

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Agents virtuels interactifs et expressifs	1
1.2	Patients virtuels	2
1.3	Maladie d'Alzheimer et formation du personnel soignant	3
1.4	Limites des outils de formation	3
1.5	Le projet ANR VirtuAlz	4
1.6	Problématique	5
1.7	Contributions	5
1.7.1	Méthodologie de conception des interactions	6
1.7.2	Corpus de données annotées	6
1.7.3	Modèle COPALZ	6
1.7.4	Conférences et journaux avec comité de lecture	6
1.7.5	Communications orales et posters	7
1.8	Plan du manuscrit	7
2	État de l'art	9
2.1	Patients virtuels	9
2.1.1	Agents virtuels	9
2.1.2	Application au domaine de la santé	10
2.1.2.1	Taye Banks : Patiente à risque suicidaire (O'Brien et al., 2019)	11
2.1.2.2	Mr Wilson : Patient VIH (Rouleau et al., 2020)	12
2.1.2.3	Projet SIVIPSY : Patient à risque suicidaire (Roux et al., 2021)	14
2.1.2.4	Sick Call Project (Kenny et al., 2010)	15
2.1.2.5	Projet PHENOVIRT (Dupuy et al., 2021)	16
2.1.2.6	Projet ACORFORMed (Ochs et al., 2017, 2018)	18
2.1.2.7	JIM : Patient virtuel Alzheimer (Robinson et al., 2020)	19
2.1.2.8	Synthèse de l'état de l'art sur les patients virtuels	19
2.2	Théories et modèles des émotions	23
2.2.1	Les émotions en psychologie	23
2.2.1.1	Définitions	23
2.2.1.2	Émotions et expressions faciales	23
2.2.1.3	Émotions et humeur	24
2.2.2	Approches et modèles des émotions en psychologie	24
2.2.2.1	Approche catégorielle	24
2.2.2.2	Approche dimensionnelle	25

2.2.2.3	Approche cognitive	25
2.2.3	Modèles informatiques des émotions	26
2.2.3.1	Représentation et interprétation de l'environnement de l'agent (<i>Agent-Environment Relationship et Appraisal Derivation Model</i>)	29
2.2.3.2	Choix du cadre théorique (<i>Appraisal variables</i>)	30
2.2.3.3	Représentation de l'état émotionnel de l'agent (<i>Affect Derivation/Intensity Model et Emotion/Affect</i>)	31
2.2.3.4	Conséquences de l'évaluation (<i>Affect Consequent Model</i>)	32
2.2.4	Modélisation pathologique des émotions	33
2.2.5	Limites de l'état de l'art	36
3	Conception des interactions entre une patiente virtuelle Alzheimer contrôlée et des personnels soignants	39
3.1	Observations et analyse des besoins	39
3.2	Spécification du prototype	40
3.2.1	Description générale	41
3.2.2	Scénario : La prise de médicaments	42
3.2.3	Module Utilisateur	43
3.2.4	Module Wizard	47
3.2.4.1	Interface graphique	47
3.2.4.2	Description des actions	48
3.2.5	Module Animation	51
3.2.5.1	Dynamique des expressions faciales	51
3.2.5.2	Description des commandes d'animation	51
3.2.6	Communication et log	52
3.3	Expérimentation de Magicien d'Oz	53
3.3.1	Protocole	53
3.3.2	Participants et sessions expérimentales	54
3.3.3	Évaluation du système	55
3.4	Résultats : Données d'interaction collectées	56
3.4.1	Visualisation	57
3.4.2	Annotations	57
3.4.3	Analyse	60
3.4.4	Conclusion	61
4	COPALZ : Modèle automatique pour la patiente virtuelle	63
4.1	Spécification et formalisation	63
4.1.1	Description générale	63
4.1.2	Définitions et concepts	66

4.1.2.1	Bloc d'interaction	66
4.1.2.2	Appraisal frame	67
4.1.2.3	Appraisal probability frame	67
4.1.3	Exemple fil rouge	68
4.1.4	Agent-Environment Relationship / Appraisal Derivation Model	72
4.1.4.1	Événements	72
4.1.4.2	Humeur	79
4.1.4.3	Pathologie	80
4.1.5	Appraisal Derivation Model / Appraisal Variables	84
4.1.5.1	Définition du filtre d'évaluation : Appraisal Bias Frame	84
4.1.5.2	Application du filtre d'évaluation	87
4.1.5.3	Prise en compte du comportement non-verbal de l'utilisateur	88
4.1.5.4	Utilisation du P-Corpus	90
4.1.6	Affect Intensity - Affect Derivation Model / Emotion-Affect	90
4.1.7	Affect Consequent Model	91
4.1.7.1	Expression des comportements non-verbaux de la patiente virtuelle	92
4.1.7.2	Mise à jour de l'humeur	94
4.2	Évaluation du modèle	95
4.2.1	Matériel	95
4.2.2	Méthode	99
4.2.3	Résultats	101
4.2.3.1	Initialisation des paramètres du modèle	101
4.2.3.2	Comparaison des comportements	108
5	Discussion et perspectives	111
5.1	Méthode : Magicien d'Oz	111
5.2	Conception des interactions	112
5.3	Comportements de la patiente virtuelle	113
5.4	Modèle automatique	114
5.5	Evaluation du modèle automatique	115
	Annexes	119

Table des figures

1.1	Illustration du plan du manuscrit	8
2.1	Taye Banks : Patiente à risque suicidaire (O'Brien et al., 2019) . .	13
2.2	Mr Wilson : Patient VIH (Rouleau et al., 2020)	14
2.3	Projet SIVIPSY : Patient à risque suicidaire (Roux et al., 2021) . .	15
2.4	Sick Call Project (Kenny et al., 2010)	16
2.5	Projet PHENOVIRT (Dupuy et al., 2021)	18
2.6	Projet ACORFORMed (Ochs et al., 2017, 2018)	19
2.7	JIM : Patient virtuel Alzheimer (Robinson et al., 2020)	20
2.8	Représentation des émotions "joie" et "colère" dans un espace PAD	26
2.9	Liens entre les catégories d'appraisal du modèle CPM et les res- sources nécessaires pour l'évaluation	27
2.10	Architecture modulaire des modèles informatiques cognitifs	28
3.1	Démarche suivie pour la conception de la patiente virtuelle Alzheimer.	40
3.2	Architecture de la plateforme Magicien d'Oz simulant les réactions d'une patiente virtuelle Alzheimer.	41
3.3	Interface graphique présentée à l'utilisateur au début de la phase "Geste technique 1" du scénario. Les actions et dialogues en couleur sont ceux qui ont été sélectionnés par l'utilisateur.	44
3.4	Fiche patient contenant les informations sur la patiente, le contexte et les objectifs de l'interaction pour l'utilisateur.	45
3.5	Déroulement d'un extrait d'interaction avec la patiente virtuelle Alzheimer	46
3.6	Évolution de l'interface graphique présentée au wizard	49
3.7	Illustration du modèle onset-apex-offset (ou attack-sustain-release)	52
3.8	Illustration de la configuration durant les expérimentations.	53
3.9	Visualisation et annotation avec le logiciel Anvil	58
4.1	Architecture du modèle COPALZ	65
4.2	Découpage temporel de l'interaction et détail d'un bloc d'interaction	66
4.3	Exemple d' <i>appraisal probability frame</i>	69
4.4	Illustration du déroulement de l'exemple fil rouge	71
4.5	Visualisation de l' <i>appraisal probability frames</i> apf_{NP} pour le choix "Je redonne à la patiente ses médicaments".	75
4.6	Proposition de liens entre les dimensions du modèle CPM et les unités d'action déclenchées lors de l'évaluation de ces dimensions, et entre les unités d'action observées sur un individu, et les évaluations inférées	78

4.7	Visualisation de l' <i>appraisal probability frame</i> $apf_{comportement\ user}$ qui représente la tendance d'évaluation par la patiente d'un sourire exprimé par l'utilisateur	78
4.8	Visualisation de l' <i>appraisal probability frame</i> apf_{humeur} représentant les tendances d'évaluation calculées pour l'humeur PAD (0.2, -1, -1) qui correspond au mélange des humeurs <i>Bored</i> et <i>Docile</i>	81
4.9	Visualisation de la dimension "Rapport aux buts" de l' <i>appraisal probability frame</i> $apf_{pathologie}$ représentant la tendance d'évaluation engendrée par l'apathie	83
4.10	Visualisation de la dimension "Rapport aux buts" de l' <i>appraisal probability frame</i> $apf_{pathologie}$ représentant la tendance d'évaluation engendrée par la combinaison de l'apathie (intensité=0.6) et de la frustration chronique (0.6).	83
4.11	Visualisation de la dimension "Rapport aux buts" de l' <i>appraisal probability frame</i> $apf_{pathologie}$ représentant la tendance d'évaluation engendrée par la combinaison d'agressivité (intensité=0.2) et de dépression (0.3).	84
4.12	Visualisation de l' <i>appraisal probability frame</i> $apf_{pathologie}$ représentant la tendance d'évaluation sur les cinq dimensions sélectionnées dans le CPM et engendrée par la combinaison d'apathie (intensité=0.6), de frustration chronique (0.6), d'agressivité (0.2) de dépression (0.3) et d'irritabilité (0.2).	84
4.13	Visualisation de l' <i>appraisal probability frame</i> apf_{humeur} , de l' <i>appraisal probability frame</i> $apf_{pathologie}$ et de l' <i>appraisal bias frame</i> résultante pour différentes valeurs de h et p	86
4.14	Visualisation de l' <i>appraisal probability frames</i> apf_{NP} pour le choix "Je redonne à la patiente ses médicaments" et de l' <i>appraisal bias frame</i> abf . Visualisation de l' <i>appraisal probability frame</i> apf_{hpNP} résultante.	88
4.15	Visualisation de l' <i>appraisal probability frames</i> apf_{hpNP} et de l' <i>appraisal probability frame</i> $apf_{comportement\ user}$. Visualisation de l' <i>appraisal probability frame</i> $apf_{biasedNP}$ résultante.	89
4.16	Description de la méthode utilisée pour le formatage des données d'interactions temporelles en blocs d'interaction.	98
4.17	<i>heatmap</i> qui représente les distances calculées pour les combinaisons de $h \in [0.1; 1]$ et $\delta \in [0.01; 0.3]$ à partir des quatre extraits d'interaction.	104
4.18	<i>heatmap</i> qui représente les distances calculées pour les combinaisons de $h \in [0.1; 1]$ et $\delta \in [0.01; 0.3]$ pour le premier utilisateur (a), le deuxième utilisateur (b), le troisième utilisateur (c) et le quatrième utilisateur (d).	107

Liste des tableaux

2.1	Synthèse des modalités proposées par les systèmes de patients virtuels décrits dans la section 2.1.2.	22
2.2	Description des éléments utilisés pour chaque composante de l'architecture de (Marsella et al., 2010) pour les différents modèles informatiques des émotions décrits dans la section 2.2.3.	33
2.3	Liens entre certaines dimensions d'appraisal du modèle CPM et des syndromes cliniques (adapté de (Scherer and Brosch, 2009)). . . .	35
3.1	Liste des choix d'action et de dialogue affichés sur l'interface graphique de l'utilisateur pour chaque phase du scénario.	47
3.2	Comportements non-verbaux de l'utilisateur détectés avec les logiciels OpenFace et OpenPose après les expérimentations.	48
3.3	Comportements non-verbaux possibles de la patiente virtuelle . . .	50
3.4	Liste de phrases prédéfinies disponibles sur l'interface graphique du wizard classées en quatre catégories.	51
3.5	Synthèse des résultats aux questionnaires.	57
4.1	NP-CORPUS : Corpus d'annotations d'évaluation par des personnes ne présentant aucune pathologie émotionnelle.	74
4.2	Liens entre les comportements non-verbaux exprimés par le soignant et les évaluations que pourrait en faire la patiente, en relation avec notre contexte pédagogique.	79
4.3	Liens entre les troubles émotionnels, les dimensions du modèle CPM concernées selon l'Appraisal Bias Model (Scherer and Brosch, 2009), et les tendances d'évaluation correspondantes pour le modèle COPALZ engendrées par les appraisal biases.	81
4.4	Correspondance entre les valeurs des critères d'appraisal du modèle CPM et les expressions faciales associées	92
4.5	Accords interjuges obtenus pour la comparaison deux à deux des observations, des simulations de notre modèle et des simulations du classifieur naïf (random).	109

Résumé

Les patients atteints d'Alzheimer présentent une grande variété de troubles des émotions et des comportements (apathie, agressivité, dépression ...) qui évoluent avec la maladie. Face à ce type de patients, les membres du personnel soignant et médical doivent être formés à gérer leur propre comportement non-verbal et interpréter celui du patient afin d'améliorer la qualité des interactions et éviter les situations difficiles. Parmi les outils de formation traditionnels les plus utilisés, les patients standardisés (acteurs humains jouant le rôle du patient) sont chers et peu disponibles, et les nouveaux supports de formation numérique (cours en ligne, vidéos ...) manquent d'interactivité. Les patients virtuels, qui sont des personnages animés interactifs simulant les comportements d'un patient, sont de plus en plus utilisés pour former les soignants à interagir avec des patients. Ils permettent un contrôle fin et dynamique de comportements réalistes à afficher sur ces personnages virtuels, tout en assurant la cohérence avec les objectifs pédagogiques de la formation. Nous présentons dans ces travaux de thèses la méthode employée afin de concevoir un tel patient virtuel interactif et expressif pour simuler une patiente virtuelle atteinte d'Alzheimer. Ces travaux sont inscrits dans le domaine de l'informatique affective, qui représente un contexte multidisciplinaire à la frontière entre informatique et psychologie cognitive. Une expérimentation de Magicien d'Oz nous a permis de récolter un corpus de données d'interaction entre 31 membres du personnel médical et soignant, et une version contrôlée de notre patiente virtuelle. Ces données ont été analysées et intégrées à la conception d'un modèle automatique visant à contrôler automatiquement les réactions de la patiente virtuelle. Nous introduisons ainsi notre modèle COPALZ (COmputational model of Pathological appraisal biases for a virtual Alzheimer's patient), qui se base sur le modèle *Appraisal Bias Model* issu de la psychologie cognitive. Notre modèle COPALZ permet de générer des évaluations pathologiques de notre patiente virtuelle afin de reproduire les troubles des émotions et des comportements associés à la maladie d'Alzheimer. Les résultats de l'évaluation suggèrent que notre modèle permet de générer des situations pédagogiquement intéressantes en adaptant le niveau d'avancement de la maladie et l'instabilité de l'humeur de la patiente virtuelle.

Remerciements

Je pense profondément qu'une personne est la somme d'une petite partie de chaque personne qu'elle a croisé sur son chemin et qui l'ont fait évoluer pour former un être unique. C'est pourquoi je voudrais remercier toutes les personnes, de bonne ou mauvaise intention, qui ont un jour croisé mon chemin et qui m'ont permis d'être là où j'en suis aujourd'hui.

Je voudrais tout d'abord remercier l'ensemble du jury qui a participé à l'évaluation de ma thèse. Je remercie également Paul Roux, qui a participé en tant qu'invité aux côtés du jury lors de la soutenance. Je voudrais particulièrement remercier mes encadrant.es, Jean-Claude, Brian et Elise, qui m'ont accompagné et soutenu pendant cette aventure, et qui m'ont poussé à faire confiance à mon travail et mes idées. Vous avez réussi à sortir toute la force qui est en moi pour accomplir énormément de choses, qui vont bien au-delà de cette thèse. Je suis très heureux et honoré d'avoir pu partager autant avec vous, en travail et en rires.

À tout.es mes collègues du LIMSI (David, Morghane, Sylvain, Delphine, Léo, Hugo, Florian, Jennifer, Valentin, Séverine, Emilie, Nicolas, Alya, Antoine, Benoit, David T, Jeremy, Rachel, Renaud, Suzanne, Lilou, Jaad ...) qui ont su maintenir mon sourire et ma bonne humeur, vous m'avez tellement appris et apporté, parfois sans même le savoir, pour me redonner du courage dans les moments difficiles ou pour me faire mieux apprécier les bons moments passés avec vous.

J'aimerais aussi et surtout remercier Marie, qui a été à mes côtés du début à la fin de cette aventure, et avec qui j'ai partagé rires, pleurs et amour. Merci de m'avoir supporté dans les moments difficiles et d'avoir trouvé les bons mots dans les périodes de doute, et merci d'avoir cru en moi et de m'avoir encouragé à toujours aller plus loin. Merci à tous mes amis frères (Nadir, Djamil, Lotfi, Walid, Elhadi, Raouf, Anir, Mounir, Mickael ...) qui ont toujours été là pour moi et qui m'ont toujours suivi dans mes folies. Merci aussi à mes frères et soeurs de sang, Aziz, Acil, Lina et Dehlia, avec qui je partage cette folie qui nous anime et qui nous unit.

Enfin, je souhaite dédier cette thèse aux femmes de ma vie : à Badé, ma grand-mère, à Linda, ma mère et à Lilia ma tante. Vous avez fait de moi la personne que je suis aujourd'hui, grâce à votre force, votre bonté et votre amour. Je ne vous remercierai jamais assez et j'espère un jour être à la hauteur de votre majesté. J'emprunte ces mots à Fouroulou pour te rendre hommage à toi Badé, et en hommage aux valeurs que vous m'avez toutes les trois transmises :

"Veille sur les derniers jours des vieux, élève tes enfants, prépare leur avenir et ne fais pour eux des rêves qui dépassent les possibilités d'un

Menrad. Fais un peu de bien autour de toi si tu peux et sache que c'est la seule chose qu'on ne se reproche jamais.

En attendant la mort, cultive ton jardin afin de mieux cultiver celui de tes enfants et des autres enfants qui sont aussi les tiens. Tu n'es pas maître d'école pour rien."

- Mouloud Feraoun (1948)

1 - Introduction

L'objectif de cette thèse est de proposer un modèle informatique de troubles émotionnels et expressifs pour pouvoir contrôler automatiquement et dynamiquement un agent virtuel interactif et expressif simulant un patient atteint de la maladie d'Alzheimer. Ce patient virtuel a pour but d'entraîner le personnel soignant à interagir de manière appropriée avec des patients atteints d'Alzheimer. Dans ce chapitre, nous commençons par définir le terme d'agent virtuel interactif et expressif, puis nous décrivons les principales méthodes utilisées pour générer les comportements d'un patient sur un tel agent. Nous introduisons par la suite les problématiques liées à notre contexte ainsi que la motivation de notre approche. Nous terminons le chapitre en décrivant les contributions principales de nos travaux et l'organisation du manuscrit.

1.1 . Agents virtuels interactifs et expressifs

Les interfaces permettant aux humains d'interagir avec les machines ne cessent d'évoluer en proposant des modalités d'interaction de plus en plus riches. Les interfaces destinées aux utilisateurs basées sur des lignes de commandes complexes ont ainsi cédé leur place à des interfaces plus intuitives, en proposant par exemple d'interagir avec une souris, une interface tactile ou plus récemment avec des agents virtuels, capables de comprendre et reproduire des comportements humains. Le but de ces agents est de rendre les interactions avec les machines plus naturelles pour l'humain en proposant des interactions qui intègrent une dimension sociale.

Dans (Lugrin, 2021), les auteurs utilisent le terme d'agent social interactif (*socially interactive agents*) pour désigner tout agent virtuel ou physique capable de communiquer de manière autonome avec des humains, et capables de communiquer de manière socialement intelligente en utilisant des comportements multimodaux (parole, gestes, expressions faciales ...). Les auteurs établissent une terminologie autour de ce concept en se basant sur la littérature issue du domaine de l'interaction humain-machine. Ils classent ainsi les différents types d'agents, selon leur apparence, leur fonction et les modalités leur permettant d'interagir avec leur environnement. Dans cette thèse, nous nous intéresserons plus particulièrement aux agents virtuels interactifs et expressifs qui interagissent avec un utilisateur humain.

Ces agents évoluent dans un environnement **virtuel** dans un contexte de simulation. Ils proposent une interface **interactive** permettant à l'utilisateur d'interagir avec leur environnement à travers une ou plusieurs modalités. Ils sont dits **expressifs**, car ils sont capables d'exprimer des comportements similaires à ceux des humains, tels que des expressions faciales, posturales, verbales ou gestuelles.

1.2 . Patients virtuels

Les agents virtuels sont de plus en plus présents dans le domaine de la santé. Ils sont notamment utilisés pour simuler des situations pédagogiques permettant la formation du personnel médical (ou étudiants dans le domaine de la santé) aux interactions avec des patients. On parle alors de patient virtuel. Ces formations nécessitent des scénarios riches, interactifs, personnalisés et qui offrent la possibilité de faire varier leur difficulté. Certains systèmes fonctionnent à l'aide de scripts, permettant de déclencher des comportements prédéfinis selon des modalités précises et souvent réduites. Ils permettent de simuler des comportements de manière contrôlée, mais présentent comme inconvénient principal de manquer de flexibilité. D'autres systèmes utilisent la technique dite du Magicien d'Oz (Fraser and Gilbert, 1991), où un expérimentateur humain contrôle les comportements du patient virtuel, et peut sélectionner en temps réel les réactions appropriées pour guider l'interaction en fonction des choix et du comportement de l'utilisateur. C'est une technique fréquemment utilisée en IHM afin de simuler et d'étudier des interactions alors même que l'on ne dispose pas d'un système complètement autonome. Dans la suite du manuscrit, nous utilisons la formulation de patient virtuel contrôlé pour faire référence à l'utilisation de cette technique. La technique du Magicien d'Oz fait donc intervenir un expérimentateur humain et permet donc au système une meilleure adaptation et flexibilité au contexte, mais rend le système dépendant de la performance de cet expérimentateur et de son point de vue sur la pertinence des comportements déclenchés.

On retrouve enfin des systèmes basés sur des modèles automatiques inspirés de théories issues de la psychologie cognitive (Marsella et al., 2010). Ces modèles automatiques ont pour but de reproduire les mécanismes internes responsables de la génération de comportements chez l'humain, en intégrant des concepts tels que les émotions, l'humeur ou l'empathie. Ils décrivent à travers des systèmes de règles comment les différents concepts et composantes interagissent entre eux. Ce type de modèle permet une grande flexibilité et l'intégration de nombreuses modalités d'interaction. Certains modèles sont enrichis à l'aide de techniques de machine learning, qui montrent des résultats prometteurs. Ces modèles nécessitent cependant de grandes quantités de données d'entraînement, provenant de données d'interactions réelles, parfois difficiles à récolter dans le domaine de la santé. C'est particulièrement le cas pour la récolte de données d'interaction entre des soignants et des patients atteints de la maladie d'Alzheimer, en raison, entre autres, de l'évolution des troubles associés à cette maladie et de leur grande variabilité inter et intra-individuelle (Cummings, 2000). Il est également à noter que pour des raisons d'éthique et de confidentialité, il peut être difficile de récolter des vidéos d'interactions entre soignants et patients.

1.3 . Maladie d'Alzheimer et formation du personnel soignant

Les patients atteints de la maladie d'Alzheimer montrent des réactions émotionnelles et des comportements non-verbaux associés à des troubles du comportement spécifiques que le personnel soignant doit savoir gérer (apathie, irritabilité, agressivité, anxiété, comportements émotionnels inappropriés) (McKenzie et al., 2011). Ces troubles deviennent plus marqués et plus récurrents avec l'évolution de la maladie, et peuvent rendre les soins et les interactions avec les soignants plus délicats (Cummings et al., 1994). Parmi ces troubles, les comportements agressifs et violents sont souvent les plus problématiques et difficiles à gérer pour les soignants, et peuvent correspondre à des menaces, des cris, des insultes ou même des agressions physiques (Patel and Hope, 1993; Cipriani et al., 2013). Ces troubles du comportement associés à la maladie sont une des sources principales de stress au sein même des soignants professionnels. Ils seraient les plus difficiles à gérer (Ballard et al., 2000), avec environ un patient sur deux présentant des comportements difficiles (Everitt et al., 1991). Une étude sur les burnouts des soignants en gériatrie souligne le rôle protecteur de la formation sur la maladie et ses spécificités contre les burnouts (Zawieja and Benattar, 2019). Il est aussi recommandé face à ce genre de patients de prendre conscience de l'importance de la communication non-verbale et de développer des compétences permettant de l'utiliser de manière appropriée afin de mieux communiquer, rassurer et gérer les patients difficiles (Magai et al., 2002; Wilson et al., 2012). En effet, les patients atteints d'Alzheimer ont également des troubles du langage et des difficultés à comprendre ou à s'exprimer verbalement. Toutefois, la capacité à interpréter et produire du langage non-verbal reste fonctionnelle chez ces patients, ce qui fait qu'ils se reposent essentiellement sur leur langage non-verbal, et parfois compensent leur incapacité verbale par une utilisation accrue du langage non-verbal (Di Pastena, 2014). La formation du personnel médical aux spécificités de ces patients se révèle cruciale, et il existe donc un besoin d'outils de formation adaptés à ce contexte.

1.4 . Limites des outils de formation

Dans le domaine de la formation des personnels de santé, la Haute Autorité recommande de ne pas s'entraîner sur un vrai patient la première fois (Granry and Moll, 2012), et met en avant l'utilisation de la simulation en santé¹. Le personnel médical s'entraîne alors traditionnellement avec des acteurs humains qui jouent le rôle de patients dits standardisés (Webster and Dibartolo, 2014). Ceci est coûteux et limite donc les occasions d'apprendre à interagir avec des patients. De nombreuses avancées ont été permises grâce à l'utilisation des nouvelles technologies au cœur des activités pédagogiques. Des supports de formation basés sur des outils multimédias (vidéos, cours en ligne) ont ainsi été développés, mais en ce qui concerne les formations visant à apprendre à communiquer avec des patients et à savoir interpréter leurs comportements non-verbaux, ces outils n'offrent que peu voire aucune interactivité. C'est d'autant plus dommage que ces entraînements

visent justement à apprendre à communiquer avec des patients et à savoir interpréter leurs comportements non-verbaux durant les interactions, par exemple pour des raisons de diagnostic ou de traitement.

Une solution apportée par les nouvelles technologies est l'utilisation d'un agent virtuel interactif, exprimant les symptômes de la maladie, afin de permettre aux personnels soignants ou aux futurs médecins de s'entraîner dans des conditions proches de la vie réelle. Cette solution, moins chère et plus accessible à un plus grand public, permet de cibler des situations pédagogiquement pertinentes tout en confrontant les utilisateurs à des comportements verbaux et non-verbaux qui sont censés être proches de ceux des patients. L'utilisation d'un tel agent virtuel permet, entre autres, de piloter et contrôler les scénarios d'entraînement plus finement qu'en faisant intervenir des patients standardisés humains tout en réalisant la formation dans un environnement maîtrisé et sécurisé.

Les agents virtuels interactifs, de par leur capacité à simuler des interactions sociales, représentent donc un outil très pertinent pour la formation du personnel soignant à interagir avec des patients.

1.5 . Le projet ANR VirtuAlz

Ma thèse se déroule dans le cadre du projet ANR VirtuAlz². Ce projet regroupe plusieurs partenaires : le LUSAGE (Laboratoire d'analyse des USAgés en GERontechnologies) de l'APHP — hôpital Broca à Paris, qui est coordinateur du projet et expert de la maladie d'Alzheimer, l'ISIR (Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique) qui est responsable de la captation des données comportementales issues du soignant, le CIREL (Centre Interuniversitaire de Recherche en Éducation de Lille) qui est en charge de la définition des objectifs et scénarios pédagogiques, la société SimForHealth qui s'occupe de l'intégration des différents modules logiciels, conception et animation du personnage virtuel et enfin le LISN (ex LIMSI-CNRS), qui est le laboratoire d'accueil pour la présente thèse et qui a pour objectif la conception du modèle pathologique des émotions et des expressions non-verbales d'un patient virtuel.

Le but global de ce projet est de créer un patient virtuel interactif qui servira à former, entraîner et sensibiliser les soignants à l'importance de l'utilisation des comportements non-verbaux appropriés lors d'interactions avec un patient atteint d'Alzheimer. Le patient virtuel Alzheimer doit donc être doté de capacités d'expressions verbales (synthèse vocale) et non-verbales (regard, expressions faciales, gestes). Il devra également être capable de détecter, grâce à une caméra et un micro, des indices non-verbaux exprimés par l'utilisateur afin que ce dernier puisse apprendre à mieux interagir en exprimant des comportements non-verbaux adaptés aux interactions avec ces patients. Ces informations seront interprétées par

1. https://www.has-sante.fr/jcms/c_930641/fr/simulation-en-sante

2. <https://www.virtualz-anr.fr/le-projet>

le modèle informatique qui déterminera alors la réaction comportementale reproduisant des comportements non-verbaux cohérents avec ceux d'un patient atteint d'Alzheimer dans cette situation.

Mes travaux de thèse dans ce projet concernent la conception du modèle pathologique des émotions et de l'expressivité non-verbale intégré au patient virtuel ainsi que son évaluation expérimentale.

1.6 . Problématique

Concevoir un outil pédagogique pour la formation du personnel soignant se heurte à la difficulté d'avoir un environnement et un cadre d'entraînement qui soit manipulable, configurable et disponible. Les avancées dans les nouvelles technologies font des agents conversationnels des candidats intéressants pour la simulation de situations réelles. Cependant, les modèles de fonctionnement de ces agents ne décrivent pas encore comment représenter et générer des comportements caractéristiques des troubles émotionnels que l'on associe à certaines pathologies comme la maladie d'Alzheimer. Ce travail de thèse a donc pour enjeu principal de s'attaquer à ce problème en identifiant et en proposant les composants et les mécanismes d'un modèle computationnel permettant une telle simulation.

Notre objectif est donc de proposer un modèle informatique capable de générer de manière automatique sur un patient virtuel des comportements associés aux troubles émotionnels d'un patient atteint d'Alzheimer, en prenant en compte le comportement de l'utilisateur. Cet objectif soulève plusieurs questions de recherche :

- Comment choisir les comportements non-verbaux du patient pour qu'ils soient à la fois pertinents pédagogiquement et fidèles à ceux d'un patient atteint d'Alzheimer ?
- Quelle méthode proposer pour concevoir et évaluer un patient virtuel Alzheimer sachant qu'on dispose de sources de connaissances incomplètes ?
- Est-il nécessaire de modéliser la pathologie d'un patient virtuel ou est-ce qu'il suffit d'afficher ses comportements ? Si oui, à quel niveau simuler la pathologie (perception, raisonnement, émotions...) ? Est-ce que générer des comportements aléatoires suffit pour simuler des troubles cognitifs ?
- Est-il suffisant d'évaluer la pertinence des comportements produits par le patient virtuel pour évaluer la validité du modèle ?

1.7 . Contributions

Cette thèse concerne des travaux interdisciplinaires où l'on aborde plusieurs thématiques de recherche. Cela a permis d'apporter des contributions de plusieurs types dans le domaine de l'interaction humain-machine.

1.7.1 . Méthodologie de conception des interactions

Le contexte particulier des interactions entre personnel soignant et patient atteint d'Alzheimer nous a menés vers la conception d'une méthodologie pour récolter des données pertinentes à nos travaux. Cette méthodologie a fait intervenir plusieurs spécialistes en neuropsychologie, en formation et en interaction humain-machine, qui ont participé à des études sur le terrain et des séances de travail. Cela a permis d'identifier les éléments pertinents et utiles à la conception d'un système autonome permettant de former le personnel soignant à gérer des situations difficiles avec des patients atteints d'Alzheimer.

1.7.2 . Corpus de données annotées

La méthodologie de conception des interactions a mené à la mise en place d'une expérimentation de Magicien d'Oz faisant intervenir des membres du personnel soignant et une patiente virtuelle Alzheimer contrôlée par un neuropsychologue. Cela a permis de récolter des données d'interaction qui ont été d'une part annotées automatiquement par le système pendant et après les interactions, et d'autre part annotées manuellement pour aider à la conception d'un modèle automatique de génération de comportements pathologiques sur un patient virtuel.

1.7.3 . Modèle COPALZ

Nous avons proposé le modèle COPALZ (COmputational model of Pathological appraisal biases for a virtual Alzheimer's patient), qui permet de modéliser des pathologies émotionnelles afin de générer des comportements associés à ces pathologies sur un patient virtuel. Ce modèle est la première formalisation informatique de l'*Appraisal Bias Model* (Scherer and Brosch, 2009) et permet de représenter les pathologies émotionnelles comme des biais d'évaluation. Nous avons également proposé une méthode d'évaluation de ce modèle afin de vérifier la validité pédagogique de son fonctionnement.

1.7.4 . Conférences et journaux avec comité de lecture

- Chaby, L., Benamara, A., Pino, M., Prigent, E., Ravenet, B., Martin, J-C., Vanderstichel, H., Becerril-Ortega, R., Rigaud, A-S & Chetouani, M. (2022). Embodied Virtual Patients as a Simulation-Based Framework for Training Clinician-Patient Communication Skills : An Overview of Their Use in Psychiatric and Geriatric Care. *Frontiers in Virtual Reality*, 3.
- Benamara, A., Martin, J-C., Prigent, E., Vanderstichel, H., Chaby, L., Chetouani, M., Zagdoun, J., Dacunha, S. & Ravenet, B. (2022) COPALz : A Computational Model of Pathological Appraisal Biases for an Interactive Virtual Alzheimer Patient. *In Proceedings of the 21st International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, (pp. 72-81). Présentation orale le 12/05/2022. Taux d'acceptation = 26%.
- Benamara, A., Prigent, E., Martin, J-C., Zagdoun, J., Chaby, L., Che-

touani, M., Dacunha, S., Vanderstichel, H. & Ravenet, B. (2021) Conception des Interactions avec un Patient Virtuel Alzheimer pour la formation du Personnel Soignant. In *32e Conférence Francophone sur l'Interaction Humain-Machine (IHM'20-21)*(pp. 1-12). Présentation orale le 16/04/2021. Taux d'acceptation = 58%.

1.7.5 . Communications orales et posters

- Benamara, A., Ravenet, B., Prigent, E., Chaby, L. & Martin, J. C. (2020) Patient virtuel Alzheimer : vers une modélisation informatique des pathologies émotionnelles et expressives. In *Workshop sur les Affects, Compagnons Artificiels et Interactions*. Poster et présentation orale le 15/10/2021
- Benamara, A., Prigent, E., Ravenet, B. & Martin, J. C. (2021) Un Patient Virtuel Alzheimer pour la Formation du Personnel Soignant. In *Journée FEDEV 21 sur les Sciences du Mouvement*. Prix Demeny-Vaucanson 2021 (2ème place) pour la meilleure communication orale (24/06/2021). Université Paris-Saclay.
- Benamara, A., Ravenet, B., Martin, J. C., Prigent, E. (2022) Adapting The Appraisal Bias Model Of Emotions For The Design Of An Alzheimer Virtual Patient. In *2022 Annual Conference of the Society for Affective Science Annual Conference*. Poster présenté le 01/04/2022.

1.8 . Plan du manuscrit

Au fil de ce manuscrit, nous présentons la méthodologie et le travail mis en œuvre pour concevoir un modèle automatique permettant de générer des comportements associés à des troubles émotionnels sur un patient virtuel. Dans le premier chapitre, nous présentons un état de l'art sur les thématiques connexes à nos travaux, nous permettant de nous situer et de déterminer les limites des travaux existants. En deuxième chapitre, nous décrivons la méthode employée pour concevoir des interactions entre des soignants et une patiente virtuelle Alzheimer contrôlée qui nous a permis de récolter un corpus vidéo d'interactions. Dans le dernier chapitre, nous expliquons comment nous intégrons ce corpus aux connaissances issues de notre état de l'art, en présentant la formalisation de notre modèle automatique de génération des troubles émotionnels, ainsi que la méthode d'évaluation permettant de vérifier la validité du modèle.

On peut voir en **Figure 1.1** une illustration du plan global de nos travaux :

- Le chapitre 2, dédié à l'état de l'art, est découpé ainsi :
 - En section 2.1, nous introduisons les agents virtuels, et les différentes modalités et applications possibles de ces agents. Nous nous intéressons plus particulièrement aux patients virtuels, application des agents

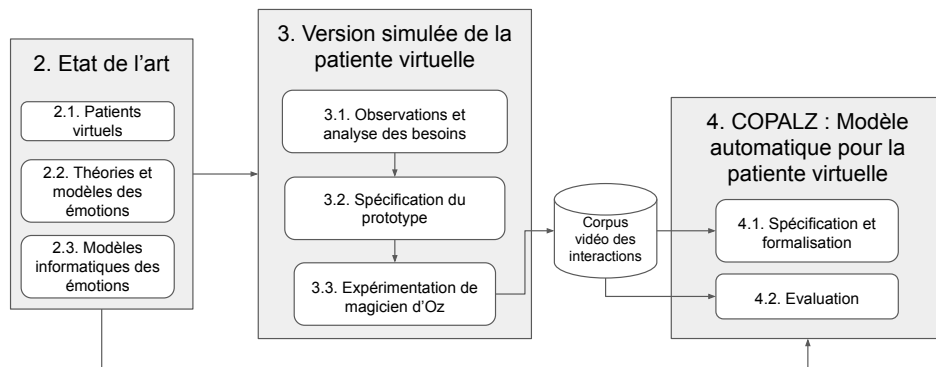


Figure 1.1 – Illustration du plan du manuscrit

virtuels dans le domaine de la santé.

- En section 2.2, nous présentons brièvement les théories de la psychologie cognitive qui ont servi de base aux modèles informatiques permettant de générer des comportements sur un agent virtuel.
- En section 2.3, nous décrivons certaines applications de ces modèles en informatiques pertinentes pour nos travaux.
- En section 2.4, nous présentons les limites des études que nous avons étudiées.
- Dans le chapitre 3, nous détaillons la conception des interactions entre des soignants et une version contrôlée de notre patiente virtuelle Alzheimer :
 - En section 3.1, nous présentons la démarche employée pour spécifier les besoins du projet à travers des observations sur le terrain.
 - En section 3.2, nous détaillons la spécification et la conception du prototype de patiente virtuelle développé pour réaliser une expérimentation de Magicien d'Oz.
 - En section 3.3, nous décrivons le protocole mis en place pour l'expérimentation de Magicien d'Oz, ainsi que les résultats obtenus.
- Dans le chapitre 4, nous introduisons COPALZ, notre modèle automatique de génération de comportements associés à des troubles émotionnels pour simuler un patient virtuel Alzheimer :
 - En section 4.1, nous décrivons l'architecture de notre modèle ainsi que les concepts associés. Nous décrivons un exemple de fonctionnement de notre modèle pour illustrer les concepts abordés.
 - En section 4.2, nous proposons une méthode d'évaluation de ce modèle basé sur le corpus que nous avons récolté et l'avis d'experts du domaine médical et du domaine de la pédagogie.

2 - État de l'art

2.1 . Patients virtuels

2.1.1 . Agents virtuels

Un agent virtuel est un logiciel interactif conçu pour accomplir une tâche (Diesbach and Midgley, 2007) dans le but d'assister, divertir ou apporter des informations à un utilisateur humain. Un agent virtuel est dit conversationnel lorsqu'il est doté de capacités de communication, qui permettent de simuler des compétences communicationnelles humaines (par exemple la gestion des tours de parole) lors d'interactions (Cassell et al., 2000).

