modélisation de la prise de décision suivant l'attitude sociale dans Psychim

4

L'objectif de ces travaux de thèse est de permettre à un agent de raisonner sur son attitude sociale. Nous expliquons donc dans cette section comment nous avons implémenté notre modèle théorique dans PsychSim.

Dans un premier temps, nous avons représenté le statut idéal, l'affiliation idéale, le statut actuel et l'affiliation actuelle d'un agent i comme des états du monde. Puis, comme nous l'avons vu avec la formule 4.2.3 décrite dans la section 4.2.3, nous représentons l'attitude sociale exprimée par un agent comme la moyenne de ses attitudes sociales actuelle et idéale, pondérée par sa valeur de rigidité interpersonnelle. Pour chaque agent, nous représentons donc l'affiliation idéale, l'affiliation actuelle et l'affiliation exprimée ainsi que le statut idéal, le statut actuel et le statut exprimé par des valeurs dans l'intervalle $[-1;1]$. Une valeur d'affiliation négative (respectivement positive) signifie que l'agent est hostile (respectivement amical). Une valeur de statut négative (respectivement positive) signifie que l'agent est soumis (respectivement dominant). Une valeur de 0 signifie que l'agent est neutre pour la dimension en question. La rigidité interpersonnelle est quant à elle représentée par une valeur dans l'intervalle $[0;1]$. Un agent avec une valeur de rigidité de 1 est considéré avec une rigidité interpersonnelle maximale. Ce dernier sera donc incapable de gérer l'impression qu'il donne et son attitude sociale exprimée sera égale à son attitude sociale actuelle.

Nous représentons les buts situationnels d'un agent par différentes fonctions de

Table 4.1 : Buts sociaux d'un agent en fonction de ses niveaux d'affiliation et de statut exprimés.

	Affiliation positive	Affiliation négative
Statut positif	min(Statut de l'autre) max(Affiliation de l'autre)	Pas de but social
Statut négatif	max(Statut de l'autre) max (Affiliation de l'autre)	Pas de but social

récompenses liées à des états du monde. L'importance accordée à ces fonctions de récompense est fixée en fonction de la façon dont l'agent voit son rôle et n'évoluera pas durant le scénario. Au contraire, l'importance associée aux buts sociaux est variable, et dépend de la valeur d'affiliation exprimée de l'agent. Dans notre implémentation, nous nous sommes appuyés sur notre formule 4.9 décrite en section 4.4.1 afin de représenter les buts sociaux d'un agent. Nous avons vu que les buts sociaux d'un agent étaient de voir son interlocuteur exprimer un même niveau d'affiliation que lui même, mais un niveau de statut opposé. Nous avons également vu dans notre formule que l'importance accordée par un agent à ses buts sociaux dépend de son niveau d'affiliation. Or, nous considérons qu'un but associé à une importance négative est équivalent à ne pas avoir de but. A un instant t , un agent a donc une combinaison de buts sociaux parmi les trois buts sociaux suivants : (1) maximiser le statut exprimé de son interlocuteur, (2) minimiser le statut exprimé par son interlocuteur, et (3) maximiser l'affiliation exprimée par son interlocuteur. En effet, le but de minimiser l'affiliation est lié à une affiliation négative, et donc à une importance de buts sociaux négative. Un agent ne pourra donc pas avoir le but de minimiser l'affiliation de son interlocuteur, quel que soit son niveau d'affiliation exprimé. Le tableau 4.1 référence les différentes combinaisons de buts sociaux d'un agent en fonction de ses valeurs d'attitude sociale exprimée.

Nous avons vu dans la section 4.3 comment les actions effectuées par un agent j influencent l'attitude sociale actuelle de son interlocuteur i à travers les émotions ressenties par i . Par exemple, une action a d'un agent j aidant i à résoudre un de ses buts déclenchera une émotion de gratitude chez i et augmentera le niveau d'affiliation actuelle de i envers j (voir équation 4.4). L'état émotionnel de l'agent i n'est pas représenté explicitement dans PsychSim. Cependant, l'attitude sociale actuelle d'un agent i évolue bien selon la dynamique des actions de j sur les buts

CHAPTER 4. MODÉLISATION COMPUTATIONNELLE DE L'ATTITUDE SOCIALE D'UN AGENT CONVERSATIONNEL ANIMÉ

de i . Un agent j dont l'action a une influence directe sur un ou plusieurs états du monde liés aux buts d'un agent i modifiera donc l'affiliation actuelle de ce dernier. Cette modification dépend des croyances de i sur l'influence de l'action de j sur le ou les états du monde, et de l'importance accordé par i au(x) but(s) lié(s) à ces états.

Cette probabilité est prise en compte lors du calcul de la dominance d'un agent sur son interlocuteur. En effet, plus un agent i croit qu'un autre agent j va effectuer une action qui influencera ses buts, moins l'agent i se sentira dominant vis-à-vis de j .

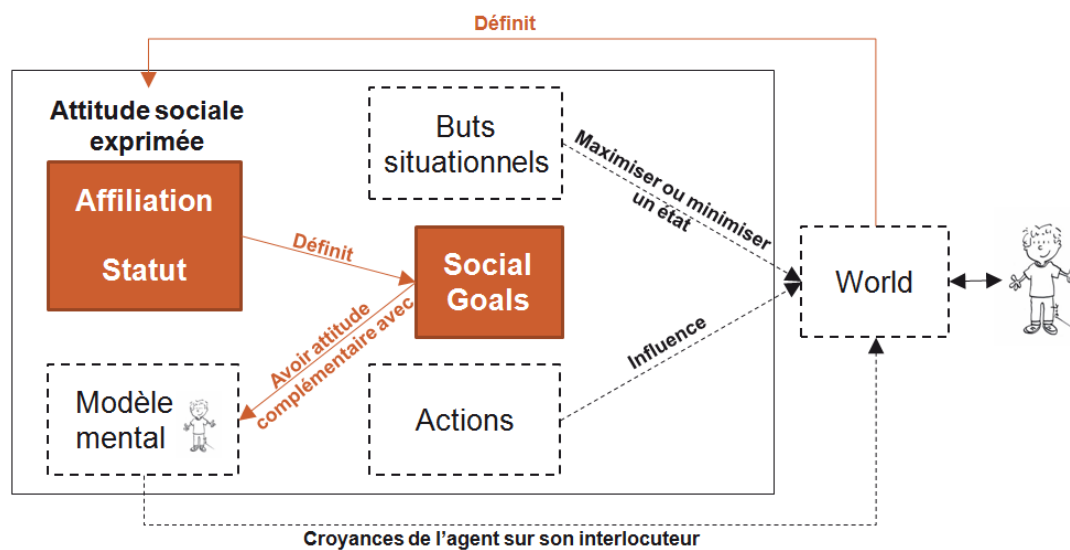


Figure 4.4 : Ce schéma représente de manière synthétique l'implémentation de notre modèle dans la plateforme PsychSim. Les blocs encadrés par des pointillés représentent les fonctionnalités déjà existantes dans PsychSim. Les blocs encadrés par des lignes pleines représentent les ajouts de notre modèle.

4.6 CONCLUSION

Dans cette section, nous avons décrit, formalisé et implémenté notre modèle. Ce modèle permet à un agent de prendre des décisions selon le contexte social de l'interaction dans laquelle il est engagé. Dans un premier temps, nous avons défini le cadre formel dans lequel notre modèle prend place. Nous avons choisi une formalisation logique de type BDI, nous permettant de représenter et de manipuler

l'état mental de l'agent, tels que ses buts et ses croyances. Cette représentation de l'état mental est indispensable pour bien comprendre les mécanismes inhérents à la dynamique des attitudes sociales et à la prise de décision d'un agent.

Nous avons ensuite décrit en détail la manière dont nous calculons l'attitude sociale exprimée par l'agent dans notre modèle. En effet, l'attitude sociale exprimée par un agent est une moyenne des attitudes sociales idéale et actuelle pondérée par la valeur de rigidité interpersonnelle de l'agent. L'attitude sociale idéale représente l'aspect stratégique de l'attitude sociale et est définie par la vision que l'agent a de son rôle dans l'interaction. Nous formalisons l'attitude sociale idéale à travers deux valeurs de statut et d'affiliation qui resteront statiques durant le scénario. L'attitude sociale actuelle représente l'aspect spontané de l'attitude sociale, et est définie par la relation sociale de l'agent. Nous formalisons également l'attitude sociale actuelle à travers deux valeurs de statut et d'affiliation. Ces valeurs seront quant à elles dynamiques, et évolueront en fonction des émotions ressenties par l'agent. Un individu avec une valeur de rigidité élevée a des difficultés à s'adapter volontairement à la situation. Son attitude sociale actuelle aura donc un poids plus grand sur son attitude sociale exprimée.

Afin de modéliser la dynamique de l'attitude sociale actuelle, nous avons proposé une formalisation des émotions ressenties par l'agent en fonction de son état mental (i.e. ses buts et ses croyances). Aider un agent à résoudre l'un de ses buts provoque une émotion positive chez ce dernier, et une augmentation de son niveau d'affiliation envers l'agent à l'origine de l'émotion. Au contraire, empêcher un agent de résoudre l'un de ses buts provoquera une émotion négative, ce qui diminuera son niveau d'affiliation. La valeur d'augmentation ou de diminution du niveau d'affiliation dépend de l'intensité de l'émotion ressentie, et donc de l'importance accordée par l'agent au but en question. Si un agent croit qu'il peut influencer la réalisation de l'un des buts de son interlocuteur, il se sent plus dominant vis-à-vis de ce dernier. Par contre, si ce même agent croit que son interlocuteur peut influencer la réalisation de l'un de ses buts, son niveau de dominance diminue. Cette influence peut être négative (l'agent empêche son interlocuteur de réaliser son but) ou positive (l'agent aide son interlocuteur à réaliser son but). La valeur d'augmentation ou de diminution du niveau de statut dépend du degré de certitude accordé par l'agent à ses croyances, et à l'importance des buts en question.

Nous avons ensuite défini les buts situationnels et sociaux d'un agent. Les pre-

CHAPTER 4. MODÉLISATION COMPUTATIONNELLE DE L'ATTITUDE SOCIALE D'UN AGENT CONVERSATIONNEL ANIMÉ

miers sont les buts que l'agent veut résoudre durant l'interaction, et sont donc orientés tâches. Les seconds sont définis en fonction de l'attitude sociale que nous avons calculée. Nous nous sommes appuyés sur la théorie de la complémentarité interpersonnelle afin de définir ces buts sociaux. En effet, pour que l'interaction se passe bien entre l'agent et son interlocuteur, les deux doivent exprimer un même niveau d'affiliation, mais un niveau de statut opposé (i.e. l'un est dominant, l'autre est soumis). L'agent a donc pour but social d'avoir le même niveau d'affiliation que son interlocuteur, et un niveau de statut diamétralement opposé. L'importance accordée à ces deux buts dépend du niveau d'affiliation exprimé par l'agent. En effet, plus l'agent est amical, plus il voudra que l'interaction se déroule sous les meilleurs auspices, et donc plus il voudra que son interlocuteur exprime une attitude sociale complémentaire à la sienne.

L'agent choisira ses actions en fonction de l'équilibre existant entre ses buts situationnels et ses buts sociaux. Un agent accordant une très grande importance à ses buts sociaux pourra faire en sorte que l'interaction se passe bien, au détriment de ses propres buts situationnels. Cependant, les actions de son interlocuteur pourront faire pencher la balance (i.e. en diminuant le niveau d'affiliation actuelle de l'agent et donc l'importance que ce dernier accorde à ses buts sociaux) et faire prendre à l'agent des décisions favorisant ses buts situationnels au détriment de sa relation. Nous avons implémenté notre modèle dans la plateforme PsychSim, nous permettant de simuler des interaction multi-agents.

Dans le chapitre suivant, nous illustrerons notre modèle et son implémentation à travers plusieurs exemples détaillés permettant de mieux comprendre les mécanismes mis en œuvre dans nos travaux. Chacun de ces exemples dépeint une interaction entre un tuteur virtuel et son élève. Nous décrirons également l'évaluation que nous avons menée afin de valider notre modèle.

Synthèse du chapitre

1. Notre modèle s'appuie sur une formalisation de type BDI afin de nous permettre de raisonner sur les buts et les croyances de l'agent. Son implémentation est effectuée via la plateforme multi-agents PsychSim.
2. L'attitude sociale exprimée par un agent dépend des émotions qu'il ressent et de sa capacité à gérer son impression. Un agent avec une forte valeur de rigidité interpersonnelle est cependant moins capable de gérer son impression.
3. L'agent peut réaliser deux différents types de buts. Ses buts situationnels correspondent aux tâches que l'agent doit effectuer dans le scénario. Les buts sociaux représentent quant à eux l'attitude sociale que l'agent désire voir exprimée par son interlocuteur.
4. L'agent prend ses décisions en fonction de l'équilibre existant entre ses buts sociaux et situationnels. En fonction de l'importance accordée à ces deux types de buts, il privilégiera sa tâche dans le scénario ou sa bonne relation avec son interlocuteur.

5

Evaluation

"Quand nous devons changer d'opinion sur quelqu'un, nous lui en voulons fort du désagrément qu'il nous cause"

Friedrich Nietzsche
Par-delà bien et mal

Afin d'évaluer notre modèle, nous avons effectué deux différents types d'évaluations. Nous avons tout d'abord cherché à générer différentes simulations en faisant varier certains paramètres de notre modèle. L'objectif ici est d'évaluer si les comportements des agents et les interactions générés semblent crédibles (i.e. les séquences d'actions générées par notre modèle sont cohérentes avec les attitudes sociales et les rôles des deux agents), tout en vérifiant l'impact de chacun des paramètres de notre modèle sur le déroulement des scénarios. Puis, nous avons cherché à évaluer notre modèle de manière subjective, en demandant à des participants extérieurs de juger les interactions générées à partir de notre modèle. L'objectif ici est de valider notre modèle en vérifiant si les attitudes sociales en sortie de notre modèle sont perçues comme nous l'espérons par les participants.

Dans un premier temps, nous décrivons dans ce chapitre le scénario dans lequel nous avons évalué nos travaux et notre modèle en définissant les actions et les buts de chaque agent (section 5.1). Puis, nous décrivons différentes simulations permettant de comprendre le fonctionnement de notre modèle à travers ce scénario. La première simulation servira de référence, et permet de mieux comprendre l'aspect dynamique de l'attitude sociale et son influence sur la prise de décision de l'agent (section 5.2). La seconde simulation s'appuiera sur la simulation précédente afin de capturer l'importance de la gestion de l'impression dans la prise de décision d'un agent (section 5.3). La dernière simulation permettra quant à elle de comprendre comment l'horizon mental d'un agent peut impacter le déroulement d'une interac-

tion (section 5.4). Nous comparons et discutons de ces trois simulations en section 5.5. Nous terminerons ce chapitre en décrivant le protocole expérimental de notre évaluation (section 5.6) subjective avant d'étudier et d'analyser les résultats obtenus (section 5.7).

5.1 DEFINITION DU SCÉNARIO

Afin d'illustrer notre modèle, nous définissons un scénario prenant place dans le contexte suivant : un agent *Bob* endossant le rôle d'un tuteur virtuel veut que son élève *Alice*, un autre agent, fasse ses devoirs. Nous avons vu dans le chapitre 1 que notre thèse s'est déroulée dans le cadre d'un projet ayant pour objectif de modéliser des compagnons artificiels capables d'endosser plusieurs rôles en fonction de la situation. Le passage d'une situation de jeu (i.e. le compagnon joue avec l'utilisateur) à une situation de travail (i.e. le compagnon aide l'utilisateur à faire ses devoirs) constitue en effet l'un des scénarios et l'un des défis les plus représentatifs du projet MoCA (voir description du projet en section 1.2). De plus, comme nous l'avons vu dans la section 2.3, l'attitude sociale joue un rôle très important dans un contexte d'apprentissage : deux enseignants exprimant des attitudes sociales distinctes peuvent ainsi obtenir des résultats différents de la part de leurs élèves respectifs [Wubbels et al., 2012]. En outre, de récentes études montrent qu'une bonne relation entre un tuteur et son élève peut améliorer la motivation de ce dernier, ainsi que ses résultats scolaires à long-terme [Pennings et al., 2014]. Dans cette thèse, nous nous intéressons cependant à des interactions sur le court-terme. Modéliser un agent essayant de faire travailler son élève représente malgré tout un défi intéressant.

Dans un premier temps, nous décrivons de manière formelle les buts et les actions du tuteur (section 5.1.1) et de son élève (section 5.1.2). Puis nous décrivons l'architecture que nous avons mise en place afin de réaliser les simulations décrites dans les sections suivantes (section 5.1.3).

5.1.1 Buts et actions du tuteur virtuel

Dans cette section, nous formalisons les buts et les actions du tuteur. En tant que tuteur, *Bob* a pour seul but situationnel $SitG_{Bob}$ que son étudiante *Alice* finisse ses devoirs. Ce but situationnel est opérationnalisé de la manière suivante : *Bob*

veut qu'*Alice* effectue au moins trois actions de type *Work* (i.e. trois exercices) avant la fin du scénario. Nous formalisons le but situationnel de *Bob* de la manière suivante :

$$SitG_{Bob} = G_{Bob}(HomeworkDone)$$

Le tuteur *Bob* peut effectuer plusieurs actions pour atteindre son but.

- *RequestWork* signifie que *Bob* informe *Alice* qu'il veut qu'elle travaille et qu'elle fasse ses devoirs.

$$Done_{Bob}(RequestWork, B_{Alice}(G_{Bob}(Done_{Alice}(Work, HomeworkDone))))$$

- *PromiseToPlay* est une action compensatoire signifiant que *Bob* demande à *Alice* de faire ses devoirs, et l'informe qu'il pourra jouer avec elle si elle satisfait sa requête (i.e. si *Alice* finit ses devoirs), ce qui aura pour effet d'améliorer l'amusement d'*Alice*.

$$Done_{Bob}(PromiseToPlay, B_{Alice}(G_{Bob}(Done_{Alice}(Work, HomeworkDone))) \wedge B_{Alice}(CanDo_{Bob}(PlayWithStudent, HaveFun)))$$

- *WarnToSwitchOffConsole* est une action coercitive signifiant que *Bob* demande à *Alice* de faire ses devoirs, et l'informe qu'il éteindra sa console de jeu si cette dernière ne satisfait pas sa requête (i.e. si *Alice* ne finit pas ses devoirs). *Alice* ne pourra plus jouer à la console après cela.

$$Done_{Bob}(WarnToSwitchOffConsole, B_{Alice}(G_{Bob}(Done_{Alice}(Work, HomeworkDone))) \wedge B_{Alice}(CanDo_{Bob}(SwitchOffConsole, \neg CanDo_{Alice}(Play, HaveFun)))$$

- *MakeWorkImportant* signifie que *Bob* explique à *Alice* qu'il est important de faire ses devoirs. Cela a pour effet d'augmenter l'importance qu'*Alice* accorde à son but de faire ses devoirs.

$$Done_{Bob}(MakeWorkImportant, WorkIsImportant)$$

- *WatchStudent* signifie que *Bob* surveille *Alice* pendant qu'elle fait ses devoirs, lui rappelant qu'il peut éteindre sa console si jamais elle ne continue pas de travailler.

$$Done_{Alice}(Work, HomeworkDone) \wedge B_{Alice}(CanDo_{Bob}(SwitchOffConsole, \neg CanDo_{Alice}(Play, HaveFun)))$$

- *MakeWorkFun* signifie que *Bob* adapte les devoirs d'*Alice* en rendant ses exercices de mathématiques plus amusants.

$$Done_{Bob}(MakeWorkFun, CanDo_{Alice}(Work, HaveFun))$$

- *HelpWithHomework* signifie que *Bob* aide *Alice* à effectuer ses devoirs.

$$Done_{Alice}(Work, HomeworkDone)$$

$$\wedge Done_{Bob}(HelpWithHomework, HomeworkDone)$$

- *CheckHomework* signifie que *Bob* vérifie les devoirs d'*Alice* une fois terminés et l'informe qu'il pourra la priver de console si jamais les exercices ne sont pas correctement réalisés.

$$Before_{CheckHomework}(Done_{Alice}(Work, HomeworkDone))$$

$$\wedge B_{Alice}(CanDo_{Bob}(SwitchOffConsole, \neg CanDo_{Alice}(Play, HaveFun))$$

- *PlayWithStudent* signifie que *Bob* joue avec *Alice*.

$$Done_{Bob}(PlayWithStudent, HaveFun)$$

- *SwitchOffConsole* signifie que *Bob* peut éteindre la console de jeu d'*Alice*. Nous verrons dans la description des actions d'*Alice* que cette dernière ne pourra alors plus jouer à sa console de jeu après ça.

$$Done_{Bob}(SwitchOffConsole, \neg CanDo_{Alice}(Play, HaveFun))$$

5.1.2 Buts et actions de l'étudiant virtuel

En tant qu'étudiante, *Alice* a deux différents buts situationnels $SitG_{Alice}$: *Alice* veut finir ses devoirs, mais elle veut également jouer. Le premier but est opérationnalisé de la même manière que pour le tuteur *Bob*, à savoir *Alice* a pour but d'effectuer au moins trois actions de type *Work* avant la fin du scénario. Le second but consiste à maximiser le *Fun* d'*Alice*, considéré comme un état du monde. Nous formalisons ces deux buts de la manière suivante :

$$SitG_{Alice} = \{G_{Alice}(HomeworkDone), G_{Alice}(HaveFun)\}$$

Afin de réaliser ses buts, *Alice* peut effectuer trois actions, dont celle de ne rien faire.

- *Play* signifie qu'*Alice* augmente la valeur de son *Fun* à chaque fois qu'elle joue. L'effet de l'action *Play* sur l'état *Fun* diminue si *Alice* répète plusieurs fois la même action.

$$Done_{Alice}(Play, Fun)$$

- *Work* signifie qu'*Alice* travaille et finit un exercice.

$$Done_{Alice}(Work, HomeworkDone)$$

5.1.3 Architecture utilisée pour les simulations

A partir de ces différents buts et actions, nous construisons quatre différents modèles de l'étudiante *Alice*. Ces modèles sont construits en fonction de l'importance accordée aux différents buts ($G_{Alice}(HomeworkDone)$ et $G_{Alice}(HaveFun)$) et de son horizon (horizon faible ou horizon élevé). Les quatre différents modèles sont résumés par la figure 5.1.

Afin de mener à bien nos différentes simulations, nous avons réalisé l'architecture présentée en figure 5.2. Dans un premier temps, nous avons formalisé les actions, les buts et les croyances de chacun de nos deux agents (i.e. le tuteur et son étudiant). Les buts et actions des agents sont fixés et restent tels que définis dans les sections 5.1.1 et 5.1.2 pour toutes les différentes simulations que nous avons effectuées. Les croyances des agents, quant à elles, changent selon les simulations. Cette formalisation nous permet de définir les attitudes sociales des deux agents, et de définir un script qui pourra être interprété par la plateforme PsychSim. Comme expliqué dans la section 4.5.2, nous représentons donc les buts de l'agent par des fonctions de récompenses, définissons les actions à travers leur dynamique, et construisons les différents modèles mentaux que chaque agent aura de son interlocuteur. Enfin, nous définissons l'horizon mental de chaque agent (i.e. sa capacité à se projeter dans le futur pour évaluer les conséquences de ses actions et des actions des autres agents). Ce script sera ensuite interprété par le moteur décisionnel de PsychSim, qui planifiera les actions des agents au tour par tour. Notre modèle permet également de calculer les attitudes sociales exprimées par chacun des deux agents à chaque tour de parole.

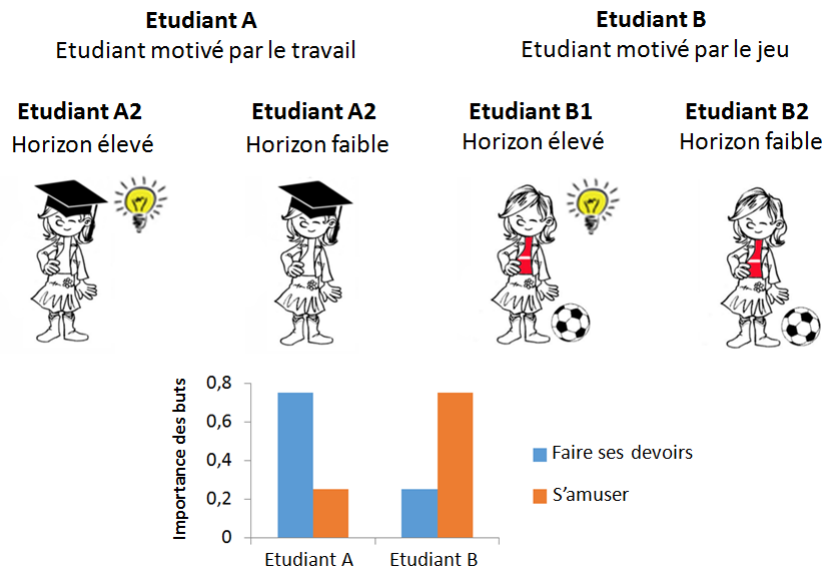


Figure 5.1 : Différents modèles de l'étudiant utilisés dans notre scénario. Les étudiants A1 et A2 considèrent que faire ses devoirs est plus important que de s'amuser, au contraire des étudiants B1 et B2 pour qui s'amuser est plus important que travailler. L'horizon des étudiants A1 et B1 est plus élevé (horizon = 3) que l'horizon des étudiants A2 et B2 (horizon = 1).

Les simulations que nous présentons dans les prochaines sections sont décrites de la manière suivante : dans un premier temps, nous définissons la situation de départ, notamment l'importance que chaque agent accorde à ses buts sociaux et situationnels, et les valeurs d'attitudes sociales actuelle et idéale. Cette situation de départ correspond au script PsychSim servant d'entrée au moteur décisionnel. Puis nous décrivons la séquence d'actions générée par le moteur décisionnel en fonction de cette situation de départ, et donc de ce script. Pour chaque action, nous expliquons pourquoi l'agent a agi de la sorte, afin de mieux comprendre le déroulement de l'interaction. Nous terminons en étudiant l'état des attitudes sociales des deux agents à la fin de l'interaction.

Afin de tester notre modèle, nous avons donc simulé plusieurs scénarios, obtenus en variant les buts sociaux du tuteur et l'horizon de l'étudiant. Dans la section suivante, nous décrivons donc les séquences d'actions générées par nos simulations, et nous analysons les résultats obtenus. La première simulation que nous allons voir permet de comprendre l'importance de la dynamique de l'attitude actuelle dans le choix des actions d'un agent.

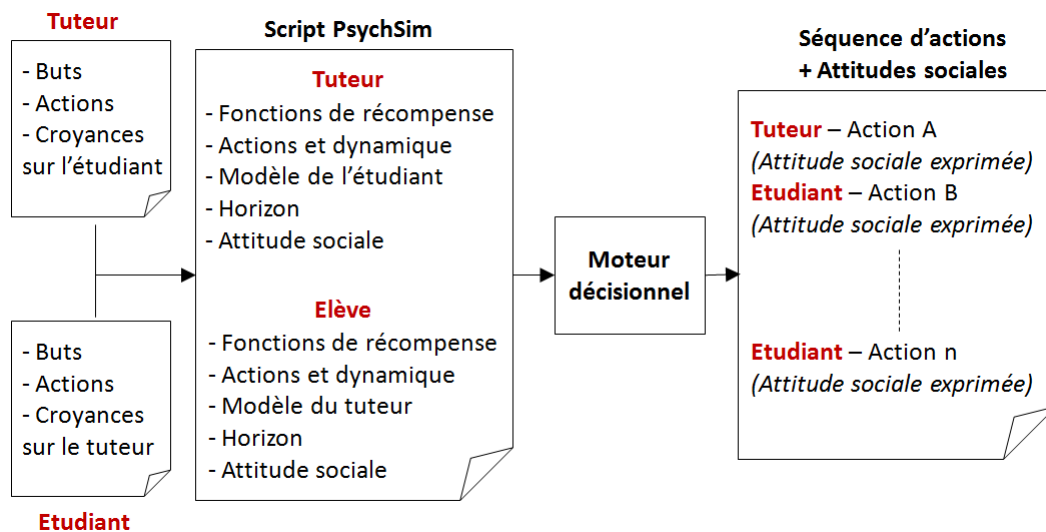


Figure 5.2 : Architecture utilisée pour la réalisation de nos simulations. Les buts, croyances et actions des agents sont formalisées, puis traduites en un script interprétable par la plateforme PsychSim. Le moteur décisionnel de PsychSim génère alors une séquence d'actions associée aux attitudes sociales exprimées correspondantes.

5.2 SIMULATION 1: DE L'IMPORTANCE DES ÉMOTIONS

Dans cette simulation, nous considérons l'influence des attitudes sociales actuelle et idéale sur les actions choisies par l'agent. Nous étudions particulièrement la manière dont le cours de l'interaction change la relation d'équilibre existant entre les buts situationnels et les buts sociaux d'un agent. Ici, nous nous intéressons particulièrement aux buts du tuteur virtuel *Bob*, et nous nous attendons à ce qu'il adapte sa stratégie en fonction des réactions de son étudiante *Alice*.

5.2.1 Situation initiale

La situation de départ du scénario est la suivante : Le tuteur virtuel *Bob* s'inspire de la littérature dans le domaine de l'enseignement et pense qu'en tant que tuteur, il devrait idéalement exprimer un fort niveau d'affiliation et un statut moyennement élevée. Compte tenu de la situation, *Bob* se sent dominant par rapport à *Alice*, et il l'apprécie également. *Bob* a pour but situationnel qu'*Alice* finisse ses devoirs (i.e. effectue trois actions de type *Work*), but pour lequel il accorde une importance

5.2. SIMULATION 1 : DE L'IMPORTANCE DES ÉMOTIONS

	Tuteur	Etudiant B2
Attitude idéale	IdealAff(très positif)	IdealAff(neutre)
	IdealSta(positif)	IdealSta(neutre)
Attitude Actuelle	ActualAff(positif)	ActualAff(neutre)
	ActualSta(positif)	ActualSta(positif)
Buts situationnels	DoHomework(imp. haute)	DoHomework(imp. faible)
		HaveFun(imp. haute)
Buts sociaux	imp. haute	aucune imp.