Les agents virtuels conversationnels peuvent être présentés sous forme de système de dialogue sans incarnation visuelle, appelés communément *chatbots*, avec lesquels on peut interagir à travers des interfaces textuelles, comme l'agent CleverBot (Schroeder and Schroeder, 2018), à travers la parole, comme l'agent Alexa, ou les deux comme l'agent Siri (Alnefaie et al., 2021).

Les agents virtuels conversationnels peuvent aussi être représentés par un personnage animé (humanoïde ou pas). On parle alors d'*embodied conversational agents* en anglais (Cassell et al., 2000). Ils peuvent proposer à l'utilisateur différentes modalités d'interaction en entrée. Certains agents virtuels permettent d'interagir à travers une interface textuelle, comme l'agent virtuel ALICE (Wallace, 2009) ou des boutons sur une interface graphique comme l'Affective Virtual Agent (Jung et al., 2005). De plus en plus de systèmes proposent d'interagir par reconnaissance vocale, comme l'agent virtuel REA (Bickmore and Cassell, 2000) ou plus récemment l'agent virtuel SARA (Matsuyama et al., 2016).

La personnification d'un agent virtuel lui confère des caractéristiques humaines qui rendent possible l'expression de comportements non-verbaux, en plus des comportements verbaux, tels que des expressions faciales, des gestes et des postures : on parle alors d'agents virtuels expressifs, comme l'agent virtuel GRETA (Poggi et al., 2005; Pelachaud, 2005). Des études ont montré que plus la représentation humaine de l'agent est riche en termes d'apparence et de modalités d'expression, plus les utilisateurs vont montrer des réactions sociales envers cet agent, et lui associer des caractéristiques humaines plus abstraites telles que la personnalité ou l'empathie (Krämer and Manzeschke, 2021). Afin d'exprimer ces réactions de manière naturelle et adaptée à la situation, certains agents virtuels sont capables d'interpréter leur environnement (actions sur une interface graphique par exemple) et les comportements de l'utilisateur humain qui interagit avec lui, comme l'agent virtuel SIVA (Aneja and Hoegen, 2021).

Les agents virtuels peuvent être plus ou moins expressifs, plus ou moins interactifs, et jouer différents rôles selon l'application et les besoins. Ils ont été développés et utilisés dans de nombreux domaines d'application. On les retrouve en tant qu'as-

sistants virtuels (Matsuyama et al., 2016), partenaire de conversation (Buschmeier and Kopp, 2018), coach virtuel (Anderson et al., 2013) ou encore dans le divertissement (Fourati et al., 2016). En plus de remplir leur tâche principale, ils sont souvent utilisés pour étudier et mieux comprendre les comportements humains. Par exemple, dans le projet NARECA (Fourati et al., 2016), un agent virtuel expressif est utilisé pour la narration d'histoires pour enfants. Il est capable d'exprimer des comportements verbaux et non-verbaux et permet d'étudier l'impact de l'expressivité faciale d'un agent sur la perception et la compréhension d'une histoire par des enfants.

On retrouve également de nombreux travaux utilisant ces agents virtuels dans la formation et la santé (Callejas et al., 2014; Hoque and Picard, 2014; Rizzo et al., 2016; Reger et al., 2020). Ces technologies permettent de répondre aux problématiques de disponibilité, car elles peuvent être utilisées à différents endroits et autant de fois qu'on le souhaite. Elles ont montré des résultats positifs notamment en ce qui concerne leur utilité et leur efficacité pour l'entraînement à des compétences sociales (Hoque and Picard, 2014; Chollet et al., 2015; Robinson et al., 2020), en jouant le rôle du public, comme dans (Chollet et al., 2015), ou d'un recruteur virtuel, comme dans le système MACH (My Automated Conversation coach). Dans le système MACH, l'agent virtuel MARC est utilisé pour entraîner des utilisateurs à passer des entretiens d'embauche (Hoque and Picard, 2014). Une évaluation a permis d'observer une augmentation significative des performances chez des utilisateurs après interaction avec l'agent virtuel. Dans le projet européen TARDIS (Anderson et al., 2013), l'agent virtuel proposé est capable de détecter des signaux sociaux de l'utilisateur comme des postures ou des sourires, et d'adapter ses réactions en fonction de ces signaux. Il propose également une interface pour visualiser le cours de l'interaction après la simulation et afficher un ensemble de données permettant d'analyser la performance de l'utilisateur.

Dans le contexte de cette thèse, qui est de proposer un outil d'entraînement du personnel soignant à l'importance de l'utilisation des comportements non-verbaux appropriés lors d'interactions avec un patient atteint d'Alzheimer, ces études suggèrent bien l'intérêt pédagogique à utiliser un tel agent virtuel pour l'entraînement à des compétences sociales.

2.1.2 . Application au domaine de la santé

Dans le domaine de la santé, les agents virtuels sont utilisés pour jouer différents rôles. Ils peuvent se présenter sous la forme de coach ou thérapeutes, comme l'agent virtuel SimCoach (Rizzo et al., 2016) qui simule une interaction qui a pour but d'apporter à un utilisateur un accès anonyme à des informations de santé psychologique. Les utilisateurs (militaires et vétérans de guerre) ont ainsi la possibilité de poser des questions relatives à la santé psychologique de manière anonyme à cet agent. Un autre agent virtuel, SimSensei (Rizzo et al., 2016) permet, lors d'une interaction avec un utilisateur, de détecter des signaux comportementaux prédictifs d'une pathologie psychologique. Les utilisateurs de ces deux systèmes

ont perçu les agents comme étant réalistes et utiles et ont souligné le fait qu'ils se sentaient plus à l'aise de parler de certains sujets sensibles avec l'agent virtuel qu'avec un humain.

Les agents virtuels sont aussi utilisés pour jouer le rôle de patients virtuels. Dans la formation médicale, un patient virtuel désigne tout logiciel permettant une formation sur la base d'une étude de cas (Kononowicz et al., 2015). Les avantages de tels patients virtuels sont qu'ils permettent de répondre aux problématiques de disponibilité et de coût des patients standardisés (acteurs humains), car ils peuvent être consultés à plusieurs endroits à la fois et autant de fois qu'on le souhaite, tout en reproduisant de manière contrôlée, dans un contexte spécifique, des situations identifiées comme pertinentes pédagogiquement.

Dans (Kononowicz et al., 2019), les auteurs présentent une revue de la littérature des travaux publiés dans les dix dernières années, et où l'efficacité des patients virtuels est comparée à l'efficacité des méthodes traditionnelles (exercices scolaires et patients standardisés) pour la formation dans le domaine de la santé. Les résultats de cette revue suggèrent qu'en comparaison aux méthodes traditionnelles, les patients virtuels permettent une meilleure acquisition des connaissances, et une meilleure formation aux compétences procédurales et aux compétences de raisonnement clinique. Dans la suite de cette section, nous présentons plusieurs systèmes utilisant des patients virtuels pour la formation du personnel médical et soignant. Ces patients virtuels sont très variés en ce qui concerne les pathologies simulées, leur expressivité, leur autonomie ou les modalités de communication utilisées. Nous présentons une synthèse de ces patients virtuels dans le **Tableau 2.1**.

2.1.2.1 Taye Banks : Patiente à risque suicidaire (O'Brien et al., 2019)

Le but du système présenté dans cet article est d'entraîner des praticiens au diagnostic et à l'évaluation du risque de suicide chez un patient à l'aide d'une simulation. La simulation se base sur la technologie PeopleSim² et propose des scripts non linéaires, qui utilisent un modèle prenant en compte l'historique de la conversation, la personnalité et l'humeur du patient virtuel pour générer ses réponses. Les auteurs ont défini un certain nombre de personnalités et d'humeurs. Au début de l'interaction, il est possible de choisir l'état initial de la patiente.

La plateforme propose aux utilisateurs d'interagir avec un patient virtuel présenté sous forme de vidéos pré-enregistrées d'une actrice (**Figure 2.1**). Une introduction du contexte et des éléments sur la patiente sont présentés à l'utilisateur en début de simulation, et restent accessibles tout au long de l'interaction. L'utilisateur dispose d'une interface graphique affichée sur un écran, sur laquelle il peut naviguer à l'aide d'une souris. Il peut choisir sur cette interface une occurrence verbale à dire à la patiente parmi une liste de choix proposés. Cela déclenche la

2. <https://www.simmersion.com/peoplesim>

sélection et l'affichage d'une séquence vidéo pré-enregistrée, correspondant à la réponse de la patiente. Le modèle qui permet de sélectionner les réactions des patients virtuels sur cette plateforme est détaillé dans (Olsen, 1997). Chaque choix disponible sur l'interface de l'utilisateur est associé à une valeur qui va modifier l'humeur de la patiente selon sa personnalité. Pour cela, les auteurs ont d'abord défini un certain nombre de profils de personnalité et d'humeurs, ainsi que des réponses associées à chaque profil et pour chaque humeur disponible, pour chacun des choix possibles de l'utilisateur. Au début de l'interaction, le système permet de choisir un profil de personnalité pour la patiente, ainsi qu'une humeur initiale. Chaque choix de l'utilisateur va par la suite modifier l'humeur de la patiente virtuelle, qui peut se retrouver dans un nouvel état d'humeur. Cela permet ainsi de sélectionner la réponse associée à cette humeur pour ce profil de personnalité. Pendant la simulation, une coach virtuelle, affichée dans un coin de l'interface, donne un feedback en temps réel sur les choix de l'utilisateur, ainsi que des conseils et indications sur l'état de la patiente. La coach virtuelle est également représentée par des vidéos pré-enregistrées d'une actrice.

Les utilisateurs ayant interagi avec le patient virtuel ont donné un retour positif concernant l'acceptabilité du système, et une amélioration des connaissances en relation avec les patients suicidaires a été observée chez les utilisateurs après interaction avec la patiente virtuelle. L'utilisation de vidéos pré-enregistrées pour représenter la patiente permet de présenter aux utilisateurs une patiente réelle, avec des comportements riches et naturels. De plus, la présence de la coach virtuelle en temps réel permet de guider l'apprenant et apporte une valeur pédagogique supplémentaire. Cependant, en plus du coût et du temps demandé pour filmer toutes les réactions possibles de la patiente et de la coach virtuelle, cette méthode impose un nombre limité de séquences fixes et ne permet pas d'ajouter facilement de nouveaux éléments ou situations afin d'enrichir l'interaction.

2.1.2.2 Mr Wilson : Patient VIH (Rouleau et al., 2020)

Les auteurs de ces travaux décrivent la conception d'un patient virtuel qui a pour but d'entraîner des étudiants soignants aux entretiens motivationnels face à un patient atteint du VIH qui n'adhère pas à son nouveau traitement. Dans ce système, les étudiants disposent d'une interface graphique affichée sur un écran qu'ils manipulent à l'aide d'une souris. La simulation met en scène une interaction entre une infirmière et un patient, où l'utilisateur mène la conversation en décidant de ce que va dire l'infirmière au patient (**Figure 2.2**).

Au début de la simulation, l'utilisateur consulte le profil du patient (informations générales, pathologie, médicaments...), qu'il peut également accéder au cours de l'interaction. Une fois le profil consulté, l'utilisateur choisit parmi une liste de propositions ce que l'infirmière va dire au patient virtuel. Lorsque l'utilisateur valide son choix, l'infirmière exprime verbalement ce choix à l'aide d'une voix pré-enregistrée. La réponse verbale du patient virtuel se fait également à l'aide d'une

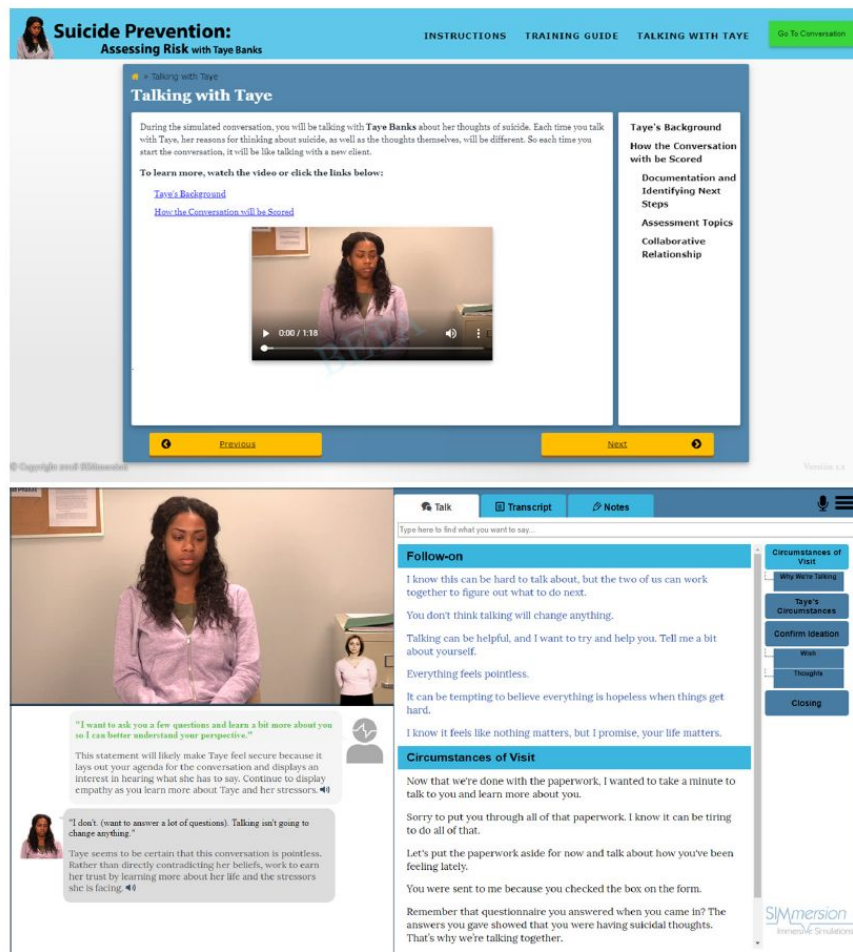


Figure 2.1 – Taye Banks : Patiente à risque suicidaire (O'Brien et al., 2019)

voix pré-enregistrée. Aucune expression d'émotion n'est associée au contenu verbal du patient virtuel, mais ce dernier affiche des mouvements de lèvres synchronisés avec le texte exprimé.

Le déroulement de la simulation se fait en suivant un script prédéfini qui regroupe l'ensemble des questions que peut poser l'utilisateur et les réponses associées du patient virtuel. Dans ce script, les auteurs ont défini pour chaque choix proposé à l'utilisateur s'il correspond ou pas, selon eux, à la bonne stratégie à adopter pour mener à bien un entretien motivationnel. Ils définissent ainsi un chemin vert, qui contient les bonnes réponses, et un chemin rouge qui contient les mauvaises. Lorsque l'utilisateur choisit une proposition du chemin rouge, un feedback explicatif sur son choix est affiché sur l'interface graphique. L'utilisateur peut alors tenter une nouvelle fois sa chance, jusqu'à choisir la bonne réponse. Le déroulement linéaire du script additionné au feedback sur les choix de l'utilisateur permet de contrôler l'interaction et guider l'utilisateur dans son apprentissage.

Cette méthode impose cependant peu de variabilité dans le scénario et les interactions possibles. L'utilisation d'un agent virtuel pour représenter le patient virtuel permet d'éviter la contrainte de filmer chaque réaction possible par un acteur. Dans ces travaux, les auteurs ont tout de même choisi d'enregistrer tous les actes verbaux possibles du patient virtuel, ce qui réduit la flexibilité du système qui dépend encore d'un acteur pour ajouter de nouvelles occurrences verbales et enrichir le scénario d'interaction. Ce choix peut s'expliquer par les compétences ciblées par ce système, qui sont orientées sur l'aspect verbal de l'interaction. Ceci peut également expliquer le choix de ne pas représenter d'expressions d'émotions et de se limiter à la synchronisation des lèvres avec le contenu verbal. Les comportements non-verbaux permettent pourtant d'apporter plus de réalisme à l'interaction (Krämer and Manzeschke, 2021) et permettent de fournir des informations sur l'état émotionnel du patient, qui sont importantes dans les interactions dans le milieu médical (Lorié et al., 2017).

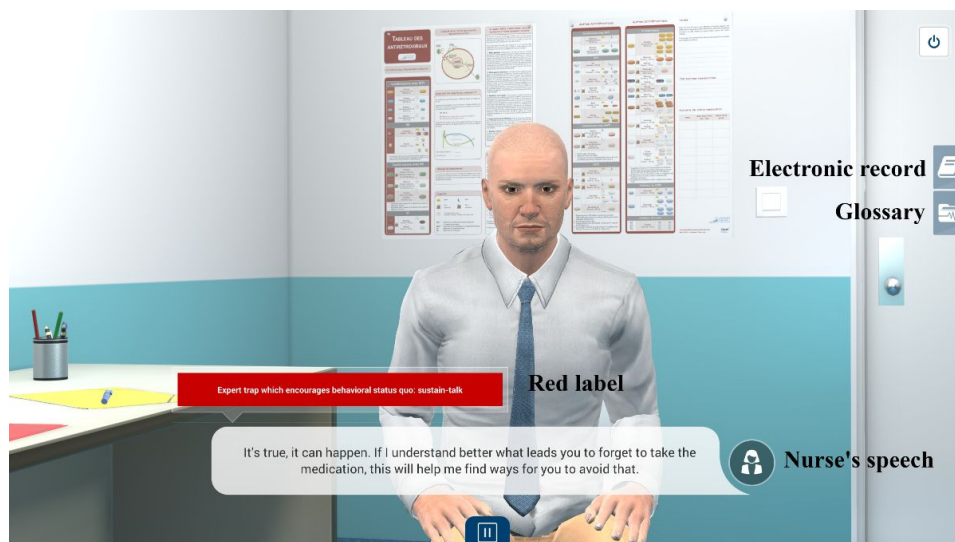


Figure 2.2 – Mr Wilson : Patient VIH (Rouleau et al., 2020)

2.1.2.3 Projet SIVIPSY : Patient à risque suicidaire (Roux et al., 2021)

Le projet SIVIPSY (Roux et al., 2021) a pour but d'entraîner des étudiants en psychiatrie à détecter des risques suicidaires chez des patients. Le patient virtuel est représenté et géré par un agent virtuel de la plateforme MARC (Courgeon et al., 2011).

Comme dans les travaux de (O'Brien et al., 2019) et (Rouleau et al., 2020), l'utilisateur dispose d'une interface graphique affichée sur un écran qu'il contrôle à l'aide d'une souris, et qui lui permet de choisir une occurrence verbale à dire au

patient parmi une liste de choix prédéfinis (**Figure 2.3**). Lorsque l'utilisateur valide son choix, le patient virtuel exprime sa réaction par communication verbale, grâce à la synthèse vocale, et par communication non-verbale en affichant des expressions d'émotions (expressions faciales et mouvements de tête).

La simulation se déroule en suivant un script linéaire qui dépend uniquement des choix de l'utilisateur sur son interface en se basant sur le contenu verbal de ces choix. Les réactions verbales du patient virtuel sont donc prédéfinies à l'avance, et sont associées à des comportements non-verbaux. Ces comportements sont définis à l'aide de paramètres d'animations qui permettent de contrôler finement les réactions du patient virtuel. Il est ainsi possible de modifier les expressions à afficher sur le patient virtuel et en ajouter autant que l'on souhaite. Le système ne dépend donc pas d'un acteur, ce qui apporte plus de flexibilité au système et permet d'améliorer et enrichir les scénarii existants et ajouter à la conception de nouveaux scénarii plus facilement.

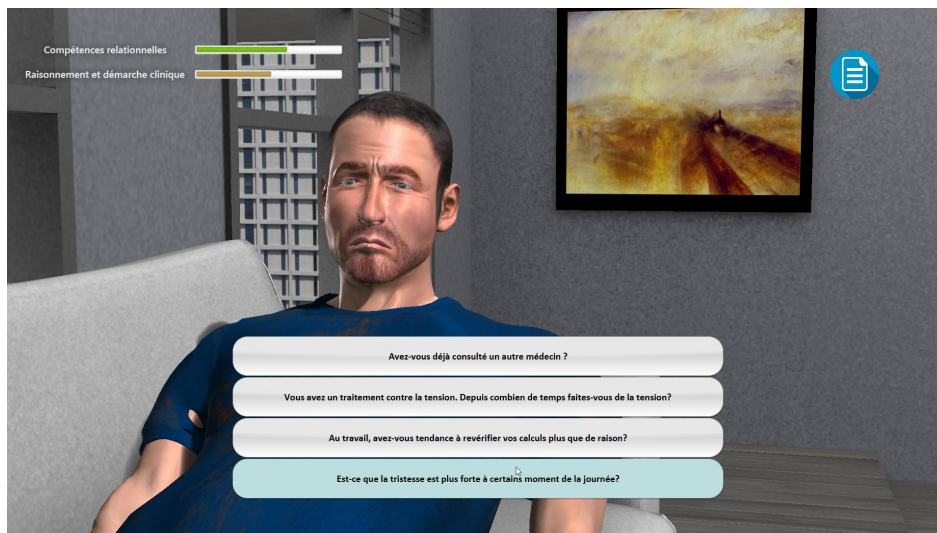


Figure 2.3 – Projet SIVIPSY : Patient à risque suicidaire (Roux et al., 2021)

2.1.2.4 Sick Call Project (Kenny et al., 2010)

Dans le Sick Call Project (Kenny et al., 2010), un patient virtuel simule un patient militaire atteint de Trouble de Stress Post-traumatique (**Figure 2.4**). Cela permet aux experts concernés de s'entraîner au diagnostic face à un patient virtuel reproduisant les comportements pathologiques de ce type de patient. L'utilisateur mène un entretien en posant des questions au patient virtuel, qui répond à son tour verbalement par synthèse vocale, en produisant des comportements non-verbaux correspondant aux comportements pathologiques de ce type de patient. Toutes les réponses verbales possibles du patient virtuel sont déterminées à l'avance et

associées à des comportements non-verbaux (gestes des bras et mouvements de tête) à afficher. Les réactions du patient virtuel dépendent donc d'un script basé sur le contenu verbal de l'utilisateur. Ce script est représenté sous la forme d'un arbre de décision, permettant de sélectionner la réponse appropriée selon la question posée par l'utilisateur. Cet agent virtuel permet ainsi aux utilisateurs de s'entraîner face à un patient virtuel réaliste qui affiche certains comportements semblables à ceux d'un patient réel.

Toutefois, aucune expression faciale d'émotion n'est affichée. De plus, les réactions de ce patient virtuel ne prennent pas en compte les comportements non-verbaux de l'utilisateur, qui ont pourtant un impact sur le bon déroulement d'une consultation avec un patient réel (Hojat et al., 2011; Howick et al., 2018; Beck et al., 2002). Il est toutefois à noter que le but de cet outil est d'entraîner l'utilisateur à des compétences verbales, à savoir poser les questions pertinentes permettant d'établir un diagnostic, ce qui peut justifier le choix des auteurs de se concentrer uniquement sur le contenu verbal de l'utilisateur.



Figure 2.4 – Sick Call Project (Kenny et al., 2010)

2.1.2.5 Projet PHENOVIRT (Dupuy et al., 2021)

Les auteurs proposent dans cet article un guide pour la conception d'un patient virtuel pédagogique qui simule des troubles psychiatriques. Ils proposent ainsi quatre recommandations sur les points importants à prendre en compte lors de la conception d'un tel patient virtuel. La première recommandation met l'accent

sur le réalisme de l'interaction et la proximité avec une situation réelle au niveau du scénario d'interaction et des modalités d'interaction avec le patient virtuel. La deuxième recommandation concerne l'importance de l'affichage des symptômes associés à la pathologie aux niveaux affectif, moteur et physiologique. Pour la troisième recommandation, les auteurs suggèrent de porter une attention particulière aux compétences que le système vise à apprendre. La simulation doit permettre aux utilisateurs de mettre en pratique et d'améliorer ces compétences. Enfin, les auteurs suggèrent en dernière recommandation de proposer un système d'évaluation des performances de l'utilisateur cohérent avec les standards d'évaluation dans le domaine médical. Ils recommandent également de proposer un feedback aux utilisateurs du système afin de leur faire prendre conscience de leurs erreurs pour les aider à s'améliorer.

En suivant ces recommandations, ils ont ainsi proposé pour le projet PHE-NOVIRT (Dupuy et al., 2021) d'utiliser un patient virtuel simulant des troubles dépressifs majeurs afin d'entraîner des étudiants en médecine au diagnostic et à la communication empathique lors d'un entretien avec ce patient virtuel. Les utilisateurs interagissent avec le système à travers une interface graphique affichée sur un écran, où se trouve le patient virtuel (**Figure 2.5**). À chaque étape du scénario, un choix de questions à poser au patient virtuel parmi deux propositions affichées sur l'interface graphique, et l'utilisateur choisit une des propositions en l'exprimant verbalement. Le patient virtuel répond verbalement, en exprimant des comportements non-verbaux correspondant à ceux d'une personne atteinte de troubles dépressifs majeurs, en fonction de la réponse de l'utilisateur. L'utilisateur doit ensuite déterminer quel(s) symptôme(s) le patient a présentés, parmi une liste de propositions. À la fin de l'interaction, le système affiche les bonnes et les mauvaises réponses de l'utilisateur, et par la suite un entretien semi-structuré avec un psychiatre est mené. Cet entretien permet de donner des retours sur la performance et l'attitude de l'utilisateur pendant la simulation face au patient virtuel.

Les utilisateurs ayant interagi avec le système ont évalué positivement le réalisme du patient virtuel et du scénario. Ils ont aussi souligné l'intérêt pédagogique d'un tel outil, d'une part par rapport à la possibilité de représenter plusieurs symptômes et cas cliniques différents, et d'autre part concernant leur ressenti subjectif de l'acquisition de connaissances, qu'ils considèrent plus efficace en interagissant avec un patient virtuel qu'en étudiant la théorie. Comme dans le système utilisé dans le Sick Call Project (Kenny et al., 2010), les comportements non-verbaux de l'utilisateur ne sont pas pris en compte pour sélectionner la réponse du patient virtuel, qui se base uniquement sur le scénario pédagogique, établi à l'avance, et regroupant tous les choix possibles de l'utilisateur et la réponse du patient virtuel associée (Dupuy et al., 2021). Le patient virtuel exprime toutefois des expressions faciales ce qui apporte plus de réalisme pour un apprentissage au diagnostic des comportements pathologiques.



Figure 2.5 – Projet PHENOVIRT (Dupuy et al., 2021)

2.1.2.6 Projet ACORFORMed (Ochs et al., 2017, 2018)

Dans le projet ACORFORMed (Ochs et al., 2017, 2018), un patient virtuel a pour objectif d'entraîner les médecins à annoncer des mauvaises nouvelles (**Figure 2.6**). Dans cet article, les auteurs décrivent la première version implémentée du système, qui correspond à un patient virtuel partiellement autonome. Seul le module de compréhension du langage naturel est contrôlé par un expérimentateur qui sélectionne sur son interface le contenu verbal de l'utilisateur, mais les réactions du patient virtuel sont générées de manière automatique. Cette première version a permis de récolter des données d'interaction, qui ont été annotées manuellement par la suite, et avec pour objectif de développer un système final complètement autonome. Le patient virtuel final doit être capable de détecter les signaux sociaux exprimés par l'utilisateur-médecin, les interpréter et adapter son comportement afin d'entraîner les médecins à utiliser leurs comportements verbaux et non-verbaux de manière appropriée durant ces interactions. Dans la dernière version de ces travaux (Ochs et al., 2018), le comportement non-verbal des utilisateurs est enregistré, mais n'est pas pris en compte pour la génération des réactions du patient virtuel : il est utilisé lors d'une séance de débriefing avec l'utilisateur en fin de session. Les réponses et réactions sont produites en suivant un ensemble de situations déterminées à l'avance et basées sur le contenu verbal de l'utilisateur et le déroulement d'un scénario pédagogique. Même s'il ne prend pas en compte en temps réel le comportement non-verbal de l'apprenant, il permet tout de même de donner un feedback à cet apprenant en considérant l'utilisation de ses comportements non-

verbaux, qui est un point positif en termes de formation.



Figure 2.6 – Projet ACORFORMed (Ochs et al., 2017, 2018)

2.1.2.7 JIM : Patient virtuel Alzheimer (Robinson et al., 2020)

En ce qui concerne les patients virtuels Alzheimer, à notre connaissance, il n'existe à l'heure actuelle qu'un seul système permettant à un agent virtuel de reproduire les comportements associés à cette pathologie (**Figure 2.7**). Cependant ceux-ci ne sont pas automatiquement générés et sont encore contrôlés en partie par un expérimentateur humain (Robinson et al., 2020). Ce système a pour but de former des apprenants soignants à l'utilisation et à l'interprétation du comportement non-verbal face à ce type de patient. Le patient virtuel est contrôlé par un humain, qui dispose d'une interface proposant un ensemble de phrases possibles, chacune accompagnée par des comportements non-verbaux associés. Le système reste donc dépendant d'un expérimentateur et n'intègre pas de modèle informatique autonome permettant de contrôler les émotions et l'expressivité du patient. Il permet toutefois à l'expérimentateur de choisir les réactions appropriées parmi sa liste de combinaisons possibles, en prenant en compte le comportement verbal et non-verbal de l'utilisateur. Dans cette étude, des étudiants ont interagi deux fois avec le patient virtuel. À la fin de chaque interaction, les auteurs ont évalué les compétences de communication durant l'interaction des étudiants. Une amélioration significative de ces compétences a pu être observée, souligne une fois de plus l'intérêt pédagogique de l'utilisation d'un patient virtuel pour entraîner les compétences sociales requises lors d'interactions avec ce type de patients.

2.1.2.8 Synthèse de l'état de l'art sur les patients virtuels

Nous proposons dans le **Tableau 2.1** une synthèse des patients virtuels décrits dans cette section. Ces patients virtuels peuvent simuler différentes pathologies dans des contextes variés, et permettent aux utilisateurs apprenants de s'entraîner à interagir avec des patients dans un environnement contrôlé. Ils sont conçus autour



Figure 2.7 – JIM : Patient virtuel Alzheimer (Robinson et al., 2020)

de scénarii qui mettent en scène des situations intéressantes d'un point de vue pédagogique visant l'entraînement de compétences spécifiques.

Dans chacune des études que nous avons identifiées, le patient virtuel est présenté aux utilisateurs sur un écran. Dans (O'Brien et al., 2019), les auteurs utilisent des vidéos pré-enregistrées d'une actrice pour interpréter le rôle de la patiente. Cela permet aux apprenants de faire face à des comportements réels interprétés par un humain, mais rend le système très peu flexible et dépendant de l'acteur et de ses performances. Dans les autres travaux, les auteurs utilisent un agent virtuel pour représenter le patient (Rouleau et al., 2020; Roux et al., 2021; Kenny et al., 2010; Dupuy et al., 2021; Ochs et al., 2017; Robinson et al., 2020). Ces agents sont des personnages virtuels capables de s'exprimer verbalement et non-verbalement, et qui permettent de concevoir des interactions avec l'utilisateur qui utilisent les modalités de communication humaines. Dans le contexte d'un patient virtuel, l'un des avantages à utiliser ces agents virtuels est qu'ils permettent un contrôle fin des réactions du patient virtuel, et permettent de reproduire des comportements multimodaux associés à des troubles durant l'interaction. Chacun des travaux qui se sont penchés sur leurs utilisations dans ce contexte s'est généralement concentré sur différentes composantes de l'interaction.

Dans (O'Brien et al., 2019; Rouleau et al., 2020; Roux et al., 2021; Dupuy et al., 2021), les utilisateurs disposent d'une interface graphique affichée à l'écran qui leur permet de sélectionner une action parmi une liste de choix, à l'aide d'une souris (O'Brien et al., 2019; Rouleau et al., 2020; Roux et al., 2021) ou directement par la voix (Dupuy et al., 2021). Ces actions représentent des phrases qu'il est

possible de dire au patient virtuel. Les comportements non-verbaux des utilisateurs ne sont pas pris en compte pour générer les réactions des patients virtuels. Ces patients virtuels sont entièrement autonomes et suivent pour la plupart un script déterminé à l'avance, où leurs réactions dépendent du choix fait par l'utilisateur. Seul le patient virtuel de (O'Brien et al., 2019) utilise un modèle d'émotions pour déterminer la réaction appropriée du patient.

Dans (Kenny et al., 2010; Ochs et al., 2017; Robinson et al., 2020), les utilisateurs sont directement face au patient virtuel et utilisent le langage naturel pour interagir avec lui et mener une conversation. Dans (Kenny et al., 2010), le patient est entièrement autonome. Il est capable de répondre aux questions posées par l'utilisateur et qui concernent le diagnostic de la pathologie simulée par le patient virtuel. Les comportements non-verbaux exprimés par le patient se limitent toutefois à des mouvements de tête et des gestes des bras pour accompagner son discours. Le comportement non-verbal de l'utilisateur n'est pas pris en compte et le déroulement de l'interaction ne dépend donc que du contenu verbal de l'utilisateur.

Dans (Robinson et al., 2020), le patient virtuel est contrôlé par un expérimentateur grâce à la technique du Magicien d'Oz. L'expérimentateur sélectionne ainsi une combinaison prédéterminée d'une phrase associée à des comportements non-verbaux parmi une liste de choix. Cela rend le système dépendant de l'expérimentateur, de sa connaissance de la pathologie et de sa performance. Cette technique permet toutefois à l'expérimentateur de prendre en compte le comportement verbal et non-verbal de l'utilisateur pour choisir sa réponse.

Enfin, dans (Ochs et al., 2017), le patient est partiellement autonome, avec un expérimentateur qui simule le module de compréhension verbal. Les auteurs ont développé une première version de leur patient virtuel afin de récolter un corpus d'interactions pertinentes pour informer la conception d'une version complètement automatique. Cette approche est particulièrement intéressante dans notre cas, au vu de la faible quantité de données d'interaction disponibles entre soignants et patients atteints d'Alzheimer.

Référence	Pathologie	Représentation visuelle	Modalités d'interaction de l'utilisateur	Comportement verbal du patient	Comportements non-verbaux du patient	Contrôle du patient	Déroulement de l'interaction
Taye Banks (O'Brien et al., 2019)	Risque de suicide	Actrice	Sélection à la souris d'une occurrence verbale	Vidéos pré-enregistrées d'une actrice	Vidéos pré-enregistrées d'une actrice	Automatique	Script non linéaire : Modèle d'émotion
Mr Wilson (Rouleau et al., 2020)	VIH	Agent virtuel	Sélection à la souris d'une occurrence verbale	Voix pré-enregistrée d'un acteur	Synchronisation labiale	Automatique	Script linéaire
SIVIPSY (Roux et al., 2021)	Risque de suicide	Agent virtuel	Sélection à la souris d'une occurrence verbale	Synthèse vocale	-Expressions faciales -Mouvements de tête	Automatique	Script linéaire
Sick Call Project (Kenny et al., 2010)	Trouble de Stress Post-Traumatique	Agent virtuel	Langage naturel	Synthèse vocale	-Mouvements de tête -Gestes des bras	Automatique	Arbre de décision : Correspondances statistiques avec corpus (question/réponse)
Projet PHENOVIRT (Dupuy et al., 2021)	Troubles dépressifs majeurs	Agent virtuel	Sélection par la voix d'une occurrence verbale affichée sur l'interface	Synthèse vocale	-Expressions faciales -Gestes des bras	Automatique	Script linéaire (question/réponse)
Projet ACORFORMed (Ochs et al., 2017)	Pas de pathologie - Annonce de mauvaise nouvelle	Agent virtuel	Langage naturel et détection du comportement non-verbal de l'utilisateur	Synthèse vocale	-Mouvements de tête -Expressions faciales	Semi-automatique	Arbre de décision : Correspondances statistiques avec corpus (question/réponse)
JIM (Robinson et al., 2020)	Maladie d'Alzheimer	Agent virtuel	Langage naturel et prise en compte du comportement non-verbal de l'utilisateur	Voix pré-enregistrée d'un acteur	-Expressions faciales -Gestes des bras -Mouvements de tête	Manuel (Magicien d'Oz)	Un expérimentateur sélectionne une combinaison de comportements verbaux et non verbaux

Tableau 2.1 – Synthèse des modalités proposées par les systèmes de patients virtuels décrits dans la section 2.1.2.

2.2 . Théories et modèles des émotions

2.2.1 . Les émotions en psychologie

La conception d'humains virtuels pour simuler des interactions humaines nécessite une mise en commun de connaissances en psychologie cognitive et en informatique. Le domaine de l'informatique affective se trouve à l'intersection de ces disciplines. Il correspond au domaine de recherche qui s'intéresse à l'utilisation des émotions dans des systèmes informatiques ayant pour but de comprendre, d'interpréter et de reproduire des comportements humains (Picard, 2000). En effet, les émotions jouent un rôle important dans la perception, la communication et la prise de décision chez les humains. Dans cette partie, nous allons introduire quelques définitions autour du concept d'émotion.

2.2.1.1 Définitions

Dans la littérature, il n'existe pas de consensus sur la définition d'une émotion et on trouve presque autant de définitions que de courants théoriques. Il est toutefois admis par la plupart des théoriciens qu'une émotion soit définie comme un état ou processus psychologique caractérisé par des composantes expressives (comportements verbaux et non-verbaux), des composantes physiologiques (par exemple le rythme cardiaque ou la conductance de la peau), des composantes cognitives et par une expérience subjective (Gross and Feldman Barrett, 2011; Scherer, 2001). Les différences entre les définitions reposent souvent sur les interactions entre ces composantes et sur l'origine des émotions. Ainsi on peut observer une évolution dans la manière d'aborder les émotions. À la fin du 19ème siècle, les émotions sont définies par leur composante motivationnelle, sans considérer la composante cognitive. Elles sont considérées comme issues uniquement de l'évolution de l'espèce et ont une fonction adaptative pour la survie. Pour Darwin, elles sont déclenchées pour pousser à agir (Darwin, 1872) alors que pour James, ce sont les manifestations physiologiques qui poussent à agir et qui déclenchent des émotions (James, 1884).

2.2.1.2 Émotions et expressions faciales

Les émotions peuvent s'exprimer à travers plusieurs modalités comme les expressions faciales, la parole, les gestes, les postures et le contenu verbal. Les expressions faciales sont généralement considérées comme des moyens de communiquer des états émotionnels. Elles peuvent également remplir d'autres fonctions comme l'emphase ou la gestion des tours de parole (Ekman and Friesen, 2003; Horstmann, 2003).

Les relations entre émotions et expressions faciales sont complexes, non systématiques et modulent la manière dont une personne a la possibilité ou non d'inférer les émotions d'une autre personne (Barrett et al., 2019). Dans le cadre de cette

thèse, nous nous focalisons sur les expressions faciales quand elles expriment des émotions.