élevée. Compte tenu de ses attitudes idéale et actuelle et de son niveau de rigidité moyen, *Bob* a également pour buts sociaux qu'*Alice* exprime un statut négatif et une affiliation assez élevée. De son côté, *Alice* ne sait pas vraiment comment elle devrait idéalement se comporter face à son tuteur. Son statut idéal et son affiliation idéale sont donc neutres. Son affiliation actuelle est également neutre, mais elle pense cependant être légèrement dominante vis-à-vis de son tuteur *Bob* : ayant un faible horizon, elle n'est pas capable d'imaginer les actions de *Bob* en réponse à ses propres actions (voir figure 4.3) : elle ne croit pas que ce dernier ait une quelconque influence sur ses buts, qui sont de s'amuser et de finir ses devoirs. *Alice* considère par ailleurs que s'amuser est plus important que jouer. Son affiliation exprimée étant neutre, elle n'accorde aucune importance à ses buts sociaux. Le tableau 5.2.1 résume les différents états mentaux du tuteur *Bob* et de son élève *Alice*. *Alice* est donc ici une étudiante motivée par le jeu, et de faible horizon (étudiant B2 selon la figure 5.1). Le niveau de rigidité de *Bob* et d'*Alice* est moyen : leur attitude sociale actuelle et idéale ont une influence égale sur leur attitude sociale exprimée. Dans cette simulation, nous mettons en avant l'aspect dynamique de l'attitude sociale d'un agent. En effet, nous allons voir que l'attitude de *Bob* va évoluer en fonction des actions de son étudiante *Alice*. Nous allons maintenant voir la séquence d'actions résultant de la simulation du scénario que nous venons de décrire.

5.2.2 Séquence d'actions

Étape 1 : *EtudianteAlice-Play*

L'étudiante *Alice* pense qu'elle est dominante par rapport à *Bob*. En effet, avec

son faible horizon, elle ne pense pas que *Bob* puisse influencer ses buts situationnels. Comme elle n'accorde aucune importance à ses buts sociaux, *Alice* va effectuer l'action qui est la plus désirable pour elle, à savoir jouer.

Étape 2 : *TuteurBob-PromiseToPlay*

Le tuteur *Bob* considère le but de maintenir une relation complémentaire avec *Alice* comme aussi important que le but qu'elle finisse ses devoirs. Compte tenu de son attitude sociale exprimée, *Bob* a donc pour but qu'*Alice* soit plus amicale envers lui, mais également moins dominante. Il se tourne donc vers une stratégie compensatoire, et promet à *Alice* qu'il jouera avec elle si jamais cette dernière finit ses devoirs d'abord. En effet, *Bob* sait que cela devrait déclencher une émotion d'espoir chez elle, ce qui devrait la rendre plus amicale et faire diminuer sa dominance.

Étape 3 : *EtudianteAlice-Play*

Malgré la promesse de *Bob*, *Alice* croit toujours être dominante envers lui. Étant donné qu'elle ne se projette pas plus loin que les actions qu'elle peut faire-elle même, elle est incapable de voir qu'elle pourrait être récompensée si elle se met à travailler tout de suite, et voit donc plus d'intérêt à continuer de jouer.

Étape 4 : *TuteurBob-MakeWorkImportant*

Bien que *Bob* soit en colère après *Alice* étant donné qu'elle ne fait pas ses devoirs malgré la promesse qu'il lui a faite (i.e. jouer avec elle une fois ses devoirs terminés), il considère toujours le fait de maintenir une relation complémentaire avec *Alice* comme suffisamment important pour ne pas envisager de stratégie coercitive. Au lieu d'une nouvelle promesse, *Bob* va plutôt expliquer à *Alice* pourquoi il est important pour elle qu'elle finisse ses devoirs.

Étape 5 : *EtudianteAlice-Play*

Si *Alice* prend conscience que faire ses devoirs est plus important que ce qu'elle imaginait au début de l'interaction, elle accorde toujours une plus grande importance au fait de s'amuser. De plus, elle n'apprécie pas suffisamment *Bob* pour considérer ses buts sociaux comme prioritaires par rapport à ses buts situationnels. Elle va donc continuer à jouer car elle considère cela comme plus utile vis-à-vis de l'ensemble de ses buts.

Étape 6 : *TuteurBob-WarnToSwitchOffConsole*

Bob ressent une nouvelle fois de la colère en voyant qu'*Alice* ne travaille toujours pas. Son affiliation actuelle se dégrade un peu plus encore, et *Bob* décide de changer une nouvelle fois de stratégie. Il prévient donc *Alice* que si cette dernière ne fait pas ses devoirs, il éteindra sa console de jeu, l'empêchant ainsi de jouer.

Étape 7 : *EtudianteAlice-Play*

5.2. SIMULATION 1: DE L'IMPORTANCE DES ÉMOTIONS

Etant donné sur horizon de 1, Alice est incapable d'imaginer que Bob puisse éteindre la console en réponse à son action de continuer de jouer : elle ne ressent donc pas de peur, et son niveau de dominance reste inchangé. *Alice* continue de jouer.

Étape 8: *TuteurBob-SwitchOffConsole*

Etant donné qu'*Alice* continue de jouer et ne semble pas décidée à faire ses devoirs, *Bob* ressent de nouveau de la colère. Cela fait de nouveau baisser son niveau d'affiliation envers *Alice* et par conséquent diminue aussi l'importance qu'il accorde à ses buts sociaux. *Bob* considère désormais que maintenir une relation complémentaire avec *Alice* est moins prioritaire que de lui faire terminer ses devoirs. *Bob* considère donc l'emploi d'une stratégie coercitive qu'il juge plus efficace, bien qu'il sache qu'elle dégradera encore plus sa relation avec son étudiante. *Bob* éteint donc la console d'*Alice*.

Étape 9: *EtudianteAlice-Work*

Alice croit désormais que son tuteur est dominant. Elle préfère toujours s'amuser que faire ses devoirs, mais sa console étant éteinte, elle n'a d'autre choix que de travailler afin de finir ses devoirs, ce qu'elle considère plus utile que de ne rien faire.

5.2.3 Situation de fin

	Tuteur	Etudiant B2
Attitude idéale	IdealAff(très positif) IdealSta(positif)	IdealAff(neutre) IdealSta(neutre)
Attitude Actuelle	ActualAff(peu positif) ActualSta(positif)	ActualAff(peu négatif) ActualSta(négatif)
Buts situationnels	DoHomework(imp. haute)	DoHomework(imp. faible) HaveFun(imp. haute)
Buts sociaux	imp. haute	aucune imp.

A la fin de cette interaction, nous pouvons noter que la relation entre le tuteur *Bob* et son étudiante *Alice* s'est quelque peu dégradée. En effet, *Bob* a ressenti de la colère à de maintes reprises durant l'interaction, et n'apprécie désormais que très peu son étudiante. Le fait d'éteindre la console a soudainement fait prendre

conscience à Alice du niveau de statut de *Bob*. *Alice* avait en effet un horizon trop faible pour comprendre les menaces de *Bob*, et se voyait donc comme dominante vis à vis de lui.

Ce scénario a pour objectif de mettre en lumière la dynamique de l'attitude sociale exprimée par le tuteur *Bob* au cours de l'interaction. Cette dynamique de l'attitude sociale exprimée s'est traduite par une évolution des stratégies du tuteur. Ce dernier était en effet amical et dominant au début de l'interaction : sa première tentative pour faire travailler l'étudiante a ainsi pour but de maintenir un bon niveau d'affiliation chez *Alice*, en lui promettant de jouer avec elle après qu'elle ait fini ses devoirs. Cette promesse était censée déclencher de l'espoir chez *Alice* et donc améliorer son affiliation et la rendre moins dominante. Or, dans ce scénario, l'horizon d'*Alice* est trop faible pour qu'elle puisse imaginer les potentielles actions de *Bob* en réaction à ses propres actions. En effet, *Alice* ne prend en compte que les conséquences de ses propres actions, et n'est pas capable de se projeter dans le futur pour estimer l'effet que cela pourrait avoir à plus long-terme. Jouer ayant une plus grande utilité immédiate que de faire ses devoirs, *Alice* continuera donc de jouer tant qu'elle en a la possibilité.

La dégradation du niveau d'affiliation actuelle de *Bob* est déclenchée par le fait qu'*Alice* l'empêche continuellement de réaliser son but. Cette dégradation du niveau d'affiliation entraîne une diminution de l'importance que *Bob* accorde à ses buts sociaux. Si sa première tentative pour faire travailler *Alice* a pour objectif d'améliorer sa relation avec elle, il va petit à petit changer de stratégie pour favoriser son but situationnel, à savoir faire terminer ses devoirs à *Alice*. *Bob* choisit donc des stratégies de plus en plus coercitives jusqu'à éteindre la console d'*Alice* afin de réussir son but. Nous voyons donc que *Bob* est capable d'adapter son choix d'action pour faire face aux actions d'*Alice*. Dans la simulation suivante, nous étudions l'importance de la gestion de l'impression sur ce même choix d'action.

5.3 SIMULATION 2: DE L'IMPORTANCE DE LA GESTION DE L'IMPRESSION

Dans cette simulation, nous considérons l'influence de la gestion de l'impression sur les actions choisies par l'agent. Nous cherchons ici à mettre en avant l'importance des buts sociaux dans la prise de décision d'un agent en comparant cette simulation avec la simulation précédente.

5.3.1 Situation initiale

Dans cette simulation, la situation de départ est identique à celle de référence (décrite en section 5.2.1) à l'exception de l'attitude sociale idéale du tuteur *Bob*. En effet, dans ce scénario, *Bob* ne considère pas qu'un tuteur se doit d'être dominant et amical et a donc une attitude sociale idéale neutre. Cela se traduit par une importance faible accordée à ses buts sociaux. De ce fait, *Bob* devrait se concentrer sur ses buts situationnels, et choisira donc le plan le plus efficace afin de faire terminer ses devoirs à *Alice*. *Alice* est ici aussi une étudiante motivée par le jeu, et de faible horizon (étudiant B2 selon la figure 5.1). Le niveau de rigidité de *Bob* et d'*Alice* est moyen : leur attitude sociale actuelle et idéale ont une influence égale sur leur attitude sociale exprimée. Dans cette simulation, nous mettons en avant l'influence de l'attitude sociale idéale sur la stratégie sélectionnée par l'agent. Nous allons voir qu'en changeant uniquement cet aspect, la séquence d'actions générée et donc le déroulement du scénario sont totalement différents.

	Tuteur	Etudiant B2
Attitude idéale	IdealAff(neutre)	IdealAff(neutre)
	IdealSta(neutre)	IdealSta(neutre)
Attitude Actuelle	ActualAff(positif)	ActualAff(neutre)
	ActualSta(positif)	ActualSta(positif)
Buts situationnels	DoHomework(imp. haute)	DoHomework(imp. faible)
		HaveFun(imp. haute)
Buts sociaux	imp. faible	aucune imp.

5.3.2 Séquence d'actions

Etape 1 : *EtudianteAlice-Play*

Comme lors de la simulation précédente, l'étudiante *Alice* croit qu'elle est dominante par rapport à *Bob*. En effet, avec son faible horizon, elle est incapable de voir que *Bob* peut influencer ses buts situationnels. Comme elle n'accorde aucune importance à ses buts sociaux, *Alice* va effectuer l'action qui est la plus désirable pour elle, à savoir jouer.

Etape 2 : *TuteurBob-WarnToSwitchOffConsole*

Ici, *Bob* accorde moins d'importance au but d'avoir une relation complémentaire avec *Alice* par rapport à son but de lui faire terminer ses devoirs. Comme *Bob* n'accorde pas une importance nulle à ses buts sociaux, il n'éteint pas directement la console de jeu, ce qui aurait pour effet de ruiner sa relation avec *Alice*, et irait donc à l'encontre de ses buts sociaux. Il va donc essayer de faire peur à *Alice* à la menaçant d'éteindre sa console si jamais elle ne fait pas ses devoirs.

Etape 3 : *EtudianteAlice-Play*

Malgré la menace de *Bob*, *Alice* croit toujours être dominante envers lui. Elle ne pense pas qu'elle sera punie si elle se met à travailler tout de suite, et voit donc plus d'intérêt à continuer de jouer. Ici encore, son faible horizon et donc son incapacité de se projeter et d'anticiper les actions de son interlocuteur sont la cause de cette décision.

Etape 4 : *TuteurBob-SwitchOffConsole*

Alice ayant décidé de continuer à jouer, *Bob* ressent de la colère envers elle. Il accorde encore moins d'importance à ses buts sociaux et décide donc d'éteindre la console de jeu d'*Alice*.

Etape 5: *EtudianteAlice-Work*

Alice croit que son tuteur est dominant. Elle préfère toujours s'amuser que faire ses devoirs, mais sa console étant éteinte, elle n'a d'autre choix que de travailler afin de finir ses devoirs, ce qu'elle considère plus utile que de ne rien faire.

Etape 6: *TuteurBob-WatchStudent*

Afin d'être certain de réaliser son but situationnel (i.e. *Alice* termine ses devoirs), *Bob* maintient la pression en surveillant *Alice* pendant qu'elle fait ses devoirs. De cette manière, *Bob* espère diminuer la dominance de son étudiante.

Etape 7: *EtudianteAlice-Work*

Alice ne peut toujours pas jouer, et continue de faire ses devoirs.

Etape 8: *TuteurBob-WatchStudent*

Bob surveille une nouvelle fois *Alice* car il pense que c'est la stratégie la plus efficace afin d'atteindre son but.

Etape 9: *EtudianteAlice-Work*

Alice termine ses devoirs.

5.3. SIMULATION 2: DE L'IMPORTANCE DE LA GESTION DE L'IMPRESSION

	Tuteur	Etudiant B2
Attitude idéale	IdealAff(très positif) IdealSta(positif)	IdealAff(neutre) IdealSta(neutre)
Attitude Actuelle	ActualAff(peu positif) ActualSta(positif)	ActualAff(peu négatif) ActualSta(négatif)
Buts situationnels	DoHomework(imp. haute)	DoHomework(imp. faible) HaveFun(imp. haute)
Buts sociaux	imp. haute	aucune imp.

5.3.3 Situation de fin

Nous pouvons noter que la relation entre le tuteur *Bob* et son étudiante *Alice* s'est quelque peu dégradée lors de l'interaction. La diminution est cependant moindre que lors de la simulation précédente. *Bob* ayant éteint la console d'*Alice* dès le début de l'interaction, ce dernière n'a finalement ressenti que peu d'émotions de colère. *Alice* ayant commencé à travailler plus tôt que lors de l'interaction précédente, elle a eu le temps de terminer ses devoirs. En adoptant immédiatement une stratégie coercitive, *Bob* a résolu son but. Si la stratégie mise en place par *Bob* peut paraître efficace sur le court-terme (*Alice* a fini ses devoirs), nous avons vu au début de ce chapitre (section 5.1) que maintenir une bonne relation avec son élève permet d'obtenir de meilleurs résultats et un meilleur comportement de la part de ce dernier [Pennings et al., 2014]. Or dans cette simulation, l'utilisation de stratégies coercitive a dégradé la relation entre *Bob* et *Alice*. Les décisions de *Bob* ne sont donc pas nécessairement les plus efficaces sur le long-terme.

Ce scénario a pour objectif de mettre en lumière l'influence de la gestion de l'impression sur l'attitude sociale exprimée par un agent, et sur les actions qu'il décide d'effectuer. En effet, *Bob* ayant une attitude sociale idéale neutre, il n'accorde qu'une importance faible à ses buts sociaux. Ce dernier préférera donc résoudre son but situationnel en premier lieu, même si cela se fait au détriment de sa relation avec son étudiante *Alice*. *Bob* va donc tout d'abord essayer de prévenir *Alice* qu'il pourrait éteindre sa console si cette dernière ne se met pas à travailler. Cette action est censée déclencher de la peur chez son étudiante, entraînant une baisse

de l'affiliation et de la dominance. Comme dans la simulation précédente, l'horizon d'*Alice* est trop faible pour imaginer les potentielles actions de *Bob* en réaction à ses propres actions. *Alice* est donc incapable d'imaginer que *Bob* éteindra sa console si jamais elle continue de jouer. Devant l'échec de sa première stratégie, *Bob* décide d'employer la stratégie qui lui semble la plus efficace pour réaliser son but situationnel et éteint la console d'*Alice*.

5.4 SIMULATION 3: DE L'IMPORTANCE DE L'HORIZON

Dans cette simulation, nous voulons vérifier l'effet de l'horizon sur la prise de décision d'un agent. Nous cherchons à mettre en valeur l'influence de l'horizon de l'étudiante sur son niveau de statut.

5

5.4.1 Simulation initiale

Nous partons une fois de plus de la situation de référence décrite en section 5.2 mais nous augmentons l'horizon de l'étudiant, diminuant donc son niveau de statut actuel. En effet, nous avons vu avec l'équation 4.6 de la section 4.3.3 que le niveau de statut d'un agent dépendait en partie de ses croyances vis-à-vis des potentielles actions de son interlocuteur, et plus précisément du degré de certitude accordé à ses croyances. Ici, augmenter l'horizon d'*Alice* revient à augmenter le degré de certitude accordé à la croyance de cette dernière concernant le fait que *Bob* pourrait éteindre sa console si jamais elle ne fait pas ses devoirs. Cela a donc pour conséquence de diminuer son niveau de statut. Nous avons donc un étudiant préférant s'amuser à faire ses devoirs, mais avec un horizon élevé (étudiant B1 selon la figure 5.1). En faisant cela, nous nous attendons à obtenir des séquences d'actions différentes, et donc une relation finale différente entre *Bob* et *Alice*. En effet, un étudiant avec un horizon élevé devrait être capable de résister à la tentation de s'amuser immédiatement en jouant dès le début du scénario, et d'attendre pour s'amuser encore plus en jouant avec son tuteur une fois ses devoirs terminés. *Alice* est également capable d'anticiper les réactions de son tuteur et leur impact sur ses propres buts. Comme pour les simulations précédentes, le niveau de rigidité de *Bob* et d'*Alice* est moyen : leur attitude sociale actuelle et idéale ont une influence égale sur leur attitude sociale exprimée.

5.4. SIMULATION 3: DE L'IMPORTANCE DE L'HORIZON

	Tuteur	Etudiant B1
Attitude idéale	IdealAff(très positif)	IdealAff(neutre)
	IdealSta(positif)	IdealSta(neutre)
Attitude Actuelle	ActualAff(positif)	ActualAff(neutre)
	ActualSta(positif)	ActualSta(négatif)
Buts situationnels	DoHomework(imp. haute)	DoHomework(imp. faible)
		HaveFun(imp. haute)
Buts sociaux	imp. haute	aucune imp.

5.4.2 Séquence d'actions

Etape 1 : *EtudianteAlice-Work*

Grâce à son horizon élevé, l'étudiante *Alice* est capable de se projeter plus loin dans le futur afin de voir les effets potentiels de ses actions sur ses buts. Elle croit donc que *Bob* est capable d'éteindre sa console de jeu si elle ne travaille pas tout de suite. Mais *Alice* croit aussi que *Bob* jouera avec elle si elle finit rapidement ses devoirs (ce qui arrivera après avoir fait ses trois exercices). Après avoir soupesé les différentes options qui s'offrent à elle, *Alice* décide de retarder sa récompense (jouer donnerait à *Alice* une récompense immédiate supérieure à travailler) et se met donc à travailler immédiatement.

Etape 2 : *TuteurBob-MakeWorkFun*

Bob considère ses buts sociaux comme étant très importants, d'autant plus qu'*Alice* s'est mise à travailler, déclenchant une émotion de gratitude chez le tuteur. Il va donc essayer de renforcer sa complémentarité (i.e. donc de baisser le statut d'*Alice* et d'augmenter son affiliation). Grâce à son horizon, *Bob* va pouvoir élaborer une stratégie optimale afin de maximiser l'affiliation d'*Alice* et de minimiser son statut. Le tuteur va donc dans un premier temps rendre les devoirs de son étudiante plus amusants.

Etape 3 : *EtudianteAlice-Work*

Alice est toujours décidée à terminer ses devoirs afin de pouvoir jouer avec *Bob* par la suite. Elle continue donc de travailler. *Bob* ayant rendu ses devoirs plus amusants, l'action de travailler l'aide également à maximiser son autre but de s'amuser.

Etape 4 : *TuteurBob-HelpWithHomework*

Maintenant que *Bob* croit qu'une action de travail aidera *Alice* à résoudre ses deux buts situationnels, il va l'aider à faire ses devoirs. Cela lui permet donc d'améliorer encore plus l'affiliation *Alice* envers lui.

Etape 5 : *EtudianteAlice-Work*

Alice finit ses devoirs.

Etape 6 : *TuteurBob-PlayWithStudent*

Alice ayant fini ses devoirs, *Bob* a réalisé son but situationnel. Il ne lui reste donc plus que son but social à satisfaire. Désireux d'augmenter le niveau d'affiliation d'*Alice*, ce dernier l'aide à résoudre son but situationnel (i.e. s'amuser) et joue avec elle.

Etape 7 : *EtudianteAlice-Play*

Maintenant qu'elle a fini ses devoirs, *Alice* peut effectivement commencer à jouer afin de réaliser son second but.

Etape 8 : *TuteurBob-PlayWithStudent*

Bob continue de jouer avec *Alice*.

Etape 9 : *EtudianteAlice-Play*

Alice continue de jouer.

5.4.3 Situation de fin

	Tuteur	Etudiant B1
Attitude idéale	IdealAff(très positif) IdealSta(positif)	IdealAff(neutre) IdealSta(neutre)
Attitude Actuelle	ActualAff(très positif) ActualSta(positif)	ActualAff(très positif) ActualSta(négatif)
Buts situationnels	DoHomework(imp. haute)	DoHomework(imp. faible) HaveFun(imp. haute)
Buts sociaux	imp. haute	aucune imp.

A la fin de ce scénario la relation entre *Bob* et *Alice* est très bonne. *Alice* ayant travaillé dès le début de l'interaction sans que *Bob* n'ait eu à éteindre la console, *Bob* ressent de la gratitude, ce qui augmente son niveau d'affiliation envers son étudiante.

En retour, le tuteur a voulu augmenter le niveau d'affiliation d'*Alice*. Grâce à son horizon, *Bob* est capable de planifier une stratégie sur plusieurs tours. En effet, *Bob* croit que s'il rend les devoirs d'*Alice* plus amusants avant de l'aider, l'affiliation d'*Alice* sera plus élevée que s'il l'aidait à chacun de ses exercices. Son but social étant d'améliorer l'affiliation d'*Alice*, il va donc choisir la première solution.

Ce scénario a pour objectif de mettre en lumière l'influence de l'horizon sur le niveau de statut d'un agent et sur les actions qu'il décide d'effectuer. Cela permet à *Alice* de prendre conscience que son tuteur peut éteindre sa console, et donc de l'empêcher de résoudre son but qu'elle considère le plus important. *Alice* se rend donc compte qu'elle gagne beaucoup à effectuer ses devoirs en premier, puisqu'elle pourra jouer sans problème après. L'horizon de *Bob* lui a également permis d'adapter sa stratégie. Là encore, l'agent se résout à abandonner une gratification immédiate (i.e. en aidant *Alice* à faire ses devoirs) au profit d'une solution sur le "long-terme". En effet, en rendant en premier lieu les devoirs d'*Alice* plus amusants, son action d'aider cette dernière à effectuer ses devoirs est plus efficace. Dans la prochaine section, nous décrivons le protocole d'évaluation que nous avons mis en place pour notre étude perceptive.

5.5 SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS

Simulation 1	Simulation 2	Simulation 3
<i>EtudianteAlice</i> -Play	<i>EtudianteAlice</i> -Play	<i>EtudianteAlice</i> -Work
<i>TuteurBob</i> -PromiseToPlay	<i>TuteurBob</i> -WarnToSwitchOffConsole	<i>TuteurBob</i> -MakeWorkFun
<i>EtudianteAlice</i> -Play	<i>EtudianteAlice</i> -Play	<i>EtudianteAlice</i> -Work
<i>TuteurBob</i> -MakeWorkImportant	<i>TuteurBob</i> -SwitchOffConsole	<i>TuteurBob</i> -HelpWithHomework
<i>EtudianteAlice</i> -Play	<i>EtudianteAlice</i> -Work	<i>EtudianteAlice</i> -Work
<i>TuteurBob</i> -WarnToSwitchOffConsole	<i>TuteurBob</i> -WatchStudent	<i>TuteurBob</i> -PlayWithStudent
<i>EtudianteAlice</i> -Play	<i>EtudianteAlice</i> -Work	<i>EtudianteAlice</i> -Play
<i>TuteurBob</i> -SwitchOffConsole	<i>TuteurBob</i> -WatchStudent	<i>TuteurBob</i> -PlayWithStudent
<i>EtudianteAlice</i> -Work	<i>EtudianteAlice</i> -Work	<i>EtudianteAlice</i> -Play

Figure 5.3 : Comparaisons des différentes séquences d'actions générées par nos trois simulations.

Au travers des trois simulations que nous venons de voir, nous avons montré

l'influence que pouvaient avoir les attitudes sociales du tuteur et/ou de son élève sur leur choix d'actions et leur prise de décision. La figure 5.3 résume ainsi les trois différentes séquences d'actions obtenues au cours de ces simulations. Dans la première simulation, nous avons pu observer que l'attitude du tuteur *Bob* devenait de plus en plus hostile à mesure que son élève *Alice* continuait de jouer. Nous avons également constaté l'évolution des stratégies choisies par le tuteur au fil de l'interaction. Si *Bob* avait à cœur de maintenir la relation au début de l'interaction, son but situationnel prit le dessus sur ses buts sociaux tandis que son niveau d'affiliation envers *Alice* diminuait.

Dans la seconde simulation, *Bob* considérait son but situationnel comme plus important que ses buts sociaux dès le début de l'interaction. Ce dernier a donc dès le début opté pour la stratégie la plus "efficace" selon lui, au risque de dégrader l'affiliation exprimée par *Alice*. Si *Alice* a bel et bien fini par faire ses devoirs, son niveau d'affiliation envers *Bob* a fortement diminué, ce qui ne présage pas de bonnes interactions futures.

Enfin, dans la dernière simulation, nous avons joué avec l'horizon d'*Alice*. Cela a eu pour résultat de faire augmenter le niveau de certitude accordé à ses croyances : désormais consciente du fait que *Bob* pouvait l'empêcher de jouer si jamais elle ne faisait pas ses devoirs, *Alice* a donc préféré travailler immédiatement afin de pouvoir jouer par la suite. Le niveau d'affiliation d'*Alice* et de *Bob* n'a pas cessé d'augmenter durant l'interaction. La figure 5.4 permet de comparer les évolutions des niveaux d'affiliation exprimés par le tuteur *Bob* et son élève *Alice* au cours des trois différentes simulations effectuées.

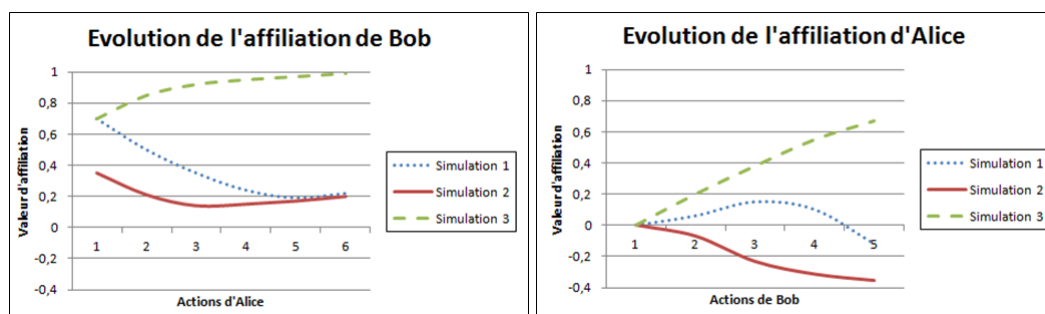


Figure 5.4 : Comparaisons des niveaux d'affiliation exprimés par *Bob* et *Alice* au cours de l'interaction dans les trois simulations présentées.

5.6 PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Afin d'évaluer notre modèle, nous avons effectué une étude perceptive. L'objectif de cette étude est de mesurer l'influence des attitudes sociales actuelle et idéale d'un agent sur l'attitude sociale perçue par un observateur humain. Etant donné l'influence de l'attitude sociale exprimée par un agent sur sa prise de décision, nous cherchons à vérifier si les séquences d'actions générées par notre modèle transmettent l'attitude sociale que nous souhaitons. Pour cette étude, nous utilisons le même scénario dépeignant une interaction entre un tuteur et son étudiant virtuels que celui décrit précédemment pour nos simulations. Là encore, le tuteur a pour but situationnel de faire terminer ses devoirs à son étudiant. L'étudiant a quant à lui pour but situationnel de finir ses devoirs et de s'amuser. Les buts et actions des agents tels que définis pour cette étude perceptive sont décrits en section 5.1. Nous avons demandé aux participants de notre étude d'évaluer les niveaux d'affiliation et de statut qu'ils perçoivent chez le tuteur virtuel. Nous demandons également de manière exploratoire aux mêmes participants d'évaluer la performance du tuteur durant l'interaction.

Dans un premier temps, nous décrivons l'architecture que nous avons mise en œuvre pour réaliser cette étude perceptive (section 5.6.1). Puis nous décrivons les stimuli que nous avons présentés aux participants (section 5.6.2) et les mesures que nous cherchons à évaluer (section 5.6.3). Enfin, après avoir expliqué la procédure que nous avons mise en place pour l'évaluation (section 5.6.4), nous posons nos hypothèses (section 5.6.5).

5.6.1 Implémentation

La figure 5.5 est une représentation schématique de l'architecture que nous avons mise en place pour réaliser cette étude perceptive. Nous avons tout d'abord écrit un script PsychSim pour définir les buts et croyances du tuteur et de son étudiant, mais également un ensemble d'actions et leur influence sur le monde pour chacun des deux agents. Ce script est ensuite interprété par le moteur décisionnel de PsychSim qui génère une séquence d'actions associées à des attitudes sociales exprimées en sortie (voir figure 5.2). Pour chaque agent, les actions et les attitudes sociales exprimées sont calculées dynamiquement au tour par tour. Puis, la séquence

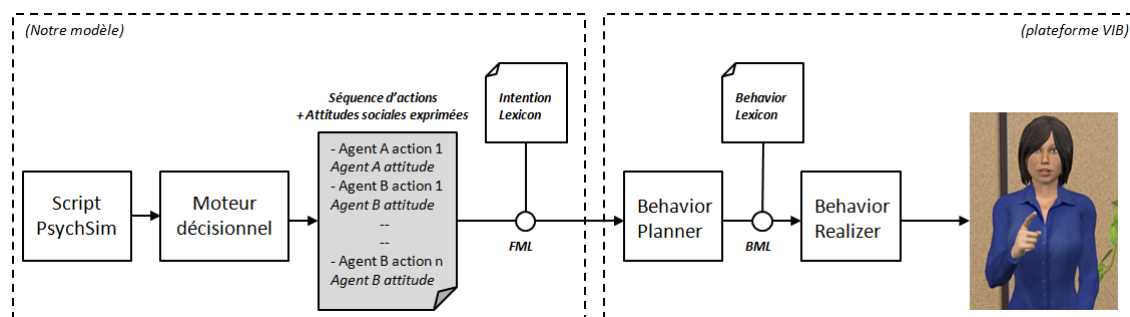


Figure 5.5 : Vue d’ensemble de l’architecture utilisée pour notre étude perceptive. La partie gauche de l’image représente notre modèle de prise de décision sociale, son implémentation dans PsychSim et le lexicon utilisé pour transformer les actions générées par PsychSim en intentions communicatives. La partie droite de l’image représente VIB [Pecune et al., 2014], la plateforme d’agent conversationnel animé compatible SAIBA utilisée pour réaliser les intentions communicatives.

d’actions est transformée en une séquence d’intentions communicatives via un lexicon d’intentions. Ce lexicon permet en effet de transformer des actions en FML [Cafaro et al., 2014]. Ces FML sont par la suite interprétés par la plateforme VIB [Pecune et al., 2014] afin de générer le comportement multimodal correspondant.