2.2.1.3 Émotions et humeur

Lorsqu'on parle d'émotions, on fait souvent référence à une situation précise. La durée d'une émotion est souvent ressentie pendant un court moment. Lorsque l'état ressenti se prolonge, on parle plutôt d'humeur (Scherer, 2001). L'humeur est caractérisée par une intensité généralement plus faible qu'une émotion et n'est pas focalisée sur un événement en particulier. Elle a également un impact sur la perception des événements et sur la valence des émotions déclenchées. En effet, une personne de bonne humeur a tendance à donner plus d'importance aux événements positifs, à les interpréter de manière plus positive que la normale et à ressentir plus souvent des émotions positives. Inversement, lorsqu'une personne est de mauvaise humeur, elle est plus négative, aborde les événements de manière défavorable, et a tendance à éprouver plutôt des émotions négatives (Neumann et al., 2001). Ce concept permet d'expliquer certaines différences intra individuelles, qui peuvent influencer les décisions d'une personne selon les moments de sa vie ou même de sa journée.

2.2.2 . Approches et modèles des émotions en psychologie

Les théories des émotions en psychologie ont servi de base à plusieurs modèles computationnels des émotions. Ces modèles permettent notamment de formaliser ensuite de manière informatique un ou plusieurs concepts et mécanismes des processus émotionnels et décrire comment ses composantes interagissent entre elles. Ces modèles ont souvent pour objectif d'être implémentés sur des agents, afin de reproduire un comportement similaire à celui de l'humain. Ils permettent ainsi d'observer le fonctionnement de ce modèle dans des contextes proches de la réalité et vérifier la validité des modèles en testant des hypothèses sur son fonctionnement. Il existe plusieurs approches théoriques sur les émotions (Scherer et al., 2010) et leur génération (Gross and Feldman Barrett, 2011). On retrouve historiquement des modèles informatiques s'inspirant de trois grandes approches des émotions (Marsella et al., 2010) : les approches catégorielles, les approches dimensionnelles et les approches cognitives. Nous allons décrire brièvement ces approches et les concepts associés qui permettent de comprendre le fonctionnement des modèles informatiques s'inspirant de ces théories.

2.2.2.1 Approche catégorielle

Les approches catégorielles suggèrent qu'il existerait un nombre limité de catégories discrètes d'émotions. Parmi ces approches catégorielles, (Ekman and Friesen, 2003) ont proposé plusieurs critères qu'une émotion doit respecter pour être une "émotion de base" ("basic emotion" en anglais). Les six émotions suivantes res-

pectent selon eux ces critères : Colère, Surprise, Joie, Tristesse, Peur et Dégoût. Les auteurs expliquent qu'une même émotion peut être exprimée par plusieurs expressions (parfois plusieurs dizaines) et que plusieurs expressions d'émotions peuvent être activées en même temps donnant lieu à des mélanges d'émotions. Chacune des expressions est généralement codée avec le *Facial Action Coding System* (FACS) par un ensemble d'unités d'action ou *Action Units* (AU) (Ekman and Friesen, 1978), qui correspondent à l'activation d'un ou plusieurs muscles du visage, ainsi que par une intensité. L'intensité est représentée par une activation plus ou moins importante de l'AU.

2.2.2.2 Approche dimensionnelle

Dans cette approche, les émotions sont réparties dans un espace à deux ou trois dimensions, sur lequel on peut se déplacer de manière continue. On retrouve notamment parmi les modèles qui se basent sur l'approche dimensionnelle le modèle PAD (*Pleasure, Arousal, Dominance*) (Russell and Mehrabian, 1977) ou encore la roue des émotions de Plutchik (Plutchik, 1980). Le but de ces modèles est d'identifier les composantes principales nécessaires pour décrire et classer les émotions. Des études lexicales ont proposé des localisations de nombreuses catégories d'émotions dans ces espaces. Ainsi, dans le modèle PAD, comme on peut le voir en **Figure 2.8**, l'émotion "Joie" est décrite avec des valeurs élevées de *pleasure* ($P=0.53$) et d'*arousal* ($A=0.43$) et une valeur modérée de *dominance* ($D=0.23$). L'émotion "colère" se définit par rapport à la "joie" comme bien moins plaisante ($P=-0.51$), avec une valeur d'*arousal* plus élevée ($A=0.59$) et une valeur de *dominance* très proche ($D=0.25$).

2.2.2.3 Approche cognitive

Un grand nombre de théories intègrent la composante cognitive à la définition des émotions, et considèrent cette composante comme indispensable pour la génération des émotions (Arnold, 1960; Lazarus, 1968; Roseman, 1984; Smith and Ellsworth, 1985; Frijda, 1988; Ortony et al., 1989; Scherer, 2001). Pour les théoriciens de cette approche, une émotion est définie comme le résultat d'un processus d'évaluation de la situation par un individu à travers un ensemble de critères successifs, appelés variables d'appraisal, qui varient selon les théories (Arnold, 1960; Lazarus, 1968; Roseman, 1984; Smith and Ellsworth, 1985; Frijda, 1988; Roseman, 1984; Ortony et al., 1989; Scherer, 2001). Les émotions représentent alors des configurations spécifiques de ces variables d'appraisal. Par exemple, dans le *Component Process Model* (CPM) (Scherer, 2001), un événement évalué par une personne comme plaisant et qui va dans le sens de ses buts, est associé à une émotion de joie, alors qu'un événement évalué comme allant contre ses buts dont les conséquences peuvent être maîtrisées est associé à la colère. Chaque évaluation peut entraîner des modifications physiologiques et comportementales, et nécessite

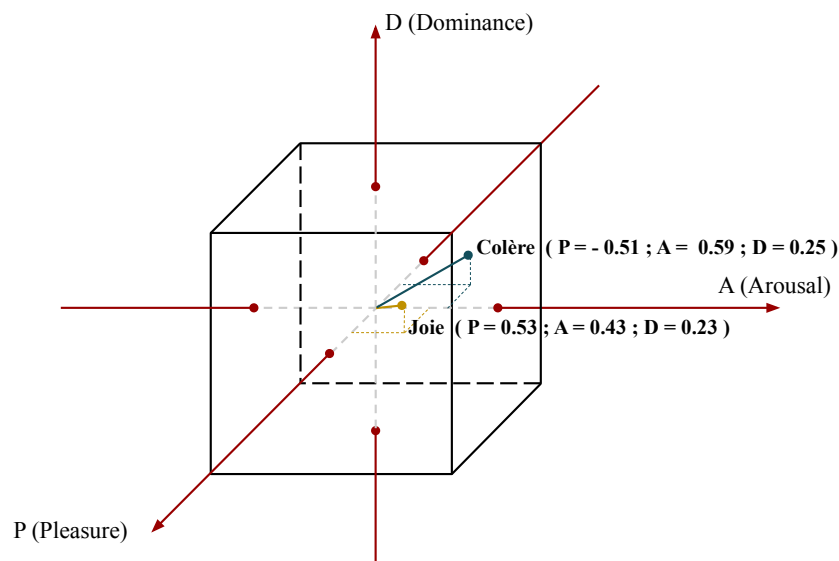


Figure 2.8 – Représentation des émotions “joie” et “colère” dans un espace PAD (adapté de (Russell and Mehrabian, 1977))

des ressources en attention, mémoire, raisonnement, ainsi qu’une conscience de soi et de ses propres buts (**Figure 2.9**).

L’approche cognitive est particulièrement pertinente pour nos travaux. En effet, cette approche séquentielle et par critères en fait une candidate idéale pour une modélisation informatique pour une application interactive. De plus, la prise en compte de la dimension cognitive est pertinente dans notre contexte, car les patients atteints d’Alzheimer présentent, en plus des troubles émotionnels et du comportement, des troubles cognitifs importants. Il est donc intéressant de s’appuyer sur une théorie qui permet de proposer des liens entre cognition et émotions.

2.2.3 . Modèles informatiques des émotions

En informatique, et plus précisément en informatique affective, les chercheurs ont utilisé différentes méthodes pour représenter des émotions (Broekens, 2021). Parmi les représentations qui ont été les plus utilisées, on trouve tout d’abord celles basées sur les approches catégorielles et les approches dimensionnelles décrites à la section précédente.

L’approche catégorielle consiste à utiliser des étiquettes (*labels* en anglais) explicites des émotions (ex. : peur, joie, tristesse...) auxquelles on va pouvoir associer en informatique des expressions prototypiques facilement interprétables. Cette approche, bien que facile à manipuler, contraint cependant à l’utilisation d’un nombre limité d’émotions et à une expressivité plus caricaturale. L’approche dimensionnelle quant à elle, consiste à représenter les émotions sur un espace fini (à deux ou trois dimensions), dans lequel on peut se déplacer de manière continue,

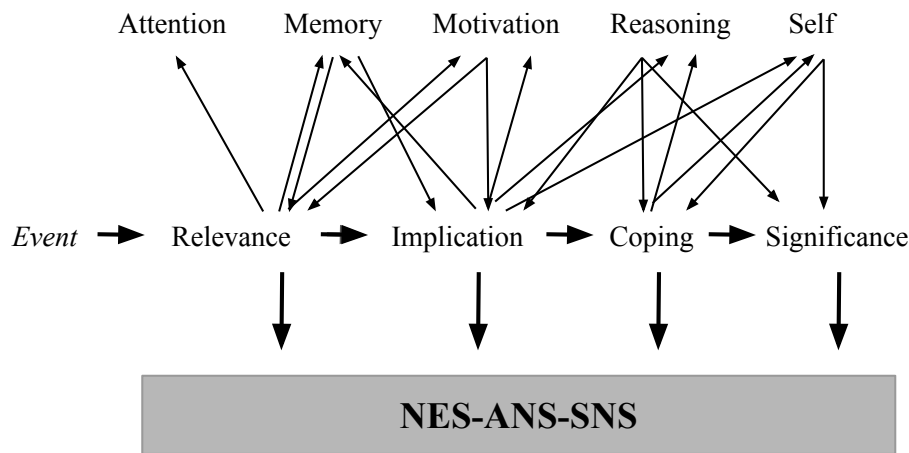


Figure 2.9 – Liens entre les catégories d’appraisal du modèle CPM (Scherer, 2001) et les ressources nécessaires pour l’évaluation. NES : *neuroendocrine system* (système neuroendocrinien), ANS : *autonomic nervous system* (système nerveux autonome), SNS : *somatic nervous system* (système nerveux somatique)

offrant ainsi plus de variabilité dans la description d’une émotion et permettant de définir des liens entre les émotions représentées. Ces deux approches permettent de représenter des états émotionnels et leurs expressions, mais ne décrivent pas explicitement les processus menant à cette réponse émotionnelle.

On retrouve également des modèles informatiques basés sur les approches cognitives, qui contrairement aux deux premières approches, se concentrent plutôt sur la modélisation des processus cognitifs qui entraînent des émotions. Pour ces approches, leur popularité dans les modèles computationnels et informatiques s’explique par le processus d’évaluation par critères, qui en fait une approche adaptée pour une formalisation informatique exploitable dans des systèmes interactifs. Les modèles cognitifs sont décrits comme un assemblage de composantes interagissant entre elles et décrivant chacune un aspect du processus émotionnel.

Dans (Marsella et al., 2010), les auteurs proposent, à partir des modèles informatiques existants, une architecture généralisée des modèles informatiques s’inspirant des théories cognitives (**Figure 2.10**). Cette architecture se décompose en trois composantes : la composante *Agent-Environment Relationship*, qui permet de décrire comment l’agent perçoit son environnement, la composante *Appraisal Variables*, qui définit selon quels critères l’agent évalue un événement, et enfin la composante *Emotion/Affect*, qui décrit comment l’état émotionnel de l’agent et son expression sont représentés. Ces trois composantes sont reliées entre elles par des liens qui permettent de décrire les transitions entre chaque composante. Elles forment, comme le postulent une majorité des théoriciens des approches cognitives, une boucle fermée. Ainsi, l’*Appraisal Derivation Model* définit comment le

formalisme utilisé pour représenter l'environnement de l'agent permet à ce dernier d'évaluer un événement. L'*Affect Derivation Model* et l'*Affect Intensity Model* explicitent le lien entre l'évaluation d'un événement et l'état émotionnel déclenché et son intensité. Le dernier lien, l'*Affect Consequent Model*, décrit les conséquences de l'état émotionnel sur les comportements déclenchés par l'agent (ex. : expressions faciales) et sur l'état interne à l'agent (ex. : humeur). Cela provoque une modification de l'environnement de l'agent, fermant ainsi la boucle.

Dans certains modèles, toutes les composantes ne sont pas forcément décrites et peuvent présenter un niveau de détail variable selon la base théorique dont ils s'inspirent et les besoins de l'application informatique du modèle. L'architecture généralisée proposée par (Marsella et al., 2010) permet de décrire les mécanismes qui déclenchent des états émotionnels et comportementaux lorsqu'un événement se produit. Nous allons dans la suite de cette section décrire chacune de ces composantes en donnant pour exemple quelques modèles issus des travaux existants (**Tableau 2.2**). Cela va nous permettre par la suite de décrire notre propre modèle dans ce formalisme, afin de pouvoir situer nos travaux et les comparer aux autres modèles existants.

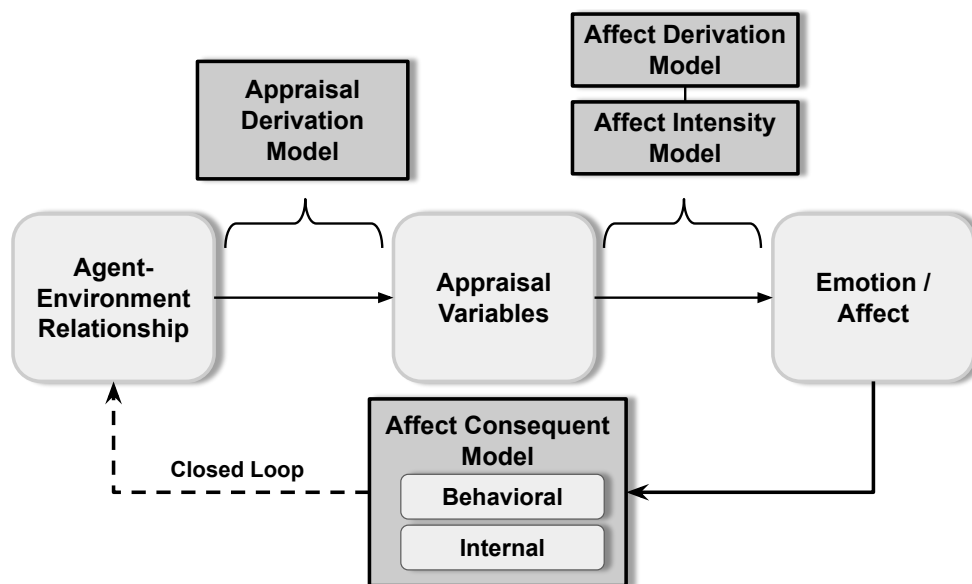


Figure 2.10 - Architecture modulaire des modèles informatiques cognitifs (Marsella et al., 2010). Les blocs arrondis gris clair sont les composantes qui décrivent les concepts utilisés. Les rectangles gris foncé décrivent les transitions qui permettent de passer d'une composante à une autre.

2.2.3.1 Représentation et interprétation de l'environnement de l'agent (*Agent-Environment Relationship et Appraisal Derivation Model*)

La première composante de cette architecture, *Agent-Environment Relationship*, décrit la relation entre l'agent et son environnement. Elle permet de décrire comment les éléments de contexte sont décrits pour l'agent et de définir les éléments permettant d'initialiser le modèle. Dans cette composante, la structure des événements qui déclenchent le processus d'évaluation est spécifiée. Pour un agent qui interagit avec un utilisateur humain, un événement peut être représenté par une ou plusieurs actions de l'utilisateur. Par exemple, un événement peut-être composé d'une phrase prononcée par l'utilisateur, de comportements non-verbaux qu'il ou elle a exprimés, ou d'une sélection à la souris d'un élément affiché sur l'interface graphique de l'utilisateur. Un événement peut également être une combinaison de plusieurs de ces éléments.

Le modèle *Belief Desire Intention* (BDI) (Rao and Georgeff, 1991) est souvent utilisé pour représenter comment l'agent perçoit son environnement et ses motivations. Ce modèle distingue trois éléments qui sont ses *Beliefs* (croyances, connaissances de l'environnement et de son état), ses *Desires* (désirs, souvent associés aux buts de l'agent) et ses *Intentions* (intentions, actions que l'agent souhaite réaliser). La description de l'environnement est faite à l'aide de règles d'inférence permettant de transformer des états du modèle de l'environnement en variables d'appraisal. Chaque événement qui survient va ainsi avoir un impact sur une ou plusieurs des variables du modèle. On retrouve le modèle BDI dans plusieurs modèles émotionnels, comme le modèle EMA (Marsella and Gratch, 2009), WASABI (Becker-Asano, 2008), Flame (El-Nasr et al., 2000), TAME (Moshkina et al., 2011), FATiMA (Dias et al., 2014) et Emia (Jain and Asawa, 2015). On retrouve également des représentations inspirées du modèle BDI, comme dans le modèle de (Yongsatianchot and Marsella, 2021) avec les variables *Beliefs* et *Goals*, où la variable *Goals* représente une combinaison des variables *Desires* et *Intentions*. Dans le modèle EEGS (Ojha et al., 2020) on retrouve les variables *Goals*, *Standards* et *Attitudes*, avec la variable *Goals* associée à la variable *Desires*, la variable *Attitudes* associée à la variable *Intentions* et la variable *Standards*, spécifique à ce modèle et son application, permet d'introduire la notion d'éthique pour un agent.

Le modèle BDI est souvent utilisé dans des modèles qui ont pour but de simuler des situations dans des contextes généraux d'interaction entre agents rationnels. Le modèle BDI ne considère pas directement les émotions dans le processus de raisonnement et s'oriente plutôt sur les prises de décision d'un agent (Arnaud et al., 2017). Dans nos travaux nous nous intéressons plutôt aux expressions d'émotions et non aux prises de décision de l'agent. De plus, nous souhaitons modéliser des comportements associés à des pathologies émotionnelles, qui ne sont pas nécessairement considérées comme rationnelles.

La représentation de l'environnement de l'agent est ensuite transformée en

un ensemble de variables lors de la transition, via l'*Appraisal Derivation Model*, vers la composante *Appraisal Variables*. Dans certains modèles, la composante *Agent-Environment Relationship* est confondue avec l'*Appraisal Derivation Model* et chaque événement ou situation est explicitement décrit en termes de variables d'appraisal (ex. : désirabilité ou rapport aux buts) à l'aide de règles d'appraisal (*appraisal rules* en anglais) comme dans les modèles ALMA (Gebhard, 2005) et le modèle MARSSI (Gebhard et al., 2018), ou de règles "SI...ALORS" comme dans le modèle MAMID (Hudlicka, 2008). Cette méthode rend le modèle très dépendant du contexte, mais permet un contrôle plus fin du scénario, ce qui est pertinent dans une simulation qui a pour but la formation pédagogique.

2.2.3.2 Choix du cadre théorique (Appraisal variables)

La composante *Appraisal Variables* diffère selon la base théorique choisie afin d'illustrer le jeu de variables d'appraisal sélectionné. Celui proposé par (Ortony et al., 1989) dans le modèle OCC est communément utilisé dans la conception de modèles informatiques, comme Flame (El-Nasr et al., 2000), InFra (Castellanos et al., 2018), ALMA (Gebhard, 2005), TAME (Moshkina et al., 2011) et EEGS (Ojha et al., 2020). Ce modèle définit une structure qu'on peut représenter sous forme d'arbre (ou plutôt de graphe) de décision permettant de déterminer l'état émotionnel d'un agent selon la situation. Les auteurs définissent plusieurs processus qui décrivent chacun une succession de critères à évaluer selon si l'on souhaite que l'agent réagisse aux conséquences d'un événement, aux actions d'un agent (y compris l'agent lui-même) ou aux aspects d'un objet. Les critères évalués lors de ces processus permettent par exemple de déterminer la pertinence ou la valence de l'événement survenu. Ce modèle est particulièrement adapté pour une formalisation informatique, mais son inconvénient réside dans la quantité limitée d'émotions résultantes possibles (22 émotions) et dans le fait que c'est aussi une approche catégorielle.

On retrouve également les variables d'appraisal proposées par (Lazarus, 1968) dans le modèle EMA et le modèle de (Yongsatianchot and Marsella, 2021), ou encore celles proposées par Scherer (2001) dans le modèle WASABI et le modèle MAMID. On retrouve plusieurs modèles qui combinent plusieurs jeux de variables issus de théories différentes, comme le modèle FAtiMA (Dias et al., 2014), le modèle Emia (Jain and Asawa, 2015), le modèle InFra (Castellanos et al., 2018) ou le modèle MARSSI (Gebhard et al., 2018).

Par exemple, dans le modèle FAtiMA (Dias et al., 2014), qui propose une architecture modulaire inspirée de celle proposée par (Marsella et al., 2010), les auteurs expliquent comment leur architecture permet de s'adapter à plusieurs jeux de variables d'appraisal différents, comme celles du modèle CPM (Scherer, 2001) ou du modèle OCC (Ortony et al., 1989).

La plupart des modèles cognitifs regroupent les variables d'appraisal en plu-

sieurs catégories. Par exemple, le jeu de variables du modèle de (Lazarus, 1968) est divisé en deux catégories : les variables d'évaluation primaire, qui sont relatives à la pertinence et aux implications de l'événement, et les variables d'évaluation secondaire, qui sont relatives à la capacité de l'agent à faire face à cet événement. Le modèle CPM (Scherer, 2001) propose quatre catégories pour déterminer l'évaluation de manière séquentielle d'un événement (**Figure 2.9**) :

- Pertinence : À quel point l'événement est-il pertinent pour l'individu, nouveau et/ou plaisant ?
- Implication et rapport aux buts : À quel point l'événement va-t-il affecter les buts à court et long termes ?
- Potentiel de maîtrise : Dans quelle mesure est-il possible de faire face aux conséquences de l'événement ?
- Accord avec les standards : Quel est l'impact sur les valeurs et normes sociales et personnelles de la personne ?

On retrouve certaines de ces catégories dans d'autres modèles, comme celui de (Roseman, 1984), celui de (Smith and Ellsworth, 1985) ou celui de (Frijda, 1988). Le modèle CPM prend en compte un plus grand nombre de variables d'appraisal que les autres modèles (Roseman, 1984; Smith and Ellsworth, 1985; Frijda, 1988) et permet ainsi d'envisager une évaluation plus détaillée des événements.

Nous décidons dans nos travaux de nous intéresser particulièrement au modèle CPM, qui propose également des liens entre les critères d'évaluation et des troubles émotionnels qui pourraient être associés à une évaluation inadaptée de ces critères.

2.2.3.3 Représentation de l'état émotionnel de l'agent (*Affect Derivation/Intensity Model et Emotion/Affect*)

La troisième composante de cette architecture, *Emotion/Affect*, est la représentation de l'état émotionnel de l'agent. Elle s'obtient en transformant les valeurs des variables d'appraisal via la transition par l'*Affect Derivation Model* et l'*Affect Intensity Model*. Cette transition permet de spécifier comment les variables d'appraisal vont induire des réactions émotionnelles et avec quelle intensité.

C'est dans cette dernière composante que l'on va obtenir une représentation émotionnelle suivant une des approches que nous avons décrites plus haut (catégorielle ou dimensionnelle). Certains utilisent une étiquette d'émotion comme dans les modèles Flame (El-Nasr et al., 2000), Emia (Jain and Asawa, 2015) ou MAMID (Hudlicka, 2008). Pour cela, les auteurs définissent un nombre défini d'étiquettes d'états émotionnels dans lesquels l'agent peut se trouver, ainsi que les évaluations qui mènent à cet état émotionnel.

Dans le cas de l'utilisation des variables d'appraisal du modèle OCC, chaque évaluation possible mène à un état émotionnel unique. Pour les autres modèles, comme le modèle de Lazarus (1968) ou le modèle CPM (Scherer, 2001), plusieurs évaluations différentes peuvent mener à un même état émotionnel, et les étiquettes d'émotion représentent plutôt des patterns d'activation. Dans d'autres modèles,

une position dans un espace multidimensionnel est utilisée pour définir dans quel état émotionnel l'agent se trouve, comme pour le modèle WASABI avec l'espace PAD (*Pleasure Arousal Dominance*)(Russell and Mehrabian, 1977). Pour cela, les auteurs ont défini des liens entre les critères d'évaluation du modèle CPM et des activations correspondantes dans un espace PAD.

On retrouve également une combinaison de représentations, comme dans le modèle ALMA (Gebhard, 2005), qui représente d'abord la conséquence d'une évaluation cognitive à l'aide du modèle OCC comme une étiquette d'émotion. L'auteur propose également d'utiliser un espace PAD pour représenter l'humeur de l'agent. Ainsi, chaque émotion déclenchée va impacter la position de l'humeur sur l'espace PAD. L'auteur a pour cela proposé des liens entre les émotions du modèle OCC et des positions sur l'espace PAD.

Certains modèles ne visent pas nécessairement la représentation d'états émotionnels, et se concentrent plutôt sur d'autres aspects, comme sur les stratégies de régulation selon les événements déclenchés comme dans le modèle MARSSI ou l'action résultante de l'évaluation, comme dans le modèle de (Yongsatianchot and Marsella, 2021) avec les actions "rester" ou "évacuer".

2.2.3.4 Conséquences de l'évaluation (*Affect Consequent Model*)

Cet état émotionnel va enfin induire des comportements et/ou des changements cognitifs, à travers la transition *Affect Consequent Model*, ce qui va modifier les variables du modèle qui décrivent l'environnement de l'agent. Ces modifications sont la conséquence de l'évaluation et entraînent des changements externes comme des expressions faciales, des actions physiques ou encore un changement interne, comme un changement de stratégie d'évaluation ou d'humeur. La plupart des modèles utilisent des étiquettes d'émotion pour la représentation finale de l'état émotionnel, et les comportements générés sont prédéfinis selon l'étiquette résultante qui est associée à des comportements prototypiques des émotions associées à ces étiquettes. Dans le modèle WASABI, l'expression des émotions se fait en trois étapes. Dans une première étape, seules les dimensions *Pleasure* et *Arousal* sont évaluées, résultant en une "émotion primaire". Par la suite, l'évaluation de la variable *Dominance* entraîne une nouvelle réaction émotionnelle appelée "émotion secondaire". Enfin, un mécanisme de *cognitive reappraisal* entraîne "émotion consciente". On retrouve aussi dans plusieurs modèles la représentation de l'humeur, qui va influencer les évaluations de l'agent, et qui va évoluer en fonction de chaque émotion résultante de ces évaluations.

Certains modèles introduisent des caractéristiques individuelles comme des traits de personnalité dans le modèle MAMID (Hudlicka, 2008) avec le concept de traits ou des attitudes dans le modèle TAME (Moshkina et al., 2011) avec le concept de disposition. Ces caractéristiques individuelles vont impacter l'évaluation cognitive que fait l'agent de la situation.

Modèle	Agent-Environment Relationship	Appraisal variables	Emotion/Affect
Flame (El-Nasr et al., 2000)	BDI	OCC	Label d'émotion et humeur (positive ou négative)
ALMA (Gebhard, 2005)	Appraisal rules	OCC	Label d'émotion et d'humeur (sur un espace PAD)
WASABI (Becker-Asano, 2008)	BDI	CPM	Label d'émotions et d'humeur (sur un espace PAD)
MAMID (Hudlicka, 2008)	Belief Net (règles SI ALORS)*	CPM	Label d'émotions et affect (positif et négatif)
EMA (Marsella and Gratch, 2009)	BDI	Smith and Lazarus	Stratégie d'adaptation (coping) et état affectif
TAME (Moshkina et al., 2011)	BDI	OCC	Label d'émotion et humeur (positive ou négative)
FAtiMA (Dias et al., 2014)	BDI	OCC, CPM, Lazarus	Label d'émotion et d'humeur
Emia (Jain and Asawa, 2015)	BDI	OCC, CPM, Roseman et Gross	Label d'émotion
InFra (Castellanos et al., 2018)	Proposition (structure sémantique)	OCC + CPM	Label d'émotion
MARSSI (Gebhard et al., 2018)	Appraisal rules	OCC et Nathanson regulation	Stratégie de régulation
EEGS (Ojha et al., 2020) (Yongsatianchot and Marsella, 2021)	Goals, standards, attitudes	OCC	Label d'émotions et d'humeur
	Beliefs and goals	Lazarus	Action (Rester ou évacuer)

Tableau 2.2 – Description des éléments utilisés pour chaque composante de l'architecture de (Marsella et al., 2010) pour les différents modèles informatiques des émotions décrits dans la section 2.2.3.

Afin de concevoir un modèle informatique pathologique des émotions et de leurs expressions dont nous avons besoin pour notre patient virtuel Alzheimer, il faut tout d'abord choisir le cadre théorique adapté, permettant de prendre en compte les troubles et dysfonctionnements émotionnels qui ont été identifiés comme pertinents pédagogiquement pour le personnel soignant.

2.2.4 . Modélisation pathologique des émotions

Une pathologie émotionnelle se caractérise par l'apparition d'émotions inappropriées et/ou mal adaptées au contexte (American Psychiatric Association, dans (Scherer, 2001). Cela peut se manifester, par exemple, par une fréquence ou une intensité anormale de certaines émotions. Les émotions et leurs expressions sont particulièrement pertinentes dans ce cadre puisque les patients atteints d'Alzheimer présentent, en plus des troubles cognitifs importants (mémoire, attention, raisonnement) qui évoluent avec la maladie, des troubles émotionnels et expressifs : troubles de reconnaissance des expressions faciales et de la prosodie (Chaby and Narme, 2009)(Templier et al., 2015), troubles d'expression des émotions (Burton

and Kaszniak, 2006), troubles de la régulation des émotions (Mammarella and Fairfield, 2014), troubles de l'humeur et de la personnalité (Pocnet et al., 2011) et comportements agressifs (Cipriani et al., 2013). Les patients atteints de cette maladie peuvent présenter plusieurs troubles émotionnels à la fois, qui peuvent varier au cours d'une même interaction (Moran et al., 2004; Gauthier et al., 2010).

Les modèles informatiques des émotions n'intègrent pas directement des mécanismes et des représentations de ces phénomènes pathologiques dans leur fonctionnement. Il convient donc de réfléchir à une extension de ces modèles qui permet d'intégrer et de simuler plus finement les variabilités inter-individuelles complexes des processus émotionnels.

L'*Appraisal Bias Model* (ABM) (Kaiser and Scherer, 1998; Scherer and Brosch, 2009) propose justement de considérer l'ensemble des caractéristiques individuelles comme des appraisal biases, ou biais d'évaluation, qui viennent altérer et s'ajouter aux processus d'évaluation de base. En effet, les différences de capacités de mémoire et de capacités cognitives sont prises en compte explicitement dans l'évaluation des critères du modèle CPM (*Figure 2.9*) et des troubles de ces capacités impliqueront une évaluation inappropriée / non adaptée de la situation.

Dans l'ABM, un *appraisal bias*, ou biais d'évaluation, est défini comme un filtre de perception et d'évaluation, qui augmente la probabilité et la fréquence de se trouver dans certains états émotionnels. Ils permettent ainsi de considérer des troubles émotionnels, de traits de personnalité ou des humeurs comme des différences inter-individuelles dans le processus d'évaluation cognitive. On peut donc dès lors considérer que lorsque la fréquence et l'intensité de ces épisodes émotionnels sont anormalement élevées, elles peuvent être dues à des appraisal biases, qui peuvent notamment être associés à des troubles émotionnels (par exemple apathie et paranoïa).

(Kaiser and Scherer, 1998) ont proposé des liens entre chaque critère d'évaluation du modèle CPM et des syndromes cliniques caractéristiques de pathologies émotionnelles (un symptôme désigne un signe ressenti par un patient (douleur); un syndrome est l'ensemble de plusieurs symptômes pouvant évoquer la présence d'une maladie). Ils lient ainsi l'apathie à une incapacité à juger l'importance des événements avec une faible motivation, qui serait causée par une mauvaise évaluation du sous-critère Goal relevance de la dimension de Relevance detection du modèle CPM. Ils lient également l'irritabilité avec une sensibilité accrue à la valence d'un stimulus, qui serait causée par une évaluation incorrecte du sous-critère Novelty de la dimension Relevance detection (**Tableau 2.3**).

Afin d'utiliser ce modèle pour représenter les troubles émotionnels, il convient tout d'abord d'identifier les troubles des émotions et du comportement caractéristiques des patients atteints d'Alzheimer et pertinents dans notre contexte pédagogique. Cela nous permet d'étudier ensuite comment les modéliser à travers le modèle ABM. D'après le DSM-5 (American Psychiatric Association, 2013), les troubles émotionnels et comportementaux que les patients atteints d'Alzheimer

Appraisal dimension		Type of malfunction	Type of emotional disorder
Relevance detection	Novelty	Exaggerated sensitivity	Nervousness, jumpiness, easily frightened
	Intrinsic pleasantness	Insensitivity to intrinsic or learned valence of stimuli	Anhedonia
	Goal relevance	Inability to judge importance of events regarding goals, low intensity of motivational striving	Apathy
Implication assessment	Goal/need conduciveness	Obstructiveness bias	Chronic dissatisfaction / frustration
Coping potential determination	Power	Underestimation bias	Helplessness, depression
		Overestimation bias	Mania, panic

Tableau 2.3 – Liens entre certaines dimensions d’appraisal du modèle CPM et des syndromes cliniques (adapté de (Scherer and Brosch, 2009)).

peuvent présenter sont les suivants : dépression, apathie, irritabilité, troubles psychotiques, agitation, agressivité et déambulation.

L’ABM permet de représenter la plupart de ces troubles (**Tableau 2.3**). Dans nos travaux, nous nous limitons dans un premier temps aux critères d’appraisal suivants : soudaineté, familiarité, plaisir intrinsèque, rapport aux buts, potentiel de maîtrise. Nous avons sélectionné ces critères car ils nous permettent, d’après l’ABM, de considérer les troubles émotionnels suivants :

- Irritabilité (critère nouveauté, sous critère soudaineté et familiarité)
- Anhédonie (critère plaisir intrinsèque)
- Apathie (critère rapport aux buts)
- Frustration chronique (critère rapport aux buts)
- Dépression (critère potentiel de maîtrise)
- Frénésie (agressivité), panique (critère potentiel de maîtrise)

Nous avons choisi de focaliser nos travaux sur les composantes émotionnelles et expressives pour répondre aux besoins de formation des aidants. En effet, les troubles comportementaux, tels que l’apathie et les troubles émotionnels de manière générale sont considérés comme une complication majeure pour les soignants et les aidants à mesure que le trouble neurocognitif progresse (Monteiro et al., 2018). La composante émotionnelle chez ce type de patient est impactée et entraîne des dysfonctionnements au niveau des expressions faciales, de la prosodie émotionnelle, des gestes et des comportements non-verbaux émotionnels dans leur ensemble (Rousseau, 2011; Gil and Arroyo-Anllo, 2019). Lors de notre analyse des besoins sur le terrain, les soignants ont rapporté que la gestion de leurs propres comportements non-verbaux tout en faisant face à des patients souffrant d’un trouble neurocognitif tel que la maladie d’Alzheimer représente une des grandes difficultés dans leur métier.

En ce qui concerne les modèles informatiques des émotions, peu de travaux à notre connaissance se sont intéressés à la modélisation pathologique des émotions.

On peut toutefois citer les travaux de (Hudlicka, 2008), avec le modèle MAMID, qui utilise le concept de *trait*, qui représente des aspects de la personnalité, pour représenter des tendances à se trouver dans certains états émotionnels. On retrouve également ce même principe dans le modèle TAME (Moshkina et al., 2011) avec le concept de *disposition* pour représenter des attitudes. Les concepts de *traits* et *disposition* ne sont pas utilisés pour modéliser des pathologies, mais pour modéliser plus généralement certaines caractéristiques d'un agent.

Nous proposons de formaliser de manière informatique le modèle ABM, en nous inspirons de ces concepts de trait et disposition pour représenter l'influence des *appraisal biases* sur l'évaluation cognitive de la situation faite par un agent.

2.2.5 . Limites de l'état de l'art

L'état de l'art sur les travaux concernant les patients virtuels nous permet d'apprécier le potentiel de ces technologies dans un contexte pédagogique, notamment pour l'entraînement aux compétences sociales (Hoque and Picard, 2014; Chollet et al., 2015; Robinson et al., 2020). L'adaptation et l'utilisation des comportements non-verbaux par le personnel médical est une des compétences sociales importante à utiliser lors d'interactions avec des patients (Roter et al., 2006). Les comportements non-verbaux sont d'autant plus importants lors d'interactions avec des patients atteints d'Alzheimer (Magai et al., 2002; Wilson et al., 2012), qui présentent des troubles de la communication verbale, mais une conservation de la capacité à interpréter et utiliser le langage non-verbal (Di Pastena, 2014). Pourtant la prise en compte des comportements non-verbaux de l'utilisateur n'est pas toujours présente dans les systèmes actuels utilisant des patients virtuels. Cela peut-être dû par exemple aux limitations techniques des différents projets ou à la complexité d'intégrer une quantité importante de signaux multimodaux. On peut aussi noter que les patients virtuels actuels ciblent l'entraînement aux compétences conversationnelles, ce qui pourrait expliquer le choix de ne pas prendre en compte le comportement non-verbal des utilisateurs.

De plus, les patients virtuels actuels n'intègrent pas de modèle des pathologies qu'ils sont censés simuler. Ces pathologies ont pourtant un fort impact sur la gestion de la communication avec ces patients. Les systèmes actuels reposent en majorité sur une écriture manuelle de scripts qui sont peu facilement évolutifs et qui limitent les situations d'entraînement (Barot et al., 2013; André and Rist, 2001). En effet, il est difficile de capturer à travers un script la variabilité des troubles émotionnels que présentent les patients atteints d'Alzheimer, qui dépendent des comportements verbaux et non-verbaux des soignants et du niveau d'évolution de la maladie. Il semble donc nécessaire de proposer un niveau de représentation approprié permettant de faire le lien entre d'une part les comportements de l'utilisateur soignants et l'état d'avancement du scénario pédagogique, et d'autre part les réactions potentiellement pathologiques du patient virtuel.

En informatique affective, il existe plusieurs modèles inspirés de la psychologie cognitive qui permettent de modéliser des concepts et mécanismes émotionnels. Ils

ont notamment été utilisés pour introduire une dimension affective sur des agents virtuels lors d'interactions avec des utilisateurs humains (Marsella et al., 2010). Ils permettent de prendre en compte des concepts tels que les émotions, et des caractéristiques individuelles telles que l'humeur ou la personnalité pour générer les comportements de l'agent (Gebhard, 2005; Hudlicka, 2008; Moshkina et al., 2011). Ces modèles n'intègrent toutefois pas de mécanismes permettant de simuler des pathologies. Nous proposons donc de nous appuyer sur l'Appraisal Bias Model (ABM) (Scherer and Brosch, 2009) et de l'adapter de manière informatique afin de modéliser les troubles émotionnels présentés par les patients atteints d'Alzheimer.

3 - Conception des interactions entre une patiente virtuelle Alzheimer contrôlée et des personnels soignants

Dans ce chapitre, nous allons décrire la démarche que nous avons mise en place afin de concevoir des interactions entre une version contrôlée d'une patiente virtuelle Alzheimer et des membres du personnel soignant de l'hôpital Broca. Pour cela, nous avons mis en place dans un premier temps une expérimentation de Magicien d'Oz dans laquelle la patiente virtuelle est contrôlée par un expérimentateur caché (un neuropsychologue spécialiste de la maladie d'Alzheimer). Nous avons ainsi spécifié notre patiente virtuelle contrôlée par un expérimentateur qui nous a permis de récolter, d'annoter et d'analyser un corpus de données nous permettant d'informer dans un deuxième temps la conception d'un modèle automatique pour générer des comportements associés à des troubles émotionnels sur une patiente virtuelle Alzheimer. Nous présentons dans la première section l'observation et l'analyse des besoins qui nous a orientés vers la conception de notre première patiente virtuelle contrôlée. Nous décrivons dans la section suivante l'architecture détaillée du prototype de Magicien d'Oz. Dans la dernière section, nous décrivons l'expérimentation qui a été mise en place avec ce prototype, ainsi que les résultats issus de cette expérimentation.

3.1 . Observations et analyse des besoins

La spécification et la conception d'une patiente virtuelle Alzheimer doit passer par plusieurs étapes et se base sur plusieurs sources de connaissances incomplètes, ce qui complexifie le processus de conception des interactions entre l'utilisateur-soignant et la patiente virtuelle Alzheimer. On peut voir sur la **Figure 3.1** une illustration de la démarche que nous avons proposée. Dans cette section, nous allons décrire la première phase de cette démarche, qui justifie nos choix de conception ainsi que la méthode employée pour spécifier notre première version de patiente virtuelle contrôlée.

Afin de définir les objectifs pédagogiques et les scénarios d'interaction avec la patiente virtuelle, une étude terrain a d'abord été réalisée (Ortega et al., 2019). Elle a consisté à se rendre dans le service gériatrique de l'hôpital partenaire du projet afin d'observer le personnel soignant interagir avec des patients atteints d'Alzheimer dans un contexte hospitalier. À l'aide de grilles d'observation, les réactions et comportements des patients atteints d'Alzheimer ont été annotés afin de pouvoir sélectionner ceux qui étaient les plus pertinents pédagogiquement pour l'élaboration des scénarios. Pour des raisons éthiques, il est en effet difficile de filmer des patients atteints d'Alzheimer et il existe peu de données vidéo libres d'accès sur les

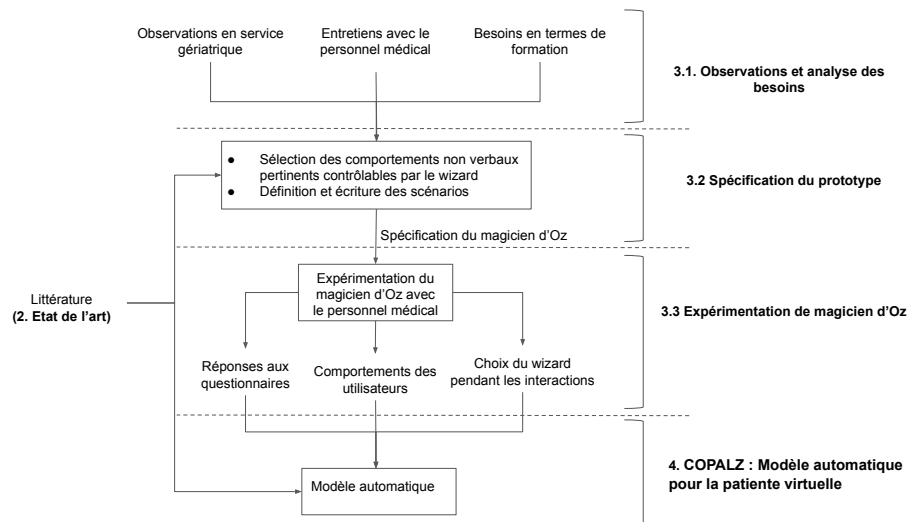


Figure 3.1 – Démarche suivie pour la conception de la patiente virtuelle Alzheimer.

comportements de ces patients en situation difficile dans un contexte réel. Ces observations ont été complétées par des entretiens avec le personnel soignant, menés par les partenaires de l'équipe CIREL, experts en formation et responsables de l'aspect pédagogique du projet, afin de recueillir des informations plus détaillées de leur point de vue et construire un scénario pédagogique cohérent avec leur expérience sur le terrain. La conception du scénario pédagogique est un élément déterminant, car il doit intégrer des éléments pertinents et réalistes d'une interaction avec les patients atteints d'Alzheimer, tout en conservant l'apport pédagogique nécessaire à la formation du personnel soignant. À la faible quantité de données d'interaction entre patient atteint d'Alzheimer et soignant, s'ajoute une faible connaissance a priori du modèle adapté pédagogiquement pour un patient simulant une pathologie complexe. C'est un problème commun à la conception des patients virtuels en général. C'est pourquoi nous nous sommes orientés vers une première version de la patiente virtuelle contrôlée par la technique du Magicien d'Oz (Fraser and Gilbert, 1991). Ce protocole utilisé en IHM permet de récolter des interactions avec des utilisateurs cibles avant la réalisation du système complètement autonome. Nous détaillons dans la section suivante notre système qui nous a permis de mettre en place une expérimentation de ce type afin de récolter des données d'interaction entre une patiente virtuelle Alzheimer contrôlée par un expérimentateur et des membres du personnel soignant.

3.2 . Spécification du prototype

3.2.1 . Description générale

Notre système de type Magicien d'Oz permet de simuler une situation interactive entre un utilisateur-soignant (qu'on appellera utilisateur par la suite) et une patiente virtuelle atteinte d'Alzheimer. Les réactions de la patiente virtuelle sont en fait contrôlées par un neuropsychologue spécialiste dans les neuropathologies, appelé «wizard», «magicien» ou «expérimentateur». Nous utiliserons les termes «wizard» et «expérimentateur» de manière interchangeable dans la suite du manuscrit. Le but de ce système est de recueillir des interactions entre les utilisateurs et la patiente virtuelle très tôt dans le processus de conception. Ces interactions vont permettre d'observer les comportements des utilisateurs, d'analyser les choix de l'expérimentateur (les comportements qu'il sélectionne pour contrôler les actions et réactions de la patiente), et d'établir grâce à cela les fondations du modèle qui devra à terme générer automatiquement les comportements verbaux et non-verbaux de la patiente virtuelle en fonction de la situation et des comportements détectés chez l'utilisateur. Cette méthode permet aussi, à la suite de ces interactions, de récolter des données qualitatives via des questionnaires remplis par les utilisateurs après une session d'interaction avec le système.

Ces données d'interaction viendront compléter les observations faites sur le terrain et les descriptions standards des comportements de ce type de patient (Cummings et al., 1994; American Psychiatric Association, 2013) ainsi que les observations et théories sur l'expression et la reconnaissance des comportements non-verbaux des patients atteints d'Alzheimer (Hubbard et al., 2002; Henry et al., 2009; Rousseaux et al., 2010) (**Figure 3.1**).

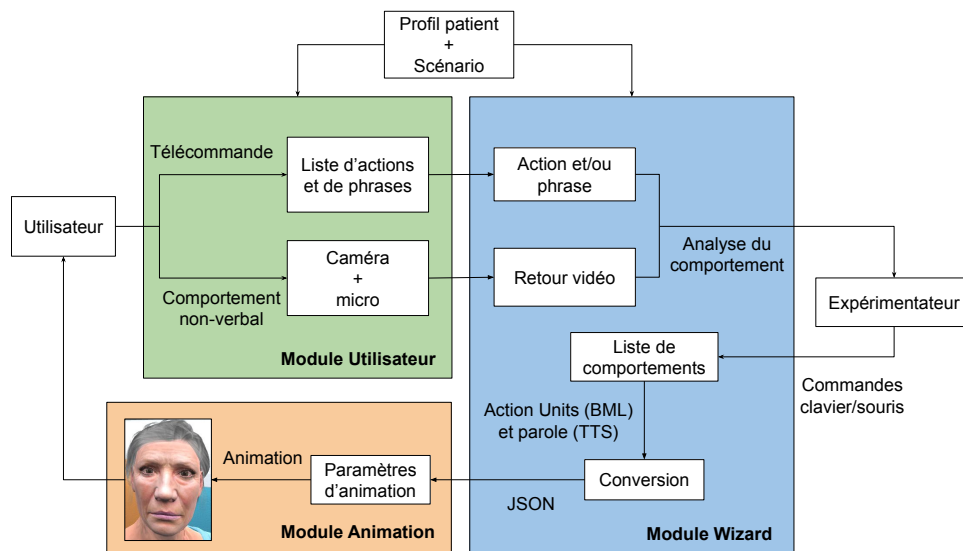


Figure 3.2 – Architecture de la plateforme Magicien d'Oz simulant les réactions d'une patiente virtuelle Alzheimer.

Le système conçu pour le Magicien d'Oz fait intervenir trois modules (**Figure**

3.2) :

- **Module Utilisateur (soignant) :** Il est composé d'une interface graphique permettant à l'utilisateur d'interagir avec l'environnement virtuel qui inclut un personnage animé, ainsi que des capteurs (caméra et micro) pour enregistrer et analyser les comportements non-verbaux de l'utilisateur. À chaque étape de l'interaction, l'utilisateur peut choisir une action et/ou un dialogue parmi une liste de choix affichée sur son interface. Lorsque l'utilisateur fait un choix, il doit ensuite l'interpréter verbalement, en utilisant ses comportements non-verbaux comme face à un patient réel (expressions faciales, posture, prosodie, gestes).
- **Module Wizard :** Il reçoit en entrée les données d'interaction de l'utilisateur recueillies par le module Utilisateur (choix des actions et des phrases sélectionnées par l'utilisateur et vidéos des comportements verbaux et non-verbaux de l'utilisateur), qui seront analysées par l'expérimentateur. Ce dernier sélectionne ensuite les comportements de la patiente virtuelle qu'il pense être adaptés et fidèles à ceux d'un patient atteint d'Alzheimer. Il le fait à travers une interface graphique conçue pour permettre une réponse rapide.
- **Module Animation :** Il reçoit le flux JSON contenant la description des comportements de la patiente virtuelle, puis le transforme en paramètres d'animation afin d'exécuter ces comportements sur le modèle 3D du personnage virtuel. Le personnage 3D de la patiente a été créé pour le projet par le partenaire industriel SimForHealth en le rendant animable avec des paramètres d'animation standards (*Action Units* pour les expressions faciales).

3.2.2 . Scénario : La prise de médicaments

Les observations et analyses sur le terrain nous ont guidé vers l'identification de situations critiques et récurrentes lors des interactions avec des patients atteints d'Alzheimer, telles que le refus des soins, la déambulation, les tentatives de fuite ou les terreurs nocturnes (Ortega et al., 2019). Pour le premier scénario, appelé scénario pilote, la situation de refus de soins a été retenue, et plus spécifiquement le refus de la prise de médicaments. La prise de médicament représente une activité quotidienne commune à l'ensemble du personnel soignant (infirmiers et soignants) et du personnel médical (médecin, psychologues). Elle implique une interaction rapprochée avec le patient et mobilise des ressources sur la connaissance du patient et de sa maladie, sur l'utilisation appropriée de son comportement verbal et non-verbal, sur la capacité à s'adapter à la variabilité des réactions possibles du patient et sur le choix de stratégies efficaces et adaptées. Cette situation du quotidien a été identifiée comme problématique, car elle peut rapidement se dégrader et mener à un refus de coopérer pouvant aller jusqu'à des comportements agressifs de la part du patient.

Le scénario pilote met en scène Mme Francine Dupont, une patiente de 90

ans atteinte de la maladie d'Alzheimer, en séjour longue durée (SLD) à l'hôpital. La scène se passe en fin de matinée, et la patiente est réveillée et assise dans son fauteuil. Le soignant a pour objectifs d'assurer la prise de médicaments et de stimuler la patiente. Le scénario est découpé en trois parties, chacune séparée en deux phases :

- L'approche patiente : Au début de la simulation, qui correspond à la première phase de cette partie, le soignant se trouve face à la porte fermée de la chambre de la patiente. Cette première phase sert également de familiarisation avec la télécommande et avec l'interface graphique. Au début de la phase suivante, le soignant se trouve donc dans la chambre de la patiente. Il se présente et annonce à la patiente qu'elle doit prendre ses médicaments.
- Le geste technique : Pendant les deux phases de cette partie du scénario, le but de l'utilisateur est d'effectuer le geste technique, qui consiste à choisir une stratégie pour donner ses médicaments à la patiente. La deuxième phase propose les mêmes choix que ceux de la première phase de cette étape et permet de laisser la possibilité au soignant de changer de stratégie si la première phase n'a pas été concluante. Il est également possible de conserver sa stratégie et essayer une seconde fois en adaptant par exemple son comportement verbal et non-verbal.
- La sortie : Dans cette partie du scénario, selon le déroulement de l'interaction, la patiente a déjà accepté de prendre ses médicaments ou elle a au contraire refusé de coopérer. À ce niveau du scénario, il est possible de continuer l'interaction afin de stimuler la patiente, ou mettre fin à la simulation en sortant de la chambre. Cette partie est également séparée en deux phases, et l'interaction peut se terminer lors de l'une de ces deux phases. La deuxième phase de sortie permet par exemple à l'utilisateur de continuer l'interaction en stimulant la patiente après lui avoir donné les médicaments.

3.2.3 . Module Utilisateur

Matériel

L'utilisateur dispose d'une interface graphique affichée sur un écran de 43 pouces (109,22 cm) orienté en mode portrait (**Figure 3.3**). Il dispose également d'une télécommande pour interagir avec cette interface graphique, ce qui lui permet de rester à distance du personnage virtuel affiché sur l'écran, simulant ainsi une situation d'interaction avec un patient humain.

Une caméra est disposée au-dessus de l'écran pour transmettre en direct le flux vidéo au wizard, enregistrer et traiter les vidéos des interactions.



Figure 3.3 – Interface graphique présentée à l'utilisateur au début de la phase "Geste technique 1" du scénario. Les actions et dialogues en couleur sont ceux qui ont été sélectionnés par l'utilisateur.

Fiche patient

Avant le début de l'interaction, une fiche patient est affichée sur l'écran (**Figure 3.4**). Elle est présentée sous forme de plusieurs onglets que l'utilisateur peut faire défiler à l'aide de la télécommande. Le premier onglet contient des informations générales sur la patiente (par exemple, le nom, le sexe, la profession...). Le deuxième et le troisième onglet contiennent des informations médicales sur la patiente (situation et antécédents médicaux, traitement). Le dernier onglet contient une description du contexte avant l'interaction (par exemple, nuit agitée, refus de s'alimenter) et l'objectif de l'utilisateur pour le scénario actuel (stimuler la patiente et assurer la prise de médicaments).

Francine Dupont Fiche patient Date de naissance : 27/11/1931 (90 ans) Sexe : Femme Profession : Chanteuse d'Opéra Etat civil : Mariée, 2 enfants, 3 petits-enfants	Francine Dupont Situation Hospitalisé en SLD suite à sa chute au domicile. En perte d'autonomie. Elle peut encore s'exprimer verbalement, boire et manger seule. Antécédents personnels Hypertension artérielle. Trouble neurocognitif majeur d'origine neurodégénérative à un stade sévère (Alzheimer).
Francine Dupont Traitement à donner lors de la situation DAFALGAN CODEINE 1cp matin et soir -> antidouleur ZOLOFT 50 mg Gel -> Psychoanaleptiques - antidépresseurs PRITOR 20 mg Cpr 1/sep/jour -> Antihypertenseur	Francine Dupont Contexte Fin de matinée. La patiente est réveillée et assise dans son fauteuil. Elle a refusé de manger ce matin et a eu une nuit très agitée. Objectifs Assurer la prise de médicaments et stimuler la patiente

Figure 3.4 – Fiche patient contenant les informations sur la patiente, le contexte et les objectifs de l'interaction pour l'utilisateur.

Ces informations permettent de se placer dans une situation proche de la réalité du terrain. Le personnel soignant dispose en effet dans la chambre de chaque patient des fiches contenant des informations similaires et permettant d'échanger des informations entre le personnel médical et le personnel soignant. Une fois consultée, l'utilisateur appuie sur un bouton de la télécommande pour commencer l'interaction. L'utilisateur a ensuite la possibilité de consulter à nouveau cette fiche à tout moment de l'interaction.

Déroulement de l'interaction

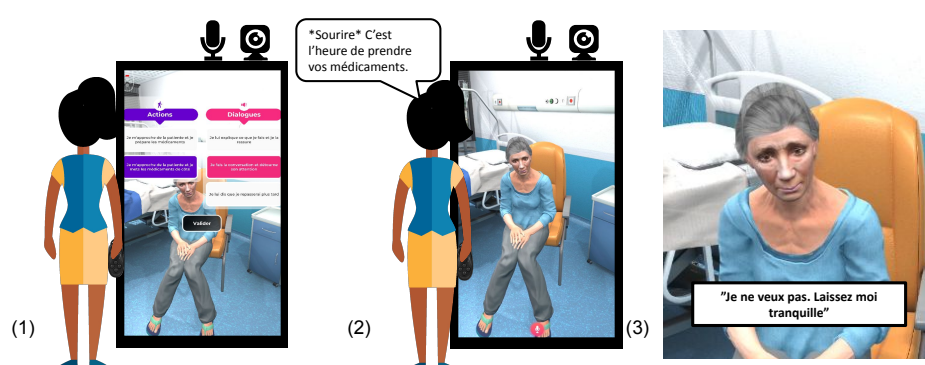


Figure 3.5 – Déroulement d'un extrait d'interaction avec la patiente virtuelle Alzheimer (1) Sélection du choix de l'utilisateur sur l'interface (2) Interprétation du choix par l'utilisateur (comportement verbal et non-verbal) (3) Zoom sur la réaction de la patiente virtuelle.

L'interaction se déroule en suivant le scénario établi lors de l'analyse des besoins (section 3.1) qui se découpe en plusieurs phases. À chaque début de phase, un ensemble de choix s'affiche sur l'interface graphique affichée à l'écran. L'utilisateur peut alors choisir une combinaison d'une action (par exemple : je m'approche de la patiente et je prépare les médicaments), et/ou d'un élément de dialogue (par exemple : je fais la conversation et détourne son attention [des médicaments]) parmi la liste des choix proposés (**Tableau 3.1**). L'utilisateur interprète ensuite son choix, comme s'il se trouvait face à un patient réel, en utilisant son comportement verbal et non-verbal (**Figure 3.5**).

Par exemple, l'utilisateur peut sélectionner l'action «Je donne les médicaments à la patiente» combinée à l'élément de dialogue «J'explique ce que je fais et je la rassure». Il peut ensuite jouer la combinaison en disant *"Voici les médicaments. Celui-ci va vous aider à soulager votre douleur et l'autre va vous aider à bien dormir"*, tout en affichant un sourire et une posture corporelle détendue. Si l'utilisateur ne sélectionne que l'action «je donne les médicaments à la patiente», il peut toujours ajouter à son comportement non-verbal une phrase, par exemple :

Phase du scénario	Action	Dialogue
Approche patiente 1	Je toque à la porte, je l'ouvre et j'attends	
	Je toque et j'entre directement dans la chambre	
Approche patiente 2	Je m'approche de la patiente et je prépare les médicaments	Je lui explique ce que je fais et je la rassure
	Je m'approche de la patiente et je mets les médicaments de côté	Je fais la conversation et détourne son attention
		Je lui dis que je repasserai plus tard
Geste technique 1	Je donne à la patiente ses médicaments avec un verre d'eau	Je lui explique que c'est important et la rassure
	Je laisse les médicaments de côté	Je l'encourage
	Je range les médicaments	Je fais la conversation
		J'accepte son refus et lui explique ce que je vais faire
Geste technique 2	Je redonne à la patiente ses médicaments	J'insiste encore et l'encourage
	Je laisse les médicaments de côté	Je lui réexplique que c'est important et la rassure
	Je range les médicaments	Je fais la conversation et je détourne son attention
Sortie 1	Je me prépare à sortir de la chambre	Je dis au revoir à la patiente
	J'attends	Je la félicite
		Je fais la conversation avant de sortir
Sortie 2	Je sors de la chambre	Je dis au revoir à la patiente

Tableau 3.1 – Liste des choix d'action et de dialogue affichés sur l'interface graphique de l'utilisateur pour chaque phase du scénario.

"Voici votre médicament", pour lui permettre d'exprimer naturellement les comportements non-verbaux associés.

La caméra et le micro permettent d'une part à l'expérimentateur qui contrôle la patiente virtuelle de suivre en temps réel les comportements de l'utilisateur et d'autre part d'enregistrer les vidéos afin de les visionner et les annoter. Nous utilisons les logiciels OpenFace (Baltrusaitis et al., 2018) et OpenPose (Cao et al., 2021) pour détecter automatiquement un ensemble de comportements (**Tableau 3.2**) qui ont été déterminés comme pertinents pour le contexte pédagogique de formation aux spécificités de la gestion des comportements des patients atteints d'Alzheimer. La détection et l'analyse des comportements de l'utilisateur concernant plus particulièrement le partenaire de projet ISIR, et ont fait l'objet d'une publication (Zagdoun et al., 2021).

3.2.4 . Module Wizard

3.2.4.1 Interface graphique

Le module Wizard permet à l'expérimentateur (ou wizard) de sélectionner et déclencher les réactions de la patiente virtuelle pendant l'interaction avec un utilisateur soignant, à partir d'une interface graphique. On peut voir en **Figure 3.6** l'évolution de l'interface graphique du wizard entre la première session de pré-test

Expressions faciales	Sourire : AU12
	Coins des lèvres vers le bas : AU15
	Sourcils relevés : AU1 & AU2
	Sourcils relevés intérieur : AU1
	Froncement des sourcils : AU4
Postures	Proximité
	Ouverture des bras

Tableau 3.2 – Comportements non-verbaux de l'utilisateur détectés avec les logiciels OpenFace et OpenPose après les expérimentations.

et le prototype final (Voir section 3.3.2).

Il est commandé par un expérimentateur (le wizard), qui décide en fonction des données recueillies par le module Soignant, de déclencher des comportements verbaux (phrases) et non-verbaux (expressions faciales, orientation de la tête, direction du regard) sur la patiente virtuelle. Il dispose aussi d'informations concernant le scénario ainsi que le profil de la patiente. Le wizard observe les signaux émis par l'utilisateur-soignant à travers le retour vidéo.

3.2.4.2 Description des actions

Le wizard dispose d'une interface lui permettant de choisir le comportement de la patiente virtuelle. Il peut déclencher l'affichage d'expression d'émotions sur le visage de la patiente virtuelle et lui faire prononcer des phrases.

Expressions faciales

Nous avons défini une liste de comportements prédéfinis (par exemple «froncer les sourcils», «relever les sourcils», «sourire»...)(**Tableau 3.3**). Cette liste se situe à un niveau intermédiaire entre de plus hauts niveaux d'abstraction liés aux émotions (émotions de base) et de plus bas niveaux d'abstraction (comme les unités d'action faciales (Ekman and Friesen, 1978) qui seraient peu pratiques à utiliser pour des non spécialistes). Chaque comportement correspond en interne à un ensemble d'unités d'action.

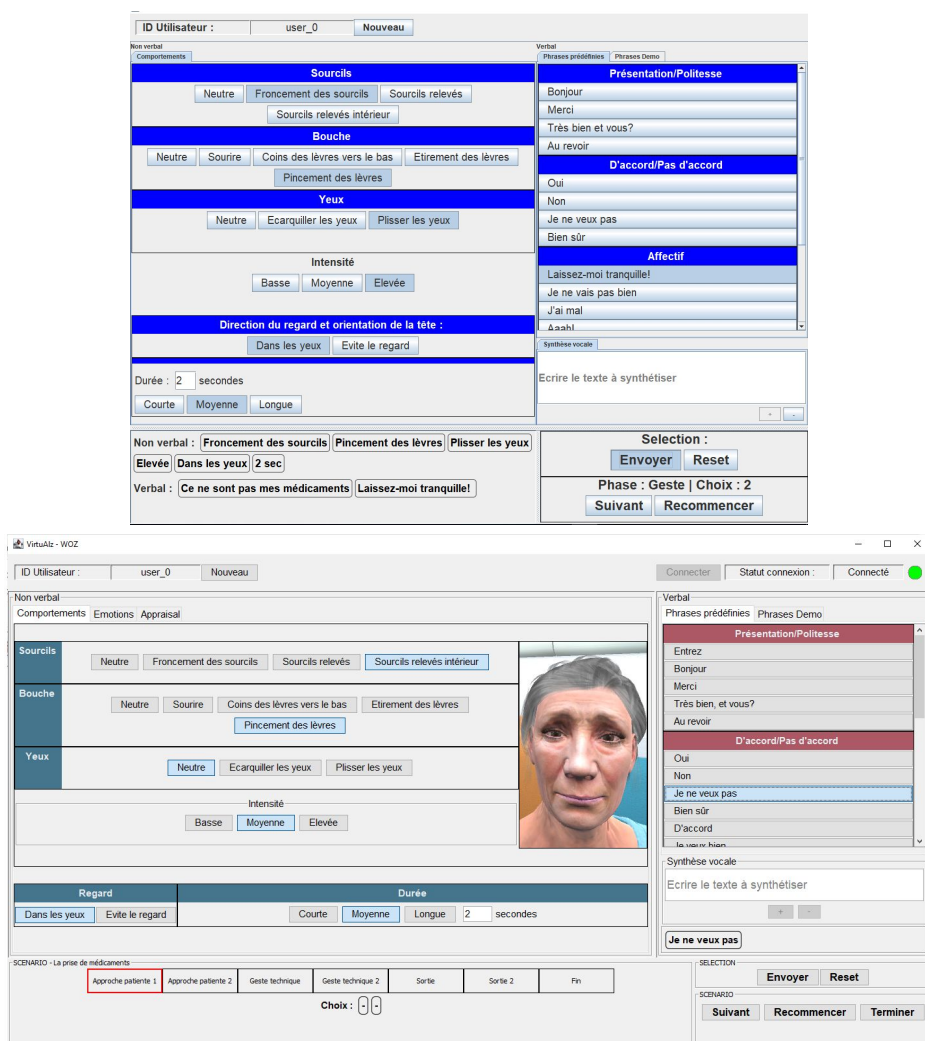


Figure 3.6 – Évolution de l'interface graphique présentée au wizard pour contrôler les réactions de la patiente virtuelle. En haut, la première version conçue avant les tests préliminaires (Voir section 3.3.2). En bas, la version finale après les retours des tests préliminaires.

Expressions faciales	Bouche	Sourire : AU 12 Coins des lèvres vers le bas : AU 15
		Étirement des lèvres : AU 20 Pincement des lèvres : AU 24 Neutre (aucune AU activée dans cette zone)
		Sourcils relevés : AU 1 & AU 2
	Sourcils	Sourcils relevés intérieur : AU 1 Froncement des sourcils : AU 4 Neutre
		Écarquiller les yeux : AU 5 Plisser les yeux : AU 44 Neutre
	Yeux	
Regard	Direction	Dans les yeux Évite le regard

Tableau 3.3 – Comportements non-verbaux possibles de la patiente virtuelle

La durée de l'expression peut être spécifiée manuellement grâce au champ de texte prévu à cet effet. Il est également possible de sélectionner parmi les trois options de durée par défaut : court, moyen ou long. L'interface propose une durée par défaut de 2 secondes. En effet, la majorité des expressions d'émotions ressenties durent entre 0,5 seconde et 4 secondes (Ekman and Friesen, 1982; Varni et al., 2017).

Autres comportements non-verbaux

Le wizard a la possibilité de contrôler la direction du regard. Il sera limité à décider si la patiente regarde l'utilisateur en face (« Dans les yeux »), avec les mouvements de tête appropriés, ou détourne son regard (« Évite le regard ») (**Tableau 3.3**).

La direction du regard exprime l'attention du patient à l'égard du soignant et donne aussi des indices au plan émotionnel (de Sevin et al., 2012; Poggi, 2007). La patiente virtuelle peut être attentive à l'utilisateur-soignant, ou détourner le regard pour l'ignorer ou lui montrer sa désapprobation.

Comportements verbaux

Le contenu verbal peut être déclenché à travers deux modalités :

- Liste de phrases prédéfinies (**Tableau 3.4**) : Elles sont classées par catégories pour faciliter la recherche au wizard, les phrases prédéfinies sont choisies en fonction de leur récurrence dans les interactions entre les patients et les soignants.
- Synthèse vocale : Étant donné la limitation du nombre de phrases prédéfinies, on propose également une zone de texte permettant de choisir le contenu verbal à faire dire à la patiente virtuelle, dans le cas où aucune

phrase prédéfinie ne permet de répondre à une situation.

Orientation/ Exploration	Approche/ Coopération	Evitement / Refus /Agressivité	Autre
Qui êtes-vous?	Entrez	Non	J'ai mal
Quelle heure est-il?	Bonjour	Je ne veux pas	Je m'ennuie
Où sommes-nous?	Merci	Laissez-moi tranquille!	Je suis fatiguée
Je ne sais pas	Oui	Je n'ai pas envie	Je ne vais pas bien
Je n'ai pas compris	Je veux bien	Ah ça non! J'ai déjà pris vos saletés de médicaments. Ce ne sont pas mes médicaments. Laissez-moi tranquille.	
Pourquoi faites-vous ça?	D'accord	Mais qu'est-ce que vous faites là? Qu'est-ce que vous voulez?! Laissez-moi tranquille	
	Bien sûr	Mais qu'est-ce que vous me voulez? J'ai déjà pris mes médicaments. Ce ne sont pas les miens, vous vous trompez.	

Tableau 3.4 – Liste de phrases prédéfinies disponibles sur l'interface graphique du wizard classées en quatre catégories.

3.2.5 . Module Animation

3.2.5.1 Dynamique des expressions faciales

Pour décrire la dynamique de l'animation des expressions faciales, on utilise le modèle onset-apex-offset (Ekman et al., 2002) (ou attack-sustain-release), qui se déroule en trois phase (**Figure 3.7**) :

- Onset (ou attack) : Passage de l'intensité initiale à l'intensité désirée. On considère dans notre cas que la vitesse de transition est fixe peu importe le comportement, et donc que la phase d'onset a une durée toujours fixe.
- Apex (ou sustain) : Le maintien de l'intensité désirée. La durée du maintien représente la durée spécifiée dans la commande de l'interface graphique du wizard.
- Offset (ou release) : Passage de l'intensité désirée à l'intensité finale.

3.2.5.2 Description des commandes d'animation

Une fois que le wizard a décidé de l'action choisie, il envoie en sortie du module Wizard une description des comportements verbaux et non-verbaux qui doivent être exprimés par la patiente virtuelle (phrase et expressions faciales). La description interne des comportements est codée dans un langage très utilisé en contrôle d'agents virtuels, le *Behavior Markup Language* (BML) (Kopp et al., 2006) puis convertie en flux JSON pour compatibilité avec la plateforme industrielle. Chaque

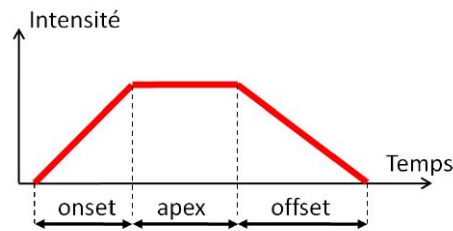


Figure 3.7 – Illustration du modèle onset-apex-offset (ou attack-sustain-release)

commande envoyée par le wizard vers le module Animation se compose au plus de trois éléments :

- **Les expressions faciales** sont d'abord décrites avec des Action Units. Le personnage virtuel est conçu par SimForHealth (SFH) sous Unity, qui ne propose pas d'animations à partir d'*Action Units* (AU) mais à partir de *morphers* (ou *blendshapes*) propres à Unity. Les AU sont donc convertis en morphers selon le mapping entre AU et morphers, établi en collaboration le partenaire SFH. On assigne également à la combinaison de *morphers* choisis une intensité (entre 0,0 et 1,0) et une durée en secondes.
- **La direction du regard et l'orientation de la tête** sont définies en spécifiant les coordonnées 3D d'un objet virtuel que va suivre la tête, et d'un autre objet virtuel que va suivre le regard. Seules deux possibilités sont disponibles au wizard : « Dans les yeux » et « Évite le regard ». Pour l'option « Dans les yeux », les coordonnées des objets virtuels seront celles de la caméra. Pour l'option « Évite le regard ». Nous avons déterminé des coordonnées constantes pour les deux objets virtuels (un pour l'orientation de la tête et un autre pour la direction du regard).
- **Le contenu verbal** peut être composé d'un mot ou d'une phrase. La parole est synchronisée avec les mouvements des lèvres par le partenaire SFH.

3.2.6 . Communication et log

Chacun des trois modules représente physiquement un ordinateur. Les ordinateurs communiquent entre eux par l'intermédiaire d'un serveur basé sur le protocole de communication UDP (*User Datagram Protocol*), adapté au temps réel (Postel, 1980). Nous avons défini avec les partenaires du projet ce protocole afin de spécifier la structure des messages échangés et d'explicitier le déroulement de l'interaction (Annexe A). Les messages échangés correspondent aux informations sur le scénario (titre du scénario, phase actuelle du scénario, changement de phase du scénario), aux choix de l'utilisateur sur son interface (section 3.2.3) et à l'ensemble des éléments sélectionnés et/ou envoyés par le wizard depuis son interface (section 3.2.4).

Tous les messages envoyés par l'ensemble des modules sont donc centralisés sur le serveur qui les redistribue par la suite aux modules concernés. Ces messages sont également enregistrés sur un fichier de log, qui permet ainsi de retracer toute l'interaction.

3.3 . Expérimentation de Magicien d'Oz

L'analyse des besoins de formation décrite en section 3.1, qui a intégré une analyse de l'activité des soignants, a permis d'identifier des situations d'interaction verbale et non-verbale considérées critiques. La situation dans laquelle la soignante fait face à une patiente refusant les soins a été retenue pour concevoir le scénario pilote, en raison de sa fréquence d'apparition élevée. Le scénario a été formalisé avec des propositions illustratives de réactions verbales et non-verbales. Pour ce 1er prototype, il a été décidé de se focaliser sur les expressions faciales.

3.3.1 . Protocole

La tâche est donc de faire prendre ses médicaments à la patiente. Avant le début de l'interaction, l'expérimentateur installe les utilisateurs face à l'écran en leur décrivant le système comme étant autonome. Il leur explique ensuite qu'il restera dans la pièce d'à côté pour intervenir en cas de problème technique. Pendant l'expérimentation, l'utilisateur est muni d'une télécommande et se trouve seul dans une salle face à un écran. L'expérimentateur caché se trouve dans une salle mitoyenne avec retransmission vidéo et son de l'utilisateur (**Figure 3.8**).

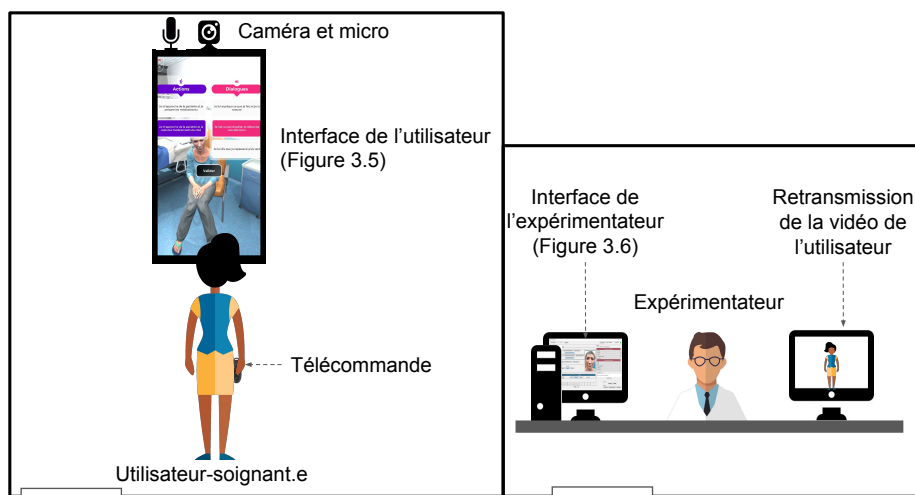


Figure 3.8 – Illustration de la configuration de la pièce où se trouve l'utilisateur et la pièce mitoyenne où se trouve l'expérimentateur durant les expérimentations.

Le but des expérimentations était 1) de vérifier si la patiente virtuelle montrait des réactions crédibles pour une patiente atteinte Alzheimer, et 2) de récolter des données d'interactions entre des utilisateurs et une patiente virtuelle Alzheimer, dans la perspective de modéliser et simuler ensuite automatiquement les réactions de la patiente, sans l'aide d'un expérimentateur caché.

Le protocole expérimental que nous avons défini se déroule comme suit :

- Un entretien préliminaire (**Annexe B**, pp.1-2), durant lequel le contexte de l'expérimentation est présenté à l'utilisateur, qui remplit un questionnaire préalable (consentement, informations générales, niveau d'expérience, formations sur la maladie d'Alzheimer) et suit un court tutoriel afin de se familiariser avec l'interface.
- Une session d'interactions entre l'utilisateur et la patiente virtuelle (contrôlée par l'expérimentateur caché) d'une durée moyenne de 5 min.
- Un entretien post-interaction (**Annexe B**, p.3) durant lequel l'expérimentateur effectue avec l'utilisateur une analyse, en terme pédagogique, des interactions. L'expérimentateur a été formé par un laboratoire partenaire du projet, expert en formation pédagogique pour effectuer cet entretien.
- Un questionnaire d'évaluation (**Annexe B**, pp.4-8) rempli par l'utilisateur. Le questionnaire d'évaluation est composé :
 - d'une adaptation du *System Usability Scale*(SUS) (Brooke, 1996) (dans laquelle les items «le système» ont été remplacés par «le système VirtuAlz»), afin que l'utilisateur évalue l'utilisabilité ressentie de l'outil,
 - de l'*Acceptability E-scale* (Taenzer et al., 1996), afin d'évaluer l'acceptabilité de l'outil,
 - de l'échelle de KirkPatrick (Kirkpatrick, 1959) pour évaluer l'appréciation de l'outil,
 - d'une adaptation du *GodSpeed questionnaire* (Bartneck et al., 2008) pour évaluer le réalisme de la patiente virtuelle.

Ce protocole a reçu un avis favorable du Comité d'Éthique de la Recherche de l'Université de Paris (N° IRB : 2019-67).