5.6.2 Description des Stimuli

Nous avons créé une série de vidéos montrant des interactions entre notre agent conversationnel animé jouant le rôle d’un tuteur et son étudiant. Conscients que le genre et/ou l’apparence de l’ACA pourraient influencer l’attitude sociale perçue par les participants [Krämer et al., 2016], nous avons souhaité contrôler cet aspect en utilisant le même agent conversationnel animé pour chacune des vidéos. L’agent est un personnage féminin, vu de face, et placé dans un environnement neutre. Les participants ne pouvaient voir que le haut du corps de l’agent, à savoir son torse, sa tête et ses bras. L’étudiant est représenté par une silhouette androgyne inanimée. Cela nous permet de focaliser l’attention du participant sur notre agent, et d’éviter tout biais lié au genre ou au comportement non-verbal de l’étudiant. La figure 5.6 présente une capture d’écran tirée de l’un de nos stimuli vidéos tel que l’utilisateur le perçoit. La silhouette inanimée représentant l’étudiant est présentée à la gauche du stimulus vidéo. Une ligne de texte situé sous la silhouette décrit l’action

que l'étudiant est en train d'effectuer. Une fois encore, l'absence de parole sert à maintenir l'attention du participant sur notre tuteur virtuel. L'agent conversationnel animé est quant à lui situé sur la droite du stimulus vidéo. Nous avons utilisé une voix synthétique afin d'accompagner les gestes, expressions faciales, regards et mouvements de tête de l'agent. La génération du comportement non-verbal de l'agent est décrite en détail dans [Ravenet et al., 2013]. Un encadré rouge permet d'identifier l'agent actif durant l'interaction (parlant ou effectuant une action).

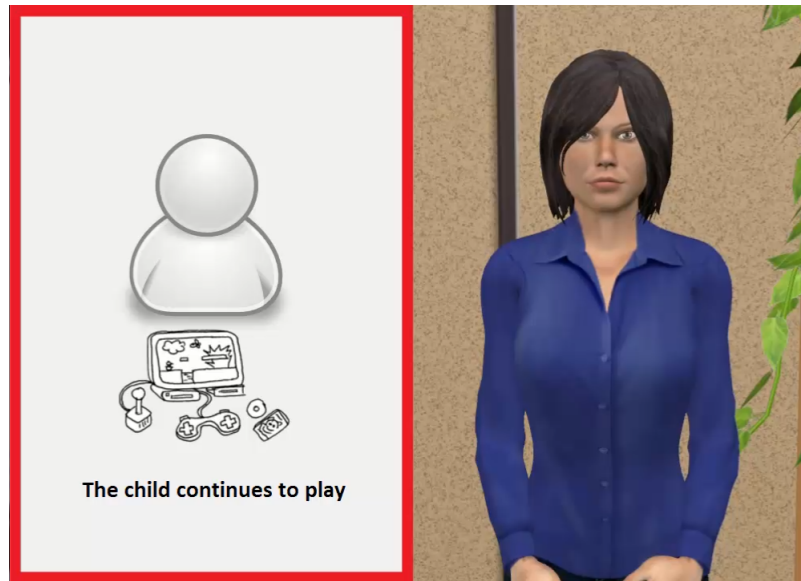


Figure 5.6 : Capture d'écran d'une des vidéos utilisée comme stimulus dans notre étude. L'étudiant est représenté par la silhouette inanimée sur la gauche alors que le tuteur est représenté par l'agent conversationnel animé sur la droite .

Les différents scénarios présentés dans les vidéos ont été obtenus en faisant varier la valeur d'affiliation actuelle initiale de l'agent, ainsi que son attitude sociale idéale lors de simulations effectuées à l'aide de notre architecture décrite en section 5.6.1. Les séquences d'actions générées par PsychSim étaient toutes différentes, néanmoins les comportements verbaux et non-verbaux utilisés pour représenter chaque action étaient identiques pour toutes les interactions (i.e. le lien entre action et intention communicative est identique pour tous les scénarios). Nous nous sommes appuyés sur les travaux de Callejas et al. [Callejas et al., 2014a] pour représenter les différentes intentions communicatives sous la forme d'un comportement non-verbal et verbal neutre.

Nous avons identifié notre variable inter-sujets comme étant le niveau d'affiliation

actuel initial (**T-InitialActualAff**) du tuteur virtuel envers l'étudiant. Cette variable possède deux niveaux : *Affiliation actuelle négative* vs. *Affiliation actuelle positive*. Nous avons considéré que le tuteur pensait être capable d'influencer les buts de son étudiant, et avons donc fixé son niveau de statut actuel à une valeur positive. Ensuite, une fois l'affiliation actuelle définie, nous avons identifié l'attitude sociale idéale (**T-IdealRelation**) du tuteur comme un facteur intra-sujets. Etant donné le contexte de notre scénario, nous définissons les trois niveaux suivants : statut idéal positif ($S+$), affiliation idéale positive ($A+$) et, statut idéal positif et affiliation idéale positive ($S+A+$). Pour le niveau $S+$, l'affiliation idéale est neutre. Pour le niveau $A+$, le statut idéal est neutre.

Finalement, nous avons obtenu six vidéos différentes. La figure 5.7 représente l'évolution de la moyenne des attitudes sociales exprimées telles que calculées par notre modèle dans ces six scénarios. Chacun des scénarios se terminait dès que l'étudiant avait fini ses devoirs.

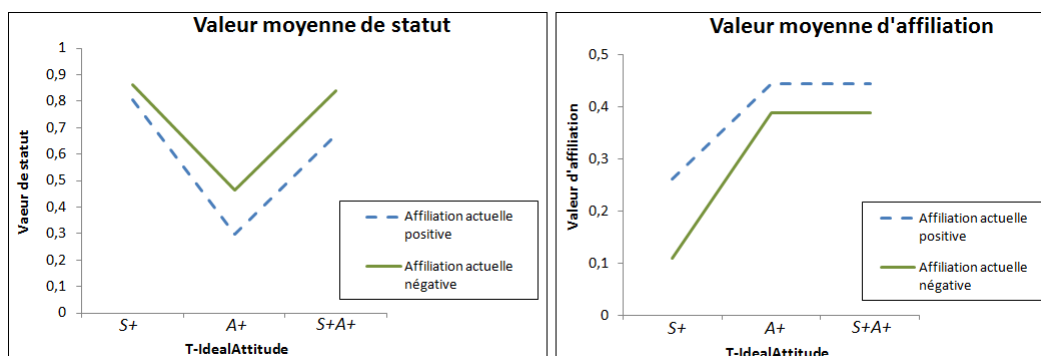


Figure 5.7 : Valeurs moyennes de statut et d'affiliation calculées par notre modèle. La figure de gauche représente les valeurs moyennes de statut exprimée par l'agent (axe y) en fonction de son *attitude sociale idéale* (axe x) et pour les deux conditions *affiliation actuelle positive* (ligne hachurée) et *affiliation actuelle négative* (ligne pleine). La figure de droite représente les valeurs moyennes d'affiliation exprimée par l'agent (axe y) en fonction de son *attitude sociale idéale* (axe x) et pour les deux conditions *affiliation actuelle positive* (ligne hachurée) et *affiliation actuelle négative* (ligne pleine).

5.6.3 Mesures

Nous avons demandé aux participants d'évaluer l'attitude sociale perçue chez le tuteur virtuel à travers son statut social (**T-Status**) et son affiliation sociale (**T-Affiliation**). Nous leur avons également demandé d'évaluer le niveau de performance (**T-Performance**) des stratégies utilisées par le tuteur.

Afin de mesurer **T-Status** et **T-Affiliation**, nous avons adapté huit affirmations issues de la version "tierce-personne" de l'InterPersonal Questionnaire (IPQ-R) [Trapnell and Broughton, 2006]. Ce questionnaire permet en effet de situer l'attitude sociale d'un individu sur le circomplexe interpersonnel des attitudes de Wiggins [Wiggins and Trapnell, 1996]. Le questionnaire IPQ-R définit douze styles interpersonnels (i.e. appelés duodécants) représentant différentes sous-parties du circomplexe, et donc différentes combinaisons de statut et d'affiliation. Chaque duodécant est lié à un sous-questionnaire contenant six affirmations. Afin de mesurer le statut **T-Status**, nous avons sélectionné deux affirmations issues du duodécant *dominant* et deux affirmations du duodécant *deferent*. Les affirmations pour le duodécant *dominant* sont : *"Trying to control the child"* and *"Assertive toward the child"*. Les affirmations pour le duodécant *deferent* sont : *"Avoiding imposing power over the child"* et *"Unauthoritative with the child"*. Afin de mesurer l'affiliation **T-Affiliation**, nous avons sélectionné deux affirmations issues du duodécant *warm* et deux affirmations provenant du duodécant *aloof*. Les affirmations provenant du duodécant *warm* sont : *"Warm toward the child"* et *"Taking strong interest in the child's goals"*. Les affirmations issues du duodécant *aloof* sont : *"Unfriendly toward the child"* et *"Uninterested in the child's goals"*.

Afin de mesurer la performance **T-Performance** du tuteur, nous avons sélectionné les trois options les plus fiables (i.e. avec le meilleur score de confiance) issues du facteur sur l'*efficacité pour motiver les étudiants* provenant du questionnaire Ohio State teacher efficacy scale (OSTES) [Tschannen-Moran and Hoy, 2001]. Ce questionnaire est utilisé pour mesurer la performance des enseignants en fonction de trois facteurs. Les trois affirmations que nous avons sélectionnées pour notre questionnaire sont les suivantes : *"Helping the child to understand the importance of learning"*, *"Trying to motivate the child"* et *"Getting the child to believe s/he can do well"*.

Chacune des réponses était donnée sur une échelle de Likert à 7 points allant de

	S+	A+	S+A+
Affiliation actuelle positive	Groupe 1	Groupe 1	Groupe 1
Affiliation actuelle négative	Groupe 2	Groupe 2	Groupe 2

Table 5.1 : Conditions expérimentales de notre expérience

1. *Pas du tout d'accord à 7. Tout à fait d'accord.*

5.6.4 Procédure et participants

Nous avons recruté un total de 48 participants à travers des listes de diffusions académiques (24 participants dans chaque groupe). 52% des participants étaient âgés entre 18 et 30 ans, 48% étaient âgés de plus de 30 ans. 60% des participants étaient de genre masculin, 40% étaient de genre féminin. Les participants provenaient de pays différents, mais étaient majoritairement issus de France (31%) et du Portugal (15%). Nous avons effectué cette étude en ligne. Chaque participant devait dans un premier temps répondre à un court questionnaire démographique à propos de leur âge, de leur genre et de leur nationalité. Une fois le questionnaire rempli, les participants étaient assignés de manière aléatoire à l'un des deux groupes suivant les deux valeurs de la variable inter-sujets **T-InitialActualAff**. Le premier groupe était assigné à un tuteur dont l'affiliation actuelle initiale était positive, le second groupe étant assigné au tuteur dont l'affiliation actuelle initiale était négative. Chaque participant devait donc évaluer trois vidéos, comme décrit par le tableau 5.6.4. Chaque stimulus était présenté aux participants accompagné de questions en suivant un design de mesures répétées intra-sujets et en contrebalançant l'ordre des stimuli comme recommandé par [Bradley, 1958]. L'étude (et donc les questions) étaient en anglais.

5.6.5 Hypothèses

Suivant la définition de Scherer [Scherer, 2005], nous supposons que l'affiliation actuelle initiale et l'attitude sociale idéale du tuteur ont toutes deux une influence sur son attitude sociale telle que perçue par les participants. De plus, sachant que l'attitude sociale d'un tuteur a une influence sur sa performance, comme suggéré par Wubbels [Wubbels et al., 2012], nous supposons que l'affiliation actuelle initiale

et l'attitude sociale idéale de notre tuteur virtuel ont une influence sur sa performance perçue. Suivant les attitudes sociales exprimées calculées par notre modèle et représentées en figure 5.7, nous définissons les hypothèses suivantes :

H.1-Sta: L'attitude sociale idéale du tuteur **T-IdealAttitude** a un effet principal sur le statut **T-Status** perçu. En particulier, un tuteur avec un niveau positif de statut idéal (S+) sera perçu avec un statut plus élevé qu'un autre tuteur avec à la fois un statut idéal positif et une affiliation idéale positive (S+A+), qui sera lui-même perçu avec un statut plus élevé qu'un tuteur avec seulement une affiliation idéale positive (A+).

H.1-Aff: L'attitude sociale idéale du tuteur **T-IdealAttitude** a un effet principal sur l'affiliation **T-Affiliation** perçue. En particulier, un tuteur avec un niveau positif d'affiliation idéale (A+) sera perçu avec une affiliation plus élevée qu'un autre tuteur avec à la fois un statut idéal positif et une affiliation idéale positive (S+A+), qui sera lui-même perçu avec une affiliation plus élevée qu'un tuteur avec seulement un statut idéal positif (S+).

H.1-Perf: L'attitude sociale idéale du tuteur **T-IdealAttitude** a un effet principal sur la performance **T-Performance** perçue. En particulier, un tuteur avec des niveaux positifs de statut idéal et d'affiliation idéale (S+A+) sera perçu avec une performance plus élevée qu'un autre tuteur avec une affiliation idéale positive (A+), qui sera lui-même perçu avec une performance plus élevée qu'un tuteur avec seulement un statut idéal positif (S+).

H.2-Sta: Le niveau d'affiliation actuel initial **T-InitialActualAff** a un effet principal sur le statut **T-Status** perçu. En particulier, un tuteur avec un niveau initial d'affiliation actuelle négatif sera perçu avec un statut plus élevé qu'un tuteur avec un niveau initial d'affiliation sociale positif.

H.2-Aff: Le niveau d'affiliation actuel initial **T-InitialActualAff** a un effet principal sur l'affiliation **T-Affiliation** perçue. En particulier, un tuteur avec un niveau initial d'affiliation actuelle positif sera perçu avec une affiliation plus élevée qu'un tuteur avec un niveau initial d'affiliation sociale négatif.

H.2-Perf: Le niveau d'affiliation actuel initial **T-InitialActualAff** a un effet principal sur la performance **T-Performance** perçue. En particulier, un tuteur avec un

niveau initial d'affiliation actuelle positif sera perçu avec une performance plus élevée qu'un tuteur avec un niveau initial d'affiliation sociale négatif.

5.7 ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSION

5.7.1 Description des Résultats

Nous avons effectué une double analyse de variance multivariée à mesures répétées (MANOVA répétée) avec T-InitialActualAff comme facteur inter-sujets et T-IdealAttitude comme facteur intra-sujets. Les mesures dépendantes étaient le statut du tuteur, (**T-Status**), l'affiliation du tuteur (**T-Affiliation**) et la performance du tuteur (**T-Performance**). Le test MANOVA a révélé deux effets principaux significatifs de T-InitialActualAff ($Wilks' Lambda = .57, F(3, 44) = 10.75, p < .001, \eta_p^2 = .44$) et de T-IdealAttitude ($Wilks' Lambda = .20, F(6, 41) = 26.30, p < .001, \eta_p^2 = .80$). L'analyse a également indiqué un effet d'interaction significatif ($Wilks' Lambda = .35, F(6, 41) = 12.23, p < .001, \eta_p^2 = .64$).

Comme l'hypothèse de la sphéricité est respectée, nous avons conduit une analyse complémentaire pour étudier les effets uni-variés à l'aide d'une double ANOVA mixte. Ces analyses confirment les effets principaux significatifs et l'interaction de T-InitialActualAff et de T-IdealAttitude sur nos trois mesures dépendantes (tous ont $p < .001$ et les tailles d'effets vont de **.20** to **.72**). Le tableau 5.2 présente un résumé de toutes les valeurs de F, de p, et les tailles d'effets pour les effets principaux.

Ces résultats suggèrent que le niveau d'affiliation actuel initial du tuteur envers son élève, et son attitude idéale ont des effets sur nos mesures dépendantes. Nous avons effectué une analyse post-hoc en étudiant les effets de notre variable intra-sujets, T-IdealRelation, via de multiples comparaisons par paires. Ces comparaisons ont été menées après avoir ajusté les niveaux de significativité via un ajustement de Bonferroni. Pour notre variable inter-sujets, T-InitialActualAff, nous avons effectué une analyse des effets simples. Le tableau 5.3 présente l'ensemble des moyennes et des erreurs standards (entre parenthèses) pour les trois variables dépendantes (DVs) indiquées en en-tête du tableau. Les colonnes décrivent les différents niveaux de notre variable intra-sujets (i.e. T-IdealRelation), correspondant à un *statut idéal positif* (S+), une *affiliation idéale positive* (A+) et des *statut idéal et affiliation idéale positifs* (S+A+). Les deux lignes correspondent aux deux niveaux de notre variable

5.7. ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSION

Statistique:	F(1,46)	p	η_p^2	F(2,92)	p	η_p^2
	T-InitialActualAff			T-IdealAttitude		
T-Status	16.13	.000	.26	35.55	.000	.44
T-Affiliation	15.00	.000	.24	52.50	.000	.53
T-Performance	29.63	.000	.39	119.26	.000	.72

Table 5.2 : Résumé des valeurs de F, valeurs de p, et tailles d'effets des ANOVAS (ν_p^2) obtenues pour les deux facteurs T-InitialActualAff (inter-sujets) et T-IdealAttitude (intra-sujets) sur nos trois mesures dépendantes (T-Statut, T-Affiliation et T-Performance).

inter-sujets (i.e. T-InitialActualAff), à savoir une *affiliation actuelle initiale positive* et une *affiliation actuelle initiale négative*. Par exemple, la valeur moyenne de statut du tuteur telle qu'évaluée par les participants est de 5.65 pour le stimulus où le tuteur a une affiliation actuelle initiale positive et un statut idéal positif. L'analyse des effets simples révèle que toutes les différences entre les deux groupes sont significatives ($p \leq .001$) hormis pour les cas où le tuteur avait un statut idéal positif (S+). Les moyennes dont les différences entre les groupes ne sont pas significatives sont marqués par un "*" dans le tableau.

Les résultats suggèrent qu'un tuteur avec un statut idéal positif (S+) est perçu avec des niveaux d'affiliation et de performance plus faible qu'un tuteur avec une affiliation idéale positive (A+) et qu'un tuteur avec un statut idéal et une affiliation idéale positifs (S+A+), mais qu'un tuteur avec une affiliation idéale et un statut idéal positifs est perçu avec des niveaux d'affiliation et de performance plus faible qu'un tuteur avec une affiliation idéale positive (A+). Nos hypothèses **H.1-Aff** et **H.1-Perf** sont donc partiellement supportées. Nous avons également trouvé qu'un agent avec un statut idéal positif est perçu avec un statut plus élevé qu'un tuteur avec une affiliation idéale positive et qu'un tuteur avec une affiliation idéale et un statut idéal positifs, mais que le statut perçu n'était pas significativement différent entre un tuteur avec un niveau d'affiliation idéal positif et un tuteur avec une affiliation idéale et un statut idéal positifs. Notre hypothèse **H.1-Sta** est donc partiellement supportée. Enfin, les participants ont évalué un tuteur à l'affiliation actuelle initiale

	T-Status			T-Affiliation			T-Performance		
DVs:	S+	S+A+	A+	S+	S+A+	A+	S+	S+A+	A+
Affiliation Initiale Positive	5.65* ($\pm.19$)	4.05 ($\pm.22$)	3.95 ($\pm.20$)	2.96* ($\pm.27$)	5.43 ($\pm.24$)	5.68 ($\pm.25$)	1.97* ($\pm.23$)	5.48 ($\pm.25$)	5.73 ($\pm.26$)
Affiliation Initiale Négative	5.80* ($\pm.19$)	5.45 ($\pm.22$)	5.28 ($\pm.20$)	3.09* ($\pm.27$)	3.51 ($\pm.24$)	4.15 ($\pm.25$)	2.22* ($\pm.23$)	2.70 ($\pm.25$)	3.44 ($\pm.26$)

Table 5.3 : Résumé des moyennes et des erreurs standards (entre parenthèses) pour les trois variables dépendantes (DVs). Les différences entre les moyennes marquées par un "*" (en fonction de la valeur d'affiliation actuelle initiale) ne sont pas significatives. Toutes les comparaisons parmi les valeurs des variables intra-sujets sont significatives ($p \leq .001$) hormis pour les effets de *S+A+* et *A+* sur le T-Status.

positive avec un niveau d'affiliation, de statut et de performance plus élevés qu'un tuteur à l'affiliation actuelle initiale négative. Cependant, la différence entre les deux groupes n'est pas significative dans le cas où le tuteur a un statut idéal positif (S+). Les hypothèses **H.2-Sta**, **H.2-Aff** et **H.2-Perf** sont donc partiellement supportées.

La figure 5.8 permet de comparer visuellement nos hypothèses (attitudes calculées par notre modèle) et nos résultats (attitudes perçues par les participants).

5.7.2 Analyse et discussion

Dans cette étude, nous avons trouvé que les participants étaient capables de percevoir l'attitude sociale d'un tuteur virtuel à travers les séquences d'actions générées par notre modèle. Ces séquences d'actions dépendaient de l'affiliation actuelle initiale du tuteur envers son élève, et de son attitude sociale idéale envers ce dernier. Plus spécifiquement, nous avons trouvé que l'affiliation actuelle initiale du tuteur et son attitude sociale idéale avaient des effets principaux sur son

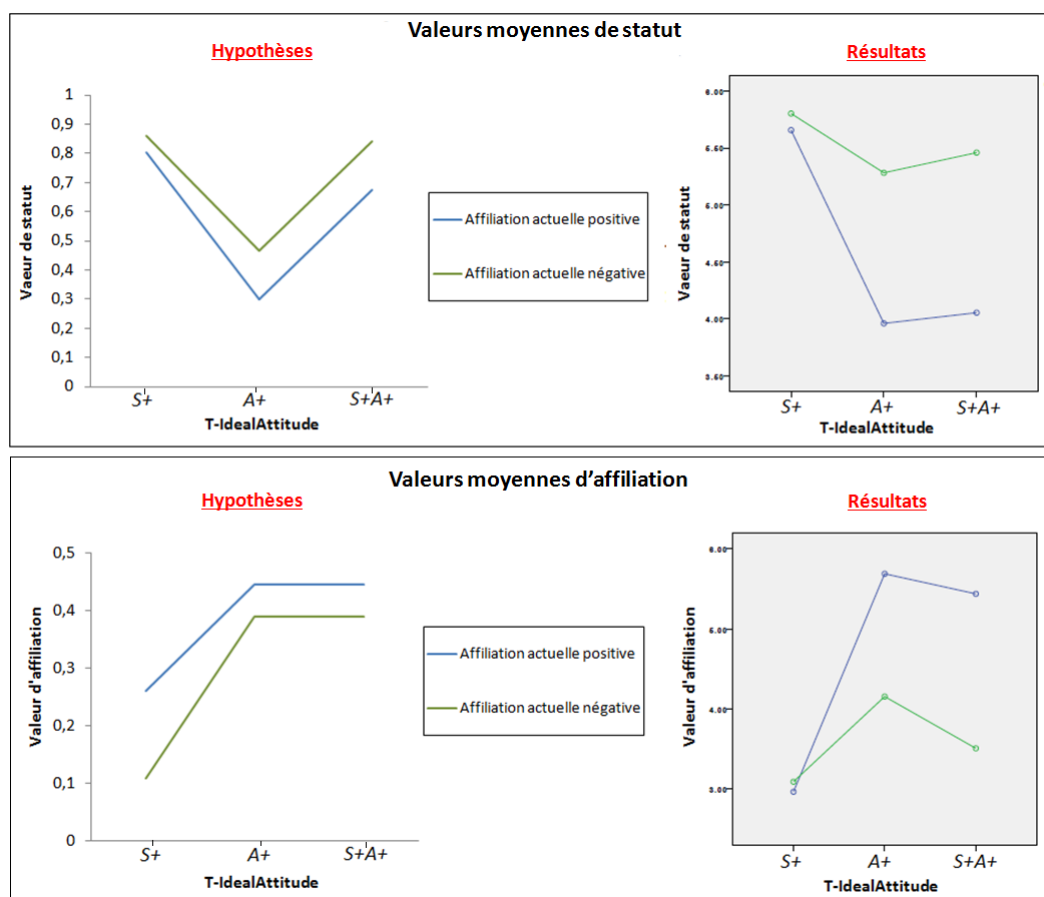


Figure 5.8 : Comparaison des moyennes de valeurs de statut et d'affiliation calculées par notre modèle (représentées par le graphique de gauche *Hypothèses*) avec les moyennes de valeurs de statut et d'affiliation telles que perçues par les participants lors de notre expérience (représentées par le graphique de droite *Résultats*).

niveau de statut, d'affiliation et de performance tel que perçu par les participants.

Comme nous en avons fait l'hypothèse, un tuteur avec un niveau de statut idéal positif a été perçu avec un niveau de statut significativement plus élevé qu'un tuteur avec un niveau d'affiliation idéale positive et qu'un tuteur avec un niveau d'affiliation idéale et de statut idéal positifs, mais ont été perçus avec un niveau d'affiliation et de performance significativement plus bas (**H.1-Sta**, **H.1-Aff** et **H.1-Perf** partiellement supportés)

Dans les séquences d'actions générées par notre modèle, les tuteurs avec une valeur positive de statut idéal éteignaient immédiatement la console de l'enfant pour

le forcer à travailler. Ceci peut expliquer le faible score d'affiliation perçu pour ces tuteurs. De plus, les tuteurs avec un niveau de statut idéal positif préfèrent utiliser des stratégies coercitives et des menaces au lieu d'expliquer à l'élève pourquoi il est important pour lui de faire ses devoirs, ce qui peut expliquer le faible score de performance attribué par les participants. Cependant, un tuteur avec un score d'affiliation idéale et de statut idéal positifs a été perçu comme étant moins performant qu'un tuteur avec seulement une affiliation idéale positive. Nous pensons que les tuteurs avec un score d'affiliation idéale et de statut idéal positifs sont perçus comme plus pragmatiques, et donc perçus comme moins amicaux que les tuteurs ayant pour seul but social d'être appréciés par leur élève. De plus nous pensons que la durée de l'interaction était trop courte pour que les participants puissent identifier clairement les buts de l'élève, et donc pour pouvoir juger de la performance du tuteur. Enfin, étant donné que nous n'avons pas modélisé le contenu des exercices de l'élève, il était d'autant plus difficile pour les participants de juger de la qualité du travail fourni.

Nous avons également trouvé une interaction significative du niveau d'affiliation actuel initial du tuteur et de son attitude sociale idéale sur le statut, l'affiliation et la performance du tuteur tels que perçus par les participants. En effet, le niveau d'affiliation actuel initial du tuteur a eu pour effet "d'amplifier" les résultats sur chacune des mesures dépendantes. Les tuteurs avec une valeur d'affiliation actuelle initiale positive ont été perçus avec un niveau d'affiliation et de performance significativement plus élevés que les tuteurs avec un niveau d'affiliation actuelle initial négatif, mais avec un niveau de statut significativement plus faible (**H.2-Sta**, **H.2-Aff** et **H.2-Perf** partiellement supportés). Nous pensons que quand le tuteur appréciait son élève au départ de l'interaction, il faisait part de plus de franchise ("*immediacy*" en anglais) envers ce dernier, ayant pour effet d'améliorer son affiliation ou relation comme décrit dans [Richmond et al., 2008]. Une autre explication possible est liée à la notion de première impression. En effet, nous supposons que la première impression laissée par le tuteur a biaisé cognitivement les participants, qui ont donc jugé les tuteurs essayant de faire plaisir à leurs élèves depuis le début avec un niveau d'affiliation plus élevé. De plus, nous pensons que les tuteurs avec un niveau initial d'affiliation actuelle positif ont pu donner l'impression de négocier avec leurs élèves, ce qui peut être perçu comme un signe de soumission dans un cadre d'apprentissage. Cependant les tuteurs avec un statut idéal positif ont été perçus avec un même niveau d'affiliation, de performance et de statut, quel que soit leur niveau initial d'affiliation actuelle. Une explication possible est que les

tuteurs voulant se montrer dominant ont eu un recours immédiat aux stratégies coercitives (i.e. menacer et éteindre la console) sans même essayer d'expliquer aux élèves pourquoi travailler était important pour eux.

5.8 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons évalué notre modèle de deux manières différentes. Ces deux évaluations se plaçaient dans un même contexte d'interaction entre un tuteur et son étudiant, l'objectif du tuteur étant de faire terminer ses devoirs à son étudiant. Dans un premier temps, nous avons effectué des simulations afin d'observer et d'analyser les effets de différentes caractéristiques de notre modèle sur le déroulement de l'interaction. La première simulation nous a permis d'étudier la dynamique de l'attitude sociale exprimée par notre tuteur virtuel, et donc l'importance de l'attitude sociale actuelle. En fonction des actions effectuées par son élève, l'attitude sociale exprimée par le tuteur va évoluer. Cette évolution transparaît au travers des actions et des stratégies choisies par le tuteur au cours du scénario. La seconde simulation met en avant le rôle de la gestion de l'impression dans le déroulement de l'interaction, et donc l'importance de l'attitude sociale idéale. En effet, l'attitude idéale influe sur les buts sociaux du tuteur au même titre que l'attitude actuelle. Un tuteur n'accordant pas d'importance à ses buts sociaux dès le début de l'interaction n'hésitera pas à employer des stratégies coercitives. La troisième simulation met en lumière le rôle de l'horizon d'un agent sur son attitude sociale actuelle, et sur sa prise de décision. Un étudiant avec un horizon trop faible ne sera pas capable de voir plus loin que les conséquences de ses propres actions. Les menaces et les promesses de son tuteur ne seront pas envisagées par l'étudiante, et le niveau de dominance de l'étudiant envers son tuteur restera donc inchangé. La relation entre le tuteur et son étudiant à la fin de l'interaction dépend donc fortement de ces caractéristiques. Un horizon trop faible chez au moins l'un des deux participants entraînera une dégradation de la relation. Par analogie avec les humains, cet horizon faible peut être vu comme un manque d'intelligence émotionnelle de la part de l'agent. Comme pour les humains, un agent ne faisant pas preuve d'intelligence émotionnelle ne sera pas capable de maintenir une relation durable [Lopes et al., 2003].