3.3.2 . Participants et sessions expérimentales

Une première session de pré-test effectuée en collaboration avec les partenaires du projet a permis de tester le fonctionnement de la patiente virtuelle contrôlée. Elle comptait 10 participants (nous les appelons par la suite les utilisateurs), dont 6 de sexe féminin, sans critère d'inclusion ou d'exclusion avec des âges allant de 20 à 44 ans. Les profils des utilisateurs étaient variés : neuropsychologue (1), ergothérapeute (1), cadre de santé (1), ingénieurs d'étude (2), étudiant en psychologie (1), étudiant.e.s ingénieurs (2), graphistes (2). La diversité dans les domaines d'expertise des participants a permis de récolter des avis et des suggestions selon plusieurs points de vue. Le but de cette démarche était de tester et de valider le protocole expérimental, de tester le bon fonctionnement technique du prototype et enfin de corriger d'éventuels problèmes afin d'améliorer son ergonomie (côté

utilisateur mais aussi côté expérimentateur) comme on peut le voir en **Figure 3.6**. Cela a également permis de récolter un premier jeu de données (fichiers de logs et vidéos des interactions entre les utilisateurs et la patiente virtuelle). Ces données ont notamment servi à préparer l'environnement de traitement des données post-expérimentation.

Les sessions d'expérimentation se sont déroulées par la suite et comprenaient 31 utilisateurs, dont 26 de sexe féminin. Les participants faisaient partie du personnel médical (6 psychologues et 11 médecins) ou du personnel soignant (6 aides-soignant.es et 8 infirmier.es). Les participants sont répartis dans 4 tranches d'âge, avec 8 participants dans la tranche 25-34 ans, 9 dans la tranche 35-44 ans, 9 dans la tranche 45-54 ans et 5 dans la tranche 55-65 ans. Les passations se sont déroulées de juin à août 2020.

3.3.3 . Évaluation du système

La session d'interaction avec le système a été suivie par une évaluation du système par les utilisateurs. Elle a consisté en un ensemble de questionnaires portant sur la perception de l'outil et de l'agent virtuel. Ces questionnaires permettent d'évaluer la pertinence du scénario par des professionnels de santé, mais aussi le réalisme et la pertinence des réactions de la patiente virtuelle ainsi que de l'aspect pédagogique de notre système. Nous allons maintenant décrire les résultats obtenus à ces questionnaires.

SUS (Brooke, 1996)

La System Usability Scale est une échelle permettant de mesurer le degré d'utilisabilité d'un dispositif en donnant un score de 0 à 100. Cette échelle comporte 10 items et se base sur une échelle de type Likert en cinq points, de « Pas du tout d'accord » à « Tout à fait d'accord ». En moyenne, les 30 participants ayant testé le dispositif ont attribué des scores correspondant à un niveau d'utilisabilité jugé « bon », car supérieur à 70/100 ($m=79.4$; $ET=12.6$).

Appréciation de l'outil

Afin de mesurer le degré d'appréciation de l'outil, une échelle composée de quatre items a été proposée aux participants et ces derniers devaient se positionner sur une échelle de type Likert en cinq points, de « Pas du tout d'accord » à « Tout à fait d'accord ». Les participants ont rapporté des scores témoignant d'une appréciation pouvant être qualifiée de bonne. Les scores s'échelonnent au-dessus de 3/5 ($m=3.91$; $ET=0.91$).

Échelle d'acceptabilité (Taenzer et al., 1996)

Le niveau d'acceptabilité du dispositif a été évalué par l'intermédiaire de l'échelle d'acceptabilité Acceptability E-scale. Cette échelle comporte six items se basant

sur une échelle de type Likert en cinq points pour les modalités de réponse (donc une note de 0 à 30). Malgré des scores corrects rapportés par les participants ($m=24.94$; $ET=2.92$), le seuil proposé par (Micoulaud-Franchi et al., 2016) n'est pas atteint ($m=25.81$; $ET=3.48$).

Godspeed (Bartneck et al., 2008)

Afin d'évaluer la perception qu'ont les participants du dispositif, l'échelle Godspeed leur a été soumise. Cette échelle comporte cinq dimensions (anthropomorphisme, animation, sympathie, intelligence perçue, sécurité perçue) pour lesquelles les participants doivent se situer sur un continuum de 1 à 5 entre deux adjectifs de sens contraire. Globalement, l'ensemble des participants a rapporté des scores tendant davantage vers les adjectifs à valence positive que négative pour l'ensemble des dimensions composant l'échelle (Anthropomorphisme : $m=3.72$; $ET=0.97$; $\alpha=0,83$; Animation : $m=3.57$; $ET=1.03$; $\alpha=0,89$; Sympathie : $m=3.39$; $ET=0.82$; $\alpha=0,8$; Intelligence perçue : $m=2.98$; $ET=0.58$; $\alpha=0,66$; Sécurité perçue : $m=3.2$; $ET=0.93$; $\alpha=0,69$).

Analyse des suggestions en texte libre des utilisateurs

Il était également demandé aux participants d'évaluer en texte libre la crédibilité de la patiente virtuelle et du scénario proposé. Concernant la patiente virtuelle, l'analyse des réponses révèle que les améliorations devraient concerner : les mouvements du corps et/ou la fluidité des animations (8 occurrences), le réalisme des expressions faciales (8 occurrences), le réalisme de l'environnement (i.e., chambre d'hôpital ; 2 occurrences), la rapidité des réponses de la patiente (2 occurrences), ou aucune amélioration à apporter (11 occurrences). Concernant le scénario lui-même, l'analyse des réponses révèle que les améliorations devraient concerner : la contextualisation avant l'interaction (1 réponse), la richesse des comportements de la patiente et des réponses possibles de l'apprenant (9 occurrences), les temps de latence (1 réponse), ou aucune amélioration à apporter (17 occurrences).

En conclusion, les réponses aux questionnaires suggèrent que les utilisateurs ont évalué positivement la patiente (**Tableau 3.5**). Ceci valide le processus de conception que nous avons mis en place pour notre patiente virtuelle et suggère que les données d'interaction collectées peuvent être utiles pour informer la conception de la version automatique de la patiente virtuelle. Les résultats concernant l'acceptabilité et l'utilisabilité de l'outil vont également dans le sens d'un des objectifs du projet, qui est de proposer un outil qui soit utilisable et apprécié par le personnel soignant.

3.4 . Résultats : Données d'interaction collectées

3.4.1 . Visualisation

Questionnaire		moyenne	écart-type
System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1996)		79,4/100	12,1
Appréciation de l'outil		3,9/5	0,91
Échelle d'acceptabilité (Taenzer et al., 1996)		24,9/30	2,9
Godspeed (Bartneck et al., 2008)	Anthropomorphisme	3,7/5	0,97
	Animation	3,5/5	1,0
	Sympathie	3,3/5	0,82
	Intelligence perçue	2,9/5	0,58
	Sécurité perçue	3,2/5	0,93

Tableau 3.5 – Synthèse des résultats aux questionnaires.

Nous avons utilisé le logiciel Anvil (Kipp, 2001) pour visualiser les vidéos des interactions, intégrer les fichiers de logs des interactions et ajouter des annotations manuelles. Ce logiciel permet aussi d'effectuer des analyses statistiques (histogrammes, diagrammes transitions, calcul de cooccurrence). Les sessions d'expérimentation nous ont permis de récupérer un ensemble de données qui comprennent :

- 31 couples de vidéos des interactions : la vidéo de l'utilisateur et la vidéo correspondante de la patiente virtuelle, synchronisées entre elles. Elles permettent de visionner les interactions.
- Données d'interaction loguées : pendant chaque session d'interaction, toutes les actions effectuées sur les interfaces graphiques de l'utilisateur (menu «Action» et menu «Dialogue») et de l'expérimentateur (comportements verbaux et non-verbaux que doit exprimer la patiente virtuelle) ont été enregistrées lors de l'interaction puis converties dans un format compatible avec le logiciel Anvil. Ce logiciel permet de représenter une suite d'événements sur une ou plusieurs pistes temporelles. Ces pistes sont ensuite synchronisées aux vidéos associées, et permettent de suivre et visualiser le déroulement temporel des actions effectuées pendant l'interaction (**Figure 3.9**). Un ensemble de comportements non-verbaux de l'utilisateur ont également été annotés automatiquement après la récolte des données à l'aide des logiciels OpenFace et OpenPose (**Tableau 3.2**).

Considérer les données d'interactions collectées pour informer la conception d'un patient virtuel automatique est pertinent à double titre : 1) cela nous sert de données comportementales perçues comme crédibles (alors que filmer des patients atteints d'Alzheimer ne nous était pas autorisé), et 2) ces interactions se déroulent dans un cadre pédagogique proche de la situation pédagogique finale dans laquelle le personnel soignant est un utilisateur interagissant avec un personnage animé.

3.4.2 . Annotations

Le modèle automatique de la patiente virtuelle doit faire le lien entre deux niveaux : 1) les actions de l'utilisateur (actions et dialogues sélectionnés sur les menus graphiques), les verbalisations et comportements non-verbaux du personnel soignant, l'état actuel de la simulation (phase du scénario), et 2) les comportements

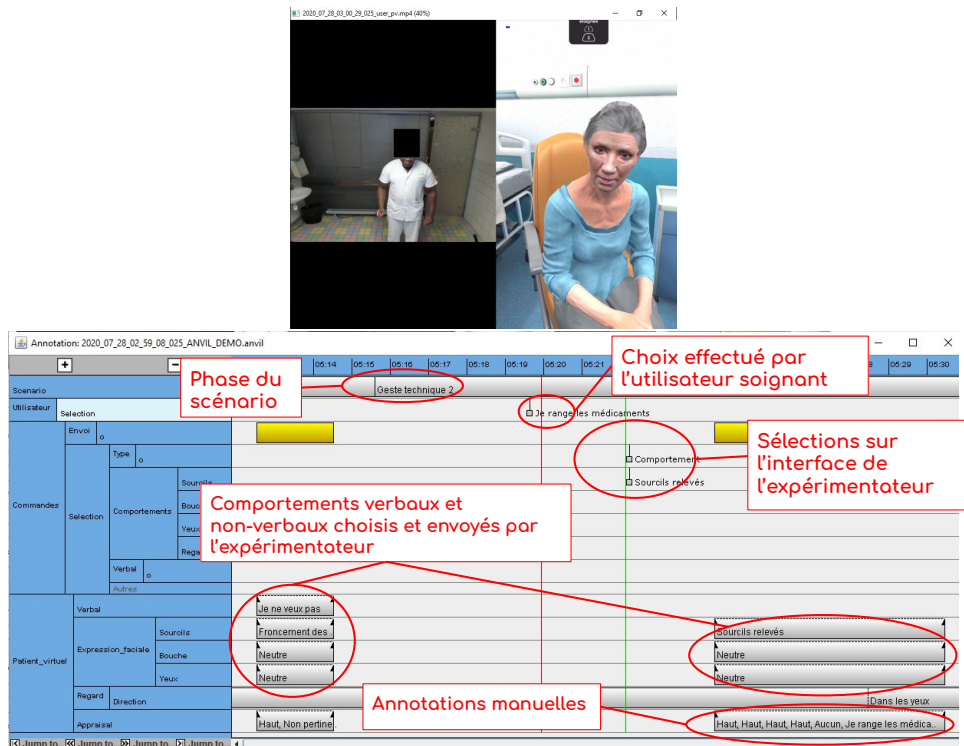


Figure 3.9 – Visualisation et annotation avec le logiciel Anvil (Kipp, 2001) d'une vidéo d'interaction entre un utilisateur (personnel soignant) et la patiente virtuelle (en haut). Plusieurs pistes (en bas) servent à visualiser le déroulé temporel des fichiers de logs (traces d'interactions enregistrées automatiquement) et d'autres annotations manuelles.

verbaux et non-verbaux exprimés par la patiente virtuelle. Il convenait donc de trouver un formalisme permettant de faire l'intermédiaire entre ces deux niveaux. En nous inspirant du modèle CPM (Scherer, 2001), nous avons donc travaillé à la définition d'un schéma de codage afin de faire réaliser des annotations manuelles des évaluations cognitives successives réalisées par la patiente virtuelle au vu de ses réactions comportementales (telles que perçues par des annotateurs experts).

Nous avons défini les dimensions suivantes dans le schéma de codage :

- **Événement** : Il s'agit du sujet de l'évaluation et correspond à la combinaison du ou des choix faits par l'utilisateur-soignant sur son interface graphique pendant chaque phase du scénario et ses comportements verbaux et non-verbaux associés à chaque moment précédent une réaction de la patiente. Une réaction de la patiente virtuelle correspond à une commande de comportements envoyée par l'expérimentateur.
- **Soudaineté** : la patiente évalue l'événement comme soudain ou non, c'est-à-dire qu'elle s'y attendait ou non.

- Familiarité : la patiente évalue l'événement comme familier (si cela arrive souvent) ou non familier.
- Plaisir intrinsèque : la patiente évalue l'événement comme agréable ou désagréable.
- Pertinence aux buts : la patiente virtuelle évalue que l'événement concerne un ou plusieurs de ses buts.
- Rapport aux buts : la patiente virtuelle évalue l'événement comme en accord ou désaccord avec un ou plusieurs de ses buts.
- Potentiel de maîtrise : la patiente virtuelle évalue qu'elle peut éviter ou non les conséquences de l'événement ou les modifier ou non à son avantage.

Afin d'annoter de manière cohérente et homogène, un guide d'annotation a été conçu. Il inclut notamment les éléments d'instructions suivants :

- Chaque réaction de la patiente correspond à l'évaluation d'un unique événement (voir la dimension « Événement » dans le schéma de codage ci-dessus).
- On considère un unique but pour la patiente, qui a été défini pour le scénario pédagogique comme : rester seule/tranquille dans sa chambre.
- Pour la dimension « Événement », les valeurs possibles correspondent aux choix disponibles sur l'interface graphique de l'utilisateur. Pour les autres dimensions des appraisals (par exemple « Agréabilité »), trois valeurs sont possibles : bas, haut et non pertinent.
- L'évaluation se fait au vu des réactions (comportements verbaux et non-verbaux) de la patiente.

L'élaboration du schéma de codage et du guide d'annotation a mené 4 experts à annoter dans un premier temps un sous-ensemble de 3 vidéos parmi les 31 : la première contient le plus grand nombre de comportements déclenchés par la patiente virtuelle (intéressant, car plus d'événements à annoter), la deuxième est l'interaction ayant la durée la plus courte (utilisateur n'ayant pas atteint l'objectif de donner les médicaments) et la troisième a été choisie au hasard. Nous avons décidé de nous concentrer d'abord sur ces trois vidéos afin de concevoir le schéma de codage et définir le guide d'annotations. En effet, chaque expert a d'abord traité une de ces vidéos sans schéma de codage et en se basant sur le modèle CPM afin d'identifier les critères pertinents à conserver. Puis, une fois le schéma de codage mis en place, les experts ont annoté une nouvelle fois la vidéo afin de respecter ce schéma de codage et permettre la comparaison de ces annotations. Sachant que chacune des trois vidéos a été vue par 2 experts, nous avons donc calculé les accords inter-juges en utilisant la formule du Kappa de Cohen corrigé (Cohen, 1960) afin de comparer les annotations deux à deux et valider ainsi le schéma de codage. Les valeurs maximales du Kappa obtenues, qui correspondent à l'accord maximal entre les différents experts comparés deux à deux, varient selon les dimensions entre 0,48 et 0,94 : soudaineté (min -0,19 ; max 0,72), familiarité (-0,11 ; 0,93), plaisir intrinsèque (0,67 ; 0,94), pertinence aux buts (0,41 ; 0,53),

rapport aux buts (0,56 ; 0,62) et potentiel de maîtrise (0,17 et 0,48).

3.4.3 . Analyse

Nous profitons de ces premières annotations obtenues pour observer si des tendances se dégagent des données. Nous décrivons ici uniquement nos observations sur les dimensions ayant des valeurs de coefficients de Kappa jugées au moins comme un accord modéré ($>0,40$), dans notre cas, les dimensions de plaisir intrinsèque / agréabilité (0,67 ; 0,94), de pertinence (0,41 ; 0,53) et de rapport aux buts (0,56 ; 0,62).

Sur les trois vidéos annotées, 127 comportements ont été déclenchés par l'expérimentateur pour qu'ils soient exprimés verbalement ou non-verbalement par la patiente virtuelle. Nous avons pu déjà observer certaines associations entre les dimensions retenues et les événements, ainsi que ces dimensions et les comportements non-verbaux choisis par l'expérimentateur.

Par exemple, l'action «Je range les médicaments» (4 apparitions) est toujours associée à une évaluation agréable, pertinente et en accord avec le but de la patiente qui est de rester tranquille et seule dans sa chambre.

Les actions impliquant l'entrée de l'utilisateur dans la chambre de la patiente (4 apparitions) sont systématiquement évaluées comme désagréables, pertinentes et contre les buts de la patiente, et associées à des froncements de sourcils.

Certaines associations sont moins évidentes. Par exemple, l'action «Je donne les médicaments à la patiente» (14 apparitions) est évaluée comme désagréable, et plutôt contre le but de la patiente, associée à des pincements de lèvres, tandis que le choix de dialogue «Je redonne les médicaments à la patiente » (5 apparitions), est associé à une évaluation agréable et non reliée au but de la patiente, ainsi qu'à des sourires. Cela peut s'expliquer par le fait que, d'une part, ce choix n'est pas disponible en début de scénario (contrairement aux choix «Je donne les médicaments à la patiente»), et que les utilisateurs ont ainsi choisi de redonner les médicaments à la patiente uniquement lorsqu'ils ont estimé que la patiente était plus coopérative que lors de leur première tentative au début de la session.

On retrouve aussi une association entre les choix de dialogues où l'utilisateur explique ce qu'il fait et/ou insiste sur l'importance des médicaments (29 apparitions) et une évaluation désagréable, pertinente et contre le but de la patiente, associée à une expression de coins des lèvres vers le bas. Cette association peut être interprétée de différentes manières. Lorsque l'utilisateur explique ce qu'il va faire (lui donner ses médicaments), la patiente se focalise sur la prise de médicaments, qui est évaluée comme désagréable. De même, la présence de l'utilisateur dans la chambre de la patiente va contre le but de la patiente, qui est de rester seule et/ou tranquille. Certains choix d'action et de dialogue ne sont pas forcément associés à des comportements non-verbaux spécifiques, comme ceux où l'utilisateur fait la conversation et/ou détourne l'attention de la patiente (31 apparitions). En effet, lors de ces dialogues, l'utilisateur peut aborder des sujets variés et de plusieurs manières différentes, ce qui explique la diversité des comportements utilisés alors

en réponse.

3.4.4 . Conclusion

Nous avons décrit dans ce chapitre la démarche employée pour concevoir un corpus de données d'interactions entre une patiente virtuelle Alzheimer contrôlée et 31 membres du personnel soignant. Nous avons pour cela effectué une analyse des besoins sur le terrain en amont pour identifier les situations problématiques dans la gestion des comportements de ce type de patient. Cela nous a permis de définir un scénario pédagogique mettant en scène une situation de prise de médicament impliquant un utilisateur soignant et une patiente atteinte de la maladie d'Alzheimer. Nous avons ainsi mis en place une expérimentation de type Magicien d'Oz pour simuler des interactions pour ce scénario, avec un expérimentateur neuropsychologue qui contrôle les réactions verbales et non-verbales de la patiente virtuelle.

Les retours positifs de l'évaluation par les utilisateurs (soignants, médecins et psychologues) du système et du scénario pédagogique suggèrent que les données récoltées lors de ces interactions sont pertinentes et utiles pour informer la conception d'un modèle permettant de générer de manière automatique les comportements d'une patiente virtuelle atteinte de la maladie d'Alzheimer pour ce même scénario. Les données récoltées sont composées des vidéos des interactions où les comportements verbaux et non-verbaux de la patiente virtuelle, les choix faits par l'utilisateur sur son interface, et les phases du scénario ont été annotés automatiquement par le système pendant les interactions. Après la session d'expérimentations, un ensemble de comportements non-verbaux exprimés par les utilisateurs a été annoté automatiquement, et nous avons établi un schéma de codage basé sur le modèle CPM afin d'annoter manuellement l'évaluation cognitive de la situation par la patiente au vu de ses réactions lors des interactions.

Nous expliquons dans la suite du manuscrit comment nous intégrons ces données aux sources de connaissances impliquées dans la conception d'un modèle permettant de contrôler automatiquement les réactions d'une patiente virtuelle et générer des comportements émotionnels pathologiques. La conception d'un tel modèle soulève plusieurs problématiques. Tout d'abord, le choix du cadre théorique doit être adapté à l'application tout en respectant les contraintes pédagogiques. Notre choix s'est porté sur l'ABM(Scherer and Brosch, 2009). Il se base sur le modèle CPM(Scherer, 2001), qui est fondé sur l'approche cognitive des émotions et qui permet de faire le lien entre les évaluations successives d'un agent selon un certain nombre de critères et les comportements verbaux et non-verbaux exprimés à la suite de cette évaluation. L'ABM permet notamment d'inclure la notion de pathologie à travers des filtres d'évaluation, qui modifient la perception des événements par un agent pour augmenter la fréquence de se trouver dans certains états émotionnels.

Nous avons également développé avec les partenaires du projet VirtuAlz un deuxième scénario, qui met en scène une situation de déambulation d'un patient

homme atteint de la maladie d'Alzheimer. Nous avons participé à la collecte des données d'interactions avec les partenaires du projet et effectué des expérimentations avec le même environnement de type Magicien d'Oz avec ce nouveau scénario. 30 membres du personnel médical et soignant ont interagi avec le patient virtuel contrôlé dans le cadre de ce nouveau scénario. Nous n'avons pas encore exploité ces données faute de temps. Nous pourrions envisager en perspective d'intégrer les données ainsi collectées à notre corpus d'interaction décrit dans ce chapitre, afin d'évaluer l'adaptabilité de notre modèle dans ce nouveau contexte en suivant la même méthode d'évaluation proposée.

4 – COPALZ : Modèle automatique pour la patiente virtuelle

4.1 . Spécification et formalisation

Concevoir une patiente virtuelle automatique pour entraîner à la communication multimodale avec suffisamment de flexibilité nécessite la conception d'un modèle informatique permettant de générer dynamiquement des comportements non-verbaux perçus comme pathologiques. Pour cela, nous proposons de nous inspirer d'un modèle issu de la psychologie cognitive et d'appliquer des filtres sur l'évaluation cognitive d'un événement par une personne saine (non pathologique). Cela va nous permettre, comme nous l'expliquons dans ce chapitre, d'obtenir une évaluation "biaisée" qui permettra de générer des comportements correspondants aux symptômes de la pathologie que l'on souhaite représenter.

4.1.1 . Description générale

Le modèle COPALZ (Benamara et al., 2022) que nous proposons pour simuler une patiente virtuelle Alzheimer repose sur deux éléments :

- L'Appraisal Bias Model (ABM) (Scherer and Brosch, 2009), dérivé du modèle CPM (Scherer, 2001) et qui sert à simuler des évaluations pathologiques. Nous avons décrit précédemment dans la section 2.2.4 le principe général de ce modèle et les liens proposés par ces auteurs entre les critères d'évaluation du modèle CPM et des troubles émotionnels caractéristiques de pathologies émotionnelles.
- Le corpus de données d'interactions collectées lors de nos expérimentations entre des personnels soignants et une version contrôlée de notre patiente virtuelle (Benamara et al., 2020, 2021). Ce corpus est constitué de 31 vidéos d'interactions annotées qui ont été collectées lors de l'expérimentation de Magicien d'Oz décrite dans le chapitre 3.

Nous décrivons ci-dessous notre modèle en suivant l'architecture généralisée des modèles informatiques cognitifs proposée par (Marsella et al., 2010) (**Figure 2.10**) décrite plus haut. Pour faciliter la comparaison entre cette architecture généralisée et les autres modèles cognitifs des émotions, nous gardons leur vocabulaire anglais.

On peut voir sur la **Figure 4.1** un schéma représentant l'architecture du modèle COPALZ. Nous allons tout d'abord décrire le principe de fonctionnement de notre modèle en faisant le parallèle avec l'ABM (Scherer and Brosch, 2009). Dans l'ABM, les auteurs définissent un appraisal bias, ou biais d'évaluation, comme un filtre de perception et d'évaluation qui augmente la fréquence d'états émotionnels spécifiques. L'humeur et les troubles émotionnels peuvent être ainsi représentés à l'aide de ces appraisal biases. Par exemple, un agent d'humeur triste aura tendance à évaluer une situation de manière plus pessimiste, alors qu'un agent d'humeur

joyeuse aura tendance à évaluer cette même situation de manière plus positive (Neumann et al., 2001). Le même principe s'applique pour les troubles émotionnels. Par exemple, selon ce modèle, une personne présentant des symptômes de dépression aura plus tendance à évaluer les situations de manière pessimiste et à éprouver plus fréquemment des émotions tristes (Mehu and Scherer, 2015). Les auteurs proposent également des liens entre d'autres troubles émotionnels et des biais dans l'évaluation de dimensions spécifiques du CPM.

Dans notre modèle computationnel des émotions, nous représentons ce mécanisme à l'aide d'un système de filtres, appelés Appraisal Bias Frames, que nous combinons à l'évaluation d'un événement par un modèle d'agent non pathologique défini à l'aide du **NP-Corpus** (Corpus Non Pathologique). Le principe est de simuler une évaluation émotionnelle pathologique en appliquant ce filtre à l'évaluation d'un agent ne présentant pas de pathologie.

Nous combinons par la suite l'évaluation obtenue avec l'évaluation de ce même événement issue des données du **P-Corpus** (Corpus Pathologique), qui correspond aux données d'interaction collectées lors de l'expérimentation de Magicien d'Oz.

Nous définissons dans la section suivante les termes et concepts utilisés pour décrire le modèle et qui correspondent aux éléments du module Agent-Environment Relationship. Nous illustrons par la suite leur rôle dans le fonctionnement du modèle à l'aide d'un exemple.

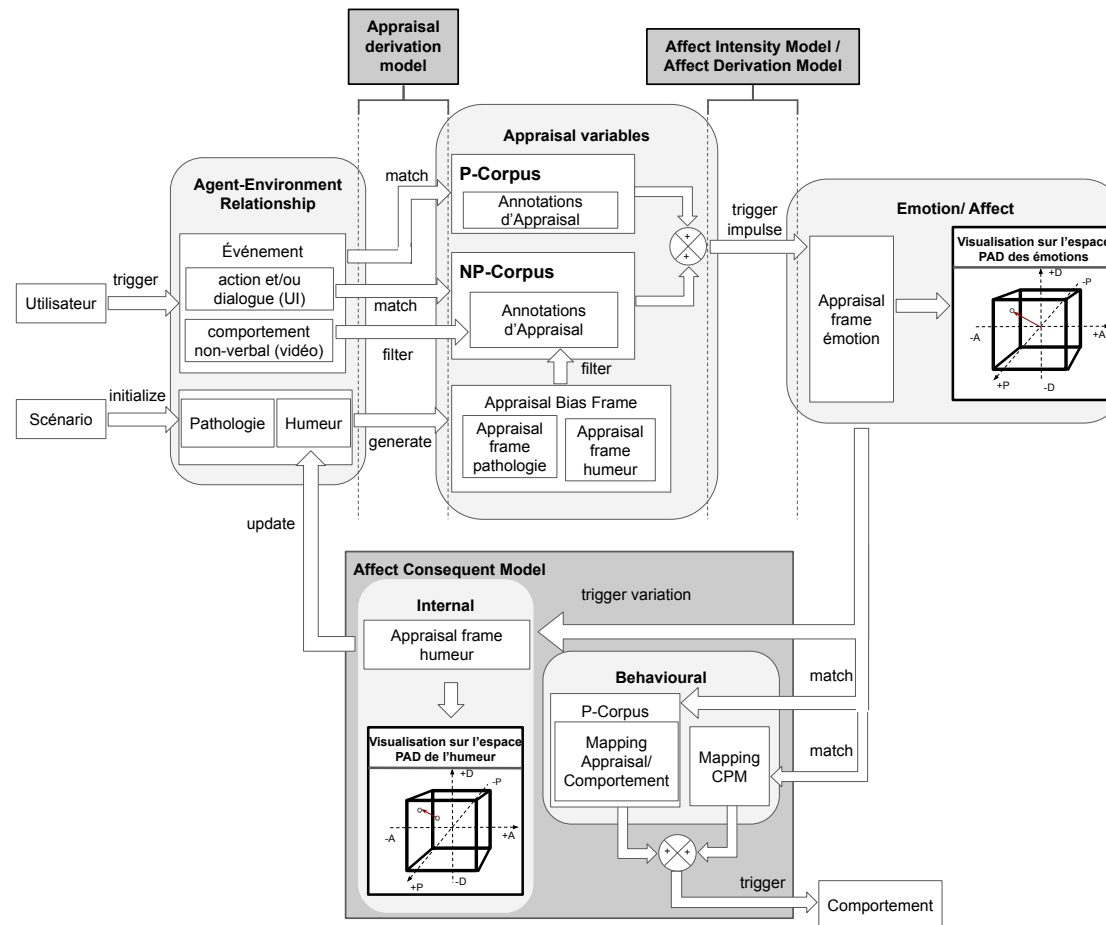


Figure 4.1 – Architecture du modèle COPALZ basé sur différentes sources de connaissances : le module **NP-Corpus** (Corpus Non Pathologique) représente les données collectées avec des participants sans pathologie; le module **P-Corpus** (Corpus Pathologique) représente les données collectées avec la patiente virtuelle contrôlée. PAD (*Pleasure, Arousal, Dominance*); CPM (*Component Process Model*)

4.1.2 . Définitions et concepts

4.1.2.1 Bloc d'interaction

Notre modèle est conçu pour être utilisé lors d'une interaction entre un agent virtuel et un utilisateur à travers une séquence de blocs d'interactions. La **Figure 4.2** détaille le déroulement d'un seul bloc d'interaction. Chaque bloc d'interaction est composé d'une action de l'utilisateur (sur le menu de l'interface graphique ou en termes de comportement multimodal) et d'une réaction de l'agent (**Figure 4.2**). À chaque bloc d'interaction, notre modèle COPALZ reçoit en entrée des données provenant de l'utilisateur et de l'état de l'interaction et génère en sortie le comportement verbal et non-verbal de l'agent.

Cette représentation très simple et séquentielle des échanges interactifs nous permet de nous concentrer sur les troubles émotionnels liés à l'évaluation cognitive que va effectuer l'agent virtuel, et d'un point de vue pédagogique nous concentrer sur l'entraînement de l'utilisateur à adopter les bonnes réactions face à la manifestation de ces troubles.

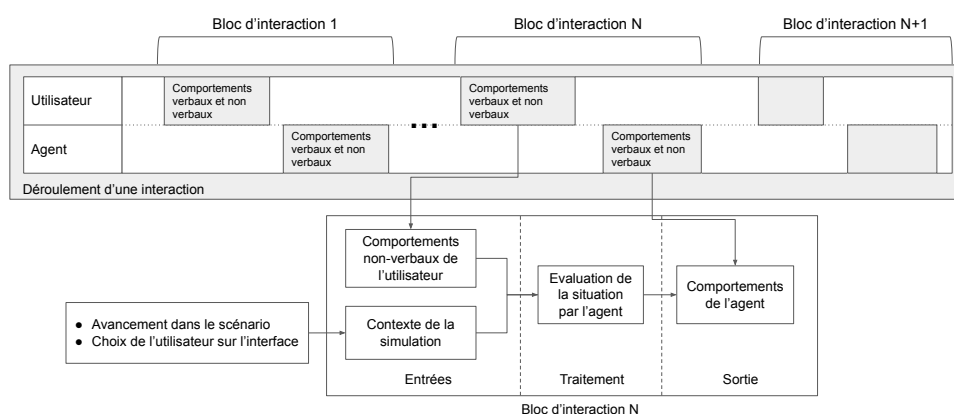


Figure 4.2 – Découpage du déroulement temporel de l'interaction en blocs d'interaction (en haut). Détail d'un bloc d'interaction selon notre modèle (en bas).

Les entrées du modèle correspondent au contexte de la simulation : scénario, environnement de l'agent (voir plus bas) et choix de l'utilisateur sur l'interface graphique. Elles incluent aussi les comportements non-verbaux de l'utilisateur. En accord avec ce que les partenaires du projet VirtuAlz nous ont conseillé sur les comportements et les réactions des patients atteints d'Alzheimer, et en lien avec le contexte pédagogique qui est l'entraînement du personnel soignant aux comportements non-verbaux, nous ne considérons pas dans notre modèle le contenu verbal de l'utilisateur dans la chaîne de génération de réaction de la patiente virtuelle. Nous considérons uniquement le contenu verbal contenu dans le choix de l'utilisateur dans le menu de dialogue (par exemple "Je lui explique ce que je fais et je la

rassure").

4.1.2.2 Appraisal frame

Une *appraisal frame* représente une évaluation faite par la patiente virtuelle selon les dimensions sélectionnées pour la théorie d'appraisal considérée. On définit une *appraisal frame* comme un vecteur af contenant n valeurs $val_{dimension}$, avec n le nombre de dimensions sélectionnées pour la théorie d'appraisal considérée. Notre modèle COPALZ est basé sur le jeu de variables d'appraisal du CPM (Scherer, 2001). Nous considérons donc le sous-ensemble suivant de cinq dimensions, qui sont pertinentes pour simuler les troubles émotionnels d'un patient atteint d'Alzheimer (voir section 2.2.4) : "soudaineté", "familiarité", "plaisir intrinsèque", "rapport aux buts" et "potentiel de maîtrise".

Dans notre cas, une *appraisal frame* aura donc la structure suivante :

$$af = [val_{soudainete}, val_{familiarite}, val_{plaisir\ intrinseque}, \\ val_{rapport\ aux\ buts}, val_{potentiel\ de\ maitrise}]$$

Chaque variable d'appraisal peut prendre l'une des valeurs suivantes : Faible (-1), Neutre (0) ou Élevé (+1), en cohérence avec le schéma d'annotation d'appraisal décrit en section 3.4.2. Dans le modèle CPM, les variables peuvent également prendre la valeur *open* (ouvert en français), mais cette valeur est utilisée pour caractériser des profils d'émotions.

4.1.2.3 Appraisal probability frame

Une *appraisal probability frame* nous permet de représenter chaque dimension d'une *appraisal frame* sous forme de fonction de densité de probabilité. La valeur de chaque dimension d'une *appraisal frame* représente ainsi un tirage sur la dimension correspondante d'une *appraisal probability frame*, décrite par une distribution de probabilité. Nous utilisons entre autres ce concept pour décrire la probabilité qu'une évaluation pathologique ait lieu.

Par exemple, d'après l'ABM (Scherer and Brosch, 2009), la dépression entraîne une tendance de sous-évaluation pathologique de la dimension de "potentiel de maîtrise" du modèle CPM. Dans notre modèle, cette tendance d'évaluation peut être exprimée comme une certaine probabilité d'évaluer un événement de manière pathologique, qui sera plus ou moins importante selon l'intensité de la pathologie.

Ainsi, un agent avec une forte pathologie dépressive, en comparaison avec un agent avec une faible pathologie dépressive, va présenter une tendance plus importante (donc une probabilité plus importante) à sous-évaluer la dimension "potentiel de maîtrise" face à un même événement.

Chaque événement peut donc être évalué de manière non pathologique ou de manière pathologique et il existe donc plus d'une valeur possible pour l'évaluation

de chaque dimension d'appraisal. Une densité de probabilité permet de décrire les probabilités associées à ces valeurs d'évaluation.

On définit donc une *appraisal probability frame* comme un vecteur de la même dimension qu'une *appraisal frame*, où chaque valeur $val_{dimension}$ est remplacée par une fonction de densité de probabilité.

On peut par exemple utiliser une fonction gaussienne de moyenne μ qui vaut $val_{dimension}$ et d'écart-type σ pour représenter cette fonction. La moyenne représente la valeur de la dimension d'appraisal et l'écart-type nous permet de décrire la variabilité de cette valeur. Nous décidons dans un premier temps de fixer arbitrairement l'écart-type à $\sigma = 0.1$. Dans certains cas, les densités de probabilités peuvent être représentées par des mélanges de gaussiennes. Un mélange de gaussienne représente une combinaison de deux ou plusieurs fonctions gaussiennes. On utilise un mélange de gaussiennes lorsqu'il existe plusieurs valeurs possibles pour l'évaluation d'une dimension. Chaque valeur possible est ainsi associée à une probabilité, représentée par une des fonctions gaussiennes de ce mélange.

Chaque fonction de densité de probabilité $densite_{dimension}$ est définie sur l'intervalle $[-1; 1]$ et pour chaque dimension, nous avons l'expression suivante (**Figure 4.3**) :

$$\int_{-1}^1 densite_{dimension}(x)dx = 1 \quad (4.1)$$

La fonction $densite_{dimension}(x)$ nous permet de représenter la probabilité que $val_{dimension} = x$. Nous pouvons donc effectuer un tirage pour obtenir une valeur x pour chaque dimension d'une *appraisal frame* et attribuer à $val_{dimension}$ une des valeurs de l'ensemble suivant : $\{-1, 0, 1\}$:

$$val_{dimension}(x) = \begin{cases} -1 & \text{si } x \in [-1; -0.3] \\ 0 & \text{si } x \in]-0.3; 0.3[\\ 1 & \text{si } x \in [0.3; 1] \end{cases} \quad (4.2)$$

Un autre intérêt de ce type de représentation pour ces *appraisal probability frames* est d'apporter de la variabilité dans les évaluations. En effet, chaque tirage sur une même *appraisal probability frame* donnera une valeur x légèrement différente, tout en restant proche des valeurs moyennes pour chaque dimension. La valeur finale de $val_{dimension}$ n'est pas impactée, sauf dans les cas où la densité de probabilité a une moyenne proche de -0.3 ou 0.3 . En effet, dans le cas par exemple d'une moyenne ayant pour valeur -0.3 , le tirage peut engendrer une valeur x inférieure à -0.3 , qui implique que $val_{dimension}$ prenne la valeur -1 , ou une valeur x supérieure à 0.3 , qui implique que $val_{dimension}$ prenne la valeur 0 .

4.1.3 . Exemple fil rouge

Nous allons prendre un exemple simplifié issu de notre corpus qui nous servira dans la suite de ce chapitre pour illustrer chaque partie de notre modèle. Dans cet exemple, nous avons choisi les données suivantes :

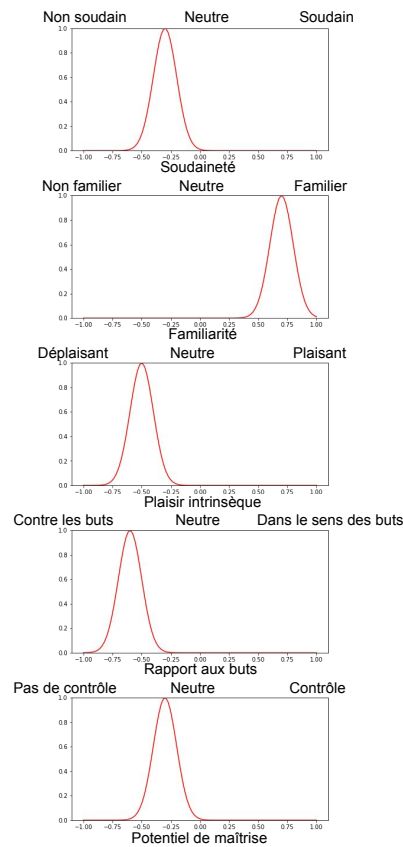


Figure 4.3 - Exemple d'*appraisal probability frame* correspondante à l'*appraisal frame* suivante : $af = [-0.3, 0.7, -0.5, -0.6, -0.3]$ avec $\sigma = 0.1$: tendance à évaluer les situations comme étant plutôt non soudaines, familières, assez déplaisantes, qui vont contre les buts avec peu de potentiel de maîtrise.

- L'humeur initiale de la patiente se trouve entre la position *Docile* et la position *Bored* du modèle PAD (Russell and Mehrabian, 1977), associés avec des poids respectifs de 0.4 et 0.6
- Les troubles émotionnels observés durant l'interaction sont de l'apathie et de la frustration chronique en intensité moyenne (0.6), de l'irritabilité et de l'agressivité (frénésie) en intensité faible (0.2), et de la dépression en intensité faible (0.3).
- L'utilisateur se trouve dans la phase "Geste technique" du scénario. Il a choisi sur son interface graphique l'action "Je redonne à la patiente ses médicaments".
- L'utilisateur était proche de la patiente virtuelle, a souri pendant son interprétation de l'action, en adoptant une posture fermée.

Nous expliquons dans la section suivante comment initialiser l'environnement de l'agent à l'aide de ces informations. Cela permettra à notre modèle de générer l'évaluation cognitive que fait la patiente virtuelle pour un événement, en prenant en compte la pathologie et l'humeur de la patiente, et les comportements non-verbaux de l'utilisateur. On peut voir en **Figure 4.4** une illustration du déroulement de cet exemple.

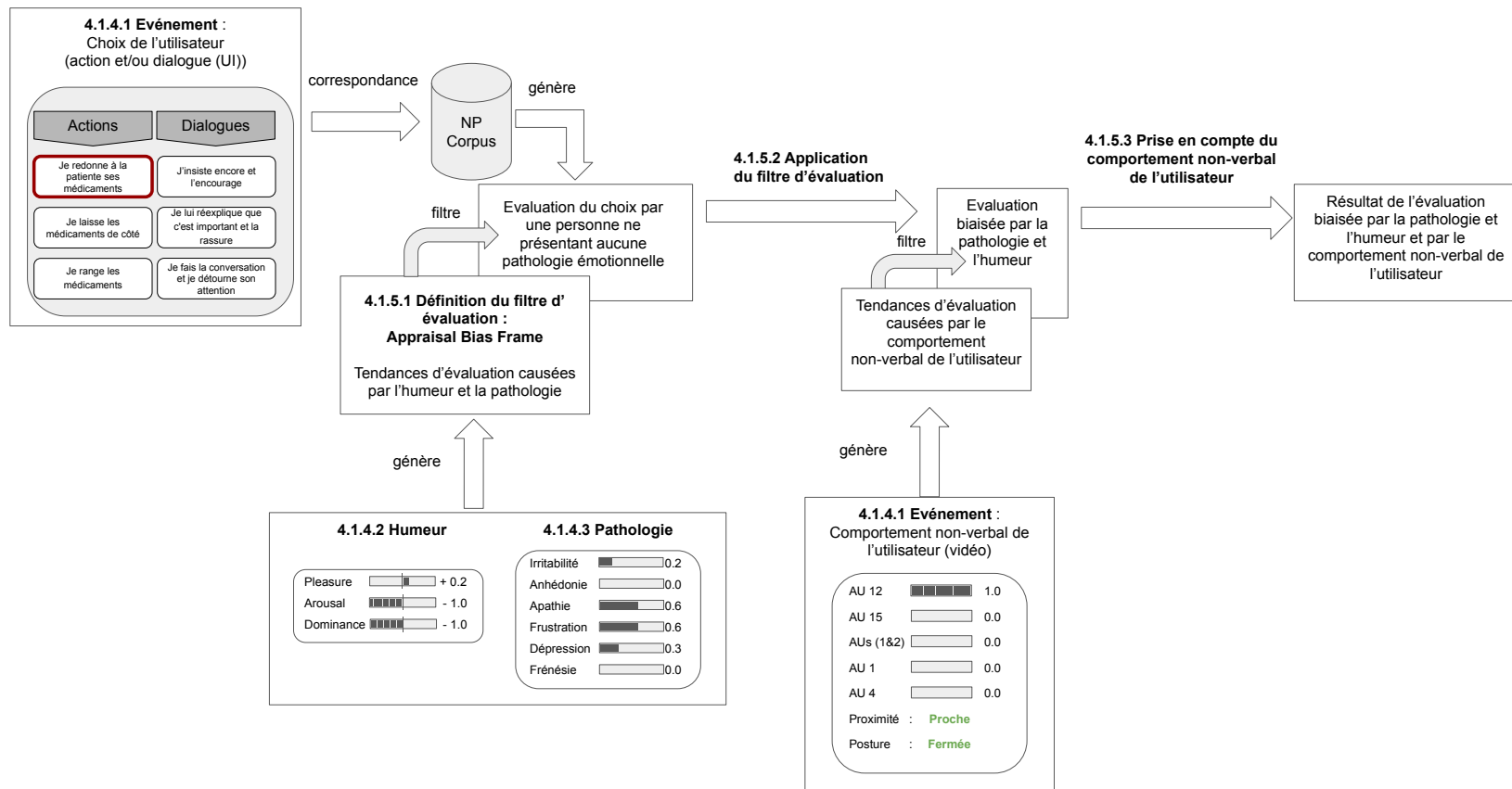


Figure 4.4 – Illustration du déroulement de l'exemple fil rouge qui résulte en l'évaluation cognitive biaisée par l'humeur et la pathologie de la patiente virtuelle, qui est biaisée à son tour par l'évaluation des comportements non-verbaux exprimés par l'utilisateur lors de l'interprétation de son choix.

Les titres en gras correspondent aux sections du manuscrit qui traitent de chaque élément présenté sur cette illustration.

4.1.4 . Agent-Environment Relationship / Appraisal Derivation Model

L'environnement de l'agent est modélisé par le module *Agent-Environment Relationship* qui permet d'explicitier le lien entre l'agent et son environnement (**Figure 4.1**). On distingue l'environnement externe de l'agent (module **Événement**) de l'environnement interne de l'agent (modules **Humeur** et **Pathologie**). Dans notre modèle, l'environnement externe de l'agent représente les événements déclenchés par l'utilisateur pendant l'interaction, c'est-à-dire la combinaison de ses choix sur l'interface graphique et de son comportement multimodal.

L'environnement interne de l'agent est initialisé par les modules spécifiés par l'élément **Scénario** : les modules **Humeur** et **Pathologie** de l'agent. Chaque événement est évalué par l'agent et génère des modifications dans l'environnement interne de l'agent en mettant à jour le module **Humeur** et en déclenchant des comportements verbaux et non-verbaux sur l'agent. L'*Appraisal Derivation Model* permet de relier les composantes d'*Agent-Environment Relationship* et d'*Appraisal Variables* et a pour fonction de transformer la description de l'environnement en variables d'appraisal. Cela correspond dans notre modèle à la représentation sous la forme d'*appraisal probability frame* définie précédemment. Nous décrivons ainsi l'*Appraisal Derivation Model* en deux étapes à travers des composantes *Agent-Environment Relationship* et *Appraisal Variables*, afin de faciliter la continuité de la lecture et l'illustration de notre exemple.

Nous décrivons dans cette section la première étape, qui permet d'initialiser les paramètres de notre modèle, et de les exprimer dans le formalisme des *appraisal probability frames*. Dans la section suivante, nous expliquons comment nous combinons ces *appraisal probability frames* pour générer l'évaluation de l'événement qui prend en compte l'humeur et la pathologie de la patiente, et les comportements non-verbaux de l'utilisateur.

4.1.4.1 Événements

Chaque événement est encodé dans un vecteur *evenement* tel que :

$$evenement = [phase, choix_user, comportement_user_1, \\ comportement_user_2, ..., comportement_user_n], avec :$$

- *phase* : la phase du scénario pendant laquelle l'événement se produit.
- *choix_user* : le choix de l'utilisateur sur le menu de l'interface utilisateur graphique. Au début de chaque phase du scénario, l'utilisateur choisit sur l'interface graphique une combinaison d'action et de dialogue qui représente sa stratégie de communication à ce moment du scénario (Ortega et al., 2019).

- *comportement_user* : avec $i \in 1, \dots, n$ qui correspond aux n comportements non-verbaux de l'utilisateur qui sont détectés par notre système (**Tableau 3.2**).

Un événement correspond donc à une action de l'utilisateur, à savoir la combinaison du choix sur son interface graphique (par exemple : "Je lui explique ce que je fais et je la rassure") et l'interprétation verbale et non-verbale qu'il en fait ensuite. Le vecteur résultant contiendra l'ensemble des activations de comportements de l'utilisateur durant son expression verbale et non verbale de son choix.

4.1.4.1.1 Choix de l'utilisateur (action et/ou dialogue) : NP Corpus

Afin de rendre explicite le lien entre les événements et leurs évaluations, nous avons collecté un corpus d'annotations d'évaluations : le **NP-Corpus** (Corpus Non Pathologique) qui comporte des annotations d'appraisal (**Figure 4.1 et 4.4**). Ce corpus a été récolté à l'aide d'un questionnaire (**Annexe C**) rempli par 41 participants, dont 20 de sexe féminin avec des âges allant de 21 à 69 ans. Le seul critère d'exclusion concerne les personnes qui présentent des troubles émotionnels. Nous demandons ainsi dans le questionnaire aux participants s'ils sont actuellement suivis pour des troubles émotionnels et mentaux afin de les exclure des réponses à ce questionnaire.

Nous avons demandé aux participants de s'imaginer dans une chambre d'hôpital pour une intervention sans gravité. Puis nous avons déroulé un scénario similaire à notre scénario pédagogique, à savoir qu'une infirmière entre dans leur chambre, puis leur demande de prendre des médicaments, avant de sortir de leur chambre. Nous avons ainsi présenté à chaque étape les différentes actions que pourrait faire cette infirmière. Ces actions correspondent aux choix disponibles sur l'interface graphique de l'utilisateur dans notre scénario pédagogique. Par exemple, à la première phase de notre scénario pédagogique, un des choix disponibles sur l'interface graphique de l'utilisateur est : "Je toque à la porte, l'ouvre et attends". Nous avons reformulé cette phrase pour correspondre au point de vue du participant dans cette situation qu'on lui a demandé d'imaginer : "L'infirmière toque à la porte, l'ouvre et attend sur le pas de la porte". Nous avons ensuite demandé aux participants d'évaluer cet événement selon les dimensions sélectionnées du CPM pour notre modèle. Par exemple, pour la dimension de "soudaineté", ils devaient évaluer l'affirmation suivante : "Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte", sur une échelle comportant quatre valeurs : "Pas du tout d'accord", "Plutôt pas d'accord", "Plutôt d'accord", "Tout à fait d'accord".

Nous avons procédé ainsi pour chaque choix disponible sur l'interface graphique de l'utilisateur. Le but de ce corpus d'annotations est ainsi de récolter l'évaluation selon les critères du modèle CPM que nous avons sélectionnés pour notre modèle, de chaque choix affiché sur l'interface graphique de l'utilisateur, par des personnes ne présentant aucune pathologie émotionnelle avérée (**Tableau 4.1**). Chacune des évaluations correspond à une annotation d'appraisal définie sous la forme d'une

	soudaineté		familiarité		plaisir intrinsèque		rapport aux buts		potentiel de maîtrise	
	mean	std	mean	std	mean	std	mean	std	mean	std
Choix sur l'interface graphique										
Je toque à la porte je l'ouvre et j'attends	-0.04	0.66	0.12	0.69	-0.26	0.61	-0.28	0.63	-0.2	0.75
Je toque et j'entre directement dans la chambre	0.4	0.59	0.13	0.62	-0.57	0.42	-0.7	0.45	-0.38	0.6
Je m'approche de la patiente et je prépare les médicaments	0.17	0.68	-0.11	0.59	-0.51	0.43	-0.57	0.5	-0.28	0.65
Je lui explique ce que je fais et je la rassure	-0.44	0.61	0.16	0.58	0.59	0.43	-0.34	0.64	-0.11	0.68
Je m'approche de la patiente et je mets les médicaments de côté	-0.17	0.62	0.06	0.57	-0.26	0.54	-0.44	0.61	-0.2	0.67
Je fais la conversation et détourne son attention	-0.09	0.71	0.02	0.67	-0.22	0.69	-0.52	0.58	-0.26	0.69
Je lui dis que je repasserai plus tard	-0.24	0.63	0.15	0.6	0.29	0.6	0.54	0.56	0.09	0.68
Je donne à la patiente ses médicaments avec un verre d'eau	0.46	0.65	-0.2	0.61	-0.65	0.48	-0.63	0.52	-0.32	0.71
Je lui explique que c'est important et la rassure	-0.06	0.63	0.05	0.58	-0.1	0.61	-0.52	0.55	-0.26	0.66
Je laisse les médicaments de côté	-0.13	0.64	-0.2	0.55	0.12	0.57	0.09	0.78	-0.12	0.71
Je l'encourage	0.04	0.63	-0.05	0.61	-0.3	0.58	-0.48	0.56	-0.3	0.67
Je fais la conversation	-0.05	0.72	0.12	0.63	0.07	0.67	-0.6	0.54	-0.23	0.7
Je range les médicaments	0.15	0.73	-0.29	0.6	0.16	0.61	0.23	0.75	0.01	0.74
J'accepte son refus et lui explique ce que je vais faire	-0.35	0.62	0.2	0.58	0.27	0.62	-0.35	0.67	0.01	0.71
Je redonne à la patiente ses médicaments	0.05	0.61	0.04	0.57	-0.6	0.39	-0.63	0.52	-0.22	0.72
J'insiste encore et l'encourage	0.26	0.66	-0.16	0.64	-0.6	0.51	-0.72	0.46	-0.29	0.72
Je laisse les médicaments de côté	-0.2	0.67	-0.16	0.61	0.22	0.54	0.18	0.69	0.05	0.7
Je lui réexplique que c'est important et la rassure	-0.33	0.54	0.18	0.54	0.09	0.62	-0.52	0.58	-0.28	0.68
Je fais la conversation et je détourne son attention	-0.04	0.66	-0.1	0.64	-0.39	0.61	-0.72	0.41	-0.24	0.68
Je range les médicaments	0	0.7	-0.21	0.62	0.37	0.59	0.29	0.66	0.11	0.73
Je me prépare à sortir de la chambre	-0.39	0.64	0.49	0.42	0.38	0.54	0.59	0.6	-0.24	0.73
J'attends	-0.04	0.74	-0.37	0.59	-0.43	0.6	-0.3	0.7	-0.21	0.73
Je dis au revoir à la patiente	-0.54	0.59	0.5	0.51	0.71	0.31	0.71	0.56	-0.22	0.69
Je la félicite	-0.2	0.72	0.09	0.65	0.3	0.67	0.59	0.57	-0.2	0.67
Je fais la conversation avant de sortir	-0.18	0.71	0.09	0.68	-0.01	0.71	-0.62	0.48	-0.15	0.71
Je sors de la chambre	0.02	0.77	0.26	0.58	0.27	0.64	0.76	0.5	-0.24	0.73

Tableau 4.1 – NP-CORPUS : Corpus d'annotations d'évaluation selon les dimensions du modèle CPM sélectionnées pour notre modèle COPALZ de chaque choix affiché sur l'interface graphique de l'utilisateur, par des personnes ne présentant aucune pathologie émotionnelle.

appraisal probability frame. Nous définissons par la suite un filtre d'évaluation à appliquer sur ces annotations, afin d'obtenir une version pathologique de ces évaluations.

Illustration

Dans l'exemple fil rouge, l'utilisateur a choisi l'action "Je redonne à la patiente ses médicaments". D'après notre corpus, l'évaluation moyenne de cette action par des personnes ne présentant pas de pathologie émotionnelle selon les dimensions sélectionnées dans notre modèle est la suivante :

soudaineté = 0, familiarité = 0, plaisir intrinsèque = -0.6, rapport aux buts = -0.6, potentiel de maîtrise = -0.2.

Cela suggère qu’une personne n’ayant pas une pathologie sévère (par exemple hospitalisée pour un contrôle de routine) évaluera le fait qu’une infirmière lui demande de prendre à nouveau ses médicaments comme pas très plaisant, allant plutôt contre ses buts mais ne pouvant pas y faire grand chose. La **Figure 4.5** illustre l'*appraisal probability frame* apf_{NP} correspondante à l’évaluation de ce choix.

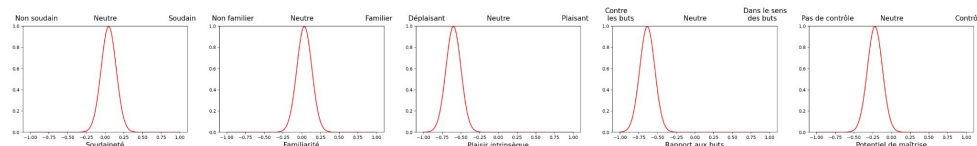


Figure 4.5 – Visualisation de l'*appraisal probability frames* apf_{NP} pour le choix “Je redonne à la patiente ses médicaments”.

4.1.4.1.2 Comportement non-verbal de l'utilisateur

Dans le cadre du projet ANR VirtuAlz, le comportement non-verbal des personnels soignants interagissant avec la patiente a été analysé par le partenaire ISIR. Dans sa thèse, Jean Zagdoun a ainsi dans un premier temps identifié un ensemble de comportements non-verbaux pertinents à détecter sur les utilisateurs, dans un contexte de formation aux interactions avec des patients atteints d’Alzheimer. Ces comportements non-verbaux ont été sélectionnés à travers des éléments identifiés dans la littérature sur la pathologie que nous voulons représenter et que nous voulons mettre en valeur pendant le scénario pédagogique.

Il a par la suite analysé les comportements de soignants en interaction avec la patiente virtuelle afin de tenter de quantifier automatiquement la qualité de la communication non-verbale du soignant. Ses travaux l’ont amené à conclure que le nombre peu élevé de participants à notre expérimentation (29 participants) ne permet pas d’obtenir des résultats significatifs sur l’identification de profils spécifiques de comportements non-verbaux de soignants.

Pour définir l’impact des comportements non-verbaux de l’utilisateur sur l’évaluation cognitive de la patiente, nous nous sommes donc d’abord basés sur les recommandations de stratégies de communication avec les patients atteints d’Alzheimer. Il existe peu d’études concernant l’impact direct de l’utilisation de comportements non-verbaux spécifiques sur les réactions des patients atteints d’Alzheimer. On retrouve des recommandations plus générales sur le bon déroulement des interactions avec ces patients, comme d’adopter une attitude calme, impliquant peu de changements de posture, et des expressions faciales concordantes à la situation (Digier et al., 2016), d’avoir un comportement détendu et souriant (Mezey et al., 2000), ou encore de ne pas montrer de signes de précipitation et d’impatience (Davey and Clarke, 2004). On peut également citer les travaux concernant l’utilisation du comportement non-verbal avec des patients sans prendre en compte

leur pathologie, comme dans (Hojat et al., 2011; Howick et al., 2018) où les auteurs recommandent de communiquer des signes d'empathie, ou dans (Beck et al., 2002), où les auteurs mettent l'accent sur l'utilisation de sourires, du maintien d'une distance adéquate avec les patients et l'adoption de postures ouvertes (bras et jambes non croisés), afin d'améliorer la satisfaction des patients lors des soins.

Nous nous sommes également appuyés sur les travaux de (Scherer et al., 2019), qui se basent sur la proposition du *reverse appraisal*. Cette proposition suggère qu'une personne serait capable d'inférer l'évaluation cognitive faite par son interlocuteur à travers ses expressions d'émotions (de Melo et al., 2012; Hareli and Hess, 2012). (Scherer et al., 2019) proposent ainsi des liens entre un ensemble de comportements non-verbaux et les catégories d'appraisal du CPM (Figure 4.6). Ils suggèrent que chaque comportement non-verbal observé par une personne sur son interlocuteur permettrait d'inférer l'évaluation faite par cet interlocuteur selon certains critères d'appraisal du CPM. Par exemple, un froncement de sourcils de l'interlocuteur permettrait d'inférer que l'interlocuteur a évalué la dimension de potentiel de maîtrise comme élevée.

D'après les éléments issus des différentes sources de connaissances que nous avons identifiées, nous proposons un ensemble de liens entre les comportements non-verbaux du personnel soignant et les évaluations que pourrait en faire la patiente, en relation avec notre contexte pédagogique. Les liens proposés représentent des choix de conception dans notre système, que nous pourrions enrichir dans des travaux futurs, par exemple avec des correspondances statistiques issues de notre corpus de données d'interaction annoté. Voici donc pour chaque comportement non-verbal du soignant l'évaluation qui en sera faite par notre patiente virtuelle (**Tableau 4.2**) :

- Sourcils relevés : Ils indiquent d'après (Scherer et al., 2019) une évaluation de la situation par l'interlocuteur comme soudaine et/ou non familière. On peut penser que la patiente estimera qu'elle a donc l'avantage sur la situation, et que son évaluation du critère de potentiel de maîtrise sera élevée.
- Froncement des sourcils : (Scherer et al., 2019) indiquent qu'observer un froncement de sourcils sur son interlocuteur signifie que l'interlocuteur a évalué la situation avec un haut potentiel de maîtrise. Dans le contexte de prise de médicaments, on peut penser que la patiente se sentira plutôt impuissante face au soignant. Elle aura donc tendance à évaluer cela comme déplaisant et avec un potentiel de maîtrise faible.
- Sourcils relevés intérieurs et Coins des lèvres vers le bas : Ce comportement est spécifique d'une évaluation du critère potentiel de maîtrise comme faible (Scherer, 2001). On peut penser que la patiente aura ainsi le sentiment d'avoir une plus grande maîtrise de la situation que le soignant, donc un potentiel de maîtrise élevé.
- Sourire : D'après (Mezey et al., 2000) recommande d'adopter une attitude

souriante pour une meilleure relation avec les patients atteints d'Alzheimer, ce qui suggère que la patiente va évaluer les sourires comme plaisants.

- Proximité : (Beck et al., 2002) suggèrent de maintenir une distance adéquate par rapport aux patients. Dans notre contexte on peut faire les hypothèses suivantes :
 - Si le soignant s'approche de la patiente en début d'interaction, celle-ci évaluera cette action comme soudaine et déplaisante.
 - Si la soignante s'approche, la patiente aura tendance à évaluer cela comme contre son but (qui est de rester seule et tranquille).
 - (Davey and Clarke, 2004) indiquent qu'il ne faut pas montrer de signe de précipitation et d'impatience. Une approche de la patiente serait évaluée négativement lorsqu'elle est effectuée trop tôt. On considère que le moment idéal correspond dans notre scénario à la phase "geste technique", qui demande nécessairement de s'approcher de la patiente.
- Ouverture (posture) : D'après (Digier et al., 2016; Mezey et al., 2000; Beck et al., 2002), une posture ouverte peut-être évaluée par la patiente comme étant plaisante. Une posture fermée serait évaluée comme non plaisante.

Les détections des comportements non-verbaux par les logiciels OpenFace et OpenPose sur les données du corpus de l'expérimentation de Magicien d'Oz nous renvoient pour chaque frame une valeur décimale comprise entre 0 et 1, qui correspond à l'intensité du comportement détecté. Dans notre modèle, nous considérons uniquement les activations des comportements non-verbaux. Ainsi, chaque comportement non-verbal peut prendre la valeur 1 s'il a été activé et 0 sinon. On considère qu'un comportement non-verbal a été activé si la moyenne des activations renvoyées par OpenFace et OpenPose sur un bloc d'interaction est supérieure à 0.5 (Voir section 4.2.2).

Illustration

Dans notre exemple fil rouge, l'utilisateur se trouve dans la phase "Geste technique" du scénario. Il était proche de la patiente virtuelle, a souri et a adopté une posture fermée pendant qu'il a interprété son action. Afin de simplifier l'illustration de cet exemple, nous considérons uniquement le sourire exprimé par l'utilisateur.

Dans notre modèle, on associe le sourire exprimé par l'utilisateur à une tendance d'évaluation positive de la dimension "plaisir intrinsèque". Cela correspond à l'*appraisal frame* $apf_{comportement\ user}$ suivante $[none, none, 1, none, none]$ (**Figure 4.7**) :

Nous représentons l'influence des comportements non-verbaux de l'utilisateur sur l'évaluation cognitive faite par l'agent avec l'*appraisal probability frame* $apf_{comportement\ user}$. On peut remarquer que le sourire et la posture impactent la même dimension du "plaisir intrinsèque" mais de manière opposée. L'*appraisal probability frame* pour cette dimension est représentée à l'aide d'un mélange de gaussiennes. Cela entraîne une probabilité d'évaluer cette dimension comme non plaisante, et une probabilité

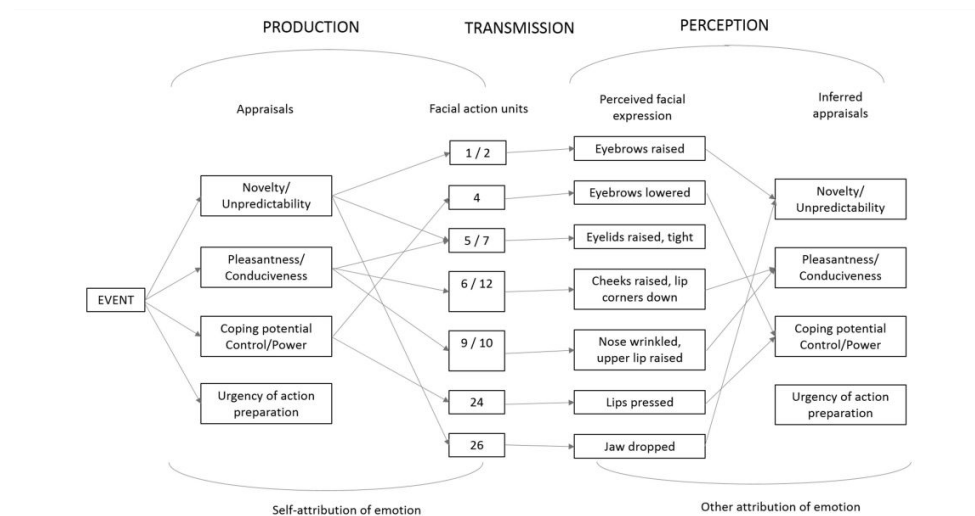


Figure 4.6 – À gauche : Proposition de liens entre les dimensions *Novelty/Unpredictability*, *Pleasantness/Conduciveness*, *Coping potential control/power* et *Urgency of action preparation* du modèle CPM et les unités d'action déclenchées lors de l'évaluation de ces dimensions. À droite : Proposition de liens entre les unités d'action observées sur un individu, et les évaluations inférées (Scherer et al., 2019)

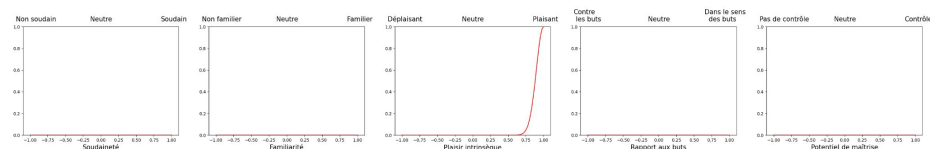


Figure 4.7 – Visualisation de l'*appraisal probability frame* $apf_{comportement\ user}$ qui représente la tendance d'évaluation par la patiente d'un sourire exprimé par l'utilisateur

de l'évaluer comme plaisante. On pourrait associer des poids pour chacun des comportements non-verbaux en fonction de l'importance que l'on souhaite lui donner dans le contexte pédagogique. Par exemple, il a été observé que les patients atteints d'Alzheimer présentent des troubles de reconnaissance de la peur, car ils portent plus d'attention sur la zone de la bouche de leur interlocuteur (Hot et al., 2013). Cela pourrait être modélisé grâce à un poids plus grand appliqué sur les comportements non-verbaux qui concernent la zone de la bouche. Cela aurait pour effet d'entraîner une probabilité plus élevée d'évaluer la dimension de "plaisir intrinsèque" de manière positive. Nous avons décidé dans ces travaux de thèse d'attribuer des poids équivalents pour tous les comportements. Nous expliquons en section 4.1.5.3 comment nous prenons en compte cette *appraisal probability frame* $apf_{comportement\ user}$ dans l'évaluation faite par la patiente virtuelle.

Comportement utilisateur		Soudaineté	Familiarité	Plaisir intrinsèque	Rapport aux buts	Potentiel de maîtrise
Sourcils relevés						Haut
Sourcils froncés				Bas		Bas
Sourcils relevés intérieur						Haut
Sourire				Haut		
Coins des lèvres vers le bas				Bas		Haut
Proximité	Proche	Haut (si début d'interaction)		Bas (si début d'interaction)	Bas	
	Eloigné				Haut	
Ouverture	Ouverte			Haut		
	Fermée			Bas		

Tableau 4.2 - Liens entre les comportements non-verbaux exprimés par le soignant et les évaluations que pourrait en faire la patiente, en relation avec notre contexte pédagogique.

4.1.4.2 Humeur

Dans notre modèle, l'humeur de la patiente virtuelle est représentée par une configuration de l'état des variables d'appraisal. Cette configuration évolue au cours de l'interaction en fonction des évaluations successives faites par la patiente virtuelle. Il est possible de faire varier la configuration initiale afin de simuler différentes humeurs possibles pour le patient virtuel au début de la session de formation. L'humeur initiale de la patiente virtuelle est définie en fonction du scénario d'interaction et décrite à travers une *appraisal probability frame* apf_{humeur} .

L'humeur est ainsi représentée comme des tendances à évaluer les événements selon les cinq critères d'appraisal sélectionnés pour la patiente virtuelle.

Les combinaisons des valeurs possibles des cinq critères d'appraisal sont nombreuses et complexes, et leur description n'est pas forcément intuitive. C'est pourquoi nous proposons de définir et localiser tout d'abord cette humeur initiale dans l'espace tridimensionnel PAD (*Pleasure Arousal Dominance*). À partir de cette position, nous proposons une correspondance en termes de tendance d'évaluation cognitive pour l'exprimer sous forme d'appraisal probability frame. Le but de cette démarche est de pouvoir définir l'humeur initiale avec des termes plus intuitifs, car exprimée dans un espace PAD à trois dimensions, notamment pour des personnes non familières avec le CPM (par exemple des personnels médicaux souhaitant paramétrer la patiente virtuelle). Ces termes correspondent à ceux proposés par (Russell and Mehrabian, 1977) pour les 8 coins de l'espace PAD, à savoir *Hostile*, *Dependant*, *Exhuberant*, *Anxious*, *Disdainful*, *Docile*, *Bored* et *Relaxed*.

La correspondance que nous utilisons est basée sur les travaux existants de dérivation PAD/émotion et émotion/CPM (Gebhard, 2005; Israel and Schonbrodt, 2019). L'objectif de cette dérivation est de proposer les tendances d'évaluation d'un agent dans un état d'humeur particulier selon les 5 dimensions du modèle CPM que nous avons sélectionnées et décrites en section 4.1.2.2. Par exemple, un agent d'humeur triste aura tendance à évaluer une situation de manière plus pessimiste, alors qu'un agent d'humeur joyeuse aura tendance à évaluer cette même situation de manière plus positive (Scherer and Brosch, 2009; Neumann et al., 2001). Nous détaillons dans la section 4.1.6 comment nous avons obtenu ces correspondances,

qui nous ont permis de définir les formules suivantes :

$$\begin{aligned}
 P &= 0.6 * \text{plaisir intrinseque} + 0.4 * \text{rapport aux buts} \\
 A &= 0.25 * \text{soudainete} - 0.25 * \text{familiarite} + 0.5 * |\text{rapport aux buts}| \\
 D &= 0.3 * \text{rapport aux buts} + 0.7 * \text{potentiel de maitrise}
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$

Nous avons ensuite vérifié la cohérence de la distribution formée par tous les points possibles obtenus avec ces trois formules. Nous avons testé toutes les combinaisons en faisant varier la valeur de chacune des 5 variables des dimensions d'appraisal entre -1 et 1 avec un pas de 0,1. Nous avons ainsi obtenu un niveau de correspondance de 91%. Il est donc possible de retrouver, pour une valeur d'humeur sur l'espace PAD, les combinaisons possibles des 5 dimensions d'appraisal qui nous permettent d'obtenir ce point sur l'espace PAD. Étant donné qu'on obtient un système de 3 équations à 5 inconnues, il existe plusieurs solutions pour une même position sur l'espace PAD. Nous décidons de représenter ces solutions comme un vecteur de densités de probabilité, sous forme d'*appraisal probability frame* comme décrit en section 4.1.2.3.

Illustration

Nous pouvons maintenant initialiser la composante humeur du modèle à l'aide des informations présentées dans l'exemple qui nous sert de fil rouge. Dans le modèle PAD (Russell and Mehrabian, 1977), l'humeur *Docile* a été définie avec les valeurs suivantes : $P = 1$, $A = -1$ et $D = -1$, et l'humeur *Bored* correspond aux valeurs suivantes : $P = -1$, $A = -1$, $D = -1$. Les poids 0.6 pour *Bored* et 0.4 pour *Docile* nous permettent de localiser sur l'espace PAD l'humeur de la patiente relativement à ses deux humeurs. On obtient ainsi la position de l'humeur initiale de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{humeur initiale}} &= 0.6 * P_{\text{Bored}} + 0.4 * P_{\text{Docile}} = 0.6 * 1 + 0.4 * (-1) = 0.2 \\
 A_{\text{humeur initiale}} &= 0.6 * A_{\text{Bored}} + 0.4 * A_{\text{Docile}} = 0.6 * (-1) + 0.4 * (-1) = -1 \\
 D_{\text{humeur initiale}} &= 0.6 * D_{\text{Bored}} + 0.4 * D_{\text{Docile}} = 0.6 * (-1) + 0.4 * (-1) = -1
 \end{aligned}$$

En appliquant la correspondance de la formule 4.3 on obtient les valeurs suivantes pour les dimensions du CPM qui nous permettent de définir l'*appraisal probability frame* apf_{humeur} correspondante à cette humeur initiale : soudaineté = -0.9, familiarité = 0.9, plaisir intrinsèque = 0.2, rapport aux buts = 0, potentiel de maîtrise = -0.1 On peut voir en **Figure 4.8** une représentation graphique de apf_{humeur} .

4.1.4.3 Pathologie

Dans le scénario pédagogique défini dans le cadre du projet VirtuAlz et décrit en section 3.2.2, la pathologie que l'agent virtuel doit simuler est la maladie d'Alz-

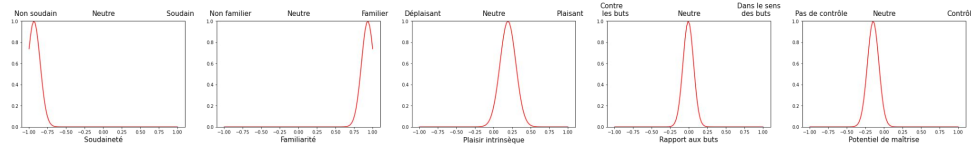


Figure 4.8 – Visualisation de l'*appraisal probability frame* apf_{humeur} représentant les tendances d'évaluation calculées pour l'humeur PAD (0.2, -1, -1) qui correspond au mélange des humeurs *Bored* et *Docile*

Trouble émotionnel	Dimension(s) du modèle CPM	Tendance d'évaluation
Irritabilité	Soudaineté	Positive (+1)
	Familiarité	Négative (-1)
Anhédonie	Plaisir intrinsèque	Négative (-1)
Apathie	Rapport aux buts	Neutre (0)
Insatisfaction/Frustration chronique	Rapport aux buts	Négative (-1)
Dépression	Potentiel de maîtrise	Négative (-1)
Frénésie (agressivité)	Potentiel de maîtrise	Positive (+1)

Tableau 4.3 – Liens entre les troubles émotionnels, les dimensions du modèle CPM concernées selon l'Appraisal Bias Model (Scherer and Brosch, 2009), et les tendances d'évaluation correspondantes pour le modèle COPALZ engendrées par les appraisal biases.

heimer. Les patients atteints de cette maladie peuvent présenter plusieurs troubles émotionnels à un même moment, et avoir aussi des troubles qui peuvent varier au cours d'une même interaction (Moran et al., 2004; Gauthier et al., 2010). Nous utilisons l'ABM (Scherer and Brosch, 2009) pour représenter les troubles émotionnels de l'agent. Le **Tableau 4.3** montre les liens entre les troubles émotionnels et les dimensions du modèle CPM concernées par chaque trouble, tels que proposés par l'ABM ainsi que les tendances d'évaluation qu'elles engendrent.

Chacun de ces troubles peut être représenté par une *appraisal frame* qui sera par la suite transformée en une appraisal probability frame $apf_{pathologie}$ qui représente une tendance à évaluer les événements d'une manière spécifique pour une ou plusieurs dimensions. Seules les dimensions concernées par le trouble que l'on souhaite représenter auront donc un effet sur l'évaluation de la situation, et seules les dimensions correspondantes de l'appraisal frame ont une valeur numérique. Pour les dimensions qui ne sont pas concernées, l'appraisal frame prend pour valeur le mot-clé *none*. Par exemple, l'appraisal frame qui représente l'irritabilité s'écrit : $af_{irritabilite} = \alpha_{irritabilite} * [1, -1, none, none, none]$ Les dimensions "soudaineté" et "familiarité" ont respectivement pour valeur 1 et -1 (**Tableau 4.3**), et les dimensions "plaisir intrinsèque", "rapport aux buts" et "potentiel de maîtrise" ont pour valeur *none*. Le poids $\alpha_{irritabilite}$ est compris dans l'intervalle $[0, 1]$ et représente l'intensité du trouble que l'on souhaite représenter. Par exemple, on peut représenter de légers symptômes d'irritabilité par une intensité de 0.1 ou des symptômes marqués par une intensité de 0.8. Il est également possible de combiner plusieurs

troubles dans une même *appraisal frame*. On définit ainsi un profil d'intensité de chacun des troubles à faire apparaître. On peut toutefois remarquer que l'apathie et la frustration impactent la même dimension du modèle CPM, à savoir la dimension du "rapport aux buts". De même pour la dépression et l'agressivité (frénésie) qui impactent toutes les deux la dimension du "potentiel de maîtrise".