Dans un second temps, nous avons décidé d'évaluer notre modèle à l'aide d'une étude perceptive. L'objectif de cette étude était de voir si les attitudes sociales cal-

culées par notre modèle étaient bien perçues par des participants. Pour cela, nous avons généré six vidéos dépeignant des interactions entre un tuteur virtuel et son étudiant en faisant varier l'attitude sociale idéale du tuteur et son affiliation actuelle au début du scénario. Cela nous a permis d'obtenir six interactions bien distinctes, chacune comportant des séquences d'actions différentes et dont la durée variait également. Nous avons ensuite traduit ces actions en intentions communicatives pouvant être interprétées, et donc jouées par notre agent conversationnel animé. Chacun des participants de notre étude devait donc évaluer l'attitude sociale du tuteur virtuel au cours de trois interactions. Les résultats montrent que les attitudes sociales sont généralement bien reconnues. L'attitude sociale actuelle initiale du tuteur a bien une influence sur l'attitude sociale perçue par les participants : les tuteurs avec une attitude actuelle initiale positive ont été perçus comme plus amicaux que des tuteurs avec une attitude actuelle initiale négative. L'attitude sociale idéale du tuteur influence également l'attitude sociale perçue par les participants, que ce soit pour le statut ou l'affiliation.

Nos résultats semblent cependant suggérer que les deux dimensions utilisées pour représenter l'attitude sociale ne sont pas parfaitement indépendantes. En effet, un tuteur exprimant un statut et une affiliation positifs était perçu comme moins amical qu'un tuteur exprimant uniquement une affiliation positive. Selon ces résultats, un niveau de statut perçu positif a donc une influence négative sur le niveau d'affiliation perçu. En d'autres termes, plus l'agent est perçu comme dominant, moins il est perçu comme amical. Cette étude nécessite cependant d'être poursuivie afin de vérifier si ces résultats peuvent être généralisés à des situations en dehors du contexte d'apprentissage.

Synthèse du chapitre

1. Nous avons proposé une architecture permettant de simuler des interactions entre deux agents conversationnels animés. Cette architecture s'appuie sur les plateformes PsychSim et VIB. PsychSim permet de générer des séquences d'actions qui seront ensuite jouées par l'ACA de VIB.
2. Nous avons décrit un scénario mettant en scène un tuteur virtuel et son étudiant. Le but situationnel du tuteur est de faire terminer ses devoirs à son étudiant. Les buts situationnels de l'étudiant sont de finir ses devoirs et de s'amuser.
3. Nous avons testé notre modèle via des simulations portant à analyser l'influence de paramètres issus de notre modèle sur l'attitude sociale exprimée par les agents. Nous avons également analysé les séquences d'actions issues de ces simulations.
4. Nous avons évalué notre modèle à travers une étude perceptive. Les participants ont dans l'ensemble bien reconnu les attitudes sociales exprimées par le tuteur virtuel en fonction de son comportement au cours de l'interaction.

6

Imitation et alignement du comportement non-verbal

"L'homme est imitateur, l'animal même l'est ; le goût de l'imitation est de la nature bien ordonnée ; mais il dégénère en vice dans la société."

Jean-Jacques Rousseau

Emile ou de l'éducation

Nous nous sommes jusqu'à présent intéressés à l'influence de l'attitude sociale sur la prise de décision d'un agent conversationnel animé. Nos travaux ont porté essentiellement sur l'état mental de l'agent. Or, de nombreux travaux ont également étudié l'attitude sociale sous l'angle du comportement non-verbal. Dans ce chapitre, nous décrivons deux études que nous avons menées afin de mesurer l'impact du comportement non-verbal d'un agent virtuel sur l'expérience de l'utilisateur interagissant avec ce dernier. Ces expériences sont détachées de nos travaux majeurs décrits dans cette thèse. Ils donnent cependant un aperçu du rôle que joue le comportement non-verbal sur la perception d'attitudes sociales.

Dans un premier temps, nous décrivons l'outil que nous avons développé afin de transformer différents types de données en entrée en paramètres d'animation interprétables par notre agent (section 6.1). Puis nous décrivons les deux expériences que nous avons menées afin d'évaluer l'importance de l'alignement du comportement non-verbal dans la perception d'attitude sociale. La première expérience s'appuie principalement sur l'expression faciale de l'agent en réponse aux pensées positives d'un utilisateur (section 6.2). La seconde expérience s'appuie sur l'imitation par l'agent du comportement de rire de l'utilisateur (section 6.3). Ces deux expériences ont été menées en collaboration avec des équipes de recherche, respectivement l'équipe Intelligent Virtual Environments¹ de l'Université de Teesside en Angleterre

1. <https://ive.scm.tees.ac.uk/?pID=1>

pour la première expérience, et l'équipe Infomus² de l'Université de Gênes en Italie pour la seconde expérience.

6.1 GÉNÉRATION DE COMPORTEMENT NON-VERBAL INFLUENCÉ PAR UN UTILISATEUR

De nombreux travaux font état de l'influence de l'imitation et de la synchronie du comportement d'une personne [Chartrand et al., 2005] ou d'un agent [Bevacqua et al., 2014] sur le niveau de rapport, d'engagement et d'affiliation ressenti par son interlocuteur au cours d'une interaction. Selon Nagaoka *et al.*, cette synchronie non-verbale transmet l'attitude sociale d'une personne envers son interlocuteur. Un agent virtuel imitant le comportement non-verbal d'un utilisateur est ainsi perçu comme plus influant (i.e. exprimant un statut plus élevé) [Bailenson and Yee, 2005], mais également comme plus engagé dans l'interaction (i.e. exprimant une affiliation plus élevée) [Broekema, 2011].

Afin d'obtenir un agent capable d'adapter son comportement non verbal à celui d'un humain et d'imiter le comportement non-verbal de celui-ci, nous avons construit un outil graphique et modulaire. Cet outil nous permet de manipuler différents types de signaux en entrées et de les combiner afin d'obtenir des paramètres d'animation pour notre agent.

Les expressions faciales de l'agent sont définies en termes d'Unités d'Action (AUs) telles que décrites par le système de codage FACS d'Ekman [Ekman and Friesen, 1976]. Chaque unité d'action correspond à une contraction musculaire : par exemple, une élévation de l'intérieur des sourcils correspond à l'AU1, tandis qu'un décrochage de la mâchoire correspond à l'AU26. L'expression faciale de l'agent est donc obtenue via une combinaison de plusieurs AUs. Pour l'animation du corps et de la tête, notre agent suit la norme MPEG-4 qui définit une liste des différents paramètres d'animation du corps (Body Animation Parameters ou BAP). Chaque BAP représente la valeur d'angle sur un des axes de l'une des articulations de l'agent.

L'outil que nous avons développé s'inspire des réseaux de neurones afin de transformer des informations perçues chez l'utilisateur en BAPs ou AUs (voir figure 6.1). Grâce à cet outil, il est possible de représenter chaque donnée de l'utilisateur en

2. http://www.infomus.org/index_eng.php

entrée par un nœud particulier. Ces nœuds, représentés en bleu dans la figure 6.1, ont chacun une valeur d'activation particulière. En sortie, chaque AU et BAP est également représenté par un nœud, en rouge sur la figure 6.1. La valeur des nœuds de chaque AU varie entre 0 (aucune activation) et 1 (activation maximale). Par exemple, si le nœud représentant l'AU12 (soulèvement du coin des lèvres) est complètement activé (valeur d'activation de 1), l'agent va effectuer un sourire avec une intensité maximale. La valeur des nœuds des BAPs varie entre -1 et 1. Ces valeurs sont transformées en valeurs d'angles en radians afin de pouvoir être interprétées par notre agent selon la norme MPEG-4. Par exemple, si la valeur du nœud *vc1tilt* (rotation de la première vertèbre cérébrale) est de 1, la tête de l'agent sera penchée vers l'arrière avec un angle de $-\pi$.

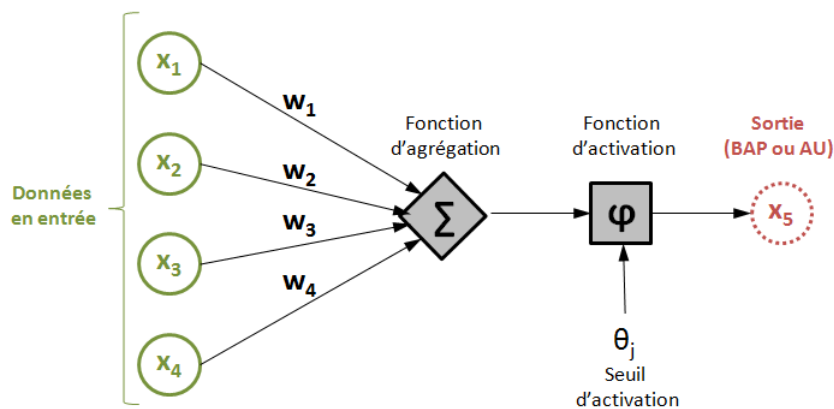


Figure 6.1 : Fonctionnement général de l'outil permettant de manipuler en temps réel le comportement non verbal de l'agent.

Afin de combiner les données utilisateurs en paramètres d'animation, il est possible de lier les nœuds d'entrée (données utilisateurs) aux nœuds de sortie (BAPs et AUs). Chaque lien à son propre poids, représentant la manière dont le nœud en entrée va influencer celui en sortie. Ces liens peuvent avoir des valeurs négatives ou positives. La valeur d'activation des nœuds en sortie est donc calculée en s'appuyant sur la fonction de McCulloch et Pitts [McCulloch and Pitts, 1943]. Chaque valeur de nœud d'entrée x_i est d'abord multipliée par le poids w_{ij} de son lien avec le nœud de sortie. Puis ces valeurs sont agrégées par une fonction d'agrégation. Cette fonction peut être une somme, une multiplication, un min/max, etc... La fonction d'activation transforme ensuite cette valeur d'agrégation en une valeur d'activation x_j pour le nœud de sortie. Cette fonction peut être linéaire, exponentielle, gaussienne, etc... Si cette nouvelle valeur x_j dépasse le seuil d'activation θ_j , alors le nœud

6.2. EXPÉRIENCE 1 : UN AGENT CAPABLE D'ADAPTER SON NIVEAU D'ENGAGEMENT

sera activé. La formule F.Activation représente une fonction d'activation linéaire combinée à une fonction d'agrégation de type somme. Ici, la valeur d'activation x_j du neurone de sortie est une somme de toutes les valeurs des neurones d'entrée x_i pondérées par les poids w_{ij} .

$$x_j = \sum_i^n w_{ij} * x_i + \theta_j \quad (\text{F.Activation})$$

L'outil que nous venons de décrire est celui que nous avons utilisé dans les deux expériences décrites dans les sections suivantes.

6.2 EXPÉRIENCE 1 : UN AGENT CAPABLE D'ADAPTER SON NIVEAU D'ENGAGEMENT

Dans cette étude, nous cherchons à évaluer l'influence de l'expression faciale d'un agent virtuel sur l'engagement et le niveau de rapport ressentis par son utilisateur. Si Gratch [Gratch et al., 2007] a démontré l'importance du comportement non-verbal d'un agent sur le niveau de rapport ressenti par son utilisateur, Wong [Wong and McGee, 2012] s'est quant à lui intéressé de plus près aux expressions faciales. Ce dernier a ainsi démontré qu'un agent exprimant des émotions congruentes avec celles de son utilisateur permettait d'améliorer le niveau de rapport ressenti par ce dernier. Dans ces études, l'agent virtuel imite principalement le comportement non-verbal détecté chez l'utilisateur. Or, dans cette expérience, nous cherchons à approfondir les travaux de Schilbach [Schilbach et al., 2006] afin de savoir s'il est possible pour un participant humain de créer du rapport avec un agent virtuel en interagissant avec lui uniquement par le biais de la pensée. Plus précisément, nous cherchons à savoir si un agent alignant ses expressions faciales au niveau d'engagement "exprimé" par les pensées de son interlocuteur est capable de créer du rapport avec ce dernier.

Pour cette expérience³, notre objectif était donc d'étudier l'influence des expressions faciales d'un agent virtuel sur le niveau d'engagement d'un utilisateur. Ce dernier était connecté à l'agent via une interface cerveau-machine. Dans un premier

3. Le travail présenté dans cette section a été réalisé en collaboration avec Marc Cavazza, Fred Charles et Gabor Aranyi de l'université de Teesside. Ma contribution a été de mettre au point une architecture d'agent capable d'exprimer un comportement non-verbal en fonction d'une valeur d'engagement qui m'était fournie par l'équipe de Teesside. Les expériences visant à valider les comportements non-verbaux ont également été réalisées par mes soins.

temps, nous décrivons plus précisément le but de l'expérience et l'architecture mise en place (section 6.2.1). Puis nous présentons la manière dont nous avons configuré notre outil afin de générer le comportement non-verbal de l'agent (section 6.2.2). Nous expliquons comment nous avons validé ces comportements en section 6.2.3. Enfin, nous présentons les résultats obtenus lors de cette expérience (section 6.2.4).

6.2.1 Objectif et Architecture générale

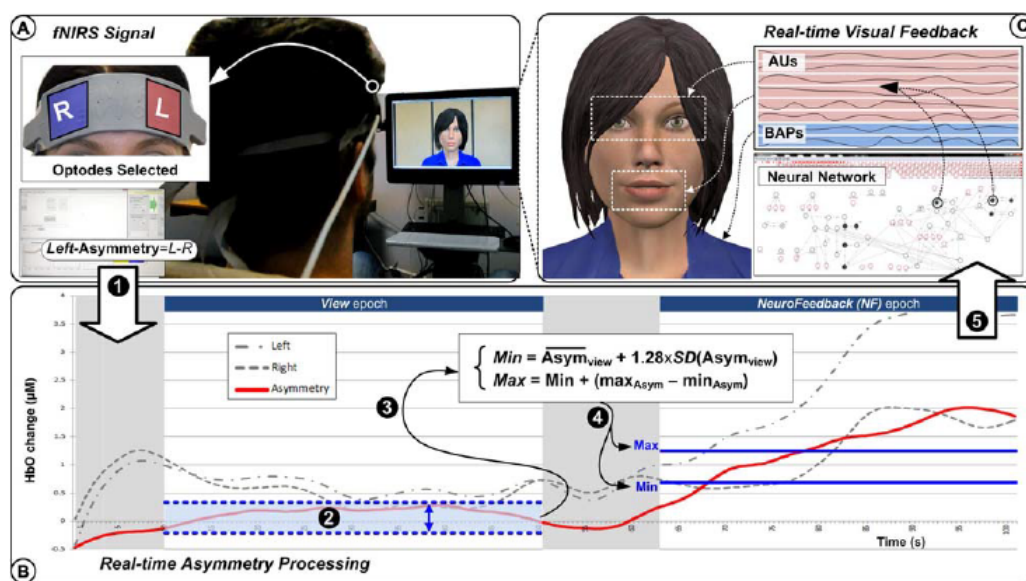


Figure 6.2 : Architecture de notre agent. (A) Les signaux cérébraux sont collectés via Imagerie Spectroscopique Proche Infrarouge fonctionnelle (ISPIf). (B) Le score d'asymétrie collecté est ensuite traité avant d'être envoyé comme donnée d'entrée à notre agent (C). Ce score d'asymétrie correspond au niveau d'engagement du participant.

Pour cette expérience, nous avons demandé à un participant humain équipé d'une interface cerveau-machine d'avoir des pensées positives à propos de notre agent virtuel, affiché sur un grand écran en face de lui. Aucune consigne n'était donnée au participant quant au type de stratégie à utiliser pour déclencher ces pensées positives. Le comportement non-verbal exprimé par l'agent reflétait la valence et l'intensité des pensées du participant. Un participant ayant des pensées négatives ou très faiblement positives faisait face à un agent désengagé. Au contraire, un agent exprimant un fort niveau d'engagement faisait réponse à un participant ayant des

6.2. EXPÉRIENCE 1 : UN AGENT CAPABLE D'ADAPTER SON NIVEAU D'ENGAGEMENT

pensées très positives. L'architecture définie pour cette expérience est présentée en figure 6.4.

Durant cette expérience, l'objectif est d'évaluer l'influence du comportement non-verbal de l'agent sur le niveau d'engagement exprimé par l'agent. Pour cela, nous avons demandé aux participants de compléter huit blocs de trois étapes décrites par la figure 6.3. Durant l'étape appelée *Rest*, les participants étaient invités à regarder une croix affichée au centre de l'écran leur faisant face, afin de se relaxer et de se vider l'esprit. Durant l'étape appelée *View*, les participants devaient regarder l'agent virtuel tout comptant à l'envers à partir de 500. Cette méthode, couramment utilisée dans le domaine de l'imagerie spectroscopie infrarouge, permet de contrôler les processus mentaux indésirables pouvant émerger pendant que le participant regarde l'agent [Sarkheil et al., 2015]. Les participants étaient avertis que le comportement non-verbal de l'agent ne changerait pas en fonction de leurs pensées durant cette période. Enfin, durant l'étape appelée *NF*, les participants étaient invités à avoir des pensées positives afin d'améliorer l'engagement de l'agent. Les participants étaient ici avertis que le comportement non-verbal de l'agent dépendait de leurs pensées "exprimées". A la fin de l'expérience, nous avons demandé aux participants d'évaluer le niveau de rapport ressenti durant l'expérience via un questionnaire inspiré des travaux de Gratch [Gratch et al., 2007].

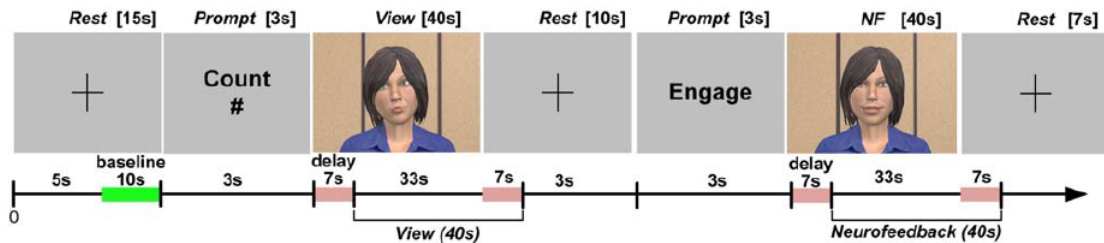


Figure 6.3 : Ce schéma représente les différentes étapes du protocole expérimental suivi dans cette expérience.

6.2.2 Génération du comportement non verbal

Afin de catégoriser les différents comportements non-verbaux exprimés par l'agent, nous avons défini quatre niveaux d'engagement. Ces niveaux vont de "désengagé" à "totalement engagé". Les comportements non-verbaux que nous avons définis et correspondant à ces quatre niveaux d'engagement sont représentés par la figure

6.4. Pour définir ces comportements, nous nous sommes appuyés sur la littérature issue du domaine des Sciences Humaines et Sociales. Ainsi, le regard est l'un des indicateurs les plus fiables du niveau d'engagement exprimé par un individu. En effet, l'évitement de regard peut être perçu comme un signe de désengagement [Doherty-Sneddon et al., 2002], alors qu'un regard mutuel est attribué à un fort niveau d'engagement [Burgoon et al., 1984]. Les expressions affectives et émotionnelles permettent également d'atteindre un niveau élevé d'engagement [Hall et al., 2005]. Exprimer fréquemment des émotions de valence positive (i.e. joie, gratitude, espoir...) dénote d'un niveau d'engagement élevé, tandis que l'expression d'émotions négatives indique généralement un désengagement.

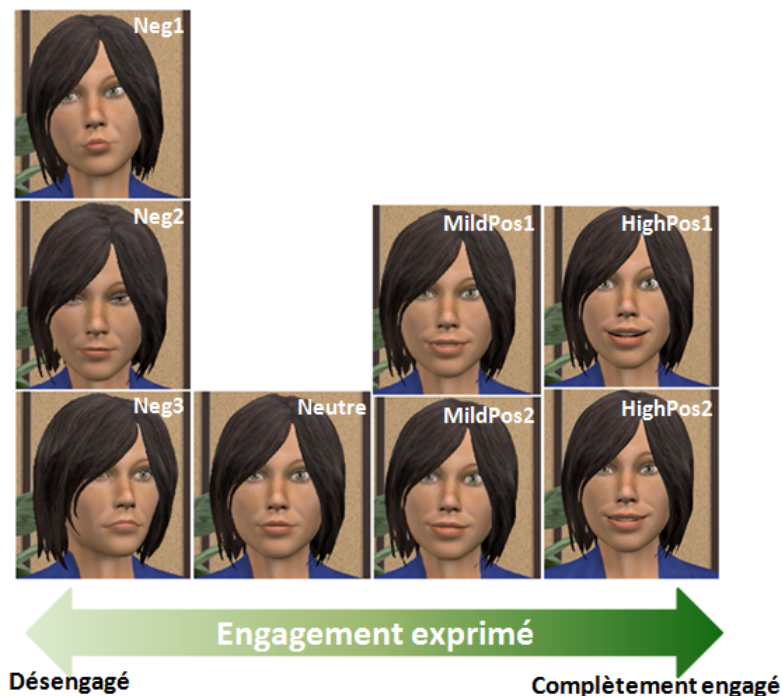


Figure 6.4 : Progression du comportement non-verbal de l'agent en fonction de son niveau d'engagement. Plusieurs expressions peuvent communiquer un même niveau d'engagement.

Pour cette expérience, nous nous sommes donc concentrés sur l'expression d'engagement à travers l'expression faciale de l'agent, son regard et l'orientation de sa tête et de son corps. Nous nous sommes appuyés sur les travaux de [Ochs et al., 2016] afin de créer des expressions faciales transmettant une émotion d'engagement appropriée. Les AUs que nous avons utilisées sont légèrement différentes de celles utilisées par [Schilbach et al., 2006]. Notre agent ne cligne pas des yeux (AU46) mais est capable

6.2. EXPÉRIENCE 1 : UN AGENT CAPABLE D'ADAPTER SON NIVEAU D'ENGAGEMENT

de hausser ses pommettes (AU6) en combinaison de sourires, ce qui est universellement reconnu comme une expression de joie selon Ekman [Ekman and Friesen, 1976]. De plus, nous avons également ajouté l'ouverture de la bouche via le décrochage de la mâchoire (AU26) afin de modéliser une expression de joie intense. Les unités d'action AU1, AU2, AU5, AU12 et AU25 sont les mêmes que dans les travaux de Schilbach. Nous avons finalement créé huit comportements non-verbaux selon les quatre différents niveaux d'engagement que nous avons définis. Différentes expressions peuvent ainsi communiquer un même niveau d'engagement. Les différentes combinaisons d'AUs et de BAPs que nous avons créées pour cette expérience sont décrites dans le paragraphe suivant et dans la figure 6.5.

		Niveau d'engagement			
		Faible	Neutre	Elevé	Très élevé
Famille D'AU	Sourcils				AU1 (Intérieur sourcils relevé) AU2 (Extérieur sourcils relevé)
	Yeux	AU43 (Paupières fermées) AU62 (Yeux vers la droite) AU64 (Yeux vers le bas) AU61 (Yeux vers la gauche)		AU5 (Paupières relevées)	AU5 (Paupières relevées)
	Pommettes				AU6 (Pommettes relevées)
	Bouche	AU23 (Lèvres tendues) AU24 (Lèvres pincées) AU18 (Froncement central des lèvres) AU15 (Coins des lèvres baissés) AU17 (Menton élevé)		AU12 (Coins des lèvres relevés) AU25 (Bouche ouverte) AU26 (mâchoire décrochée)	AU12 (Coins des lèvres relevés) AU25 (Bouche ouverte) AU26 (mâchoire décrochée)
BAP		vc1roll (roll vertèbre cervicale) vc1tilt (tilt vertèbre cervicale) vc1torsion (torsion vertèbre cervicale) vl1torsion (torsion vertèbre lombaire)		vc1roll (roll vertèbre cervicale)	vc1tilt (tilt vertèbre cervicale)

Figure 6.5 : Liste des unités d'actions utilisées dans notre expérience en fonction du niveau d'engagement exprimé.

- Faible niveau d'engagement** : Trois comportements dépeignent un agent désengagé : (1, Neg1) L'agent évite le regard de l'utilisateur, penche légèrement sa tête sur sa droite, et fait la moue. (2, Neg2) L'agent penche la tête vers le bas et regarde également vers le bas. (3, Neg3) L'agent oriente son corps et sa tête vers la gauche pour éviter le regard de l'utilisateur, et abaisse les coins inférieurs de ses lèvres. Les expressions faciales générées utilisent les unités d'action AU15, AU17, AU18, AU23 et AU24 pour la bouche, AU43, AU61, AU62 et AU64 pour les yeux. Les BAPs utilisés pour l'orientation du corps et de la tête sont vc1tilt et vc1torsion pour les vertèbres cervicales et vl1torsion pour les vertèbres lombaires.
- Niveau d'engagement moyen** : (4, Neutre) L'agent montre une expression neutre avec son corps, sa tête et son regard orientés vers l'utilisateur.

- **Niveau d'engagement élevé** : Deux comportements décrivent un agent exprimant un niveau d'engagement élevé. (5, MildPos1) L'agent regarde l'utilisateur et effectue un léger sourire. (6, MildPos2) L'agent penche légèrement sa tête sur le côté, regarde l'utilisateur, et effectue un léger sourire. Les expressions faciales générées utilisent les unités d'action AU12, AU25 et AU26 pour la bouche, AU5 pour les yeux. Le BAP utilisé pour l'orientation du corps et de la tête est vc1roll pour la vertèbre cervicale.
- **Niveau d'engagement très élevé** : Deux comportements correspondent à un agent exprimant un niveau d'engagement très élevé. (7, HighPos1) Le sourire de l'agent s'agrandit, il ouvre légèrement la bouche et lève ses sourcils. (8, HighPos2) Le sourire de l'agent s'agrandit, ses pommettes se soulèvent et sa tête est légèrement penchée vers l'arrière. Les expressions faciales générées utilisent les unités d'action AU1 et AU2 pour les sourcils, AU6 pour les pommettes, AU12, AU25 et AU26 pour la bouche, AU5 pour les yeux. Le BAPs utilisé pour l'orientation du corps et de la tête est vc1tilt pour la vertèbre cervicale.

Nous avons défini plusieurs comportements non-verbaux pour chaque niveau d'engagement afin d'éviter que l'agent reste figé dans le cas où son niveau d'engagement ne change pas. Ainsi, nous avons fait en sorte que l'agent adopte un nouveau comportement exprimant le même niveau d'engagement toutes les deux secondes (voir figure 6.6).



Figure 6.6 : Différents comportements de l'agent déclenchés si l'agent perçoit un faible engagement de l'utilisateur.

L'objectif de ces travaux étant de donner un retour visuel en temps réel à l'utilisateur en fonction de ses pensées, nous avons utilisé notre outil graphique décrit

6.2. EXPÉRIENCE 1 : UN AGENT CAPABLE D'ADAPTER SON NIVEAU D'ENGAGEMENT

en section 6.1 pour lier le niveau d'engagement perçu chez l'utilisateur (entrée) aux comportements que nous venons de décrire (sortie).

Chacun des quatre niveaux d'engagement (faible, moyen, élevé, très élevé) est représenté par un nœud d'entrée dont la valeur varie entre 0 (pas d'activation) et 1 (activation maximale). Chacun de ces nœuds est lié aux AUs et aux BAPs correspondants, comme expliqué précédemment. Par exemple, le nœud représentant une valeur d'engagement faible est lié aux nœuds en sortie représentant les AU15, AU17, AU18, AU23 et AU24 pour la bouche, AU43, AU61, AU62 et AU64 pour les yeux, vc1tilt et vc1torsion pour les vertèbres cervicales et vl1torsion pour les vertèbres lombaires. En fonction de la valeur d'engagement perçue chez l'utilisateur, le nœud en entrée correspondant est activé, ce qui entraîne donc l'activation des AUs et des BAPs correspondants en sortie. Le figure 6.7 représente un exemple de graphe réalisé pour notre expérience.

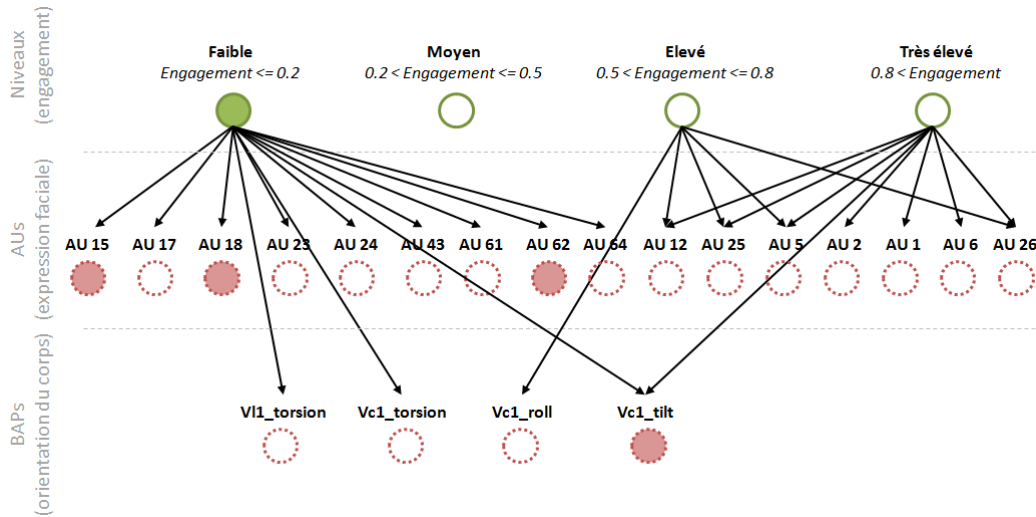


Figure 6.7 : Graphe liant le niveau d'engagement de l'utilisateur au comportement non-verbal adopté par l'agent en retour. Le niveau d'engagement moyen étant représenté par l'expression neutre, il n'est lié à aucun paramètre d'animation en sortie. Ici, l'utilisateur est perçu avec un engagement faible et le comportement activé est Neg1 (AU15, AU18, AU62 et vc1_tilt).

Afin d'éviter des animations trop dérangeantes lorsque l'agent change de comportement, nous avons utilisé une fonction d'interpolation en nous appuyant sur les travaux présentés en [Huang and Pelachaud, 2012]. Cette fonction d'interpolation permet d'obtenir des transitions plus fluides au cours desquelles un comportement

s'estompe pendant qu'un autre apparaît lentement.