Il est possible de combiner deux troubles impactant une même dimension à l'aide d'une *appraisal probability frame*. En effet, l'*appraisal probability frame* représente un vecteur de fonctions de densité de probabilité. Ces fonctions de densité de probabilité peuvent être représentées par des fonctions gaussiennes simples, mais aussi par un mélange de fonctions gaussiennes, obtenues par combinaison de deux fonctions gaussiennes. Supposons que l'on souhaite représenter sur la patiente deux troubles impactant la même dimension avec la même intensité, par exemple l'apathie et la frustration chronique. La patiente va présenter une tendance à évaluer la dimension concernée, à savoir la dimension du "rapport aux buts", soit de manière négative (contre ses buts), soit de manière neutre (indifférente), avec des probabilités égales. Toutefois, si la patiente présente des troubles de la frustration chronique avec une intensité plus élevée que l'apathie, la patiente aura plutôt tendance à évaluer la dimension du "rapport aux buts" de manière négative (contre ses buts), et plus rarement de manière neutre (indifférente).

Illustration

Nous allons illustrer comment initialiser la composante pathologie du modèle en considérant les troubles émotionnels présentés dans l'exemple fil rouge : apathie et frustration chronique en intensité moyenne (0.6), irritabilité et agressivité en intensité faible (0.2) et dépression en intensité faible (0.3).

L'apathie est représentée dans notre modèle par une tendance à évaluer la dimension du "rapport aux buts" de manière neutre, donc comme une fonction gaussienne de moyenne $\mu = 0$ et d'écart-type $\sigma = 0.1$. Nous fixons arbitrairement la valeur de σ pour représenter la variabilité dans l'évaluation causée par le trouble. On peut voir en **Figure 4.9** la représentation pour la dimension de "rapport aux buts" de l'*appraisal probability frame* représentant le profil de tendance d'évaluation de l'apathie. La fonction a été normalisée dans un but de visualisation.

La frustration chronique est représentée dans notre modèle par une tendance à évaluer la dimension du "rapport aux buts" de manière négative, donc comme une fonction gaussienne de moyenne $\mu = -1$ et d'écart-type $\sigma = 0.1$.

Nous souhaitons dans cet exemple combiner les troubles d'apathie et de frustration chronique qui impactent l'évaluation de la même dimension. Pour cela, nous définissons la fonction de densité de probabilité pour la dimension du "rapport aux buts" comme un mélange de gaussiennes, représentée par la combinaison de la fonction gaussienne de moyenne $\mu = 0$ et d'écart-type $\sigma = 0.1$ et de la fonction gaussienne de moyenne $\mu = -1$ et d'écart-type $\sigma = 0.1$. On peut voir en (**Figure 4.10**) la fonction résultante de cette combinaison, avec une intensité de 0.6 pour

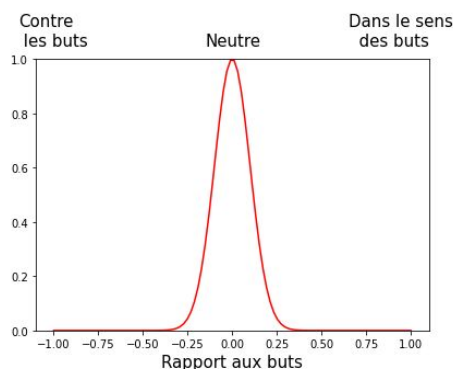


Figure 4.9 – Visualisation de la dimension “Rapport aux buts” de l'*appraisal probability frame* $apf_{pathologie}$ représentant la tendance d'évaluation engendrée par l'apathie

les deux troubles, et qui représente la combinaison du profil de tendance d'évaluation de l'apathie et de la frustration chronique pour la dimension de “rapport aux buts”.

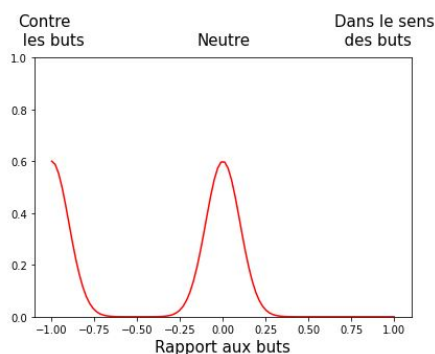


Figure 4.10 – Visualisation de la dimension “Rapport aux buts” de l'*appraisal probability frame* $apf_{pathologie}$ représentant la tendance d'évaluation engendrée par la combinaison de l'apathie (intensité=0.6) et de la frustration chronique (0.6).

On applique le même raisonnement pour obtenir le profil de tendance d'évaluation des troubles d'agressivité avec une intensité de 0.2 et de la dépression avec une intensité de 0.3, pour la dimension de “potentiel de maîtrise” (Figure 4.11).

L'irritabilité va quant à elle impacter les dimensions de “soudaineté” et de “familiarité” avec une intensité de 0.2.

On peut voir en (Figure XX) l'*appraisal probability frame* qui représente le profil final de l'ensemble des tendances d'évaluation causées par ces troubles, pour toutes les dimensions du CPM sélectionnées.

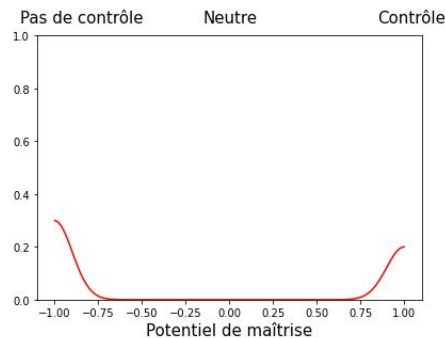


Figure 4.11 – Visualisation de la dimension “Rapport aux buts” de l'*appraisal probability frame* $apf_{pathologie}$ représentant la tendance d'évaluation engendrée par la combinaison d'agressivité (intensité=0.2) et de dépression (0.3).

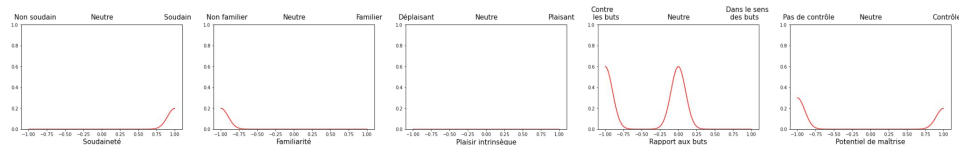


Figure 4.12 – Visualisation de l'*appraisal probability frame* $apf_{pathologie}$ représentant la tendance d'évaluation sur les cinq dimensions sélectionnées dans le CPM et engendrée par la combinaison d'apathie (intensité=0.6), de frustration chronique (0.6), d'agressivité (0.2) de dépression (0.3) et d'irritabilité (0.2).

4.1.5 . Appraisal Derivation Model / Appraisal Variables

L'*Appraisal Derivation Model* permet de représenter un événement déclenché dans l'environnement de l'agent en termes de variables d'appraisal, afin de décrire l'évaluation de cet événement par l'agent selon le formalisme défini par le modèle cognitif utilisé, dans notre cas, le modèle CPM (Scherer, 2001). Nous avons détaillé dans la section précédente la première étape de l'*Appraisal Derivation Model*, qui consiste à exprimer les composantes **Humeur** et **Pathologie** avec le formalisme des *appraisal probability frames*.

Dans cette section, nous allons décrire comment nous combinons ces composantes afin de constituer le filtre d'évaluation qui va permettre de générer une évaluation pathologique d'un événement. Nous expliquons par la suite comment nous décrivons les comportements non-verbaux de l'utilisateur en termes de variables d'appraisal, ainsi que leur influence sur l'évaluation que fait la patiente de l'événement.

4.1.5.1 Définition du filtre d'évaluation : Appraisal Bias Frame

Nous avons expliqué dans la première partie de ce chapitre comment initialiser les éléments qui permettent de définir le module **Appraisal Bias Frame** (Figure



4.1) :

- l'*appraisal probability frame* apf_{humeur} qui représente l'humeur de la patiente (définie selon le scénario).
- l'*appraisal probability frame* $apf_{pathologie}$ qui représente la pathologie du point de vue de notre approche pédagogique.

Notre modèle combine ces deux *appraisal probability frames* en attribuant un poids h pour l'humeur et p pour la pathologie, pour obtenir une *appraisal bias frame* abf :

$$abf = h.apf_{humeur} + p.apf_{pathologie}, \forall h, p \in [0, 1], \text{ avec } h + p = 1 \quad (4.4)$$

Les poids h et p modulent l'influence de la pathologie et de l'humeur sur l'agent. L'*appraisal probability frame* résultante abf représente la tendance de l'agent à évaluer une situation. Elle évolue au cours de l'interaction à chaque mise à jour de l'humeur et/ou des évaluations pathologiques.

Les études sur les patients atteints d'Alzheimer suggèrent que les troubles du comportement sont entre autres associés à l'intensité des troubles de l'humeur, qui évoluent avec le degré d'avancement dans leur maladie (Weintraub et al., 2012). L'humeur d'un patient à un stade avancé de la maladie sera donc plus instable que celle d'un patient à un stade moins avancé. Nous représentons cela à l'aide des poids h et p . Ainsi, on représente un stade peu avancé de la maladie avec un poids p faible qui implique un poids h élevé (fréquence peu élevée d'une évaluation pathologique et humeur plutôt stable), car $h+p=1$, et un stade avancé de la maladie avec un poids p élevé qui implique un poids h faible (fréquence élevée d'une évaluation pathologique et humeur instable).

Illustration

Afin d'obtenir l'*appraisal bias frame* qui servira à biaiser les évaluations cognitives de chaque événement, on combine l'*appraisal probability frame* représentant l'humeur (Figure XX.a, en rouge) et celle représentant la pathologie (Figure 4.13a, en bleu) obtenues avec les données de notre exemple fil rouge. On peut observer en Figure 4.13a, 4.13b, 4.13c, 4.13d l'influence des poids h et p sur l'*appraisal bias frame* résultante.

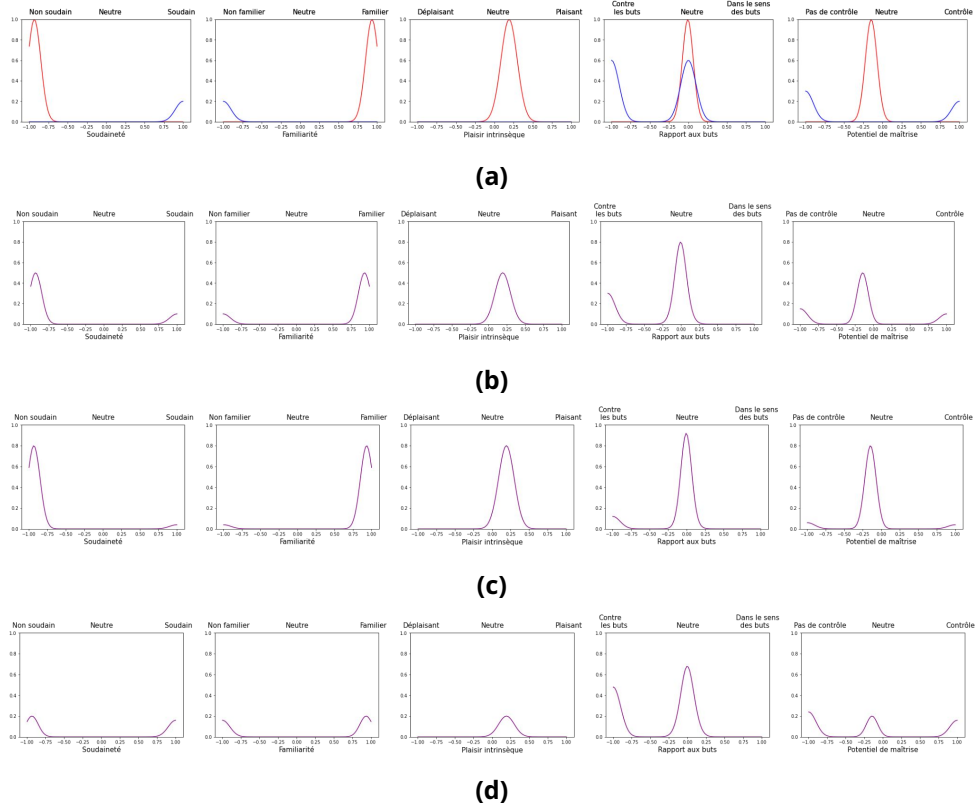


Figure 4.13 – (a) Visualisation des *appraisal probability frames* apf_{humeur} (en rouge) et $apf_{pathologie}$ (en bleu). (b) à (d) Visualisation de l'*appraisal bias frame* résultante pour différentes valeurs de h et p :
 (b) $h = 0.5$ et $p = 0.5$ (impact équivalent de l'humeur et de la pathologie)
 (c) $h = 0.8$ et $p = 0.2$ (impact fort de l'humeur et impact faible de la pathologie)
 (d) $h = 0.2$ et $p = 0.8$ (impact faible de l'humeur et impact fort de la pathologie)

Par exemple, pour la dimension de "rapport aux buts", on peut voir l'influence de ces poids sur l'*appraisal probability frame* résultante. Dans le cas où il y a un impact équivalent de l'humeur et de la pathologie (**Figure 4.13b** : $h = 0.5$ et $p = 0.5$), il y aura une probabilité assez élevée que la dimension de "rapport aux buts" soit évaluée comme "Neutre", avec une faible probabilité qu'elle soit évaluée comme "Contre les buts".

Avec un impact plus fort de l'humeur que de la pathologie (**Figure 4.13c** : $h = 0.8$ et $p = 0.2$), la probabilité d'évaluer la dimension de "rapport aux buts" comme "Neutre" est plus élevée que dans le cas précédent, et la probabilité de l'évaluer comme "Contre les buts" est très faible, mais quand même non nulle.

Enfin, avec un impact faible de l'humeur et un impact fort de la pathologie (**Figure 4.13d** : $h = 0.2$ et $p = 0.8$), la probabilité d'évaluer la dimension de "rapport aux buts" comme "Neutre" est plus faible que dans les deux cas précédents, alors que la probabilité de l'évaluer comme "Contre les buts" est bien plus élevée.

4.1.5.2 Application du filtre d'évaluation

Lorsqu'un événement est détecté au cours de l'interaction entre l'utilisateur soignant et la patiente virtuelle, cet événement est évalué par la patiente virtuelle à l'aide des annotations d'évaluation du **NP-Corpus** que nous avons décrites ci-dessus, tout en tenant compte de l'*appraisal bias frame* abf . L'*appraisal bias frame* est utilisé comme un filtre à appliquer par produit de convolution au vecteur produit par les annotations d'appraisal du **NP-Corpus**. Il va ainsi biaiser l'évaluation initialement prévue afin d'obtenir l'*appraisal probability frame* apf_{hpNP} . Nous utilisons la notation de $hpNP$ car cette *appraisal probability frame* contient les informations de l'*appraisal bias frame* relatives à l'humeur et à la pathologie (hp), appliquées à l'évaluation non pathologique (NP) :

$$apf_{hpNP} = abf * apf_{NP} \quad (4.5)$$

Illustration

On peut voir en **Figure 4.14a** sur le même graphe, la représentation de l'*appraisal probability frame* apf_{NP} de l'évaluation non pathologique du choix effectué par l'utilisateur (courbe verte) et la représentation de l'*appraisal bias frame* avec $h = 0.5$ et $p = 0.5$ (courbe violette). L'*appraisal probability frame* résultante apf_{hpNP} est représentée en **Figure 4.14b**. Elle correspond aux tendances d'évaluation pour cet événement qui prennent en compte l'humeur et la pathologie de la patiente virtuelle.

Dans cet exemple, l'évaluation non pathologique de l'action pour la dimension de "rapport aux buts" est représentée par une fonction gaussienne simple (**Figure 4.14a**, quatrième graphe, courbe verte). Cette fonction indique une forte probabilité (hauteur du pic à 1) d'évaluer cette action comme allant plutôt contre les

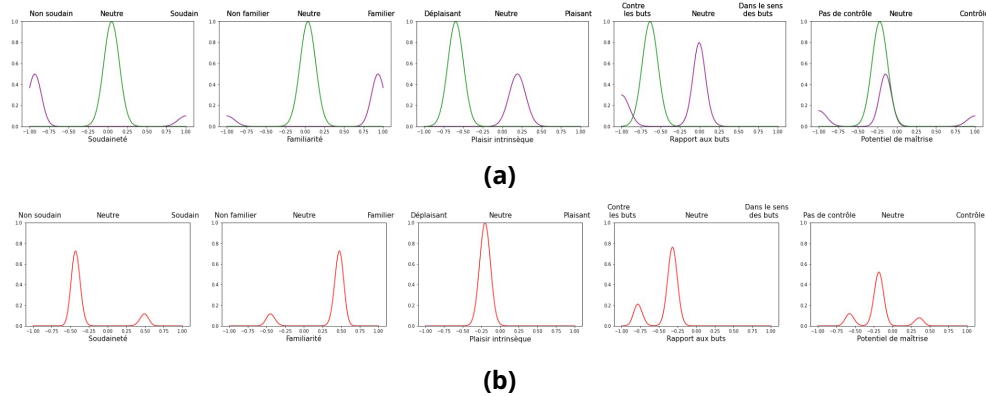


Figure 4.14 – (a) Visualisation de l'*appraisal probability frames* apf_{NP} pour le choix "Je redonne à la patiente ses médicaments"(en vert) et de l'*appraisal bias frame* abf avec $h = 0.5$ et $p = 0.5$ (en violet).
(b) Visualisation de l'*appraisal probability frame* apf_{hpNP} résultante.

but (moyenne $\mu = -0.6$). L'*appraisal bias frame*, décrite dans la section précédente, est représenté à l'aide d'un mélange de gaussiennes (Figure XX-a, courbe violette). Pour la dimension de "rapport aux buts", la courbe correspond dans ce cas à la combinaison de deux fonctions gaussiennes. La première fonction gaussienne représente une tendance plutôt élevée (hauteur du pic à 0.8) à évaluer la dimension de "rapport aux buts" comme "Neutre" (moyenne $\mu = 0$). La deuxième fonction gaussienne représente une tendance plutôt faible (hauteur du pic à 0.2) à évaluer cette même dimension comme "Contre les buts" ($\mu = -1$). Lorsqu'on applique le filtre de l'*appraisal bias frame* sur l'évaluation non pathologique, on obtient une nouvelle fonction (**Figure 4.14b**), représentée à l'aide d'un mélange de gaussiennes qui correspond à la combinaison de deux fonctions gaussiennes. La première fonction indique une probabilité plutôt faible (hauteur du pic à 0.22) d'évaluer l'action comme plutôt contre les buts ($\mu = -0.75$). La deuxième fonction gaussienne indique une probabilité plutôt élevée (hauteur du pic à 0.78) d'évaluer l'action comme plutôt neutre ($\mu = -0.28$).

Ce nouveau mélange de gaussienne décrit donc les nouvelles probabilités d'évaluation de la dimension de "rapport aux buts", qui prend en compte la pathologie et l'humeur.

4.1.5.3 Prise en compte du comportement non-verbal de l'utilisateur

Les comportements de l'utilisateur que nous avons identifiés dans la section 4.1.4.1.2 sont associés à une *appraisal probability frame* $apf_{comportement\ user}$, qui correspond à une évaluation de chaque comportement selon les dimensions du CPM. L'*appraisal probability frame* $apf_{comportement\ user}$ est ensuite appliqué

comme un filtre sur l'*appraisal probability frame* apf_{hpNP} , elle-même filtrée par l'humeur et la pathologie. L'utilisation d'un filtre permet de traduire l'impact des comportements de l'utilisateur sous forme tendance d'évaluation, en cohérence avec les mécanismes utilisés dans notre modèle.

On obtient ainsi une nouvelle *appraisal probability frame*, $apf_{biased\ NP}$ définie comme suit :

$$\begin{aligned} apf_{biased\ NP} &= apf_{comportement\ user} * apf_{hpNP} \\ &= apf_{comportement\ user} * (abf * apf_{NP}) \end{aligned} \quad (4.6)$$

Cette *appraisal probability frame* correspond à l'évaluation pathologique et contextuelle de l'agent. Cela prend en compte l'action sélectionnée sur l'interface graphique et les comportements multimodaux de l'utilisateur.

Illustration

Dans notre exemple fil rouge, l'utilisateur était proche de la patiente virtuelle, a souri et a adopté une posture fermée pendant qu'il a exprimé verbalement et non-verbalement son action. Nous avons vu en section 4.1.4.3 comment obtenir l'*appraisal probability frame* $apf_{comportement\ user}$ qui correspond à l'activation de ces comportements non-verbaux par l'utilisateur (**Figure 4.15a**). On détermine ainsi l'*appraisal probability frame* $apf_{biasedNP}$ en appliquant un produit de convolution de $apf_{comportement\ user}$ sur apf_{hpNP} (**Figure 4.15b**). On peut voir ainsi que le critère "plaisir intrinsèque" (courbes du milieu) est passé d'une évaluation plutôt négative (pic rouge central en haut) à une évaluation plutôt positive (pic violet au centre en bas).

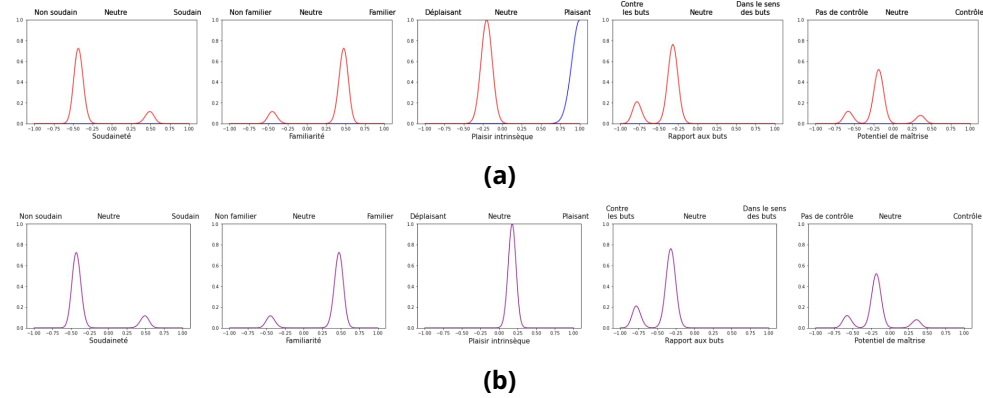


Figure 4.15 – (a) Visualisation de l'*appraisal probability frames* apf_{hpNP} obtenue avec les données de l'exemple fil rouge (en rouge) et de l'*appraisal probability frame* $apf_{comportement\ user}$ correspondant à un sourire de l'utilisateur (en bleu). (b) Visualisation de l'*appraisal probability frame* $apf_{biasedNP}$ résultante.

4.1.5.4 Utilisation du P-Corpus

Nous complétons cette estimation de l'évaluation avec des données d'un autre corpus, le **P-Corpus** d'annotations d'appraisal (**Figure 4.1**) qui contient des données provenant d'interactions entre 31 soignants et une version contrôlée de la patiente virtuelle à l'aide d'une expérimentation de Magicien d'Oz décrite dans le chapitre 3. Ce corpus nous permet d'obtenir des correspondances entre les choix et comportements effectués par les utilisateurs dans les interactions et les évaluations exprimées par la patiente virtuelle. Cela se traduit par une probabilité d'évaluer l'événement d'une certaine manière qui prendra la forme d'une *appraisal probability frame* appelée apf_P . Elle représente la probabilité d'évaluation d'un événement du corpus vidéo dans le contexte pédagogique. Ces informations de contexte et de pathologie sont donc directement encodées dans les correspondances statistiques issues de ces données.

Nous avons donc deux *appraisal probability frame* : La première, $apf_{biasedNP}$, correspond à l'évaluation biaisée par la pathologie et l'humeur des données du **NP-Corpus**. La deuxième, apf_P , correspond aux données du corpus vidéo d'interactions pathologiques (c'est-à-dire avec la patiente virtuelle). Ces deux *appraisal probability frames* sont combinées dans le modèle en attribuant un poids np pour la première et un poids p pour la seconde. Nous obtenons une nouvelle *appraisal probability frame* apf_{result} :

$$apf_{result} = np.apf_{biasedNP} + p.apf_P, \forall np, p \in [0, 1], \text{ tels que } np + p = 1 \quad (4.7)$$

Il est possible de faire varier les poids np et p pour donner plus ou moins d'importance à l'une des deux *appraisal probability frames*. Le résultat sera utilisé pour générer les valeurs de l'*appraisal frame* finale af_{result} , tel que décrit dans la section 4.1.2.3.

Les combinaisons possibles peuvent ne pas être toutes représentées par l'ensemble des données disponibles et par les annotations faites du **P-Corpus**. Lors d'une nouvelle interaction, si nous sommes confrontés à une combinaison qui n'existe pas dans le **P-Corpus**, nous utiliserons uniquement les annotations du **NP-corpus**.

Dans l'état actuel de nos travaux, nous nous sommes concentrés sur un échantillon du **P-Corpus** afin d'affiner le schéma de codage et le guide d'annotation, car les accords interjuges ne sont pas encore assez concluants. Nous avons donc décidé de ne pas prendre en compte pour l'instant les annotations du **P-Corpus**, et nous évaluerons uniquement les comportements générés à l'aide du **NP-corpus**.

4.1.6 . Affect Intensity - Affect Derivation Model / Emotion-Affect

La composante *Affect Intensity Model - Affect Derivation Model* permet d'explicitier le lien entre l'évaluation cognitive faite par l'agent et l'état émotionnel

résultant de cette évaluation. Dans notre modèle nous avons choisi de ne pas représenter explicitement l'état émotionnel de l'agent en utilisant des étiquettes d'émotions, comme dans beaucoup de modèles informatiques d'émotions. Ces étiquettes d'émotions sont en général associées à des expressions d'émotions prototypiques. En effet, ces expressions ont été définies selon des expressions de personnes ne présentant à priori aucune pathologie émotionnelle. Il paraît donc peu pertinent dans le cas d'expressions pathologiques de se limiter à ces expressions prototypiques, qui ne permettent pas d'observer les possibles nuances résultant d'évaluations pathologiques.

Toutefois, dans un but de visualisation, nous avons proposé de représenter le résultat de l'évaluation dans un espace PAD. Comme expliqué en section 4.1.4.2, l'interprétation d'une représentation dans un espace à trois dimensions est plus intuitive qu'une représentation à travers les cinq dimensions du modèle CPM que nous avons sélectionnées.

Nous avons pour cela combiné la correspondance établie par (Israel and Schonbrodt, 2019) entre les schémas d'activation des variables d'évaluation du modèle CPM que nous avons sélectionnées pour notre modèle et les catégories d'émotion (par exemple, rage, dégoût) avec la correspondance proposée par (Gebhard, 2005) entre les mêmes émotions et leur emplacement sur l'espace PAD. Nous avons ainsi obtenu une correspondance directe entre les schémas d'activation des variables d'évaluation du modèle CPM et les positions sur l'espace PAD. L'utilisation d'un modèle de régression linéaire nous a ensuite permis de comprendre comment les variables CPM sélectionnées peuvent être liées à chacune des dimensions de l'espace PAD. La faible quantité de données (9 émotions) et la non-linéarité de la distribution de ces données sur les deux espaces (PAD et CPM) impliquent que les coefficients obtenus par la régression linéaire sont approximatifs, et nous permettent plutôt d'obtenir des indications sur la façon dont les variables CPM sélectionnées pourraient être liées à chacune des dimensions de l'espace PAD. Nous avons ainsi défini les formules suivantes :

$$\begin{aligned} P &= 0.6 * \text{plaisir intrinseque} + 0.4 * \text{rapport aux buts} \\ A &= 0.25 * \text{soudainete} - 0.25 * \text{familiarite} + 0.5 * |\text{rapport aux buts}| \\ D &= 0.3 * \text{rapport aux buts} + 0.7 * \text{potentiel de maitrise} \end{aligned}$$

Nous avons vu dans la section 4.1.4.2 que les formules 4.3 permettent d'initialiser l'humeur de la patiente à partir d'une position sur l'espace PAD. Elles nous permettent également dans ce module de visualiser l'évolution de l'état émotionnel de l'agent sur un espace PAD.

4.1.7 . Affect Consequent Model

L'*Affect Consequent Model* permet de décrire les conséquences de l'évaluation cognitive de la situation. Cette évaluation va entraîner des changements externes

Critère d'appraisal	Valeur	Expressions faciales	
		Combinaison 1	Combinaison 2
Soudaineté	Haut	Sourcils relevés (AU 1+2) Écarquille des yeux (AU 5) Regarder dans les yeux	
	Bas	Aucun changement d'expressions faciales	
Familiarité	Haut	Aucun changement d'expressions faciales	
	Bas	Fruncement des sourcils (AU 4) Plissement des yeux (AU 7 / AU 44) Regarder dans les yeux	
Plaisir intrinsèque	Haut	Écarquille des yeux (AU 5) Regarder dans les yeux Fruncement des sourcils (AU 4) Plissement des yeux (AU 7 / AU 44) Coins des lèvres vers le bas (AU 15) Pincement des lèvres (AU 24) Éviter le regard	Sourire (AU 12) Regarder dans les yeux
	Bas		
Rapport aux buts	Haut	Relaxation des muscles faciaux	
	Bas	Fruncement des sourcils (AU 4) Plissement des yeux (AU 7 / AU 44) Regarder dans les yeux	
Potentiel de maîtrise (Power)	Haut	Fruncement des sourcils (AU 4) Écarquille des yeux (AU 5) Regarder dans les yeux	Pincement des lèvres (AU 24) Regarder dans les yeux
	Bas	Sourcils relevés (AU 1+2) Écarquille des yeux (AU 5) Étirement des lèvres (AU 20) Alterne entre regarder dans les yeux et éviter le regard	
	Aucun contrôle	Sourcils relevés intérieur (AU 1) Coins des lèvres vers le bas (AU 15) Éviter le regard	

Tableau 4.4 – Correspondance entre les valeurs des critères d'appraisal du modèle CPM et les expressions faciales associées

en déclenchant des comportements non-verbaux sur l'agent, et des changements internes qui vont faire évoluer son humeur.

4.1.7.1 Expression des comportements non-verbaux de la patiente virtuelle

4.1.7.1.1 Correspondances du modèle CPM

Comme nous l'avons présenté plus haut, le modèle théorique que nous avons choisi pour représenter les pathologies émotionnelles et expressives est l'*Appraisal Bias Model* (ABM) (Scherer and Brosch, 2009). Ce modèle est basé sur le modèle *Component Process Model* (CPM) (Scherer, 2001), qui considère qu'une émotion est le résultat de l'évaluation d'un événement selon des critères définis. L'évaluation de chacun de ces critères peut déclencher certains comportements non-verbaux, comme les expressions faciales listées dans le **Tableau 4.4** adapté de (Scherer, 2001) dans le modèle CPM. On peut constater que l'évaluation de certains critères peut résulter en plusieurs combinaisons différentes mais équivalentes. Dans notre modèle nous choisissons au hasard une de ces combinaisons parmi les combinaisons d'expressions faciales équivalentes.

Dans le modèle CPM, les comportements non-verbaux qui résultent de l'évalua-

tion cognitive de la situation sont déclenchés de manière séquentielle pour chaque critère en suivant un ordre défini. Dans l'expérimentation de Magicien d'Oz décrite dans le chapitre 3, l'expérimentateur devait sélectionner une combinaison de comportements non-verbaux, déclenchés simultanément. Afin de pouvoir comparer les simulations de notre modèle aux données du corpus, nous proposons donc de commencer par générer les comportements non-verbaux de manière simultanée, puis de considérer dans un second temps la génération des comportements non-verbaux de manière séquentielle, comme spécifié dans le modèle CPM. Nous avons donc défini deux manières de déclencher les comportements non-verbaux :

- Expression simultanée : Afin de générer des comportements non-verbaux de la même manière qu'ils ont été générés par l'expérimentateur lors de notre expérimentation de magicien d'Oz (chapitre 3), nous utilisons une méthode pour générer des expressions faciales de manière statique, en déclenchant tous les comportements de manière simultanée. On peut voir sur le **Tableau 4.4** que pour plusieurs critères d'évaluation, il existe au plus deux possibilités de combinaison de comportements non-verbaux. De plus, il est possible que l'évaluation de deux ou plusieurs critères différents déclenchent des comportements d'une même zone du visage qui ne soient pas compatibles. Par exemple, supposons que pour un événement, l'agent évalue la dimension "plaisir intrinsèque" comme "Bas" (déplaisant) et la dimension "potentiel de maîtrise" comme "Bas" (peu de maîtrise). Dans les correspondances du modèle CPM, on peut voir que lorsqu'un événement est évalué comme déplaisant, on retrouve parmi les comportements déclenchés un froncement des sourcils (AU 4) et un plissement des yeux (AU 44). Lorsqu'un événement est évalué avec un potentiel de maîtrise peu élevé, parmi les comportements déclenchés on retrouve les sourcils relevés (AU 1+2) et un écarquillement des yeux (AU 5). On peut voir qu'il existe un conflit entre le froncement des sourcils et les sourcils relevés, et entre le plissement des yeux et les yeux écarquillés. On propose donc pour l'expression statique de lister tous les comportements possibles, puis d'identifier les combinaisons possibles et compatibles. Dans l'exemple précédent, on propose donc de générer les deux combinaisons possibles et d'en choisir une. Pour cela, on sélectionne la combinaison proposée par la valeur de la dimension ayant une intensité la plus forte. Par exemple, en reprenant l'exemple précédent, si l'évaluation du plaisir intrinsèque a pour valeur 0.5 et que l'évaluation du potentiel de maîtrise a pour valeur 0.8, nous choisissons la combinaison proposée par l'évaluation du potentiel de maîtrise, car sa valeur est supérieure. La direction du regard associée à l'évaluation de la dimension avec la plus grande intensité sera retenue. D'autres techniques comme des réseaux Bayésiens pourraient aussi être utilisées (Pelachaud and Poggi, 2002) en perspective.
- Expression séquentielle : on utilise directement les correspondances propo-

sées par le modèle CPM, en déclenchant pour chaque dimension évaluée et en fonction du résultat de l'évaluation, l'ensemble des comportements non-verbaux associés de manière séquentielle, en suivant l'ordre suivant : soudaineté, familiarité, plaisir intrinsèque, rapport aux buts puis potentiel de maîtrise (Scherer, 2009). Dans une application de jeu interactif, le déclenchement des expressions faciales de manière séquentielle avait été évalué comme plus expressif en comparaison avec un affichage simultané des expressions d'émotions stéréotypiques (Courgeon et al., 2014).

Dans le modèle CPM, Scherer précise que l'évaluation ne se fait pas nécessairement selon l'ensemble des critères, et s'arrête si l'événement n'est pas considéré comme pertinent (Scherer, 2009). Afin de modéliser le manque d'expressivité associé à l'apathie, il est nécessaire de prendre en compte cet aspect. Dans le modèle CPM, la pertinence est évaluée à travers les critères de "soudaineté", "familiarité", "pertinence aux buts" et "plaisir intrinsèque". Dans notre modèle nous ne considérons pas le critère de "pertinence aux buts", mais le critère de "rapport aux buts", qui appartient à la catégorie "Implication". Nous avons fait le choix de considérer un événement comme non pertinent si la valeur de l'évaluation du critère de "rapport aux buts" est "Neutre". Ainsi, si les critères de "soudaineté", "familiarité", "pertinence aux buts" et "plaisir intrinsèque" sont évalués comme "Neutre", le critère de potentiel de maîtrise n'est pas évalué.

4.1.7.1.2 Utilisation du P-Corpus

Une fois entièrement annoté, le P-Corpus nous permettra également d'obtenir des correspondances statistiques entre les choix et les comportements non-verbaux associés des utilisateurs, et les évaluations cognitives de la patiente virtuelle et les comportements verbaux et non-verbaux choisis par l'expérimentateur. Nous utiliserons ces correspondances pour apporter plus de variabilités dans les comportements, comme décrit en section 4.1.5.4. Nous détaillerons cette étape dans de futurs travaux.

4.1.7.2 Mise à jour de l'humeur

Nous avons décrit dans la section 4.1.5.4 comment obtenir af_{result} , qui représente l'*appraisal frame* qui résulte de l'évaluation cognitive de l'agent. Elle permet d'une part de générer des comportements verbaux et non-verbaux comme décrit dans la section précédente, et d'autre part mettre à jour l'état interne de l'agent, dans notre cas, son humeur. En effet, nous considérons que l'humeur est définie comme une accumulation d'épisodes émotionnels, comme dans le modèle EMA (Marsella and Gratch, 2009). Chaque évaluation cognitive va induire une variation, avec une dynamique qu'on retrouve dans le modèle ALMA (Gebhard, 2005) et le modèle proposé par (Shvo et al., 2019).

Pour cela, on définit l'humeur au temps t par un point de coordonnées

$$position_{humeur}^t = (val_{soudainete}^t, val_{familiarite}^t, val_{plaisir\ intrinseque}^t, val_{rapport\ aux\ buts}^t, val_{potentiel\ de\ maitrise}^t) \quad (4.8)$$

Lorsqu'un événement est déclenché et évalué par l'agent, on utilise l'*appraisal frame* af_{result} , qui est un vecteur à 5 dimensions, pour définir T , la translation de vecteur $\delta.af_{result}$ pour obtenir la nouvelle position de l'humeur, telle que :

$$position_{humeur}^{t+1} = position_{humeur}^t + \delta.af_{result} \quad (4.9)$$

Le coefficient δ détermine le poids de l'influence d'un épisode émotionnel sur l'humeur. Une valeur élevée de δ représente ainsi de fortes variations de l'humeur à chaque épisode émotionnel.

4.2 . Évaluation du modèle

Le but du modèle COPALZ est de simuler des mécanismes internes menant à la génération de comportements pathologiques. L'évaluation d'un agent contrôlé par un tel modèle est complexe et soulève plusieurs questions. En effet, il est difficile de déterminer les critères d'évaluation pertinents et objectifs qui permettent de confirmer la validité de l'impact de la pathologie sur les évaluations faites par la patiente virtuelle et sur les comportements résultants au cours d'une seule interaction. Les pathologies émotionnelles et expressives sont caractérisées par une fréquence et une intensité inappropriée de certains symptômes identifiés, et leur identification peut nécessiter pour effectuer une évaluation des interactions plus longues que les interactions courtes proposées actuellement par notre système. Dans notre contexte, notre objectif principal d'évaluation se porte sur l'aspect pédagogique de la formation. Notre modèle doit donc être capable d'afficher des comportements pathologiques spécifiques identifiés comme pertinents pour la formation aux interactions avec ce type de patients.

4.2.1 . Matériel

Les données utilisées pour cette évaluation correspondent aux logs des sessions d'interactions de l'expérimentation décrite en chapitre 3. Parmi les 31 utilisateurs qui ont interagi avec notre système, nous en avons retenu 29. Les 2 utilisateurs restants ont été exclus pour différentes raisons. La vidéo du premier utilisateur exclu n'a pas été enregistrée pour des raisons techniques, rendant impossible la détection de ses comportements non-verbaux lors de l'interaction. Lors de l'interaction avec le deuxième utilisateur exclu, ce dernier s'est baissé et s'est trop rapproché de l'écran où est affichée la patiente virtuelle. Il a donc été hors de portée de la caméra pendant une grande partie de l'interaction.

Pour rappel, le scénario comporte 6 phases : "Approche patiente 1", "Approche patiente 2", "Geste technique 1", "Geste technique 2", "Sortie 1" et "Sortie 2".