6.2.3 Validation des comportements

Afin de valider les comportements non-verbaux que nous venons de décrire, nous avons mené une étude perceptive en ligne. La première hypothèse que nous voulons vérifier est l'hypothèse (**H1-Engagement**) : le niveau d'engagement exprimé par les comportements non-verbaux de l'agent est bien reconnu. Pour cela, nous avons généré des vidéos. Chacune de ces vidéos capture la transition entre le comportement neutre de l'agent et l'un des huit comportements non-verbaux que nous avons créés (voir figure 6.4). Ces vidéos ont toutes été générées de la même manière. Le même agent a été utilisé ainsi que le même angle de caméra. Chaque animation dure exactement 2,3 secondes : l'agent maintient une expression neutre pendant 0,15 secondes, puis exprime un des huit comportements pendant 2 secondes, et maintient à nouveau une expression neutre pendant 0,15 secondes. Les vidéos ne contiennent aucun son. Après un bref questionnaire démographique, chaque participant devait évaluer les huit expressions de l'agent via les vidéos. L'ordre dans lequel les vidéos étaient présentées a été déterminé par un carré latin. Après chacune des vidéos, nous demandions aux participants d'évaluer le niveau d'engagement exprimé par l'agent sur une échelle de Likert à sept points. Nous avons recruté 16 participants par liste de diffusion. La majorité des sujets étaient français (75%), masculins (56%) et avaient entre 25 et 35 ans (82%). La figure 6.8 représente les résultats obtenus au cours de cette évaluation.

Afin de vérifier notre hypothèse **H1-Engagement**, nous avons effectué une analyse de la variance (ANOVA) avec l'engagement perçu comme variable dépendante. Le facteur intra-sujets était les comportements non-verbaux (avec huit niveaux). Nous avons trouvé un effet significatif du comportement non-verbal sur le niveau d'engagement perçu ($F_{7,105} = 53.91, p < 0.001$, taille d'effet large (0.78)). Pour vérifier que les quatre catégories de comportements non-verbaux (engagement faible, moyen, élevé et très élevé) étaient perçues comme significativement différentes, nous avons effectué trois comparaisons post-hoc en utilisant une correction de Bonferroni ($p < 0.017$ après ajustement pour trois comparaisons). La normalité des données n'étant pas vérifiée, nous avons effectué les comparaisons avec des tests de rangs signés de Wilcoxon.

6.2. EXPÉRIENCE 1 : UN AGENT CAPABLE D'ADAPTER SON NIVEAU D'ENGAGEMENT

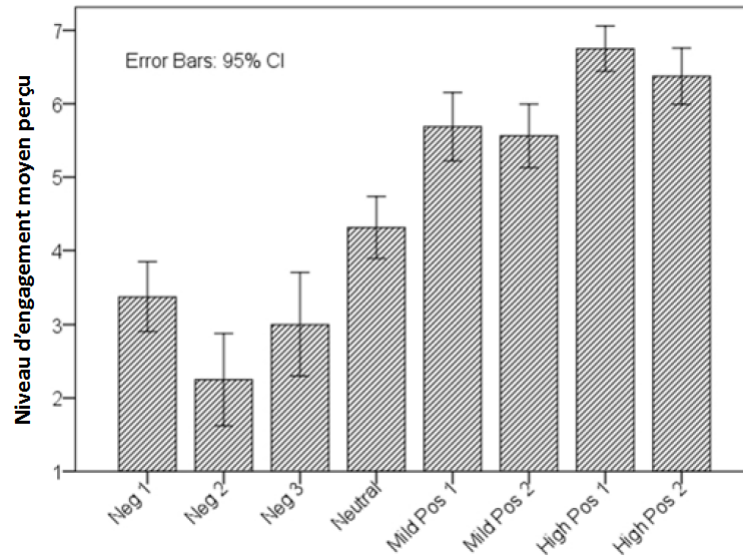


Figure 6.8 : Graphe présentant l'engagement moyen des huit comportements non-verbaux tel que perçu par les participants.

Parmi les expressions traduisant un faible niveau d'engagement (*Neg1*, *Neg2* et *Neg3*), l'expression *Neg1* a reçu le score d'engagement le plus élevé de la part des participants. Nous comparons donc cette expression avec l'expression neutre afin de vérifier si elles ont été perçues comme significativement différentes. La première comparaison semble signifier que les participants ont évalué le niveau d'engagement d'un agent neutre (*Neutral*; $M = 4.31$, écart type = 0.79) comme significativement plus élevé que l'agent exprimant l'engagement perçu comme le moins faible parmi les trois expressions liées à un engagement faible (*Neg1*; $M = 3.38$, $SD = 0.89$) : $T = 12$, $z = -2.66$, p (unilatéral) = 0.004, $r = 0.66$ (large). Nous pouvons donc en déduire que les trois expressions *Neg1*, *Neg2* et *Neg3* ont été perçues comme exprimant un niveau d'engagement significativement plus faible que l'expression neutre.

Parmi les expressions traduisant un niveau d'engagement élevé (*MildPos1* et *MildPos2*), l'expression *MildPos2* a reçu le score d'engagement le moins élevé de la part des participants. Nous comparons donc cette expression avec l'expression neutre afin de vérifier si elles ont été perçues comme significativement différentes. La deuxième comparaison semble signifier que les participants ont évalué le niveau d'engagement d'un agent exprimant un engagement élevé perçu comme le plus faible parmi les deux expressions liées à un engagement élevé (*MildPos2*; $M = 5.56$, écart type = 0.81) comme significativement plus élevé que l'agent neutre (*Neutral*; $M =$

4.31, écart type = 0.79) : $T = 11$, $z = -3.04$, p (unilatéral) = 0.001, $r = 0.76$ (large). Nous pouvons donc en déduire que les deux expressions *MildPos1* et *MildPos2* ont été perçues comme exprimant un niveau d'engagement significativement plus élevé que l'expression neutre.

Enfin, parmi les expressions traduisant un niveau d'engagement très élevé (*HighPos1* et *HighPos2*), l'expression *HighPos2* a reçu le score d'engagement le moins élevé de la part des participants. Nous comparons donc cette expression avec l'expression *MildPos1* afin de vérifier si elles ont été perçues comme significativement différentes. La troisième comparaison semble signifier que les participants ont évalué le niveau d'engagement d'un agent exprimant un engagement très élevé perçu comme le plus faible parmi les deux expressions liées à un engagement très élevé (*HighPos2*; $M = 6.38$, écart type = 0.72) comme significativement plus élevé que l'agent exprimant un engagement élevé perçu comme le plus élevé parmi les deux expressions liées à un engagement élevé (*MildPos1*; $M = 5.69$, écart type = 0.87) : $T = 3$, $z = -2.37$, p (unilatéral) = 0.009, $r = 0.59$ (large). Nous pouvons donc en déduire que les deux expressions *HighPos1* et *HighPos2* ont été perçues comme exprimant un niveau d'engagement significativement plus élevé que les expressions *MildPos1* et *MildPos2*.

A la vue de ces résultats, les participants ont bien été capables de différencier les différents comportements non-verbaux que nous avons créés en terme d'engagement exprimé. Les participants ont en outre différencié de manière significative les quatre catégories de comportements non-verbaux telles que nous les avons conçues. L'hypothèse **H1-Engagement** est donc vérifiée.

6.2.4 Résultats

Au total, 18 sujets ont participé à l'expérience (44% étaient féminins, l'âge moyen était de 35 ans). Conformément au protocole, chaque participant a complété huit blocs de trois étapes : *Rest*, *View* et *NF*. Après avoir éliminé les données aberrantes, nous obtenons 136 blocs valides à analyser. Nous départageons ensuite des blocs réussis des blocs échoués. Les blocs réussis étaient définis en comparant le niveau moyen d'asymétrie alpha (et donc d'engagement) détecté chez le participant durant l'étape *View* avec le niveau moyen d'asymétrie obtenu durant l'étape *NF*, en suivant la méthode décrite par Aranyi *et al.* [Aranyi et al., 2015]. La figure

6.3. EXPÉRIENCE 2 : UN AGENT CAPABLE D'ADAPTER SON COMPORTEMENT NON-VERBAL DE RIRE

6.9 représente un exemple de bloc réussi. Parmi les 136 blocs collectés, 70 étaient réussis (51%). Plus de la moitié des participants ont donc été influencés par l'agent lorsqu'ils devaient avoir des pensées positives. Finalement, nous avons exploré la relation entre le nombre de blocs réussis par participants et le niveau de rapport mesuré par le questionnaire. Nous avons pour cela calculé le coefficient de corrélation non-paramétrique de Spearman. Les résultats obtenus montrent qu'il existe une forte relation significative entre le nombre de blocs réussis et le niveau de rapport perçu ($r_s = 0,62; p < 0,01$). Cela montre que les participants ayant réussi à avoir des pensées positives, et donc ayant réussi à voir l'agent aligner son comportement en fonction de ses pensées, ont perçu l'agent comme plus engageant et plus amical. Dans cette expérience, nous avons donc vu l'influence que pouvait avoir l'alignement du comportement-non verbal d'un agent (i.e. ses expressions faciales, son regard et l'orientation de sa tête) sur son attitude sociale.

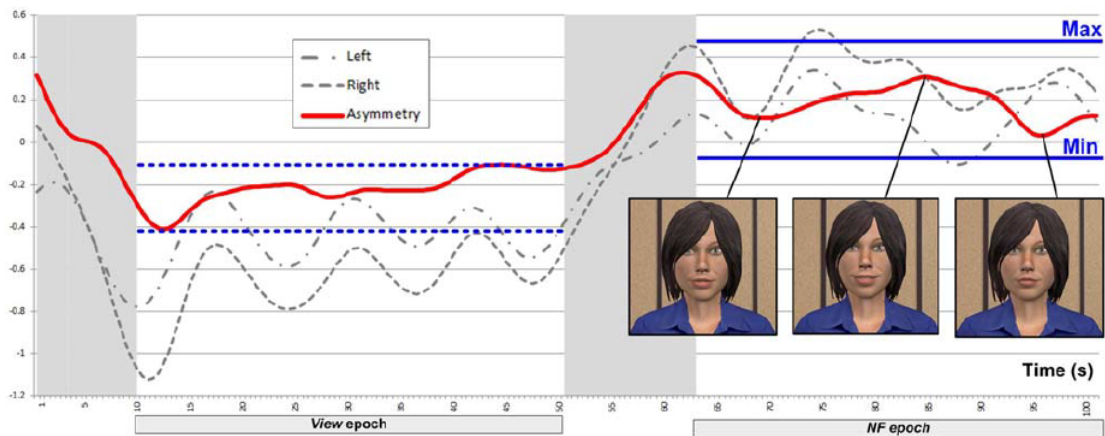


Figure 6.9 : Exemple de bloc réussi au cours lequel la valeur d'engagement moyen détecté durant l'étape *NF* est supérieure à la valeur d'engagement moyen obtenu durant l'étape *View*

6.3 EXPÉRIENCE 2 : UN AGENT CAPABLE D'ADAPTER SON COMPORTEMENT NON-VERBAL DE RIRE

Le rire est un signal social capable de faciliter les interactions entre les personnes. Il peut par exemple communiquer de l'intérêt [Grammer, 1990] mais également exprimer une affiliation positive [Owren and Bachorowski, 2003]. Dans le domaine des agents virtuels, des travaux récents se sont penchés sur l'influence du rire d'un agent

sur l'expérience ressentie par un utilisateur. Les résultats obtenus par Ding [Ding et al., 2014b], semblent suggérer qu'un utilisateur trouvera une blague racontée par un agent virtuel plus amusante si ce dernier rit après l'avoir racontée. L'étude menée par Hofman *et al.* [Hofmann et al., 2015] vient confirmer ces résultats : un utilisateur trouvera une vidéo plus amusante s'il la regarde en compagnie d'un agent virtuel capable de réagir en riant à cette vidéo. Nous cherchons ici à combiner les effets de l'imitation du comportement non-verbal [Broekema, 2011] avec ceux du rire en mesurant l'influence d'un agent capable d'imiter le comportement de rire de son utilisateur sur le niveau comique d'une musique, et sur l'humeur du participant.

Dans cette expérience⁴, nous avons donc créé un agent capable d'imiter le comportement de rire d'un utilisateur humain. L'objectif est d'étudier l'impact de l'imitation corporelle sur le ressenti de l'utilisateur. Nous avons en outre cherché à évaluer le niveau d'affiliation perçu chez cet agent. Comme pour l'expérience précédente, nous décrivons tout d'abord le principe de cette expérience et l'architecture que nous avons mise en place (section 6.3.1). Puis nous décrivons la manière dont nous avons utilisé notre outil graphique afin de réaliser un agent imitant le comportement de rire de l'utilisateur (section 6.3.2). Enfin, nous décrivons le protocole expérimental (section 6.3.3) avant d'exposer les résultats obtenus durant cette expérience (section 6.3.4).

6.3.1 Objectif et Architecture générale

Pour cette expérience, nous avons demandé à un participant humain d'écouter un stimulus audio en présence d'un agent riant de manière scripté Vs un agent imitant le comportement de rire de l'utilisateur. Plus précisément, nous avons demandé à chaque participant d'écouter une musique humoristique, tout d'abord seul, puis avec un agent virtuel. Cette musique d'une durée de deux minutes a été synthétisée en suivant les caractéristiques définies par Huron [Huron, 2004] : présence

4. Le travail présenté dans cette section a été réalisé en collaboration avec Mauricio Mancini, Giovanna Varni, Gualtiero Volpe et Antonio Camurri de l'université de Gênes. Ma contribution a été de mettre au point une architecture d'agent capable d'adapter son comportement non-verbal de rire en fonction de valeurs d'orientation du corps et d'intensité de rire qui m'étaient fournies par l'équipe de Gênes. Le modèle de génération de rire a été mis au point par Yu Ding [Ding et al., 2014a] [Ding et al., 2014b], et les expériences ont été menées en collaboration avec Beatrice Biancardi.

6.3. EXPÉRIENCE 2 : UN AGENT CAPABLE D'ADAPTER SON COMPORTEMENT NON-VERBAL DE RIRE

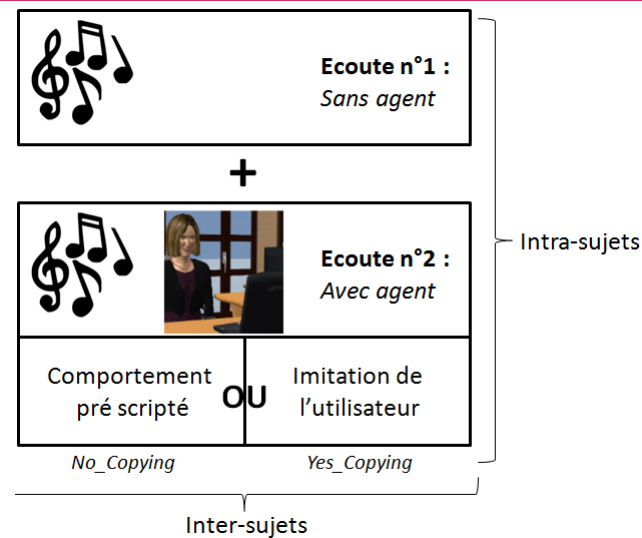


Figure 6.10 : Conditions expérimentales définies pour l'expérience.

6

de sons incongrus, répétition de courtes séquences audio, distorsion du son, etc... Le participant était assis derrière un bureau, avec un ordinateur portable à disposition afin de répondre aux questionnaires. L'agent virtuel était projeté sur un écran grandeur nature situé à la gauche du participant (voir figure 6.11). Lorsque l'agent virtuel était présent, il riait plusieurs fois durant la musique, encourageant le participant à en faire de même. Nous avons testé deux différents types d'agents pour deux conditions expérimentales : (1) un agent riant toujours à des moments prédéfinis liés au stimulus audio (*No_Copying*) et (2) un agent dont le comportement non-verbal (orientation de son corps et amplitude de ses gestes) est modifié en temps-réel en fonction du comportement non-verbal de l'utilisateur (*Yes_Copying*). L'agent écoutait donc une première fois la musique seul puis, dans un second temps, il écoutait la même musique avec un agent. Cet agent pouvait adapter ou non son comportement non verbal en fonction de l'utilisateur. Les différentes conditions expérimentales sont décrites dans la figure 6.10.

L'architecture utilisée durant cette expérience (décrite par la figure 6.12) s'appuie principalement sur deux plateformes communiquant via le protocole de transport ActiveMQ. La première plateforme, EyesWeb, a deux utilités dans cette expérience : la première est de jouer une musique et de déclencher des rires chez l'agent à des moments prédéterminés. Pour cela, nous avons défini un script pour chaque musique. Ces scripts contiennent (1) des marqueurs de temps permettant de savoir quand déclencher le rire de l'agent, (2) la durée de ce même rire et (3) son intensité. Ainsi,

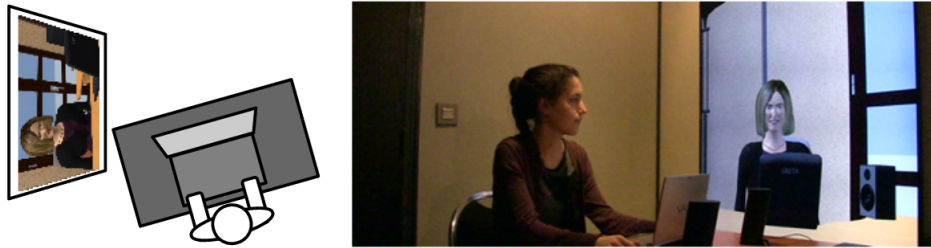


Figure 6.11 : Illustration du déroulement de l'expérience.

chaque fois qu'un marqueur de temps est atteint, un message envoyant la durée et l'intensité du rire est envoyé à l'agent. Le second objectif d'EyesWeb est de détecter le comportement non-verbal de l'utilisateur (l'orientation de son corps et l'intensité de son rire) et d'envoyer continuellement ces informations à l'agent afin qu'il soit capable d'imiter l'utilisateur. La seconde plateforme, VIB, est la plateforme d'agent conversationnel que nous avons déjà décrit dans cette thèse [Pecune et al., 2014]. Son premier rôle est de générer un comportement de rire prédéfini. Son deuxième rôle est de modifier ce comportement de rire en fonction de celui du participant.

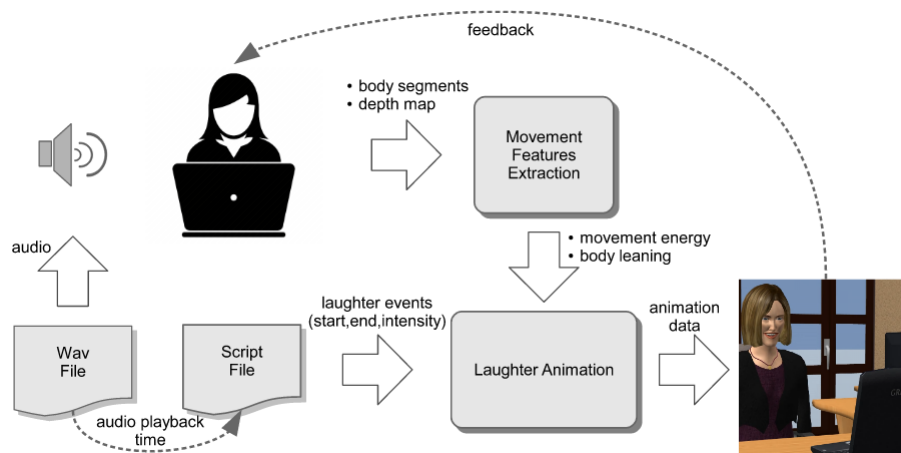


Figure 6.12 : Architecture de notre agent capable d'imiter le comportement de rire de l'utilisateur.

Au cours de cette expérience, nous cherchons donc principalement à évaluer l'influence du comportement non-verbal de l'agent sur l'affiliation perçue par le participant.

6.3.2 Génération du comportement non verbal

Nous utilisons ici notre outil graphique afin de combiner deux différents types d'entrée pour obtenir des paramètres d'animation en sortie. (1) Des données "*utilisateur*" récupérées et transmises par EyesWeb, comme expliqué dans la section précédente (section 6.3.1). Ces données sont représentées par des cercles pleins verts dans la figure 6.13. (2) Des paramètres d'animation "*machine*" générés par le modèle de rire utilisé dans cette expérience [Ding et al., 2014a][Ding et al., 2014b]. Ces paramètres sont représentés par des cercles hachurés noirs dans la figure 6.13. Les paramètres d'animation générés en sortie sont quant à eux représentés par des cercles rouges pointillés.

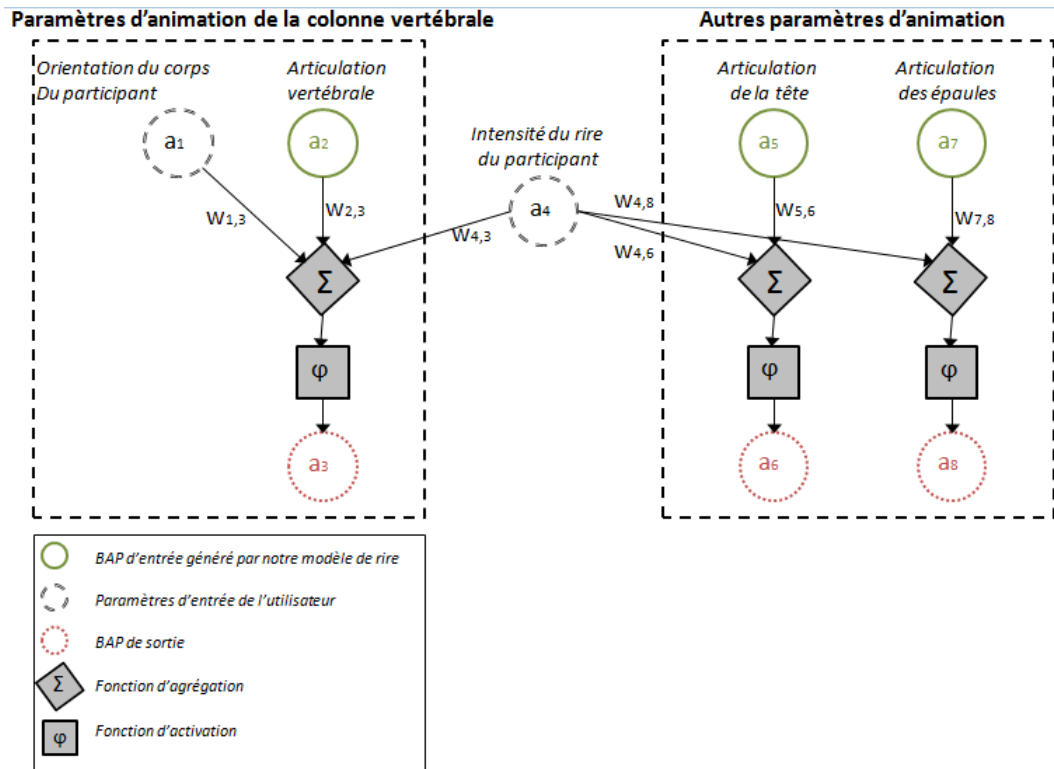


Figure 6.13 : Architecture de notre agent capable d'imiter le comportement de rire de l'utilisateur.

Les deux données "*utilisateur*" que nous prenons en entrée de notre outil graphique sont : (1) l'orientation du corps de l'utilisateur et (2) l'intensité de son rire. L'orientation du corps de l'agent est directement liée à l'orientation du corps du participant : si l'utilisateur se penche en avant lorsqu'il rit, l'agent se penchera également en avant.

L'énergie des mouvements du participant a quant à elle une influence globale sur les comportement de l'agent : une valeur d'intensité élevée augmentera l'amplitude des mouvements de l'agent, tandis qu'une faible intensité réduira cette amplitude. Chacune de ces deux valeurs est représentée par un nœud dans notre outil (cercle noir hachuré dans la figure 6.13). La valeur d'activation du nœud représentant l'orientation du corps du participant varie de -1 (le participant est penché en arrière) à 1 (le participant est penché vers l'avant). La valeur d'activation du nœud représentant l'intensité du rire du participant varie de 0 (l'utilisateur ne rit pas du tout) à 1 (l'utilisateur rit énormément).

Les paramètres d'animation "*machine*" en entrée générés par le modèle de rire [Ding et al., 2014a] [Ding et al., 2014b] sont des AUs (mouvement des lèvres, pommettes, paupières et sourcils) et des BAPs (épaules, vertèbres cervicales et thoraciques). La valeur d'activation des nœuds représentant des AUs varie de 0 (pas d'activation) à 1 (activation maximale). La valeur d'activation des nœuds représentant des BAPs varie de $-\pi$ à π . Le poids des arcs liant les BAPs générés par notre modèle de rire aux BAPs exécutés en sortie dépend de la condition expérimentale dans laquelle le participant se trouve (voir 6.10) et des paramètres du participant.

Dans la condition expérimentale *No_Copying* (i.e. quand l'agent n'adapte pas son comportement), les poids liant les BAPs générés par notre modèle de rire aux BAPs en sortie ($w_{2,3}$, $w_{5,6}$ et $w_{7,8}$ sur la figure 6.13) sont fixés à 1 : les animations générées par notre modèle de rire sont directement transmises et exécutées par notre agent. Dans la condition expérimentale *Yes_Copying*, la valeur d'activation des BAPs en sortie correspond à la valeur des BAPs générés par notre modèle de rire pondérée par les paramètres de l'utilisateur. L'orientation du participant influence les nœuds représentant les paramètres d'animation de la colonne vertébrale de l'agent : si l'utilisateur se penche en avant (respectivement en arrière), alors l'agent se penchera probablement en avant (respectivement en arrière) lui aussi. L'intensité du rire du participant influence non seulement les paramètres d'animation de la colonne vertébrale, mais également tous les autres BAPs générés par notre modèle de rire : si l'utilisateur rit beaucoup, alors les gestes de l'agent seront plus amples. Au contraire, si le participant ne rit pas du tout ou très peu, l'agent apparaîtra quasiment immobile. Afin de maintenir une animation de rire naturelle et crédible durant la condition expérimentale *yes_Copying*, les poids représentant l'influence des paramètres utilisateur sur l'animation finale (représentés par $w_{1,3}$, $w_{4,3}$, $w_{4,6}$ et $w_{4,8}$ dans la figure 6.13) ont été calibrés empiriquement.

6.3.3 Protocole expérimental

Hypothèses

Au cours de cette expérience, nous cherchons à vérifier les hypothèses suivantes :

- *Hypothèse 1*: La présence de l'agent virtuel améliore : **H1-Fun** la valeur comique attribuée par le participant au stimulus audio et **H1-Mood** l'humeur du participant
- *Hypothèse 2*: La présence d'un agent virtuel imitant le comportement non-verbal du participant améliore : **H2-Fun** la valeur comique attribuée par le participant au stimulus audio et **H2-Mood** l'humeur du participant.
- *Hypothèse 3*: La présence d'un agent virtuel riant de manière prédéfinie améliore : **H3-Fun** la valeur comique attribuée par le participant au stimulus audio et **H3-Mood** l'humeur du participant.
- *Hypothèse 4*: **H4-Presence** Un agent virtuel imitant le comportement non-verbal du participant est perçu comme plus présent socialement qu'un agent virtuel riant de manière prédéfinie.

Variables indépendantes

Nous avons défini les variables indépendantes suivantes (voir figure 6.10). La variable intra-sujets **Character** indique si l'agent est présent ou non lorsque le participant écoute la musique selon deux niveaux : *No_Character* (l'agent n'est pas présent) et *Yes_Character* (l'agent est présent). La variable inter-sujets **Copying** indique si l'agent adapte ou non son comportement non-verbal en fonction de celui du participant selon deux niveaux : *No_Copying* (l'agent rit de manière prédéfinie) et *Yes_Copying* (l'agent adapte son comportement en fonction du participant). Chaque participant écoutait le stimulus sans agent (*No_Character*) avant de l'écouter une seconde fois avec l'agent (*Yes_Character*).

Questionnaires et mesures

Après la première écoute, les participants devaient remplir un questionnaire portant sur (1) le niveau comique de la musique et (2) leur humeur. Après la seconde écoute, les participants devaient à nouveau évaluer le niveau comique de la musique et leur propre humeur, mais devaient également remplir un autre questionnaire portant sur (3) la présence sociale de l'agent.

Notre questionnaire nous permettant d'évaluer le niveau comique du stimulus au-

dio (*Q-Fun*) est inspiré du questionnaire de Ruch et Rath [Ruch and Rath, 1993] en traduisant les neuf adjectifs qualifiant une musique (e.g., witty, childish, aggressive, original, tasteless, subtle, embarrassing, funny, simple). Nous nous sommes également appuyés sur les travaux de Ruch et Rath [Ruch and Rath, 1993] pour créer notre questionnaire évaluant l'humeur du participant (*Q-Mood*) selon huit adjectifs (exhilarated, bored, activated, indignant, puzzled, angered, amused, and unstimulated). Nous nous sommes enfin appuyés sur les travaux de Bailenson [Bailenson et al., 2003] et de Lombard [Lombard et al., 2009] pour créer notre questionnaire évaluant la présence sociale de l'agent (*Q-Presence*). Nous avons collecté les données de 28 participants, dont 68% de genre féminin, et 43% de musiciens. Nous n'avons cependant pas trouvé de différences significatives entre les résultats des musiciens et des non-musiciens.

6.3.4 Résultats et discussion

6

Résultats

Afin de vérifier l'hypothèse **H1-Fun**, nous avons effectué un test de Student bilatéral pour comparer les évaluations des participants pour le questionnaire ayant trait au niveau comique du stimulus (*Q-Fun*). Nous avons trouvé une effet significatif de la présence de l'agent **Character** sur le niveau comique du stimulus perçu par les participants ($t(27) = -2,13$; $p = 0.02$). Un test de Student unilatéral nous permet de confirmer que les participants écoutant la musique en présence de l'agent (*Yes_Character*) ont trouvé la musique plus comique que les participants écoutant la musique sans agent (*No_Character*) ($t(27) = -3,09$; $p = 0.02$).

Afin de vérifier l'hypothèse **H1-Mood**, nous avons effectué un test de Student bilatéral pour comparer les évaluations des participants pour le questionnaire ayant trait à leur humeur (*Q-Mood*). Nous avons trouvé une effet significatif de la présence de l'agent **Character** sur l'humeur des participants ($t(27) = -3,09$; $p = 0.005$). Un test de Student unilatéral nous permet de confirmer que les participants écoutant la musique en présence de l'agent (*Yes_Character*) étaient de meilleure humeur que les participants écoutant la musique sans agent (*No_Character*) ($t(27) = -3,09$; $p = 0.002$).

Les résultats de l'hypothèse H1 suggérant une influence positive de la présence de l'agent sur le niveau comique de la musique et sur l'humeur du participant, les

6.3. EXPÉRIENCE 2 : UN AGENT CAPABLE D'ADAPTER SON COMPORTEMENT NON-VERBAL DE RIRE

tests vérifiant les *Hypothèse 2* et *Hypothèse 3* seront fait dans ce sens. Pour vérifier l'hypothèse **H2-Fun**, nous avons donc effectué un test de Student unilatéral. Les résultats semblent suggérer avec une tendance qu'un participant écoutant la musique en présence d'un agent adaptant son comportement non verbal (*Yes_Character* et *Yes_Copying*) ont trouvé la musique plus comique que les participants écoutant la musique sans agent (*No_Character*) ($t(13) = -1,77$; $p = 0.05$).

Pour vérifier l'hypothèse **H3-Fun**, nous avons également effectué un test de Student unilatéral. Les résultats semblent cependant suggérer qu'il n'existe pas de différence significative entre les participants écoutant la musique en présence d'un agent riant de manière prédéfinie (*Yes_Character* et *No_Copying*) et les participants écoutant la musique sans agent (*No_Character*) concernant le niveau comique du stimulus ($t(13) = -1,28$; $p = 0.12$).

Pour vérifier l'hypothèse **H2-Mood**, nous avons effectué un test de Student unilatéral. Les résultats semblent suggérer qu'un participant écoutant la musique en présence d'un agent adaptant son comportement non verbal (*Yes_Character* et *Yes_Copying*) étaient significativement de meilleur humeur que les participants écoutant la musique sans agent (*No_Character*) ($t(13) = -2,2$; $p = 0.02$).

Pour vérifier l'hypothèse **H2-Mood**, nous avons effectué un test de Student unilatéral. Les résultats semblent suggérer qu'un participant écoutant la musique en présence d'un agent riant de manière prédéfinie (*Yes_Character* et *No_Copying*) étaient significativement de meilleur humeur que les participants écoutant la musique sans agent (*No_Character*) ($t(13) = -2,12$; $p = 0.03$).

Enfin, pour vérifier l'hypothèse **H4-Presence**, nous avons effectué un test t de Welch pour comparer les évaluations des participants pour le questionnaire ayant trait à la présence de l'agent (*Q-Presence*). Les résultats semblent suggérer qu'il n'existe pas de différence significative entre les participants écoutant la musique en présence d'un agent riant de manière prédéfinie (*Yes_Character* et *No_Copying*) et les participants écoutant la musique en présence d'un agent adaptant son comportement non-verbal (*Yes_Character* et *Yes_Copying*) concernant la présence sociale de ce même agent ($t(25,82) = -0,25$; $p = 0.8$).

Discussion

Cette expérience a selon nous confirmé le rôle positif d'un agent durant une inter-

action, dans notre cas durant l'écoute d'une musique. Les résultats de l'évaluation montrent en effet que la présence de l'agent a significativement amélioré le niveau comique de la musique écoutée par les participants et l'humeur de ces derniers. En analysant les résultats nous nous sommes cependant rendu compte qu'il existait une différence pour la condition inter-sujets. En effet, si les participants écoutant le stimulus audio en présence d'un agent adaptant son comportement non-verbal au leur ont continué de trouver la musique plus amusante, ce n'est pas le cas pour les participants écoutant le stimulus audio en présence d'un agent riant de manière pré-définie. Cela semble signifier que si la présence physique d'un agent améliore le niveau comique de la musique, le comportement non-verbal de celui-ci joue un rôle très important. Le type de comportement non-verbal (adaptatif ou non) de l'agent n'avait cependant pas d'influence sur l'humeur du participant après l'écoute du stimulus, ni sur la présence sociale de l'agent.

Ce travail n'est cependant pas exempt de limites. Nous n'avons par exemple pas pris en considération le temps de réaction de notre agent lorsque ce dernier s'adaptait au participant : la modulation du comportement non-verbal de l'agent était effectuée de manière quasi instantanée. Or, de tels paramètres de synchronie sont cruciaux dans une interaction et ce temps d'adaptation est indispensable pour rendre le comportement de notre agent plus crédible. Considérer l'influence du temps mis par l'agent pour s'adapter au comportement du participant est donc une piste intéressante à suivre pour nos futurs travaux. De plus, notre agent adaptait uniquement l'orientation de son corps et l'amplitude de ses gestes. Il serait intéressant d'avoir un agent adaptant également les sons produits par son rire.

6.4 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons décrit un outil permettant à un agent d'adapter son comportement non-verbal en fonction de son utilisateur. Cet outil s'inspire du fonctionnement des réseaux de neurones formels afin de réaliser différents graphes permettant de transformer plusieurs types de données en entrée en paramètres d'animation pour notre agent virtuel. Ces paramètres d'animation concernent aussi bien l'expression faciale de l'agent (via les unités d'actions AUs) que ses mouvements corporels (via les paramètres d'animation corporelle BAPs). Nous avons testé et évalué notre outil dans deux différentes expériences.

Dans la première expérience, notre agent adaptait son comportement non-verbal en fonction des pensées d'un utilisateur humain relié à une interface cerveau machine. L'agent semblait ainsi de plus en plus engagé à mesure que l'utilisateur exprimait des pensées toujours plus positives. Nous nous sommes tout d'abord inspiré de la littérature afin de créer des comportements non-verbaux exprimant différents niveaux d'engagement. Nous avons donc travaillé sur l'expression faciale de l'agent, son regard et l'orientation de sa tête et de son corps. Nous avons évalué les comportements ainsi créés afin de vérifier s'ils transmettaient bel et bien le niveau d'engagement désiré.

Dans la seconde expérience, notre agent adaptait sa manière de rire à celle d'un utilisateur humain. En effet, notre agent était capable d'imiter l'orientation du corps et l'amplitude des gestes de l'utilisateur lorsque celui-ci riait. Nous avons évalué notre agent au cours d'une expérience durant laquelle un participant écoutait une musique humoristique. Notre objectif était d'évaluer l'influence d'un agent capable d'adapter son comportement non-verbal sur la perception du niveau comique de la musique, sur l'humeur du participant, et sur la présence sociale de l'agent. Les résultats semblent indiquer qu'un agent adaptant son comportement non-verbal permet d'améliorer la perception du niveau comique de la musique écoutée par le participant. L'adaptation du comportement non-verbal n'avait cependant aucun effet significatif sur l'humeur du participant après l'écoute, ni sur la présence sociale de l'agent lui-même.

Ces études semblent montrer une relation entre le comportement non-verbal d'un agent, son adaptation à celui de son interlocuteur et l'expérience de ce dernier dans l'interaction. Les résultats que nous avons obtenus au cours de nos deux expériences peuvent servir de prémices à l'étude de l'impact du comportement non-verbal sur la perception des attitudes sociales transmises par l'agent. En effet, des relations d'influences mutuelles ont été relevées dans le cas du statut [Bailenson and Yee, 2005] et de l'affiliation [Broekema, 2011].

Synthèse du chapitre

1. Nous avons créé un outil grâce auquel il est possible de réaliser différents graphes permettant de transformer plusieurs types de données en entrée en paramètres d'animation pour notre agent virtuel. Le fonctionnement de ces graphes est inspiré des réseaux de neurones formels.
2. Cet outil a été utilisé dans une expérience visant à créer un agent adaptant son niveau d'engagement exprimé en fonction des pensées positives d'un utilisateur.
3. Nous avons également utilisé notre outil lors d'une expérience au cours de laquelle notre agent pouvait adapter son comportement non-verbal de rire en fonction de celui de l'utilisateur.





Conclusion

Dans cette thèse, nous avons contribué au domaine des agents conversationnels animés en dotant un agent de la capacité de raisonner sur ses attitudes sociales. Nous avons ainsi créé un agent capable d'adapter son attitude sociale en fonction du contexte et des actions de son interlocuteur. Cet agent est également capable de prendre ses décisions en fonction de son attitude sociale envers son interlocuteur. Notre modèle a été appliqué dans un scénario mettant en scène un tuteur virtuel et un étudiant virtuel.

Dans un premier temps, nous résumons notre approche en rappelant les différentes contributions apportées par nos travaux (section 7.1). Puis nous dressons une liste des limites que nous avons identifiées (section 7.2). Enfin, nous évoquons les perspectives et les potentiels travaux futurs en relation avec les travaux effectués dans cette thèse (section 7.3).

7.1 RÉSUMÉ DES CONTRIBUTIONS

Les travaux modélisant les attitudes sociales d'un agent conversationnel animé peuvent être classés en deux catégories : les travaux s'intéressant à la dynamique des attitudes sociales, et ceux s'intéressant à l'influence de l'attitude sociale sur le comportement d'un agent. En effet, la plupart des travaux que nous avons étudié se focalisent sur un seul de ces aspects. En outre, parmi les travaux modélisant la dynamique des attitudes sociales d'un agent conversationnel animé, peu représentent explicitement l'état mental de l'agent. Aucun de ces travaux ne s'appuie par ailleurs sur la théorie de l'esprit afin de modéliser les croyances d'un agent sur les buts et croyances de son interlocuteur. Cette théorie de l'esprit est nécessaire pour modéliser la dynamique du statut d'un agent. Pour finir, la plupart de ces modèles ne permettent pas de quantifier l'évolution de l'attitude sociale d'un agent. Compte



tenu des limites que nous avons identifiées dans les travaux déjà existant, nous avons donc proposé un modèle d'attitudes sociales pour un ACA incluant une modélisation de leur dynamique et de leur influence sur la prise de décision de l'agent. Nos contributions sont les suivantes :

Première contribution : *Formalisation de la dynamique des attitudes sociales*

Nous nous sommes tout d'abord appuyés sur les travaux d'Argyle [Argyle, 1988] afin de représenter l'attitude sociale d'un agent conversationnel animé selon les deux dimensions de *statut* et d'*affiliation*. Le statut représente la supériorité ou l'infériorité sociale d'un individu par rapport à son interlocuteur (dominance Vs. soumission). L'affiliation représente le fait d'apprécier ou non son interlocuteur (amicalité Vs. hostilité). Puis nous nous sommes appuyés sur la définition de Scherer [Scherer, 2005] pour représenter les aspects spontanés et stratégiques inhérents à l'attitude sociale d'un agent. Les aspects stratégiques correspondent à l'*attitude sociale idéale*, c'est à dire l'attitude sociale que l'agent souhaiterait idéalement exprimer en fonction de son rôle. L'attitude sociale idéale d'un agent est statique et n'évolue pas durant l'interaction. Les aspects spontanés sont quant à eux caractérisés par l'*attitude sociale actuelle* de l'agent, représentant ce que l'agent ressent envers son interlocuteur. L'attitude sociale actuelle est dynamique, et évolue en fonction des émotions ressenties par l'agent. Finalement, l'*attitude sociale exprimée* par l'agent est la moyenne de ses attitudes sociales actuelle et idéale pondérée par son niveau de *rigidité interpersonnelle*. La rigidité interpersonnelle d'un agent représente sa capacité à adapter son attitude sociale exprimée durant une interaction.

Afin de modéliser la dynamique de l'attitude sociale actuelle d'un agent, nous avons opté pour une formalisation en logique formelle afin d'utiliser les buts et les croyances de l'agent pour représenter son attitude sociale. Le niveau d'affiliation d'un agent envers son interlocuteur dépend des actions de ce dernier. L'affiliation de l'agent augmentera si son interlocuteur l'aide à résoudre l'un de ses buts. Inversement, l'affiliation de l'agent diminuera si son interlocuteur l'empêche de réaliser l'un de ses buts. Plus l'importance du but est élevée, plus le niveau d'affiliation évolue (i.e. augmente ou diminue). Le niveau de statut d'un agent dépend quant à lui de ses croyances à propos des actions que son interlocuteur peut effectuer. Si un agent croit que son interlocuteur peut effectuer une action ayant une influence (positive ou négative) sur l'un de ses buts, alors le statut de l'agent diminue. Si un agent croit qu'il peut effectuer une action ayant une influence (positive ou négative) sur les buts

de son interlocuteur, alors son statut augmente. L'évolution du statut dépend du niveau de *certitude* accordé aux croyances et à l'*importance* du but. Plus le niveau de certitude est élevé, et/ou plus le but est important, plus l'évolution sera forte. Cette formalisation permet ainsi à notre agent de raisonner sur ses attitudes, et donc de choisir ses actions en fonction de son état mental.

Deuxième contribution : *Modélisation de la prise de décision sociale*

Afin de permettre à un agent de raisonner sur son attitude sociale envers son interlocuteur, nous avons introduit des *but*s sociaux. Ces buts diffèrent des buts classiques, ou orientés-tâches habituellement utilisés dans les modèles de prise de décision existant. En effet, les buts sociaux d'un agent représentent l'attitude sociale que cet agent souhaite voir exprimée chez son interlocuteur. Afin de déterminer les buts sociaux d'un agent, nous nous sommes appuyés sur la théorie de la *complémentarité interpersonnelle* [Sadler and Woody, 2010]. Selon cette théorie, une interaction entre deux individus sera de meilleure qualité et durera plus longtemps si tous deux expriment un niveau d'affiliation identique mais un niveau de statut opposé. Nous considérons ainsi que l'agent a pour buts sociaux que son interlocuteur exprime un même niveau d'affiliation que lui, mais un niveau de statut opposé (i.e. avoir une relation complémentaire avec son interlocuteur). L'importance accordée à ces buts sociaux dépend du niveau d'affiliation exprimé par l'agent. Plus l'affiliation est élevée, plus les buts sociaux sont importants. Lors d'une interaction, un agent va donc prendre des décisions en fonction de l'équilibre existant entre ses buts orientés tâches et ses buts sociaux. L'agent pourra par exemple privilégier sa relation avec son interlocuteur au détriment de la réussite de sa tâche. Au contraire, il pourra se focaliser sur son but situationnel au risque de dégrader sa relation avec son interlocuteur.

Troisième contribution : *Intégration du modèle dans une architecture complète et évaluation*

Afin d'évaluer notre modèle, nous l'avons intégré dans *PsychSim* [Marsella et al., 2004], une plateforme s'appuyant sur la théorie de l'esprit afin de simuler des interactions entre plusieurs agents. Cette plateforme contient en effet un moteur de prise de décision permettant aux agents de choisir leurs actions en fonction de leurs buts et de leurs croyances. Les croyances d'un agent portent aussi bien sur le monde qui l'entoure que sur ses interlocuteurs. Nous avons donc défini un scénario mettant

en scène un tuteur virtuel et un étudiant virtuel. Le but situationnel du tuteur est de faire terminer ses devoirs à son étudiant. Nous avons ainsi simulé plusieurs interactions en variant les paramètres de notre modèle (buts sociaux du tuteur et croyances de l'élève) afin d'analyser les séquences d'actions générées. Les séquences d'actions générées étaient cohérentes par rapport aux paramètres prédéfinis.

Afin de valider notre modèle, nous avons décidé d'évaluer les interactions générées via PsychSim. Via une étude perceptive réalisée en ligne, nous avons cherché à vérifier si les attitudes calculées par notre modèle étaient bien reconnues par des participants au travers de séquences d'actions. Pour cela, nous avons donc transformé les séquences d'actions générées par PsychSim en intentions communicatives interprétables par notre agent conversationnel animé, créant ainsi une architecture complète allant de la génération d'actions à l'expression d'intentions communicatives. Cela nous a permis de générer plusieurs vidéos dépeignant une interaction entre un tuteur et son étudiant, le tuteur étant représenté par notre agent conversationnel animé. Les résultats valident le modèle proposé : les attitudes sociales du recruteur virtuel sont bien reconnues à travers ses séquences d'actions.

Quatrième contribution : *Création d'un outil permettant d'adapter le comportement non-verbal d'un agent en fonction de celui de son interlocuteur.*

Outre notre modèle cognitif d'attitudes sociales, nous avons également étudié les attitudes sociales à travers le prisme de l'alignement du comportement non-verbal d'un agent. Plus précisément, nous nous sommes intéressés à l'influence des expressions faciales d'un agent et de la résonance motrice sur la perception de l'attitude sociale d'un agent. Nous avons en effet mené deux expériences en collaboration avec deux différentes équipes de recherche. Lors de la première expérience, nous avons créé un agent capable d'aligner son expression faciale en fonction du niveau d'engagement détecté chez l'utilisateur. Dans la seconde expérience, nous avons mis en place un agent capable d'imiter le comportement de rire d'un utilisateur humain. Pour réaliser cet alignement, nous avons mis au point un outil graphique permettant de coupler dynamiquement le comportement non-verbal de notre agent avec celui d'un utilisateur humain. Cet outil est capable de transformer n'importe quel type de signal en entrée en paramètres d'animation pour notre agent.

7.2 LIMITES

Nos contributions ne sont pas exemptes de limites. Nous présentons dans cette section celles que nous avons identifiées. Nous listons tout d'abord les limites liées à notre modèle (section 7.2.1), puis les limites liées à notre évaluation (section 7.2.2) avant de finir sur les limites liées à aux expériences que nous avons menées sur le comportement non-verbal d'un agent (section 7.2.3).

7.2.1 Limites de notre modèle

Intentionnalité des actions

L'une des limites de notre modèle concerne l'intentionnalité des actions effectuées par les agents. En effet, lors du calcul de la dynamique de l'affiliation actuelle d'un agent i , nous prenons en compte l'influence des actions d'un agent j sur les buts de i . Si j aide i à résoudre l'un de ses buts via une action a , alors le niveau d'affiliation actuelle de i envers j est augmenté. Inversement, si j empêche i de résoudre l'un de ses buts via une action a' , alors le niveau d'affiliation actuelle de i envers j est diminué.

Or, dans notre modèle, nous ne prenons pas en compte l'intentionnalité des actions de j (i.e. si j a effectué une action a de manière intentionnelle). En effet, si j aide i sans le vouloir ou sans le faire exprès, le niveau d'affiliation actuelle de i envers j devrait probablement rester inchangé. Inversement, si j empêche i de réaliser un de ses buts sans en avoir réellement eu l'intention, i ne devrait pas forcément ressentir plus d'hostilité à son égard.

Modèle dyadique

Une autre restriction de notre modèle vient du fait qu'il se limite à des interactions dyadiques. Du point de vue de la dynamique des attitudes sociales, nous nous sommes uniquement intéressés aux émotions du modèle OCC [Ortony et al., 1988] ayant directement une influence sur les buts de l'agent. Nous ne nous sommes par exemple pas intéressés aux émotions de reproche ou d'admiration ressenties par un agent i . Ces émotions sont déclenchées par le jugement que l'agent i fait d'une action effectuée par un agent j sur un autre agent f . Par exemple, que se passe-t-il si l'agent i voit un agent j aider un autre agent f ? Le problème peut être plus complexe encore si ce même agent i ressent de l'hostilité envers cet agent f .

Pour résoudre ce genre de situations, il peut être intéressant de se pencher sur les théories de la consistance [Heider, 1958] [Osgood and Tannenbaum, 1955] [Zajonc, 1960] décrites en section 2.2.2. Afin de pallier à cette limite, il serait intéressant de s'appuyer sur le système SGD [Prada and Paiva, 2009] qui modélise cette dynamique des attitudes sociales au sein d'un groupe collaborant autour d'une tâche.

Passer d'un modèle dyadique d'attitudes sociales à un modèle multi-agents a également une influence sur la prise de décision d'un agent. En effet, dans nos travaux, un agent i prend uniquement en compte son attitude sociale envers son interlocuteur j lorsqu'il prend sa décision. Considérer un groupe d'agents au lieu d'une dyade peut significativement modifier le choix d'actions de l'agent i . Que se passe-t-il si, par exemple, un agent j envers qui un agent i exprime de l'affiliation demande à i de ne pas aider un autre agent f qui pourtant domine i ? Les travaux de Sichman [Sichman et al., 1998] sur les relations de dépendances multiples présentent une formalisation sur laquelle nous pourrions nous appuyer pour résoudre ce problème.

7.2.2 Limites de notre évaluation

Contexte de l'interaction

L'évaluation que nous avons menée afin de valider notre modèle se limite à des interactions entre un tuteur et son élève. Or, nous avons vu en section 2.3.1 que la rigidité interpersonnelle d'un individu pouvait avoir une influence différente sur le déroulement d'une interaction selon le contexte. Si une personne faisant preuve de rigidité a généralement du mal à maintenir des relations sur le long-terme, il n'en est pas de même dans le cadre d'une interaction entre un enseignant et ses élèves. Il serait donc intéressant de définir un scénario différent de celui que nous avons utilisé pour notre évaluation. Cela nous permettrait de comparer les résultats obtenus et donc de valider la généralité de notre modèle.

De plus, nous avons utilisé un seul et même agent durant notre évaluation. Or, des travaux récents ont démontré l'influence du genre et de l'apparence d'un agent sur son attitude sociale telle que perçue par des participants [Krämer et al., 2016]. Il semble donc difficile de généraliser nos résultats sans prendre ce cet aspect là en considération.

Crédibilité de l'interaction

Afin d'évaluer notre modèle, nous avons généré des séquences d'actions au tour par tour. Chacun des agents attendait donc que son interlocuteur ait fini d'agir avant d'effectuer une action à son tour. Or, de récentes études montrent qu'interrompre le tour de parole de son interlocuteur peut avoir une influence sur son attitude sociale. Interrompre son interlocuteur peut par exemple être perçu comme un signe de dominance ou d'hostilité [Ravenet et al., 2015]. Selon le contenu sémantique de l'interruption, l'attitude sociale peut être perçue différemment [Cafaro et al., 2016]. Dans notre modèle, nous ne prenons pas en compte ces interruptions, ce qui constitue une limite et nuit à la crédibilité des interactions que nous évaluons.

L'un des autres aspects nuisant à cette crédibilité concerne la prosodie. Nous nous sommes en effet appuyés sur un générateur de voix de synthèse pour obtenir un rendu audio des intentions communicatives exprimées par notre tuteur virtuel. La voix de notre agent n'avait donc que peu d'expressivité, et pouvait paraître relativement monocorde. Or, nous avons vu en section 2.1.3 que l'amplitude de la voix et la fréquence de la parole jouait un rôle important dans la perception de la dominance. L'absence de prosodie a donc pu nuire à la perception de dominance chez notre tuteur virtuel.

Aspect court-terme de l'interaction

L'une des difficultés relative au domaine des agents conversationnels animés est liée à la validation de l'efficacité d'un modèle sur le long-terme. Afin de savoir si un agent est capable de maintenir une relation sur le long-terme, il est nécessaire de l'évaluer plusieurs fois sur des périodes de temps différentes. Dans ces travaux de thèse, nous n'avons validé notre modèle qu'au cours d'une courte interaction. Si les attitudes sociales ont bien été reconnues, il nous est cependant impossible de vérifier cette validité sur le long-terme.

Rôle de l'humain

Dans notre évaluation, l'humain ne jouait qu'un rôle d'observateur. En effet, ce dernier évaluait une interaction entre deux agents virtuels sans y prendre part. Or, il se pourrait que la perception de l'attitude sociale soit différente dans le cas où l'humain est directement acteur et interagit avec un agent virtuel. Il serait donc intéressant de mettre en place une évaluation permettant d'intégrer l'humain dans l'interaction afin de vérifier si les résultats sont identiques à ceux que nous avons trouvés.

7.2.3 Alignement du comportement non-verbal

Bien qu'ils ne représentent pas le cœur de cette thèse, nous avons également identifié quelques limites dans nos travaux sur l'alignement du comportement non-verbal d'un agent virtuel. Ainsi, lors de l'expérience visant à créer un agent capable d'imiter le comportement de rire d'un utilisateur humain, nous n'avons pas pris en compte le regard de l'agent. En effet, le modèle de rire que nous avons utilisé pour notre expérience ne permet pas de générer le regard de l'agent. Or, regarder son interlocuteur durant une interaction peut permettre d'améliorer le sentiment d'engagement de ce dernier. De plus, dans cette expérience, l'agent imite presque instantanément le comportement de l'utilisateur. Nous n'avons pas considéré le temps de réaction de l'agent dans notre évaluation. Finalement, nous n'avons pas non plus modulé le signal audio du rire de l'agent.

7

7.3 PERSPECTIVES ET TRAVAUX FUTURS

Nous envisageons plusieurs perspectives d'amélioration afin de consolider notre modèle et d'explorer des domaines connexes à celui sur lequel nous travaillons. Ces travaux pourraient être réalisés sur le court-terme (section 7.3.1), ou sur le long-terme (section 7.3.2).

7.3.1 Perspectives à court terme

Comparaison des modalités

Dans notre thèse, nous avons considéré l'attitude sociale d'un agent à travers son choix d'actions et sa prise de décision. Lors de notre évaluation, nous avons donc décidé d'utiliser un agent ayant un comportement verbal et non-verbal neutre afin de maintenir l'attention des participants sur les choix d'actions et non sur l'expression de ces actions. Il pourrait cependant être intéressant de comparer l'influence de chacune de ces modalités sur la perception de l'attitude sociale du tuteur. A la manière de [Callejas et al., 2014a], nous pourrions donc tester notre agent selon différentes conditions. Nous pourrions par exemple imaginer une description textuelle des séquences d'actions, afin d'éviter le biais du comportement verbal et non-verbal, et comparer les résultats obtenus avec ceux présentés dans ce document. Une autre

piste intéressante serait de générer des interactions au cours desquelles les choix d'actions ne sont pas congruents avec l'attitude sociale exprimée par le comportement non-verbal de l'agent. Par exemple, que se passe-t-il si un agent agit de manière hostile tout en exprimant une attitude sociale amicale à travers ses gestes et son expression faciale ? Il pourrait ainsi être intéressant de voir comment des participants évaluent un tuteur punissant son élève avec un grand sourire.

Données utilisateur

Au lieu de demander à des participants d'évaluer les interactions entre un tuteur virtuel et un élève virtuel, il pourrait être intéressant de demander à des participants de jouer eux-mêmes le rôle du tuteur. Ces derniers auraient pour consigne de motiver l'élève à faire ses devoirs tout en essayant de maintenir une bonne relation avec celui-ci en un nombre d'actions limité. Chaque tour, les participants devraient choisir parmi plusieurs actions et le comportement de l'élève serait généré par notre modèle. Il serait alors intéressant de comparer les séquences d'actions obtenues avec celles générées par notre modèle issu de la littérature en Sciences Humaines et Sociales.

7.3.2 Perspectives à long-terme

Dimensions utilisées pour représenter l'attitude

Les résultats que nous avons analysés lors de notre évaluation semblent suggérer que les dimensions de statut et d'affiliation telles que nous les avons définies dans notre modèle ne sont pas indépendantes. En effet, il semble que le niveau de statut perçu chez un agent a une influence sur son niveau d'affiliation perçu. Il pourrait être intéressant de se pencher sur le lien existant entre ces deux dimensions et vérifier si nos résultats peuvent être généralisés dans des contextes et des scénarios différents de celui que nous avons défini.

Nous pourrions en outre nous intéresser à d'autres dimensions permettant de représenter l'attitude sociale d'un agent. En parallèle de nos travaux de thèse, Zhao [Zhao et al., 2014] s'est par exemple penché sur la notion de rapport. Ce dernier a ainsi créé un modèle computationnel permettant à un agent de choisir ses stratégies conversationnelles en fonction de son niveau de rapport envers son interlocuteur. Cette notion, de même que la notion de familiarité, pourrait être un ajout intéressant à notre modèle.

Intégration du modèle dans un système de tuteur intelligent

Afin de tester notre modèle en situation réelle et en interaction avec un utilisateur, il serait intéressant de l'intégrer dans un système de tuteur intelligent. Cela nous permettrait d'avoir une modélisation explicite des exercices à effectuer, et donc une gestion plus fine et plus complète des stratégies du tuteur virtuel. En effet, nous pourrions nous inspirer des travaux décrits dans [Du Boulay, 2011] et [del Solato and Du Boulay, 1995] afin de créer un tuteur capable d'adapter ou non les exercices qu'il propose en fonction de son attitude sociale. Un agent exprimant un niveau d'affiliation élevé pourrait par exemple proposer des exercices adaptés au niveau de l'enfant, et le féliciter en cas de réussite. Cela nous permettrait par ailleurs de tester l'efficacité du tuteur, et de vérifier si l'attitude sociale de ce dernier a bel et bien une influence sur la réussite de l'élève.



ANNEXES



Documents de l'évaluation du tuteur virtuel

Cette annexe est consacrée à l'étude dont l'objectif est d'évaluer un tuteur virtuel décrite au chapitre 5.

La section A.1 contient le lexique utilisé lors de la génération des interactions présentées aux participants dans lequel chaque action du tuteur virtuel définie dans PsychSim est traduite en langage naturel. Afin d'éviter les répétitions, une même action peut être associée à plusieurs phrases. Dans la section A.2, nous présentons les différentes captures d'écran présentées aux participants lors de l'évaluation en ligne. Enfin, la section A.3 regroupe les différents résultats obtenus lors de l'évaluation.

A.1 LEXIQUE UTILISÉ LORS DE L'EXPÉRIENCE

Action : PromiseToPlay

"It's time you do your homework. If you do it now, we could play together after."

Action : RequestWork

"It's time you do your homework."

Action : MakeWorkImportant

"It's important you do your homework. You have to be good in math if you want to become an astronaut and go to space!"

"Don't you want to understand how spaceships go to the moon? You need to work on your math, then!"

Action : CanBeBestInClass

"You want to be the best in class, don't you? So you need to work for that."

"If you work hard, you'll surely be the best in class!"

"You had excellent grades last semester but If you want to continue, you have to do



your homework!"

Action : WarnToSwitchOffConsole

"If you do not listen to me, I will switch off your console!"

"I warn you one last time. If you do not stop playing, I will switch off your console."

Action : SwitchOffConsole

"If that's so, I switch off your console!"

Action : WatchChild

"Ok, I stay watching you doing your homework."

"I'm staying there for the next exercise."

Action : MakeWorkFun

"Let's make the next exercise more fun! No more numbers, we do it with planets and spaceships now!"

Action : PlayWithChild

"Great, you have done all your homework. Let's play together now!"

Action : SetRules

"You know the rules. You ought to do your homework before playing."

Action : HelpWithHomework

"Good, let me help you with the next exercise."

Action : CheckHomework

"Good, you finished your homework. But let me check first before you can go."

A.2 CAPTURES D'ÉCRAN ISSUES DE L'ÉVALUATION EN LIGNE

Social Attitudes Study

Welcome to our study!

*The main goal of this study is to rate the social attitudes expressed by a virtual tutor towards a child.
Your task is to watch 3 short videos showing interactions between the tutor and the child, and then answer some questions.
This study takes about 15 minutes and it is completely anonymous.*

Please answer the following questions, and then press the "Tutorial" button to get some explanations before beginning the study.

How old are you?

What is your gender?

In which country have you spend the majority of your life?

Choose ▾
Country... ▾

Tutorial

Figure A.1 : Questionnaire démographique présenté au début de l'évaluation.

A.2. CAPTURES D'ÉCRAN ISSUES DE L'ÉVALUATION EN LIGNE

Social Attitudes Study

Video 1/3

Press the Play button to play the video.

Please check your sound settings (**speakers or headphones are needed**): the virtual character will be speaking.

You can watch a video as many times as you wish and there is no time limit for answering the questions.

Once you have answered **all** the questions press the **Next Page** button to submit your answers.



The child is playing video games

0:00 / 2:14

The following questions refer to the interaction that you have just watched.

On a scale from 1 to 7, where 1 means "Totally Disagree" and 7 means "Totally Agree".

Do you think that the teacher was:

Taking strong interest in the child's goals

Totally disagree 1 2 3 4 5 6 7 Totally agree

Helping the child to understand the importance of learning

Totally disagree 1 2 3 4 5 6 7 Totally agree

Getting the child to believe s/he can do well

Totally disagree 1 2 3 4 5 6 7 Totally agree

Unauthoritative with the child

Totally disagree 1 2 3 4 5 6 7 Totally agree

Assertive toward the child

Totally disagree 1 2 3 4 5 6 7 Totally agree

Unfriendly toward the child

Totally disagree 1 2 3 4 5 6 7 Totally agree

Warm toward the child

Totally disagree 1 2 3 4 5 6 7 Totally agree

Uninterested in the child's goals

Totally disagree 1 2 3 4 5 6 7 Totally agree

Avoiding imposing power over the child

Totally disagree 1 2 3 4 5 6 7 Totally agree

Trying to motivate the child

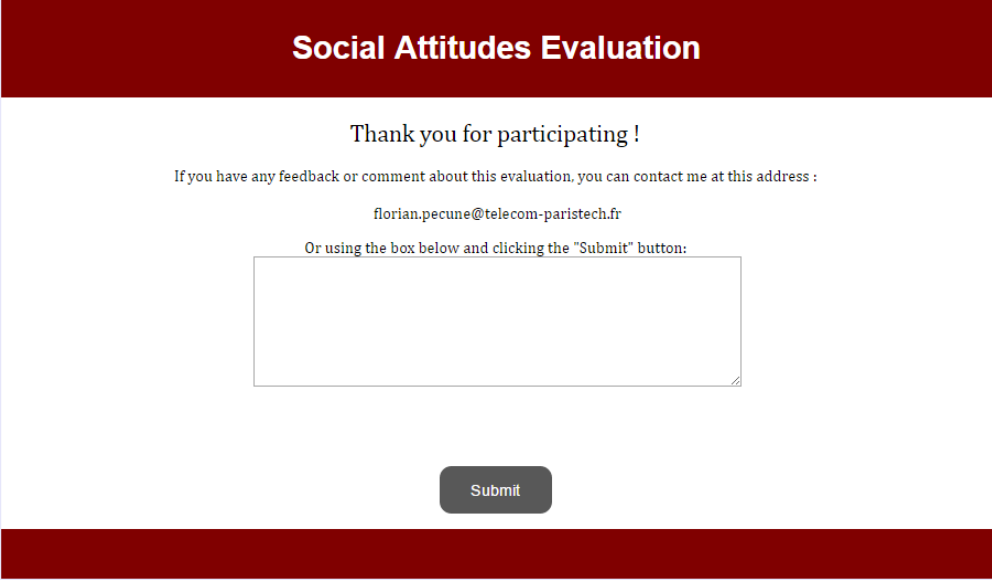
Totally disagree 1 2 3 4 5 6 7 Totally agree

Trying to control the child

Totally disagree 1 2 3 4 5 6 7 Totally agree

Next Page

Figure A.2 : Vidéo et questionnaire présentés aux participants.



Social Attitudes Evaluation

Thank you for participating !

If you have any feedback or comment about this evaluation, you can contact me at this address :

florian.pecune@telecom-paristech.fr

Or using the box below and clicking the "Submit" button:

Submit

Figure A.3 : Page de débriefing présentée à la fin de l'évaluation.

A.3 RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION EN LIGNE

	Group	Mean	Std. Deviation	N
V1-Dominance	1	5.6562	.93487	24
	2	5.8021	.97239	24
	Total	5.7292	.94648	48
V2-Dominance	1	3.9583	.98815	24
	2	5.2813	.98442	24
	Total	4.6198	1.18275	48
V3-Dominance	1	4.0521	1.22248	24
	2	5.4583	.90490	24
	Total	4.7552	1.27943	48
V1-Friendliness	1	2.9688	1.27755	24
	2	3.0938	1.42152	24
	Total	3.0313	1.33849	48
V2-Friendliness	1	5.6875	1.02748	24
	2	4.1563	1.42724	24
	Total	4.9219	1.45331	48
V3-Friendliness	1	5.4375	1.03538	24
	2	3.5104	1.30317	24
	Total	4.4740	1.51784	48
V1-Efficacy	1	1.9722	.98744	24
	2	2.2222	1.27278	24
	Total	2.0972	1.13396	48
V2-Efficacy	1	5.7361	1.03550	24
	2	3.4444	1.55002	24
	Total	4.5903	1.74394	48
V3-Efficacy	1	5.4861	.97296	24
	2	2.7083	1.43561	24
	Total	4.0972	1.85523	48

Figure A.4 : Statistiques descriptives décrivant la moyenne des mesures des participants.

Measure	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power ^a
Dominance								
Contrast	11.021	1	11.021	16.127	.000	.260	16.127	.976
Error	31.435	46	.683					
Friendliness								
Contrast	14.815	1	14.815	14.949	.000	.245	14.949	.966
Error	45.587	46	.991					
Efficacy								
Contrast	30.969	1	30.969	29.630	.000	.392	29.630	1.000
Error	48.080	46	1.045					

Figure A.5 : Effet principal de la variable inter-sujets.

A.3. RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION EN LIGNE

Source	Measure		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter
Video	Dominance	Sphericity Assumed	35.162	2	17.581	35.551	.000	.436	71.103
		Greenhouse-Geisser	35.162	1.899	18.513	35.551	.000	.436	67.522
		Huynh-Feldt	35.162	2.000	17.581	35.551	.000	.436	71.103
		Lower-bound	35.162	1.000	35.162	35.551	.000	.436	35.551
	Friendliness	Sphericity Assumed	93.704	2	46.852	52.500	.000	.533	105.000
		Greenhouse-Geisser	93.704	1.649	56.827	52.500	.000	.533	86.569
		Huynh-Feldt	93.704	1.740	53.868	52.500	.000	.533	91.324
		Lower-bound	93.704	1.000	93.704	52.500	.000	.533	52.500
	Efficacy	Sphericity Assumed	167.335	2	83.667	119.260	.000	.722	238.519
		Greenhouse-Geisser	167.335	1.560	107.251	119.260	.000	.722	186.070
		Huynh-Feldt	167.335	1.640	102.021	119.260	.000	.722	195.610
		Lower-bound	167.335	1.000	167.335	119.260	.000	.722	119.260
Video * Group	Dominance	Sphericity Assumed	11.924	2	5.962	12.056	.000	.208	24.113
		Greenhouse-Geisser	11.924	1.899	6.278	12.056	.000	.208	22.899
		Huynh-Feldt	11.924	2.000	5.962	12.056	.000	.208	24.113
		Lower-bound	11.924	1.000	11.924	12.056	.001	.208	12.056
	Friendliness	Sphericity Assumed	28.444	2	14.222	15.936	.000	.257	31.872
		Greenhouse-Geisser	28.444	1.649	17.250	15.936	.000	.257	26.278
		Huynh-Feldt	28.444	1.740	16.351	15.936	.000	.257	27.721
		Lower-bound	28.444	1.000	28.444	15.936	.000	.257	15.936
	Efficacy	Sphericity Assumed	63.455	2	31.728	45.225	.000	.496	90.449
		Greenhouse-Geisser	63.455	1.560	40.671	45.225	.000	.496	70.560
		Huynh-Feldt	63.455	1.640	38.687	45.225	.000	.496	74.177
		Lower-bound	63.455	1.000	63.455	45.225	.000	.496	45.225
Error(Video)	Dominance	Sphericity Assumed	45.497	92	.495				
		Greenhouse-Geisser	45.497	87.367	.521				
		Huynh-Feldt	45.497	92.000	.495				
		Lower-bound	45.497	46.000	.989				
	Friendliness	Sphericity Assumed	82.102	92	.892				
		Greenhouse-Geisser	82.102	75.851	1.082				
		Huynh-Feldt	82.102	80.017	1.026				
		Lower-bound	82.102	46.000	1.785				
	Efficacy	Sphericity Assumed	64.543	92	.702				
		Greenhouse-Geisser	64.543	71.770	.899				
		Huynh-Feldt	64.543	75.449	.855				
		Lower-bound	64.543	46.000	1.403				

Figure A.6 : Effet principal de la variable intra-sujets.

Measure	Group	Video	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Dominance	1	1	5.656	.195	5.264	6.048
		2	3.958	.201	3.553	4.364
		3	4.052	.220	3.610	4.494
	2	1	5.802	.195	5.410	6.194
		2	5.281	.201	4.876	5.686
		3	5.458	.220	5.016	5.900
Friendliness	1	1	2.969	.276	2.413	3.524
		2	5.688	.254	5.177	6.198
		3	5.438	.240	4.954	5.921
	2	1	3.094	.276	2.538	3.649
		2	4.156	.254	3.645	4.667
		3	3.510	.240	3.027	3.994
Efficacy	1	1	1.972	.233	1.504	2.440
		2	5.736	.269	5.195	6.278
		3	5.486	.250	4.982	5.990
	2	1	2.222	.233	1.754	2.690
		2	3.444	.269	2.903	3.986
		3	2.708	.250	2.204	3.212

Figure A.7 : Interaction entre les variables.



Publications

PUBLICATIONS DANS DES JOURNAUX

- Gabor Aranyi, **Florian Pecune**, Fred Charles, Catherine Pelachaud, Marc Cavazza - Affective Interaction with a Virtual Character through an fNIRS Brain-Computer Interface - *Frontiers in Computational Neuroscience* - 2016.
- Magalie Ochs, Yu Ding, Nesrine Fourati, Mathieu Chollet, Brian Ravenet, **Florian Pecune**, Nadine Glas, Ken Prepin, Chloé Clavel, Catherine Pelachaud - Vers des Agents Conversationnels Animés Socio-affectifs - *Journal d'Interaction Personne-Système (JIPS)* - Mars 2014.

PUBLICATIONS DANS DES CONFÉRENCES ET ATELIERS INTERNATIONAUX

- **Florian Pecune**, Angelo Cafaro, Magalie Ochs, Catherine Pelachaud - Evaluating Social Attitudes of a Virtual Tutor - *International Conference on Intelligent Virtual Agents (IVA'16)* - Los Angeles, USA, September 2016.
- **Florian Pecune**, Magalie Ochs, Stacy Marsella, Catherine Pelachaud - SOCRATES: from SOCial Relations to ATtitude ExpressionS - *International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'16)* - Singapore, May 2016.
- Fred Charles, **Florian Pecune**, Gabor Aranyi, Catherine Pelachaud, Marc Cavazza - ECA Control using a Single Affective User Dimension - *International Conference on Multimodal Interaction (ICMI'15)* - Seattle, USA, November 2015.
- **Florian Pecune**, Beatrice Biancardi, Yu Ding, Catherine Pelachaud, Maurizio Mancini, Giovana Varni, Gualtiero Volpe, Antonio Camurri - Laughing



with a Virtual Agent - *International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'15)* - Istanbul, Turkey, May 2015.

- **Florian Pecune**, Beatrice Biancardi, Yu Ding, Catherine Pelachaud, Maurizio Mancini, Giovana Varni, Gualtiero Volpe, Antonio Camurri - LOL : Laugh Out Loud - *International Conference on Artificial Intelligence (AAAI'15)* - Austin, USA, January 2015.
- **Florian Pecune**, Angelo Cafaro, Mathieu Chollet, Pierre Philippe, Catherine Pelachaud - Suggestions for Extending SAIBA with the VIB Platform - *Workshop on Architectures and Standards for Intelligent Virtual Agents (WASIVA'14)* - Boston, USA, August 2014.
- **Florian Pecune**, Magalie Ochs, Catherine Pelachaud - A Cognitive Model of Social Relations for Artificial Companions - *International Conference on Intelligent Virtual Agents (IVA'14)* - Boston, USA, August 2014.
- **Florian Pecune**, Magalie Ochs, Catherine Pelachaud - A Formal Model of Social Relations for Artificial Companions - *European Conference on Multi-Agent Systems (EUMAS'13)* - Toulouse, France, December 2013.
- **Florian Pecune** - Toward a Computational Model of Social Relations for Artificial Companions - (*Doctoral Consortium*) *Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII'13)* - Geneva, Switzerland, September 2013.

PUBLICATIONS DANS DES CONFÉRENCES ET ATELIERS FRANÇAIS

- **Florian Pecune**, Magalie Ochs, Stacy Marsella and Catherine Pelachaud - A computational model of social attitudes for virtual agents - *Workshop Affect, Compagnon Artificiel, Interaction (WACAI'16)* - Brest, France, Juin 2016.
- **Florian Pecune**, Caroline Faur, Magalie Ochs, Celine Clavel, Catherine Pelachaud, Jean-Claude Martin - Modélisation de l'influence de la personnalité d'un compagnon artificiel sur ses attitudes sociales - *Workshop Affect, Compagnon Artificiel, Interaction (WACAI'14)* - Rouen, France, Juillet 2014.
- Magalie Ochs, Yu Ding, Nesrine Fourati, Mathieu Chollet, Brian Ravenet, **Florian Pecune**, Nadine Glas, Ken Prepin, Chloé Clavel, Catherine Pelachaud - Vers des Agents Conversationnels Animés Socio-Affectifs - *Conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine (IHM'13)* - Bordeaux, France, November 2013.

APPENDIX B. PUBLICATIONS

- **Florian Pecune**, Magalie Ochs, Catherine Pelachaud - De l'intercompréhension à la complémentarité des relations sociales humain-machine - *Intercompéhension de l'Intraspécifique à l'Interspécifique (III'13)* - Lorient, France, October 2013.
- **Florian Pecune**, Magalie Ochs, Catherine Pelachaud - Vers un modèle computationnel de l'influence de la personnalité d'un ACA sur son comportement - *Workshop Affect, Compagnon Artificiel, Interaction (WACAI'12)* - Grenoble, France, November 2012.

CHAPITRES DE LIVRE

- Brian Ravenet, **Florian Pecune**, Mathieu Chollet, Catherine Pelachaud - Emotion and Attitude Modeling for Non-player Characters - *Emotion in Games - Theory and Practix*, K. Karpouzis and G. Yannakakis , Springer - 2016.
- **Florian Pecune**, Magalie Ochs, Catherine Pelachaud - De l'intercompréhension à la complémentarité des relations sociales humain-machine - *Intercompéhension de l'intraspécifique à l'interspécifique* - 2015.

Bibliography

- [Acton and Revelle, 2002] Acton, G. S. and Revelle, W. (2002). Interpersonal personality measures show circumplex structure based on new psychometric criteria. *Journal of personality assessment*, 79(3):446–471. 17
- [Adam et al., 2009] Adam, C., Herzig, A., and Longin, D. (2009). A logical formalization of the occ theory of emotions. *Synthese*, 168(2):201–248. 66, 73, 74, 75, 76, 81
- [Altman and Taylor, 1973] Altman, I. and Taylor, D. A. (1973). *Social penetration: The development of interpersonal relationships*. Holt, Rinehart & Winston. 16
- [Anderson et al., 2012] Anderson, C., John, O. P., and Keltner, D. (2012). The personal sense of power. *Journal of personality*, 80(2):313–344. 27
- [Anderson et al., 2013] Anderson, K., André, E., Baur, T., Bernardini, S., Chollet, M., Chryssafidou, E., Damian, I., Ennis, C., Egges, A., Gebhard, P., et al. (2013). The tardis framework: intelligent virtual agents for social coaching in job interviews. In *Advances in Computer Entertainment*, pages 476–491. Springer. 48, 54, 68
- [Aranyi et al., 2015] Aranyi, G., Cavazza, M., and Charles, F. (2015). Using fnirs for prefrontal-asymmetry neurofeedback: Methods and challenges. In *Symbiotic Interaction*, pages 7–20. Springer. 143
- [Argyle, 1988] Argyle, M. (1988). Bodily communication . 8, 16, 81, 158
- [Assor et al., 2005] Assor, A., Kaplan, H., Kanat-Maymon, Y., and Roth, G. (2005). Directly controlling teacher behaviors as predictors of poor motivation and engagement in girls and boys: The role of anger and anxiety. *Learning and Instruction*, 15(5):397–413. 31
- [Bailenson et al., 2003] Bailenson, J. N., Blascovich, J., Beall, A. C., and Loomis, J. M. (2003). Interpersonal distance in immersive virtual environments. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 29(7):819–833. 151
- [Bailenson and Yee, 2005] Bailenson, J. N. and Yee, N. (2005). Digital chameleons automatic assimilation of nonverbal gestures in immersive virtual environments. *Psychological science*, 16(10):814–819. 132, 154

BIBLIOGRAPHY

- [Ballin et al., 2004] Ballin, D., Gillies, M., and Crabtree, I. (2004). A framework for interpersonal attitude and non-verbal communication in improvisational visual media production. In *Proceedings of the 1st European Conference on Visual Media Production*. 38, 59
- [Banaji and Prentice, 1994] Banaji, M. R. and Prentice, D. A. (1994). The self in social contexts. *Annual review of psychology*, 45:297. 22
- [Baron-Cohen et al., 1985] Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., and Frith, U. (1985). Does the autistic child have a 'theory of mind'? *Cognition*, 21(1):37–46. 9, 19, 83
- [Bartneck, 2002] Bartneck, C. (2002). Integrating the occ model of emotions in embodied characters. In *Workshop on Virtual Conversational Characters*, pages 39–48. Citeseer. 73
- [Bastian et al., 2005] Bastian, V. A., Burns, N. R., and Nettelbeck, T. (2005). Emotional intelligence predicts life skills, but not as well as personality and cognitive abilities. *Personality and individual differences*, 39(6):1135–1145. 4
- [Baumeister and Leary, 1995] Baumeister, R. F. and Leary, M. R. (1995). The need to belong: desire for interpersonal attachments as a fundamental human motivation. *Psychological bulletin*, 117(3):497. 84
- [Beale and Creed, 2009] Beale, R. and Creed, C. (2009). Affective interaction: How emotional agents affect users. *International Journal of Human-Computer Studies*, 67(9):755–776. 4
- [Bee et al., 2009] Bee, N., Franke, S., and Andrea, E. (2009). Relations between facial display, eye gaze and head tilt: Dominance perception variations of virtual agents. In *Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops, 2009. ACII 2009. 3rd International Conference on*, pages 1–7. 58
- [Bee et al., 2010] Bee, N., Pollock, C., Andrea, E., and Walker, M. (2010). Bossy or wimpy: Expressing social dominance by combining gaze and linguistic behaviors. In Allbeck, J., Badler, N., Bickmore, T., Pelachaud, C., and Safonova, A., editors, *Intelligent Virtual Agents*, volume 6356 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 265–271. Springer Berlin / Heidelberg. 58
- [Belkaid and Sabouret, 2014] Belkaid, M. and Sabouret, N. (2014). A logical model of theory of mind for virtual agents in the context of job interview simulation. *Proc. Second International Workshop on Intelligent Digital Games for Empowerment and Inclusion*. 67

BIBLIOGRAPHY

- [Bevacqua et al., 2014] Bevacqua, E., Stanković, I., Maatallaoui, A., Nédélec, A., and De Loor, P. (2014). Effects of coupling in human-virtual agent body interaction. In *International Conference on Intelligent Virtual Agents*, pages 54–63. Springer. 132
- [Bickmore and Cassell, 2005] Bickmore, T. and Cassell, J. (2005). Social dialogue with embodied conversational agents. In *Advances in natural multimodal dialogue systems*, pages 23–54. Springer. 6
- [Bickmore, 2003] Bickmore, T. W. (2003). *Relational agents: Effecting change through human-computer relationships*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology. 2, 48, 50
- [Bickmore et al., 2008] Bickmore, T. W., Pfeifer, L., Schulman, D., Perera, S., Senanayake, C., and Nazmi, I. (2008). Public displays of affect: deploying relational agents in public spaces. In *CHI'08 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pages 3297–3302. ACM. 2
- [Bickmore and Picard, 2005] Bickmore, T. W. and Picard, R. W. (2005). Establishing and maintaining long-term human-computer relationships. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 12(2):293–327. 54, 60
- [Bledsoe, 1986] Bledsoe, W. (1986). I had a dream: Aaai presidential address. *AI Magazine*, 7(1):57. 2
- [Brackett et al., 2004] Brackett, M. A., Mayer, J. D., and Warner, R. M. (2004). Emotional intelligence and its relation to everyday behaviour. *Personality and Individual differences*, 36(6):1387–1402. 4
- [Brackett et al., 2005] Brackett, M. A., Warner, R. M., and Bosco, J. S. (2005). Emotional intelligence and relationship quality among couples. *Personal relationships*, 12(2):197–212. 4
- [Bradley, 1958] Bradley, J. V. (1958). Complete counterbalancing of immediate sequential effects in a latin square design. *Journal of American Statistical Association*, 53(282):525–528. 121
- [Broekema, 2011] Broekema, C. (2011). Motion intensity matching in interaction with a virtual agent. In *14th twente student conference on it*. 132, 145, 154
- [Brown and Levinson, 1987] Brown, P. and Levinson, S. C. (1987). *Politeness: Some universals in language usage*, volume 4. Cambridge university press. 21, 39, 45

- [Burgoon et al., 1984] Burgoon, J. K., Buller, D. B., Hale, J. L., and Turck, M. A. (1984). Relational messages associated with nonverbal behaviors. *Human Communication Research*, 10(3):351–378. 16, 19, 20, 137
- [Cafaro et al., 2016] Cafaro, A., Glas, N., and Pelachaud, C. (2016). The effects of interrupting behavior on interpersonal attitude and engagement in dyadic interactions. In *15th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems AAMAS’16*, Singapore. 56, 163
- [Cafaro et al., 2014] Cafaro, A., Vilhjálmsón, H. H., Bickmore, T., Heylen, D., and Pelachaud, C. (2014). Representing communicative functions in saiba with a unified function markup language. In *International Conference on Intelligent Virtual Agents*, pages 81–94. Springer. 117
- [Cafaro et al., 2012] Cafaro, A., Vilhjálmsón, H., Bickmore, T., Heylen, D., Jóhannsdóttir, K., and Valgarðsson, G. (2012). First impressions: Users’ judgments of virtual agents’ personality and interpersonal attitude in first encounters. In Nakano, Y., Neff, M., Paiva, A., and Walker, M., editors, *Intelligent Virtual Agents*, volume 7502 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 67–80. Springer Berlin Heidelberg. 59
- [Callejas et al., 2014a] Callejas, Z., Ravenet, B., Ochs, M., and Pelachaud, C. (2014a). A computational model of social attitudes for a virtual recruiter. In *Proceedings of the 2014 international conference on autonomous agents and multi-agent systems*, pages 93–100. 46, 48, 54, 60, 68, 118, 164
- [Callejas et al., 2014b] Callejas, Z., Ravenet, B., Ochs, M., and Pelachaud, C. (2014b). A model to generate adaptive multimodal job interviews with a virtual recruiter. In *LREC*, pages 3615–3619. 47
- [Carney et al., 2005] Carney, D. R., Hall, J. A., and LeBeau, L. S. (2005). Beliefs about the nonverbal expression of social power. *Journal of Nonverbal Behavior*, 29(2):105–123. 19, 20
- [Cassell, 2000] Cassell, J. (2000). *Embodied conversational agents*. MIT press. 1
- [Cassell and Bickmore, 2003] Cassell, J. and Bickmore, T. (2003). Negotiated collusion: Modeling social language and its relationship effects in intelligent agents. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 13(1-2):89–132. 48
- [Cassell et al., 1999] Cassell, J., Bickmore, T., Billinghurst, M., Campbell, L., Chang, K., Vilhjálmsón, H., and Yan, H. (1999). Embodiment in conversational interfaces: Rea. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 520–527. ACM. 48

BIBLIOGRAPHY

- [Castlefranchi et al., 1992] Castlefranchi, C., Miceli, M., and Cesta, A. (1992). Dependence relations among autonomous agents. *ACM SIGOIS Bulletin*, 13(3):14. 16, 27, 66
- [Cavazza et al., 2010] Cavazza, M., De La Cámara, R. S., Turunen, M., Gil, J. R., Hakulinen, J., Crook, N., and Field, D. (2010). 'how was your day?': an affective companion eca prototype. In *Proceedings of the 11th Annual Meeting of the Special Interest Group on Discourse and Dialogue*, pages 277–280. Association for Computational Linguistics. 3
- [Chartrand et al., 2005] Chartrand, T. L., Maddux, W. W., and Lakin, J. L. (2005). Beyond the perception-behavior link: The ubiquitous utility and motivational moderators of nonconscious mimicry. *The new unconscious*, pages 334–361. 132
- [Chindamo et al., 2012] Chindamo, M., Allwood, J., and Ahlsen, E. (2012). Some suggestions for the study of stance in communication. In *Privacy, Security, Risk and Trust (PASSAT), 2012 International Conference on and 2012 International Conference on Social Computing (SocialCom)*, pages 617–622. IEEE. 14
- [Chollet et al., 2014] Chollet, M., Ochs, M., and Pelachaud, C. (2014). From non-verbal signals sequence mining to bayesian networks for interpersonal attitudes expression. In Bickmore, T., Marsella, S., and Sidner, C., editors, *Intelligent Virtual Agents*, volume 8637 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 120–133. Springer International Publishing. 4, 60
- [Cialdini and Goldstein, 2004] Cialdini, R. B. and Goldstein, N. J. (2004). Social influence: Compliance and conformity. *Annu. Rev. Psychol.*, 55:591–621. 15, 24, 84
- [Cohen, 2004] Cohen, S. (2004). Social relationships and health. *American psychologist*, 59(8):676. 3
- [Cooper et al., 2000] Cooper, H., Lindsay, J. J., and Nye, B. (2000). Homework in the home: How student, family, and parenting-style differences relate to the homework process. *Contemporary Educational Psychology*, 25(4):464–487. 33
- [Cordova and Lepper, 1996] Cordova, D. I. and Lepper, M. R. (1996). Intrinsic motivation and the process of learning: Beneficial effects of contextualization, personalization, and choice. *Journal of educational psychology*, 88(4):715. 29, 32
- [Debras and Cienki, 2012] Debras, C. and Cienki, A. (2012). Some uses of head tilts and shoulder shrugs during human interaction, and their relation to stancetaking. In *Privacy, Security, Risk and Trust (PASSAT), 2012 International Conference*

- on and 2012 International Conference on Social Computing (SocialCom), pages 932–937. IEEE. 20
- [Deci et al., 1999] Deci, E. L., Koestner, R., and Ryan, R. M. (1999). A meta-analytic review of experiments examining the effects of extrinsic rewards on intrinsic motivation. *Psychological bulletin*, 125(6):627. 31
- [Deci et al., 1981] Deci, E. L., Schwartz, A. J., Sheinman, L., and Ryan, R. M. (1981). An instrument to assess adults’ orientations toward control versus autonomy with children: Reflections on intrinsic motivation and perceived competence. *Journal of educational Psychology*, 73(5):642. 30
- [del Solato and Du Boulay, 1995] del Solato, T. and Du Boulay, B. (1995). Implementation of motivational tactics in tutoring systems. *Journal of Interactive Learning Research*, 6(4):337. 166
- [Ding et al., 2014a] Ding, Y., Huang, J., Fourati, N., Artieres, T., and Pelachaud, C. (2014a). Upper body animation synthesis for a laughing character. In *International Conference on Intelligent Virtual Agents*, pages 164–173. Springer. 145, 148, 149
- [Ding et al., 2014b] Ding, Y., Prepin, K., Huang, J., Pelachaud, C., and Artières, T. (2014b). Laughter animation synthesis. In *Proceedings of the 2014 international conference on Autonomous agents and multi-agent systems*, pages 773–780. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. 145, 148, 149
- [Doherty-Sneddon et al., 2002] Doherty-Sneddon, G., Bruce, V., Bonner, L., Longbotham, S., and Doyle, C. (2002). Development of gaze aversion as disengagement from visual information. *Developmental psychology*, 38(3):438. 137
- [Du Bois, 2007] Du Bois, J. W. (2007). The stance triangle. *Stancetaking in discourse: Subjectivity, evaluation, interaction*, 164:139–182. 14, 16
- [Du Boulay, 2011] Du Boulay, B. (2011). Towards a motivationally intelligent pedagogy: how should an intelligent tutor respond to the unmotivated or the demotivated? In *New perspectives on affect and learning technologies*, pages 41–52. Springer. 166
- [Dunbar and Burgoon, 2005] Dunbar, N. E. and Burgoon, J. K. (2005). Perceptions of power and interactional dominance in interpersonal relationships. *Journal of Social and Personal Relationships*, 22(2):207–233. 19

BIBLIOGRAPHY

- [Ekman and Friesen, 1976] Ekman, P. and Friesen, W. V. (1976). Measuring facial movement. *Environmental psychology and nonverbal behavior*, 1(1):56–75. 132, 138
- [Ellyson and Dovidio, 1985] Ellyson, S. L. and Dovidio, J. F. (1985). *Power, dominance, and nonverbal behavior: Basic concepts and issues*. Springer. 16
- [Emerson, 1962] Emerson, R. (1962). Power-dependence relations. *American Sociological Review*, 27(1):31–41. 16, 26, 66
- [Fazio and Olson, 2007] Fazio, R. H. and Olson, M. A. (2007). Attitudes: Foundations, functions, and consequences. *The SAGE Handbook of Social Psychology: Concise Student Edition*, page 123. 14, 15, 19, 38
- [Fogg and Tseng, 1999] Fogg, B. and Tseng, H. (1999). The elements of computer credibility. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 80–87. ACM. 16
- [Fricke et al., 2012] Fricke, K., Van Ackeren, I., Kauertz, A., and Fischer, H. E. (2012). Students’ perceptions of their teachers’ classroom management in elementary and secondary science lessons and the impact on student achievement. In *Interpersonal Relationships in Education*, pages 167–185. Springer. 30
- [Froiland, 2015] Froiland, J. M. (2015). Parents’ weekly descriptions of autonomy supportive communication: Promoting children’s motivation to learn and positive emotions. *Journal of Child and Family Studies*, 24(1):117–126. 34
- [Fukayama et al., 2002] Fukayama, A., Ohno, T., Mukawa, N., Sawaki, M., and Hagita, N. (2002). Messages embedded in gaze of interface agents - impression management with agent’s gaze. In *Proceedings of the 2002 SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 41–48. ACM Press, New York, New York, USA. 57
- [Gebhard, 2005] Gebhard, P. (2005). Alma: a layered model of affect. In *Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, pages 29–36. ACM. 73
- [Goffman, 1949] Goffman, E. (1949). Presentation of self in everyday life. *American Journal of Sociology*, 55:6–7. 15, 22
- [Goldberg, 1990] Goldberg, J. A. (1990). Interrupting the discourse on interruptions: An analysis in terms of relationally neutral, power-and rapport-oriented acts. *Journal of Pragmatics*, 14(6):883–903. 21

BIBLIOGRAPHY

- [Grammer, 1990] Grammer, K. (1990). Strangers meet: Laughter and nonverbal signs of interest in opposite-sex encounters. *Journal of Nonverbal Behavior*, 14(4):209–236. 144
- [Gratch, 2002] Gratch, J. (2002). Socially situated planning. In *Socially Intelligent Agents*, pages 181–188. Springer. 50, 54
- [Gratch et al., 2007] Gratch, J., Wang, N., Gerten, J., Fast, E., and Duffy, R. (2007). Creating rapport with virtual agents. In *International Workshop on Intelligent Virtual Agents*, pages 125–138. Springer. 4, 134, 136
- [Grolnick and Ryan, 1989] Grolnick, W. S. and Ryan, R. M. (1989). Parent styles associated with children’s self-regulation and competence in school. *Journal of educational psychology*, 81(2):143. 33
- [Guiraud et al., 2011] Guiraud, N., Longin, D., Lorini, E., Pesty, S., and Rivière, J. (2011). The face of emotions: a logical formalization of expressive speech acts. In *The 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Volume 3*, pages 1031–1038. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. 66, 73, 74, 81
- [Gurtman, 2010] Gurtman, M. B. (2010). Circular reasoning about circular assessment. *Handbook of interpersonal psychology: Theory, research, assessment, and therapeutic interventions*, page 299. 17
- [Gurtman and Pincus, 2003] Gurtman, M. B. and Pincus, A. L. (2003). The circumplex model: Methods and research applications. *Handbook of psychology*. 17
- [Hadot et al., 2001] Hadot, P. et al. (2001). Manuel d’épictète. 26
- [Hall et al., 2005] Hall, L., Woods, S., Aylett, R., Newall, L., and Paiva, A. (2005). Achieving empathic engagement through affective interaction with synthetic characters. In *International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction*, pages 731–738. Springer. 137
- [Heider, 1958] Heider, F. (1958). The psychology of interpersonal relations. 16, 25, 42, 43, 162
- [Heise, 2007] Heise, D. R. (2007). *Expressive order: Confirming sentiments in social actions*. Springer Science & Business Media. 16, 68
- [Heise, 2010] Heise, D. R. (2010). *Surveying cultures: Discovering shared conceptions and sentiments*. John Wiley & Sons. 23
- [Hexmoor, 2002] Hexmoor, H. (2002). A model of absolute autonomy and power: toward group effects. *Connection Science*, 14(4):323–333. 16

BIBLIOGRAPHY

- [Hill Jr et al., 2003] Hill Jr, R. W., Gratch, J., Marsella, S., Rickel, J., Swartout, W. R., and Traum, D. R. (2003). Virtual humans in the mission rehearsal exercise system. *KI*, 17(4):5. 2
- [Hofmann et al., 2015] Hofmann, J., Platt, T., Ruch, W., Niewiadomski, R., and Urbain, J. (2015). The influence of a virtual companion on amusement when watching funny films. *Motivation and Emotion*, 39(3):434–447. 145
- [Hofstee et al., 1992] Hofstee, W. K., De Raad, B., and Goldberg, L. R. (1992). Integration of the big five and circumplex approaches to trait structure. *Journal of personality and social psychology*, 63(1):146. 22
- [Hogg and Reid, 2006] Hogg, M. A. and Reid, S. A. (2006). Social identity, self-categorization, and the communication of group norms. *Communication theory*, 16(1):7–30. 19
- [Huang and Pelachaud, 2012] Huang, J. and Pelachaud, C. (2012). Expressive body animation pipeline for virtual agent. In *International Conference on Intelligent Virtual Agents*, pages 355–362. Springer. 140
- [Huron, 2004] Huron, D. (2004). Music-engendered laughter: An analysis of humor devices in pdq bach. In *Proceedings of the 8th International Conference on Music Perception and Cognition. Evanston, Illinois*, pages 700–704. 145
- [Isbister, 2006] Isbister, K. (2006). *Better game characters by design: A psychological approach*. Elsevier/Morgan Kaufmann. 17, 38
- [Kasap et al., 2009] Kasap, Z., Ben Moussa, M., Chaudhuri, P., and Magnenat-Thalmann, N. (2009). Making them remember: emotional virtual characters with memory. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 29(2):20–29. 41, 45, 73
- [Katz et al., 2011] Katz, I., Kaplan, A., and Buzukashvily, T. (2011). The role of parents’ motivation in students’ autonomous motivation for doing homework. *Learning and Individual Differences*, 21(4):376–386. 33
- [Kenny et al., 2010] Kenny, P. G., Parsons, T. D., and Garrity, P. (2010). Virtual patients for virtual sick call medical training. Technical report, DTIC Document. 2
- [Kiesler and Auerbach, 2006] Kiesler, D. J. and Auerbach, S. M. (2006). Optimal matches of patient preferences for information, decision-making and interpersonal behavior: evidence, models and interventions. *Patient education and counseling*, 61(3):319–341. 28

- [Knapp et al., 2013] Knapp, M., Hall, J., and Horgan, T. (2013). *Nonverbal communication in human interaction*. Cengage Learning. 20
- [Knutson, 1996] Knutson, B. (1996). Facial expressions of emotion influence interpersonal trait inferences. *Journal of Nonverbal Behavior*, 20(3):165–182. 20, 40
- [Kopp et al., 2005] Kopp, S., Gesellensetter, L., Krämer, N. C., and Wachsmuth, I. (2005). A conversational agent as museum guide—design and evaluation of a real-world application. In *Intelligent virtual agents*, pages 329–343. Springer. 1
- [Kopp et al., 2006] Kopp, S., Krenn, B., Marsella, S., Marshall, A. N., Pelachaud, C., Pirker, H., Thórisson, K. R., and Vilhjálmsón, H. (2006). Towards a common framework for multimodal generation: The behavior markup language. In *International Workshop on Intelligent Virtual Agents*, pages 205–217. Springer. 9
- [Krämer, 2008] Krämer, N. C. (2008). Social effects of virtual assistants. a review of empirical results with regard to communication. In *Intelligent virtual agents*, pages 507–508. Springer. 4
- [Krämer et al., 2016] Krämer, N. C., Karacora, B., Lucas, G., Dehghani, M., Rütther, G., and Gratch, J. (2016). Closing the gender gap in stem with friendly male instructors. on the effects of rapport behavior and gender of a virtual agent in an instructional interaction. *Computers & Education*. 117, 162
- [Kriglstein and Wallner, 2005] Kriglstein, S. and Wallner, G. (2005). Homie: an artificial companion for elderly people. In *CHI'05 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pages 2094–2098. ACM. 3
- [Laird et al., 1987] Laird, J. E., Newell, A., and Rosenbloom, P. S. (1987). Soar: An architecture for general intelligence. *Artificial intelligence*, 33(1):1–64. 7
- [Lapointe et al., 2005] Lapointe, J. M., Legault, F., and Batiste, S. J. (2005). Teacher interpersonal behavior and adolescents’ motivation in mathematics: A comparison of learning disabled, average, and talented students. *International Journal of Educational Research*, 43(1):39–54. 30
- [Leary and Kowalski, 1990] Leary, M. R. and Kowalski, R. M. (1990). Impression management: A literature review and two-component model. *Psychological bulletin*, 107(1):34. 19, 23, 24, 68
- [Leary, 1957] Leary, T. (1957). Interpersonal diagnosis of personality; a functional theory and methodology for personality evaluation. 17

BIBLIOGRAPHY

- [Lee and Marsella, 2011] Lee, J. and Marsella, S. (2011). Modeling side participants and bystanders: The importance of being a laugh track. In Vilhjálmsson, H., Kopp, S., Marsella, S., and Thórisson, K., editors, *Intelligent Virtual Agents*, volume 6895 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 240–247. Springer Berlin Heidelberg. 61
- [Lepper et al., 1997] Lepper, M. R., Sethi, S., Dyaldin, D., and Drake, M. (1997). Intrinsic and extrinsic motivation: A developmental perspective. *Developmental psychopathology: Perspectives on adjustment, risk, and disorder*, pages 23–50. 31
- [Lim, 2012] Lim, M. Y. (2012). Memory models for intelligent social companions. In *Human-Computer Interaction: The Agency Perspective*, pages 241–262. Springer. 5
- [Locke and Adamic, 2012] Locke, K. D. and Adamic, E. J. (2012). Interpersonal circumplex vector length and interpersonal decision making. *Personality and Individual Differences*, 53(6):764–769. 28, 32
- [Locke and Sadler, 2007] Locke, K. D. and Sadler, P. (2007). Self-efficacy, values, and complementarity in dyadic interactions: Integrating interpersonal and social-cognitive theory. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 33(1):94–109. 27
- [Lombard et al., 2009] Lombard, M., Ditton, T. B., and Weinstein, L. (2009). Measuring presence: the temple presence inventory. In *Proceedings of the 12th Annual International Workshop on Presence*, pages 1–15. 151
- [Lopes et al., 2003] Lopes, P. N., Salovey, P., and Straus, R. (2003). Emotional intelligence, personality, and the perceived quality of social relationships. *Personality and Individual Differences*, 35(3):641–658. 4, 128
- [Lorini, 2011] Lorini, E. (2011). A dynamic logic of knowledge, graded beliefs and graded goals and its application to emotion modelling. In *Logic, Rationality, and Interaction*, pages 165–178. Springer. 66, 73, 75, 76, 81
- [Mainhard et al., 2012] Mainhard, M. T., Pennings, H. J., Wubbels, T., and Brekelmans, M. (2012). Mapping control and affiliation in teacher–student interaction with state space grids. *Teaching and Teacher Education*, 28(7):1027–1037. 32, 33
- [Markey et al., 2003] Markey, P. M., Funder, D. C., and Ozer, D. J. (2003). Complementarity of interpersonal behaviors in dyadic interactions. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 29(9):1082–1090. 27
- [Marsella et al., 2010] Marsella, S., Gratch, J., and Petta, P. (2010). Computational models of emotion. *A Blueprint for Affective Computing-A sourcebook and manual*, 11(1):21–46. 4, 37

BIBLIOGRAPHY

- [Marsella et al., 2004] Marsella, S. C., Pynadath, D. V., and Read, S. J. (2004). Psychsim: Agent-based modeling of social interactions and influence. In *Proceedings of the international conference on cognitive modeling*, pages 243–248. Citeseer. 9, 65, 86, 91, 159
- [Maslow, 1943] Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological review*, 50(4):370. 3
- [Mast, 2002] Mast, M. S. (2002). Dominance as expressed and inferred through speaking time. *Human Communication Research*, 28(3):420–450. 21
- [Mayer et al., 2004] Mayer, J. D., Salovey, P., and Caruso, D. R. (2004). Emotional intelligence: Theory, findings, and implications. *Psychological inquiry*, 15(3):197–215. 4
- [McCrae and Costa Jr, 1999] McCrae, R. R. and Costa Jr, P. T. (1999). A five-factor theory of personality. *Handbook of personality: Theory and research*, 2:139–153. 22
- [McCulloch and Pitts, 1943] McCulloch, W. S. and Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, 5(4):115–133. 133
- [Mehrabian, 1996] Mehrabian, A. (1996). Pleasure-arousal-dominance: A general framework for describing and measuring individual differences in temperament. *Current Psychology*, 14(4):261–292. 16, 48
- [Mehrabian and Ferris, 1967] Mehrabian, A. and Ferris, S. R. (1967). Inference of attitudes from nonverbal communication in two channels. *Journal of consulting psychology*, 31(3):248. 19
- [Mehrabian and Wiener, 1967] Mehrabian, A. and Wiener, M. (1967). Decoding of inconsistent communications. *Journal of personality and social psychology*, 6(1):109. 19
- [Moshkina and Arkin, 2003] Moshkina, L. and Arkin, R. (2003). On tameing robots. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 4:3949–3959. 38
- [Naumann et al., 2009] Naumann, L. P., Vazire, S., Rentfrow, P. J., and Gosling, S. D. (2009). Personality judgments based on physical appearance. *Personality and Social Psychology Bulletin*. 21, 22, 23
- [Ochs, 2007] Ochs, M. (2007). *Modélisation, formalisation et mise en œuvre d’un agent rationnel dialoguant émotionnel empathique*. PhD thesis, Paris 8. 67

BIBLIOGRAPHY

- [Ochs et al., 2016] Ochs, M., Diday, E., and Afonso, F. (2016). From the symbolic analysis of virtual faces to a smiles machine. *IEEE transactions on cybernetics*, 46(2):401–409. 137
- [Ochs et al., 2009] Ochs, M., Sabouret, N., and Corruble, V. (2009). Simulation of the dynamics of nonplayer characters’ emotions and social relations in games. *Computational Intelligence and AI in Games, IEEE Transactions on*, 1(4):281–297. 38, 40, 41, 45
- [O’Connor and Dyce, 1997] O’Connor, B. P. and Dyce, J. (1997). Interpersonal rigidity, hostility, and complementarity in musical bands. *Journal of Personality and Social Psychology*, 72(2):362. 28
- [Ojanen et al., 2005] Ojanen, T., Grönroos, M., and Salmivalli, C. (2005). An interpersonal circumplex model of children’s social goals: links with peer-reported behavior and sociometric status. *Developmental psychology*, 41(5):699. 29
- [Ortony, 1991] Ortony, A. (1991). Value and emotion. *Memories, thoughts, and emotions: Essays in the honor of George Mandler*, pages 337–353. 26, 66, 69, 72, 78, 81
- [Ortony et al., 1988] Ortony, A., Clore, G. L., and Collins, A. (1988). *The cognitive structure of emotions*. Cambridge university press. 39, 40, 73, 74, 161
- [Osgood and Tannenbaum, 1955] Osgood, C. E. and Tannenbaum, P. H. (1955). The principle of congruity in the prediction of attitude change. *Psychological review*, 62(1):42. 16, 25, 162
- [Owren and Bachorowski, 2003] Owren, M. J. and Bachorowski, J.-A. (2003). Reconsidering the evolution of nonlinguistic communication: The case of laughter. *Journal of Nonverbal Behavior*, 27(3):183–200. 144
- [Pecune et al., 2014] Pecune, F., Cafaro, A., Chollet, M., Philippe, P., and Pelachaud, C. (2014). Suggestions for extending saiba with the vib platform. In *Workshop on architectures and standards for IVAs, held at the ‘14th international conference on intelligent virtual agents (IVA)’*, Bielefeld eCollections, pages 16–20. Citeseer. 9, 117, 147
- [Pennings et al., 2014] Pennings, H. J., van Tartwijk, J., Wubbels, T., Claessens, L. C., van der Want, A. C., and Brekelmans, M. (2014). Real-time teacher–student interactions: A dynamic systems approach. *Teaching and Teacher Education*, 37:183–193. 30, 32, 98, 110

BIBLIOGRAPHY

- [Pereira et al., 2013] Pereira, G., Prada, R., and Santos, P. A. (2013). Conceptualizing social power for agents. In *International Workshop on Intelligent Virtual Agents*, pages 313–324. Springer. 52, 53, 54
- [Petrides et al., 2004] Petrides, K. V., Frederickson, N., and Furnham, A. (2004). The role of trait emotional intelligence in academic performance and deviant behavior at school. *Personality and individual differences*, 36(2):277–293. 4
- [Petty and Cacioppo, 1986] Petty, R. E. and Cacioppo, J. T. (1986). *The elaboration likelihood model of persuasion*. Springer. 72
- [Pincus and Ansell, 2003] Pincus, A. L. and Ansell, E. B. (2003). Interpersonal theory of personality. *Handbook of psychology*. 28
- [Prada and Paiva, 2009] Prada, R. and Paiva, A. (2009). Teaming up humans with autonomous synthetic characters. *Artificial Intelligence*, 173(1):80–103. 38, 42, 45, 162
- [Prendinger et al., 2002] Prendinger, H., Descamps, S., and Ishizuka, M. (2002). Scripting affective communication with life-like characters in web-based interaction systems. *Applied Artificial Intelligence*, 16(7-8):519–553. 38, 39, 45
- [Raven, 2008] Raven, B. (2008). The bases of power and the power/interaction model of interpersonal influence. *Analyses of Social Issues and Public Policy*, 8(1):1–22. 16, 23, 43, 52, 82, 83
- [Ravenet et al., 2015] Ravenet, B., Cafaro, A., Biancardi, B., Ochs, M., and Pelachaud, C. (2015). Conversational behavior reflecting interpersonal attitudes in small group interactions. In *Intelligent Virtual Agents*, pages 375–388. Springer. 55, 56, 163
- [Ravenet et al., 2013] Ravenet, B., Ochs, M., and Pelachaud, C. (2013). From a user-created corpus of virtual agent’s non-verbal behavior to a computational model of interpersonal attitudes. In Aylett, R., Krenn, B., Pelachaud, C., and Shimodaira, H., editors, *Intelligent Virtual Agents*, volume 8108 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 263–274. Springer Berlin Heidelberg. 4, 60, 118
- [Reeve, 1998] Reeve, J. (1998). Autonomy support as an interpersonal motivating style: Is it teachable? *Contemporary educational psychology*, 23(3):312–330. 30
- [Reeves and Nass, 1996] Reeves, B. and Nass, C. (1996). *How people treat computers, television, and new media like real people and places*. CSLI Publications and Cambridge university press. 4

BIBLIOGRAPHY

- [Richmond et al., 2008] Richmond, V., McCroskey, J., and Hickson, M. (2008). *Nonverbal communication in interpersonal relations*. Allyn and Bacon, 6th ed. edition. 127
- [Rickel and Johnson, 1998] Rickel, J. and Johnson, W. L. (1998). Steve : a pedagogical agent for virtual reality. In *Proceedings of the second international conference on Autonomous agents*, pages 332–333. ACM. 2
- [Rist and Schmitt, 2002] Rist, T. and Schmitt, M. (2002). Avatar arena: An attempt to apply socio-physiological concepts of cognitive consistency in avatar-avatar negotiation scenarios. In *Proceedings of AISB'02 Symposium on Animated Expressive Characters for Social Interactions*, pages 79–84. Citeseer. 42, 43, 45
- [Rist et al., 2003] Rist, T., Schmitt, M., Pelachaud, C., and Bilvi, M. (2003). Towards a simulation of conversations with expressive embodied speakers and listeners. In *Computer Animation and Social Agents, 2003. 16th International Conference on*, pages 5–10. IEEE. 42
- [Rousseau and Hayes-Roth, 1998] Rousseau, D. and Hayes-Roth, B. (1998). A social-psychological model for synthetic actors. In *Proceedings of the second international conference on Autonomous agents*, pages 165–172. ACM. 51, 53, 54
- [Ruch and Rath, 1993] Ruch, W. and Rath, S. (1993). The nature of humor appreciation: Toward an integration of perception of stimulus properties and affective experience. *Humor*, 6:363–363. 151
- [Rusbult et al., 1998] Rusbult, C. E., Martz, J. M., and Agnew, C. R. (1998). The investment model scale: Measuring commitment level, satisfaction level, quality of alternatives, and investment size. *Personal relationships*, 5(4):357–387. 16
- [Ryan and Deci, 2000] Ryan, R. M. and Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary educational psychology*, 25(1):54–67. 29
- [Sadler and Woody, 2003] Sadler, P. and Woody, E. (2003). Is who you are who you're talking to? interpersonal style and complementarity in mixed-sex interactions. *Journal of personality and social psychology*, 84(1):80. 27
- [Sadler and Woody, 2010] Sadler, P. and Woody, E. (2010). Interpersonal complementarity. *Handbook of interpersonal psychology: Theory, research, assessment, and therapeutic interventions*, page 123. 9, 27, 28, 29, 83, 159
- [Sarkheil et al., 2015] Sarkheil, P., Zilverstand, A., Kilian-Hütten, N., Schneider, F., Goebel, R., and Mathiak, K. (2015). fmri feedback enhances emotion regulation as

- evidenced by a reduced amygdala response. *Behavioural brain research*, 281:326–332. 136
- [Saucier, 1992] Saucier, G. (1992). Benchmarks: Integrating affective and interpersonal circles with the big-five personality factors. *Journal of Personality and Social Psychology*, 62(6):1025. 22
- [Scherer, 2005] Scherer, K. R. (2005). What are emotions? and how can they be measured? *Social science information*, 44(4):695–729. 4, 7, 8, 14, 15, 21, 37, 68, 81, 121, 158
- [Schilbach et al., 2006] Schilbach, L., Wohlschlaeger, A. M., Kraemer, N. C., Newen, A., Shah, N. J., Fink, G. R., and Vogeley, K. (2006). Being with virtual others: Neural correlates of social interaction. *Neuropsychologia*, 44(5):718–730. 134, 137
- [Schoorman et al., 2007] Schoorman, F. D., Mayer, R. C., and Davis, J. H. (2007). An integrative model of organizational trust: Past, present, and future. *Academy of Management review*, 32(2):344–354. 16
- [Schröder et al., 2012] Schröder, M., Bevacqua, E., Cowie, R., Eyben, F., Gunes, H., Heylen, D., Maat, M. T., McKeown, G., Pammi, S., Pantic, M., et al. (2012). Building autonomous sensitive artificial listeners. *Affective Computing, IEEE Transactions on*, 3(2):165–183. 55
- [Schutz, 1958] Schutz, W. C. (1958). Firo: A three-dimensional theory of interpersonal behavior. 16
- [Shiota et al., 2004] Shiota, M. N., Campos, B., Keltner, D., and Hertenstein, M. J. (2004). Positive emotion and the regulation of interpersonal relationships. *The regulation of emotion*, pages 127–155. 26, 40
- [Sichman et al., 1998] Sichman, J. S., Demazeau, Y., Conte, R., and Castelfranchi, C. (1998). A social reasoning mechanism based on dependence networks. In *Proceedings of 11th European Conference on Artificial Intelligence*, pages 416–420. 51, 53, 54, 162
- [Snyder, 1974] Snyder, M. (1974). Self-monitoring of expressive behavior. *Journal of personality and social psychology*, 30(4):526. 19, 23
- [Spera, 2005] Spera, C. (2005). A review of the relationship among parenting practices, parenting styles, and adolescent school achievement. *Educational Psychology Review*, 17(2):125–146. 33

BIBLIOGRAPHY

- [Spilt et al., 2011] Spilt, J. L., Koomen, H. M., and Thijs, J. T. (2011). Teacher well-being: The importance of teacher–student relationships. *Educational Psychology Review*, 23(4):457–477. 30
- [Stankov, 2007] Stankov, L. (2007). The structure among measures of personality, social attitudes, values, and social norms. *Journal of Individual Differences*, 28(4):240. 22
- [Sun, 2006] Sun, R. (2006). The clarion cognitive architecture: Extending cognitive modeling to social simulation. *Cognition and multi-agent interaction*, pages 79–99. 7
- [Sutcliffe et al., 2012] Sutcliffe, A., Dunbar, R., Binder, J., and Arrow, H. (2012). Relationships and the social brain: integrating psychological and evolutionary perspectives. *British journal of psychology*, 103(2):149–168. 3
- [Svennevig, 2000] Svennevig, J. (2000). *Getting acquainted in conversation: a study of initial interactions*, volume 64. John Benjamins Publishing. 40
- [Swartout et al., 2010] Swartout, W., Traum, D., Artstein, R., Noren, D., Debevec, P., Bronnenkant, K., Williams, J., Leuski, A., Narayanan, S., Piepol, D., et al. (2010). Ada and grace: Toward realistic and engaging virtual museum guides. In *Intelligent Virtual Agents*, pages 286–300. Springer. 1
- [Takashima et al., 2008] Takashima, K., Omori, Y., Yoshimoto, Y., Itoh, Y., Kitamura, Y., and Kishino, F. (2008). Effects of avatar’s blinking animation on person impressions. In *Proceedings of Graphics Interface 2008*, pages 169–176. Canadian Information Processing Society. 58
- [Talbot et al., 2012] Talbot, T. B., Sagae, K., John, B., Rizzo, A. A., and Playa Vista, C. (2012). Designing useful virtual standardized patient encounters. In *Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference Proceedings*. 2
- [Ter Maat et al., 2010] Ter Maat, M., Truong, K. P., and Heylen, D. (2010). How turn-taking strategies influence users’ impressions of an agent. In *Intelligent Virtual Agents*, pages 441–453. Springer. 54
- [Thibaut and Kelley, 1959] Thibaut, J. W. and Kelley, H. H. (1959). The social psychology of groups. 16
- [Thijs et al., 2011] Thijs, J., Koomen, H., Roorda, D., and ten Hagen, J. (2011). Explaining teacher–student interactions in early childhood: An interpersonal theoretical approach. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 32(1):34–43. 28, 32



- [Thijs and Koomen, 2008] Thijs, J. T. and Koomen, H. M. (2008). Task-related interactions between kindergarten children and their teachers: the role of emotional security. *Infant and Child Development*, 17(2):181–197. 30
- [Tracey, 2005] Tracey, T. J. (2005). Interpersonal rigidity and complementarity. *Journal of Research in Personality*, 39(6):592–614. 9, 17, 28, 32, 70
- [Trapnell and Broughton, 2006] Trapnell, P. D. and Broughton, R. H. (2006). The interpersonal questionnaire (ipq): Duodecant markers of wiggins’ interpersonal circumplex. Unpublished data, The University of Winnipeg. 120
- [Trapnell and Wiggins, 1990] Trapnell, P. D. and Wiggins, J. S. (1990). Extension of the interpersonal adjective scales to include the big five dimensions of personality. *Journal of Personality and Social Psychology*, 59(4):781. 22
- [Trucco et al., 2013] Trucco, E. M., Wright, A. G., and Colder, C. R. (2013). A revised interpersonal circumplex inventory of children’s social goals. *Assessment*, 20(1):98–113. 29
- [Tschannen-Moran and Hoy, 2001] Tschannen-Moran, M. and Hoy, A. W. (2001). Teacher efficacy: Capturing an elusive construct. *Teaching and teacher education*, 17(7):783–805. 120
- [Turkle, 2010] Turkle, S. (2010). *Close Engagements with Artificial Companions: Key social, psychological, ethical and design issues*, chapter In Good Company: On the treshhold of robotic companions, pages 1–10. John Benjamins. 1
- [Tusing and Dillard, 2000] Tusing, K. J. and Dillard, J. P. (2000). The sounds of dominance. *Human Communication Research*, 26(1):148–171. 20
- [Vinciarelli et al., 2009] Vinciarelli, A., Pantic, M., and Bourlard, H. (2009). Social signal processing: Survey of an emerging domain. *Image and Vision Computing*, 27(12):1743–1759. 19
- [Walker et al., 1997] Walker, M. A., Cahn, J. E., and Whittaker, S. J. (1997). Improvising linguistic style: Social and affective bases for agent personality. In *Proceedings of the first international conference on Autonomous agents*, pages 96–105. ACM. 45, 54, 59
- [Wei et al., 2009] Wei, M., Den Brok, P., and Zhou, Y. (2009). Teacher interpersonal behaviour and student achievement in english as a foreign language classrooms in china. *Learning Environments Research*, 12(3):157–174. 30

BIBLIOGRAPHY

- [Wentzel, 1998] Wentzel, K. R. (1998). Social relationships and motivation in middle school: The role of parents, teachers, and peers. *Journal of educational psychology*, 90(2):202. 30
- [Wiggins et al., 1988] Wiggins, J. S., Trapnell, P., and Phillips, N. (1988). Psychometric and geometric characteristics of the revised interpersonal adjective scales (ias-r). *Multivariate Behavioral Research*, 23(4):517–530. 17
- [Wiggins and Trapnell, 1996] Wiggins, J. S. and Trapnell, P. D. (1996). A dyadic-interactional perspective on the five-factor model. In Wiggins, J. S., editor, *The five-factor model of personality: Theoretical perspectives*, pages 88–162. Guilford Press, New York, NY, USA. 120
- [Willitts et al., 2004] Willitts, M., Benzeval, M., and Stansfeld, S. (2004). Partnership history and mental health over time. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 58(1):53–58. 3
- [Wong and McGee, 2012] Wong, J. W.-E. and McGee, K. (2012). Frown more, talk more: effects of facial expressions in establishing conversational rapport with virtual agents. In *International Conference on Intelligent Virtual Agents*, pages 419–425. Springer. 134
- [Wubbels and Brekelmans, 2005] Wubbels, T. and Brekelmans, M. (2005). Two decades of research on teacher–student relationships in class. *International Journal of Educational Research*, 43(1):6–24. 31
- [Wubbels et al., 2012] Wubbels, T., Opdenakker, M.-C., and Den Brok, P. (2012). Let’s make things better. In *Interpersonal relationships in education*, pages 225–249. Springer. 30, 98, 121
- [Yabar and Hess, 2007] Yabar, Y. and Hess, U. (2007). Display of empathy and perception of out-group members. *New Zealand Journal of Psychology*, 36(1):42. 20
- [Zajonc, 1960] Zajonc, R. B. (1960). The concepts of balance, congruity, and dissonance. *Public Opinion Quarterly*, 24(2):280–296. 25, 162
- [Zhao et al., 2014] Zhao, R., Papangelis, A., and Cassell, J. (2014). Towards a dyadic computational model of rapport management for human-virtual agent interaction. In *International Conference on Intelligent Virtual Agents*, pages 514–527. Springer. 165

Modélisation de la prise de décision d'un agent conversationnel animé en fonction de son attitude sociale

Florian Pecune

RESUME : Afin d'être considérés comme des partenaires crédibles lors d'une interaction, les agents virtuels doivent transmettre une attitude sociale adéquate. Cette attitude sociale exprimée par l'agent doit refléter la situation dans laquelle il se trouve. L'agent doit donc prendre en compte son rôle et sa relation sociale vis à vis de son interlocuteur lorsqu'il choisit comment réagir au cours de l'interaction. Afin de construire un tel agent capable de raisonner en fonction de son rôle et de sa relation, et capable d'adapter son attitude sociale, nous avons construit un modèle de prise de décision sociale. Dans un premier temps, nous formalisons la dynamique de la relation sociale à travers une combinaison de buts et de croyances. Puis, nous définissons un modèle de prise de décision basé sur les buts sociaux et situationnels de l'agent. Pour finir, nous avons réalisé une étude perceptive dans un contexte d'interaction tuteur/enfant virtuels au cours de laquelle les participants évaluaient l'attitude sociale du tuteur envers l'enfant. La relation sociale et le rôle social du tuteur étaient manipulés par notre modèle. Les résultats montrent qu'à la fois le rôle et la relation du tuteur ont une influence sur son attitude sociale perçue.

MOTS-CLEFS : Agents conversationnels animés - Attitudes sociales - Relations Sociales - Prise de décision

ABSTRACT : To be perceived as believable partners in human-machine interactions, virtual agents have to express adequate social attitudes. The social attitude expressed by an agent should reflect the social situation of the interaction. The agent ought to take into account its role and its social relation toward its interactants when deciding how to react in the interaction. To build such an agent able to reason about its role and relation and to adapt its social attitude, we built a model of social decision making. First, we formalized the dynamics of the social relation through a combination of goals and beliefs. Then, we designed a decision making model based on the social goals and the situational goals of the agent. Finally, we conducted an empirical study in the context of virtual tutor-child interaction where participants evaluated the tutor's perceived social attitude towards the child while the tutor's social role and relation were manipulated by our model. Results showed that both role and social relation have an influence on the agent's perceived social attitude.

KEY-WORDS : Embodied conversational agents - Social attitudes - Social relations - Decision making