Lors de la première phase du scénario “Approche patiente 1”, l'utilisateur se trouve face à la porte fermée de la chambre de la patiente virtuelle. Cette phase sert de familiarisation de l'utilisateur avec l'interface et la manette. Pendant cette phase, les choix proposés à l'utilisateur (“Je toque à la porte, je l'ouvre et j'attends” et “Je toque et j'entre directement dans la chambre”) ne nécessitent pas d'être joués par l'utilisateur. De plus, la porte étant fermée, la patiente virtuelle ne peut pas voir les comportements non-verbaux de l'utilisateur. Nous avons donc exclu les blocs contenus dans cette première phase pour nos analyses.

Nous avons par la suite formaté les données brutes des interactions afin qu'elles correspondent à la structure de bloc d'interaction décrite dans la section 4.2.2.1 et que nous puissions les utiliser pour l'évaluation de notre modèle.

Pour cela, nous avons d'abord regroupé dans un fichier les données brutes, image par image, de tous les utilisateurs à la suite, afin d'obtenir un seul fichier contenant l'ensemble des données. Nous avons ensuite procédé comme suit pour chaque utilisateur :

- On identifie le début du premier bloc qui correspond au moment où l'utilisateur valide la sélection de son premier choix sur son interface (le choix pour la phase “Approche patiente 2”). On récupère ainsi le(s) choix sélectionné(s) (action, dialogue ou les deux) par l'utilisateur et la phase du scénario correspondante.
- On récupère ensuite les comportements non-verbaux exprimés par l'utilisateur lors de l'interprétation de son choix. Cela correspond à l'intervalle entre le début du bloc et le moment où la patiente virtuelle exprime sa réaction. On calcule par la suite la moyenne des activations de chaque comportement non-verbal détecté par notre système pendant cette fenêtre de temps.
- On récupère enfin dans les fichiers de logs les comportements verbaux et non-verbaux exprimés par la patiente lors de sa réaction, qui marquent la fin du bloc.

Pour identifier le début du bloc suivant, on vérifie tout d'abord dans quelle phase on se trouve lors de la réaction suivante de la patiente virtuelle :

- Si on se trouve dans la même phase que le dernier bloc identifié, le début du nouveau bloc correspond à la fin de la réaction de la patiente virtuelle du dernier bloc identifié. La sélection de l'utilisateur et la phase du scénario pour ce bloc sont donc les mêmes que pour le bloc précédent. On récupère ensuite les activations des comportements non-verbaux de l'utilisateur jusqu'à la prochaine réaction de la patiente virtuelle, ainsi que les comportements déclenchés sur la patiente virtuelle.
- Si on se trouve dans une nouvelle phase, le début du bloc suivant correspond donc au moment où l'utilisateur valide sa prochaine sélection sur son interface lors de cette nouvelle phase. Le moment entre la dernière réaction de la patiente virtuelle et la prochaine sélection de l'utilisateur n'est pas

pris en compte.

- S'il n'y a plus de réaction de la patiente virtuelle, cela correspond à la fin de l'interaction et donc du bloc. On passe donc au prochain utilisateur en suivant la même procédure.

En appliquant cette méthode sur l'ensemble du fichier contenant les données d'interaction de tous les utilisateurs, nous obtenons un fichier regroupant l'ensemble des blocs d'interaction de notre expérimentation.

On peut voir en **Figure 4.16** un schéma qui illustre les différentes étapes permettant le formatage des données brutes en blocs d'interaction. Le haut de la figure représente le déroulé temporel de deux extraits successifs d'interactions de deux utilisateurs différents. Le premier extrait correspond à la fin de l'interaction 1, entre l'"Utilisateur 1" et notre patiente virtuelle. Les trois points noirs à gauche du bloc U(N1) permettent d'indiquer que d'autres blocs précèdent le bloc U(N1) mais que nous avons choisi de ne pas les représenter pour faciliter la compréhension. Cette interaction a donné lieu au total à un nombre N1 de blocs d'interaction. Le bloc N1 correspond donc au dernier bloc issu de cette interaction. Pour ce bloc, l'utilisateur se trouve en phase P6 et il a sélectionné le choix C6 sur son interface graphique au début de cette phase. Ce bloc est composé d'un ensemble de comportements exprimés par l'utilisateur, appelé U(N1), et de la réaction déclenchée sur la patiente virtuelle, appelée PV(N1). On peut remarquer que le moment entre la fin du bloc PV(N1) et la fin de l'interaction a été ignoré, comme décrit précédemment. En effet, ce moment ne contient pas de données utiles à nos analyses car l'expérimentateur envoie le signal de fin d'interaction qui fait apparaître un écran indiquant la fin de la simulation de l'utilisateur. On peut voir en bas de la **Figure 4.16** une illustration qui décrit cette même interaction sous forme d'un tableau, où chaque ligne représente un bloc d'interaction. Le deuxième extrait correspond au début de l'interaction 2, entre l'"Utilisateur 2" et la patiente virtuelle. On peut remarquer que le moment de la sélection du choix C1 par l'"Utilisateur 2" marque le début du premier bloc (bloc (N1+1)) de l'interaction 2. Le choix C1 est associé à l'ensemble des blocs d'interaction de la phase P1, qui contient L blocs.

En suivant cette procédure, le fichier résultant contient un total de 878 blocs d'interaction mis bout à bout, impliquant 29 utilisateurs, et qui correspondent à une durée totale de 151 minutes environ, avec une moyenne de 10,3 secondes ($\pm$ 5,5 secondes) par bloc.

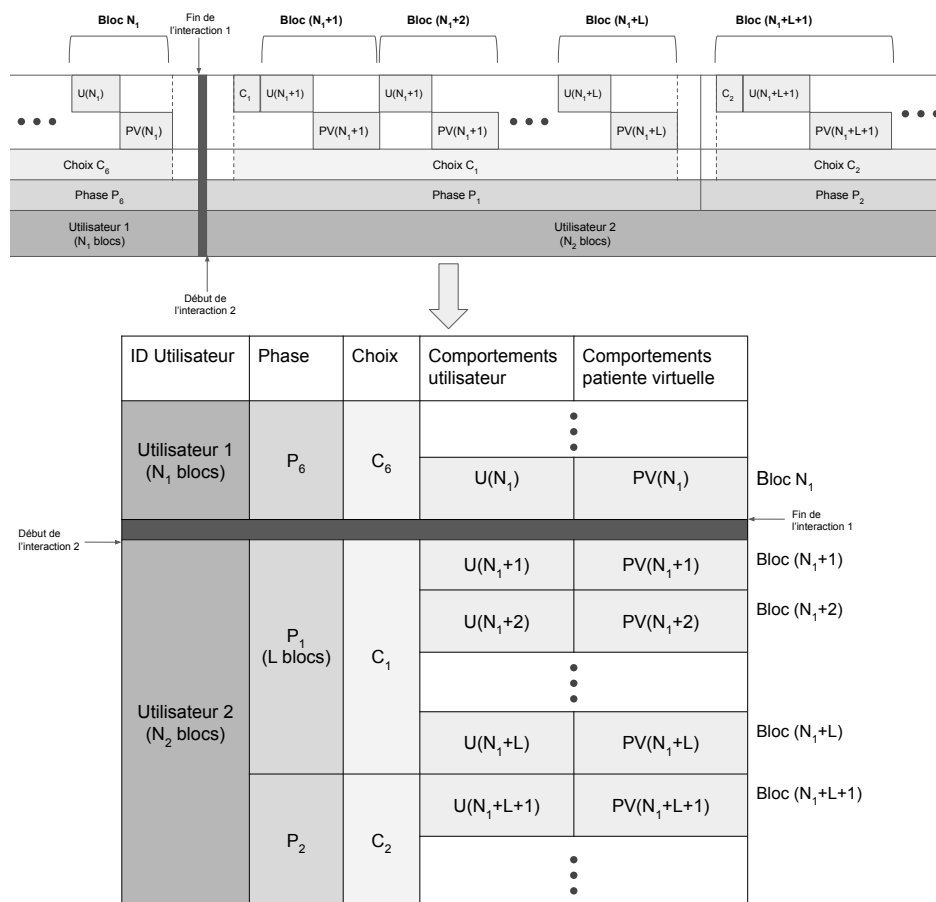


Figure 4.16 – Description de la méthode utilisée pour le formatage des données d'interactions temporelles en blocs d'interaction.

4.2.2 . Méthode

Pour évaluer notre modèle, nous nous appuyons notamment sur le concept de "situation didactique". Ce concept a été élaboré conjointement par des spécialistes de la formation et des praticiens de terrain selon une méthodologie basée sur l'analyse des besoins de formation et des résultats de la simulation (Ortega et al., 2019).

Dans un premier temps, des situations difficiles à gérer ont été identifiées à partir des observations et des entretiens avec des professionnels de santé (section 3.1). Un scénario de simulation a été conçu à partir des données issues de ce travail et de la littérature scientifique (section 3.2). En parallèle, une analyse pédagogique a révélé trois cas d'utilisation dans notre contexte : une stratégie de communication centrée sur l'accomplissement de la tâche, une stratégie de communication centrée sur la relation et une stratégie de communication centrée sur la patiente. Une "situation didactique" est alors un extrait pédagogiquement pertinent d'une interaction, représentée par une description de la stratégie de communication mobilisée (en fonction de la tâche à accomplir), du moment de l'interaction et de l'humeur de la patiente à ce moment. Dans un deuxième temps, une analyse des interactions enregistrées durant l'expérimentation de Magicien d'Oz a été réalisée pour annoter ces situations didactiques par les partenaires CIREL du projet VirtuAlz (Becerril-Ortega et al., 2022).

L'évaluation du modèle COPALZ que nous proposons dans ce chapitre est de comparer les sorties de notre modèle automatique (l'évaluation de la situation par la patiente virtuelle et les expressions faciales qu'elle affiche) aux données d'interaction collectées avec l'expérimentation de Magicien d'Oz. D'autres pistes d'évaluation de ce modèle seront proposées en perspectives à la fin de ce manuscrit de thèse.

Tout d'abord, nous devons initialiser notre modèle pour l'exécuter. Afin d'évaluer notre modèle, nous proposons de sélectionner des extraits vidéo des expériences du Magicien d'Oz, où le comportement de la patiente, le comportement du soignant et les situations didactiques observées ont été annotés.

Chaque action de l'utilisateur (choix sur l'interface graphique et comportements non-verbaux exprimés) va entraîner des réactions sur la patiente virtuelle automatique, qui vont dépendre de plusieurs variables : le niveau de coopération de la patiente (décidé par l'expérimentateur), le niveau de réactivité et d'expressivité de la patiente, le niveau d'agressivité de la patiente et les troubles présentés par la patiente. Ces variables représentent les niveaux de difficulté de la simulation (Becerril-Ortega et al., 2022). Dans notre modèle, nous pouvons représenter ces variables par des éléments d'initialisation. Notre modèle nous permet ainsi de représenter l'humeur de la patiente. Nous pouvons par exemple la rendre plus ou moins coopérative en fonction de son humeur initiale ou en présentant plus ou moins de troubles pathologiques. La réaction dépendra également de la façon dont les utilisateurs ont exprimé l'action choisie avec leur comportement non-verbal.

Comme décrit en section 4.1.5, nous utilisons les annotations du **NP-Corpus** (Corpus Non Pathologique) afin de déterminer l'évaluation d'un événement faite par une personne qui ne présente pas de pathologie émotionnelle. L'humeur de la patiente (qui évolue au cours de l'interaction), les troubles que l'on souhaite représenter et le comportement non-verbal de l'utilisateur seront alors utilisés pour biaiser cette évaluation afin d'obtenir l'évaluation pathologique de cet événement.

Notre méthode d'évaluation comprend deux étapes que nous avons mises en place et que nous décrivons ci-dessous.

La première étape de l'évaluation a consisté à présenter les quatre extraits sélectionnés des vidéos de simulation au neuropsychologue qui a contrôlé la patiente virtuelle (qu'on appelle expérimentateur ou wizard) dans notre expérimentation précédente. Ceci afin d'obtenir auprès de lui une explication de l'humeur et des troubles émotionnels qu'il a fait exprimer à la patiente virtuelle.

Ces quatre extraits sont issus de quatre interactions différentes, et ont été choisis car ils illustrent chacun une des différentes stratégies utilisées par les utilisateurs pour atteindre l'objectif de la simulation (Becerril-Ortega et al., 2022). Dans le premier et le deuxième extrait, les utilisateurs ont adopté une stratégie orientée tâche, en se concentrant sur la tâche principale à accomplir, qui est de faire prendre les médicaments à la patiente. Le premier utilisateur (médecin) a proposé d'adapter la prescription de médicaments afin que la patiente accepte de prendre ses médicaments, et le deuxième utilisateur (psychologue) a insisté jusqu'à ce que la patiente accepte de prendre les médicaments. Les deux premiers utilisateurs ont ainsi tous les deux atteint l'objectif principal de faire prendre les médicaments à la patiente. Le troisième et le quatrième utilisateur ont employé une stratégie orientée patient, en se concentrant en priorité sur la création d'une relation avec la patiente. Le troisième utilisateur (aide-soignante) a ainsi atteint l'objectif principal, et a également stimulé la patiente en fin d'interaction. Le quatrième utilisateur (infirmier) n'a pas accompli l'objectif principal, mais a stimulé la patiente et proposé de repasser plus tard face à son refus.

Chaque extrait présenté au neuropsychologue est séparé en blocs d'interaction. Un bloc est la combinaison du choix de l'utilisateur sur son interface (il peut être le même pour plusieurs blocs si l'étape du scénario est la même), de ses comportements verbaux et non-verbaux utilisés pour effectuer son choix, et des réactions de la patiente virtuelle (voir 4.2.2.1). Nous avons d'abord montré au wizard la vidéo du début de la session jusqu'au début de notre extrait (afin de lui remémorer le contexte de l'interaction et du comportement de la patiente depuis qu'elle a commencé à interagir avec l'utilisateur). Nous lui avons ensuite demandé d'indiquer le but et l'humeur initiale de la patiente. Nous lui montrons enfin l'extrait complet, bloc par bloc. L'objectif de cette méthode est de collecter, auprès du wizard, l'ensemble des valeurs en entrée nécessaires pour initialiser notre modèle, à savoir l'humeur, les troubles pathologiques et l'objectif de la patiente. Cette initialisation nous permettra ensuite de comparer les sorties de la simulation du modèle

(appraisal frame et expressions faciales obtenues par l'appraisal frame) avec les annotations faites par le wizard pendant l'entretien sur les quatre extraits considérés comme représentatifs par notre partenaire chercheur en pédagogie (CIREL).

4.2.3 . Résultats

Notre méthode d'évaluation a pour but de comparer les comportements non-verbaux déclenchés par le wizard, que nous appelons "observations", avec les comportements non-verbaux générés par le modèle COPALZ, que nous appelons "prédictions". Ces comparaisons se font pour un même jeu de paramètres en entrée et concernent uniquement les 4 extraits présentés en section 4.2.2, où l'humeur initiale et les troubles émotionnels sont déjà initialisés. En effet, le modèle COPALZ nécessite l'initialisation d'un certain nombre de paramètres :

- l'humeur initiale de la patiente virtuelle : exprimée sous forme d'un vecteur à trois éléments dans un espace PAD (voir section 4.1.4.2).
- les troubles émotionnels présentés par la patiente virtuelle : exprimés à l'aide d'un vecteur à 6 éléments. Chaque élément est un coefficient qui correspond à l'intensité du trouble que l'on souhaite représenter (voir section 4.1.4.3).
- les coefficients h et p : qui représentent respectivement l'influence de l'humeur et de la pathologie sur l'agent, avec $h + p = 1$ (voir section 4.1.5.1).
- le coefficient δ : qui représente l'influence d'une évaluation cognitive sur l'humeur (voir section 4.1.7.2).

Pour ces 4 extraits, l'humeur initiale et les troubles émotionnels sont déjà initialisés. Il reste donc à déterminer les coefficients h (sachant que $p = 1 - h$) et δ pour pouvoir lancer des simulations avec notre modèle sur la totalité des 4 interactions d'où sont issus ces 4 extraits.

4.2.3.1 Initialisation des paramètres du modèle

Afin de déterminer les coefficients h et δ , nous appliquons un algorithme de *grid search*, qui permet d'optimiser un ensemble de paramètres d'un modèle en testant toutes les combinaisons de cet ensemble (LaValle and Branicky, 2004). Le but de cette méthode est de trouver la combinaison des coefficients h et δ qui permet de minimiser l'erreur entre les observations et les prédictions de notre modèle. Nous utilisons par la suite ces valeurs pour comparer les prédictions de notre modèle sur l'ensemble des interactions d'où sont issus ces extraits.

Nous avons fait varier les coefficients comme suit :

- Pour le coefficient h : entre 0.1 (impact très faible de l'humeur et impact fort de la pathologie sur l'*appraisal probability frame* résultante) et 1 (impact fort de l'humeur et aucun impact de la pathologie sur l'*appraisal probability frame* résultante), avec un pas de 0.1.
- Pour le coefficient δ , nous avons fait varier sa valeur entre 0.01 (faible influence d'un épisode émotionnel sur l'humeur) et 0.3 (forte influence d'un épisode émotionnel sur l'humeur), avec un pas de 0.01. Nous nous

sommes limités à une valeur maximale de 0.3, car selon (Scherer, 2022), un épisode émotionnel ponctuel n'a pas un impact aussi important : l'humeur est censée être plutôt stable, par exemple au cours d'une même journée.

Nous utilisons une distance de Hamming (Hamming, 1986) pour mesurer l'erreur entre les labels observés et les labels prédits, qui correspond au nombre de labels qui ne sont pas prédits correctement. Cette mesure est utilisée en apprentissage machine pour quantifier la performance d'un classifieur multi-label. Dans notre cas, les labels observés correspondent aux comportements déclenchés par l'expérimentateur (wizard) et les labels prédits correspondent aux comportements sélectionnés par notre modèle. La distance de Hamming que nous utilisons est normalisée, et renvoie donc une valeur entre 0 (toutes les prédictions sont correctes) et 1 (aucune prédiction n'est correcte).

Pour rappel, lors de la sélection des expressions faciales à déclencher sur notre patiente virtuelle, l'expérimentateur devait choisir pour chaque zone du visage (sourcils, bouche et yeux) une expression faciale parmi celles proposées sur son interface graphique.

Lors du calcul de distance de Hamming, nous comparons les labels générés par zone. Les labels que nous utilisons pour chaque catégorie sont les suivants :

- Sourcils : neutre (aucune AU activée pour cette zone), sourcils relevés (AU 1 et AU 2), sourcils relevés intérieur (AU 1) et froncement des sourcils (AU 4).
- Bouche : neutre, sourire (AU 12), coins des lèvres vers le bas (AU 15), étirement des lèvres (AU 20) et pincement des lèvres (AU 24).
- Yeux : neutre, écarquiller les yeux (AU 5), plisser les yeux (AU 44).

Notre modèle utilise des densités de probabilités, appelées *appraisal probability frame* (voir section 4.1.2.3), pour représenter les probabilités d'évaluer un événement d'une certaine manière. Nous avons également vu en section 4.1.7.1 que notre modèle, qui est basé sur le modèle CPM, peut générer plusieurs combinaisons différentes de comportements pour un même résultat d'évaluation, et la sélection parmi les combinaisons possibles se fait au hasard. Ces deux éléments entraînent donc de la variabilité dans les comportements générés par notre modèle, ce qui implique que lorsqu'on effectue plusieurs fois une même simulation avec les mêmes paramètres initiaux, il y a de grandes chances pour que les comportements générés soient différents. Notre but étant d'évaluer la capacité de notre modèle à reproduire les comportements déclenchés par l'expérimentateur, nous effectuons, pour chaque événement évalué par la patiente virtuelle, plusieurs itérations (run en anglais) de simulation. Nous retenons ensuite la simulation qui a permis d'obtenir les prédictions les plus proches des observations. Nous avons fixé arbitrairement le nombre d'itérations à 100. D'après nos observations, ce nombre représente le bon compromis entre le nombre de simulations nécessaires pour explorer un grand nombre de combinaisons et le temps requis pour effectuer les simulations avec l'algorithme de *grid search*. En effet, cet algorithme, malgré son efficacité, a une

complexité exponentielle, ce qui est très coûteux en temps d'exécution.

On peut voir en **Figure 4.17** une *heatmap* qui représente les distances calculées pour toutes les combinaisons (h, δ) à partir des quatre extraits, avec chaque case qui correspond à une combinaison de (h, δ) . Plus la distance est élevée, plus la couleur de la case est claire. Nous nous intéressons donc aux valeurs les plus sombres de cette *heatmap*.

La distance minimale est de 0.45 et correspond à 8 combinaisons de (h, δ) (les 8 cases noir foncé dans la heatmap), à savoir : $(0.3, 0.1)$, $(0.3, 0.13)$, $(0.5, 0.06)$, $(0.5, 0.18)$, $(0.5, 0.2)$, $(0.5, 0.29)$, $(0.6, 0.04)$, $(0.7, 0.2)$. On a donc des valeurs de h qui varient entre 0.3 et 0.7, donc une moyenne de 0.5, et des valeurs de δ qui varient entre 0.04 et 0.29, donc une moyenne de 0.17. Nous décidons de retenir les valeurs moyennes pour h et δ , donc la combinaison $(h, \delta) = (0.5, 0.17)$.

Le coefficient $h=0.5$ indique un impact équivalent de la pathologie et de l'humeur. Cela correspond d'après notre modèle à un stade de la maladie légèrement avancé. Le coefficient $\delta=0.17$ indique une influence plutôt élevée d'un épisode émotionnel sur l'humeur, indiquant une humeur légèrement instable. Cela correspond globalement au profil de la patiente définie dans le scénario pédagogique.

Le nombre important de combinaisons correspondant à la distance minimale peut s'expliquer par le fait que nous essayons de fixer les paramètres à partir de 4 extraits différents. En effet, le paramètre h représente l'impact de l'humeur par rapport à l'impact de la pathologie sur la patiente. Il peut être associé au niveau d'avancement de la maladie (plus h est petit, plus le niveau de la maladie est avancé) (voir section 4.1.5.1). Le paramètre δ est associé à la stabilité de l'humeur de la patiente (plus δ est grand, plus l'humeur est instable). On pourrait donc penser que l'expérimentateur n'a pas adopté le même comportement pour tous les utilisateurs, en adaptant le niveau d'avancement de la maladie et l'instabilité de l'humeur.

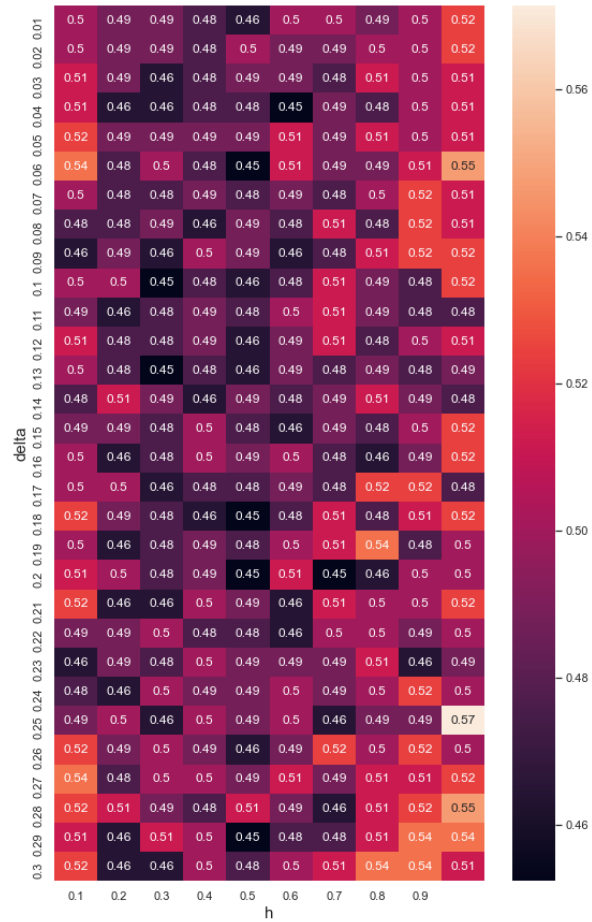


Figure 4.17 – *heatmap* qui représente les distances calculées pour les combinaisons de $h \in [0.1; 1]$ et $\delta \in [0.01; 0.3]$ à partir des quatre extraits d'interaction.

Nous avons donc également calculé les paramètres qui correspondent le mieux à chaque utilisateur. Nous trouvons également plus d'une seule combinaison par utilisateur, mais avec moins de variabilité des valeurs h et δ . On peut effectivement observer des zones plus sombres sur les heatmaps de chaque utilisateur (**Figure 4.18**), contrairement à la heatmap précédente (**Figure 4.17**) qui était plutôt homogène. Chaque case des heatmaps correspond à la distance entre les observations et la meilleure simulation de notre modèle sur 100 itérations. Afin de choisir la combinaison pour chaque utilisateur, nous avons tout d'abord retenu les cases avec les distances minimales, puis nous avons comparé cette distance avec la moyenne des distances trouvées lors de la recherche de la meilleure simulation. Nous avons ainsi sélectionné la combinaison qui a généré en moyenne les résultats les plus proches des observations sur les 100 itérations.

Nous avons retenu les valeurs suivantes pour chaque utilisateur :

- Pour le premier utilisateur, on trouve une combinaison $(h, \delta) = (0.4, 0.03)$, qui correspond à un stade de la maladie légèrement avancé et une humeur plutôt stable.
- Pour le deuxième utilisateur, on trouve une combinaison $(h, \delta) = (0.8, 0.16)$, qui correspond à un stade de la maladie peu avancé et une humeur légèrement instable.
- Pour le troisième utilisateur, on trouve une combinaison $(h, \delta) = (1, 0.05)$, qui correspond à une absence de pathologie et une humeur plutôt stable.
- Pour le quatrième utilisateur, on trouve une combinaison $(h, \delta) = (0.1, 0.23)$; qui correspond à un stade de la maladie très avancé et une humeur plutôt instable

On peut donc voir que les combinaisons trouvées pour notre modèle sont différentes selon les utilisateurs qui ont interagi avec la patiente virtuelle. On peut aussi constater que les trois premiers utilisateurs ont accompli la tâche principale de faire prendre les médicaments à la patiente, alors que le quatrième utilisateur a préféré passer plus tard. La réussite de la tâche semble liée au profil présenté par la patiente. Les utilisateurs ont tous de l'expérience avec les patients atteints d'Alzheimer et ont ainsi adapté leur stratégie en fonction du profil de la patiente. En effet, pour le quatrième utilisateur qui n'a pas accompli la tâche principale, le niveau d'avancement de la maladie de la patiente est le plus élevé ($h = 0.1$) avec une humeur plutôt instable ($\delta = 0.23$). L'utilisateur a donc préféré ne pas insister sur la prise de médicaments pour stimuler la patiente et se concentrer sur la relation avec elle. Pour le premier utilisateur, la pathologie est moins avancée ($h = 0.4$) mais l'humeur est beaucoup plus stable ($\delta = 0.03$). Cela peut expliquer pourquoi l'utilisateur a pu faire accepter à la patiente de prendre ses médicaments en adaptant la prescription de médicaments. En ce qui concerne le deuxième utilisateur, le stade de la maladie était peu avancé, malgré une humeur légèrement instable. L'utilisateur a ainsi estimé qu'il était possible d'insister sans dégrader la situation avec la patiente. Enfin, le troisième utilisateur, face à une patiente avec

une humeur plutôt stable ($\delta = 0.05$) et qui n'a pas présenté de troubles de comportements ($h = 1$) a pu atteindre l'objectif principal de faire prendre les médicaments à la patiente en plus de stimuler la patiente.

Ces observations pourraient suggérer que notre modèle est capable de simuler plusieurs situations pédagogiques différentes en initialisant les paramètres h et δ pour adapter le profil de la patiente au niveau de l'avancement de la maladie et de l'instabilité de l'humeur.

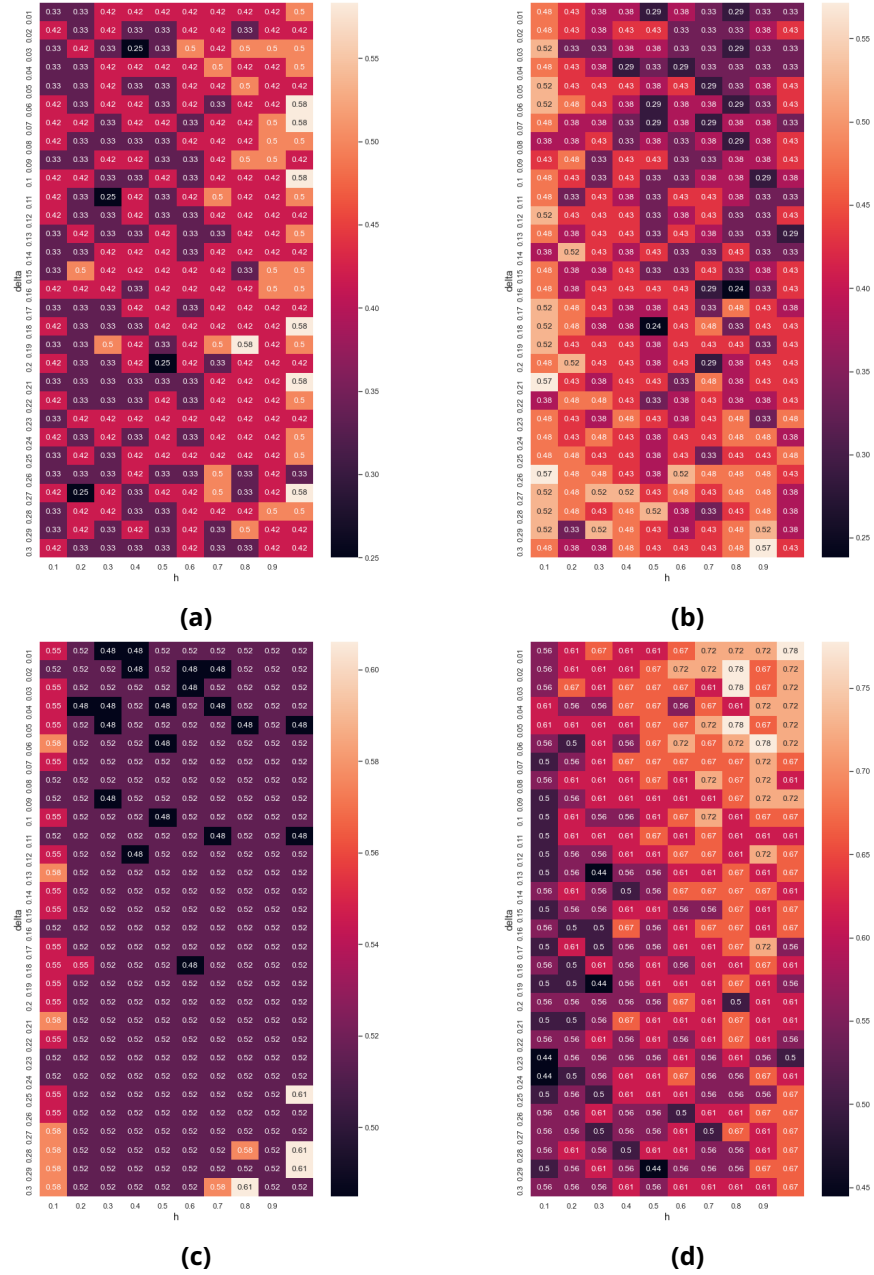


Figure 4.18 – *heatmap* qui représente les distances calculées pour les combinaisons de $h \in [0.1; 1]$ et $\delta \in [0.01; 0.3]$ pour le premier utilisateur (a), le deuxième utilisateur (b), le troisième utilisateur (c) et le quatrième utilisateur (d).

4.2.3.2 Comparaison des comportements

Nous présentons dans cette section les résultats des comparaisons entre les observations, qui sont les comportements déclenchés par l'expérimentateur, et les prédictions, qui sont les comportements générés par notre modèle. Nous comparons également les observations avec les prédictions d'un classifieur naïf (*dummy classifier*), qui génère des prédictions de manière uniforme (autant de comportements pour chaque label de chaque catégorie). Cette technique, utilisée en apprentissage machine, permet de donner une idée des performances d'un classifieur en le comparant à un modèle qui génère des prédictions selon des règles simples (van de Bijl et al., 2022). Cette comparaison nous permet également de répondre en partie à la problématique suivante (section 1.6) : est-ce que générer des comportements aléatoires suffit pour simuler des troubles cognitifs ?

Afin d'effectuer les comparaisons, nous effectuons un calcul de l'accord inter-juges avec la formule du Kappa de Cohen (Cohen, 1960). Cette formule permet de comparer les comportements et obtenir un score pour interpréter la qualité de l'accord. Cohen suggère d'interpréter le score de la manière suivante :

- inférieure à 0 : aucun accord
- compris entre 0,01 et 0,20 : accord faible
- compris entre 0,21 et 0,40 : accord passable
- compris entre 0,41 et 0,60 : accord modéré
- compris entre 0,61 et 0,80 : accord important
- compris entre 0,81 et 1,00 : accord presque parfait.

Nous effectuons les comparaisons d'une part sur les extraits des 4 interactions identifiées en section 4.2.2, et d'autre part sur les interactions complètes dont sont issues ces interactions.

On peut voir sur le **Tableau 4.5** les résultats des accords inter-juges pour la comparaison deux à deux des observations, des simulations de notre modèle et des simulations du classifieur naïf (random). Pour chaque colonne, on peut voir à gauche les scores obtenus pour les simulations sur les extraits des interactions, et à droite les scores obtenus pour les simulations sur les interactions complètes. La première colonne concerne les comparaisons effectuées en utilisant une même combinaison de (h, δ) pour les quatre utilisateurs. Les trois dernières colonnes concernent les comparaisons effectuées en utilisant une combinaison différente de (h, δ) pour chaque utilisateur.

Nous avons d'abord calculé l'accord inter-juges entre les observations et les prédictions générées par notre modèle pour la combinaison $(h, \delta) = (0.5, 0.17)$ retenue sur les données des quatre utilisateurs, en utilisant la formule du Kappa de Cohen.

Pour les extraits des interactions, nous obtenons un score de 0.49, qui correspond à un accord modéré (>0.40) et un score de 0.29 pour les interactions complètes qui correspond à un accord passable (<0.40).

L'accord inter-juges entre les observations et les prédictions générées par le classifieur naïf donne pour les extraits des interactions un score négatif, qui correspond

	Utilisateur 1,2,3 et 4		Utilisateur 1		Utilisateur 2		Utilisateur 3		Utilisateur 4	
	extrait	interaction complète	extrait	interaction complète	extrait	interaction complète	extrait	interaction complète	extrait	interaction complète
observation vs simulation	0.49	0.29	0.62	0.28	0.53	non disponible	0.39	0.27	0.38	0.29
observation vs random	-0.0025	0.018	-0.082	-0.011	0.069	non disponible	-0.019	0.02	0.04	-0.031
simulation vs random	-0.017	0.023	0.0082	0.0016	0.0078	non disponible	0	-0.026	0.014	0.043

Tableau 4.5 – Accords interjuges obtenus pour la comparaison deux à deux des observations, des simulations de notre modèle et des simulations du classifieur naïf (random).

à aucun accord, et pour les interactions complètes un score de 0.018 qui correspond à un accord très faible. Les accords entre les prédictions générées par notre modèle et les prédictions générées par le classifieur naïf sont similaires aux précédents avec -0.017 pour les extraits et 0.023 pour les interactions complètes. Ces scores sont aussi équivalents pour les comparaisons pour chaque utilisateur.

Les scores obtenus entre les observations et les prédictions générées par notre modèle sont bien supérieurs aux scores obtenus entre les observations et les prédictions du modèle naïf et entre les prédictions de notre modèle et les prédictions du modèle naïf. Ce résultat suggère donc que notre modèle permet de générer des prédictions plus proches de nos observations que s'ils étaient générés de manière aléatoire. Les scores obtenus entre les observations et les prédictions générées par notre modèle sont plutôt passables pour les quatre interactions complètes (0.29), mais les scores sont assez encourageants pour les extraits des quatre interactions (0.49).

Nous avons ensuite calculé les accords pour chaque combinaison retenue pour chaque utilisateur. Pour les comparaisons des extraits, on peut voir que pour l'utilisateur 1 l'accord est important, avec un score est assez élevé de 0.62. Le score d'accord pour l'utilisateur 2 est moins élevé (0.53) mais correspond à un accord modéré. Pour les utilisateurs 3 et 4, les scores sont de 0.39 et 0.38, ce qui correspond à des accords passables (<0.40) à la limite de modérés (>0.40). On peut donc voir que pour les deux premiers utilisateurs, notre modèle obtient des résultats bien plus satisfaisants que les utilisateurs 3 et 4. Les combinaisons choisies pour ces deux utilisateurs n'étaient possiblement pas les plus adaptées, et il serait intéressant dans de futurs travaux d'explorer plus de combinaisons pour ces deux interactions.

En ce qui concerne les accords pour les interactions complètes pour chacun des utilisateurs, les résultats sont beaucoup moins concluants. On peut noter que les scores sont assez similaires entre chaque utilisateur (0.28, 0.27 et 0.29) et qu'ils sont également similaires aux scores obtenus pour les données des quatre utilisateurs combinés (0.29). Cela suggère que le score diminue lorsqu'on compare des échantillons plus grands, mais que ce score pourrait également converger vers

une valeur constante. Nous pourrions dans de futurs travaux explorer cette piste en annotant de nouvelles vidéos pour effectuer des comparaisons supplémentaires.

5 - Discussion et perspectives

5.1 . Méthode : Magicien d'Oz

La méthode que nous avons proposée dans cette thèse pour concevoir notre patiente virtuelle Alzheimer repose sur l'intégration de différentes sources de connaissances et en partie sur une expérimentation de type magicien d'Oz. Cette expérimentation a été mise en place dans le but de compléter les informations issues de la littérature en récoltant des données d'interaction entre notre patiente virtuelle contrôlée et des professionnels de la santé, ayant pour la plupart déjà interagi avec des patients atteints d'Alzheimer. Nous avons utilisé ces données expérimentales dans le but d'obtenir une évaluation qualitative du système par les utilisateurs, notamment les évaluations du réalisme du scénario et du réalisme des comportements de la patiente virtuelle. Nous avons par la suite exploité et intégré ces données à la conception de notre modèle, sur la base de cette évaluation positive faite par les utilisateurs. Cette approche peut toutefois être sujette à discussion.

La technique du magicien d'Oz présente en effet certains inconvénients. Tout d'abord, les réactions déclenchées lors des interactions sont une interprétation d'un patient atteint d'Alzheimer du point de vue de l'expérimentateur, mais ne reflètent pas forcément les mécanismes internes responsables des réactions pathologiques. L'utilisation de plusieurs expérimentateurs différents pourrait être une piste intéressante à exploiter, mais cela nécessite de mobiliser des ressources humaines importantes.

De plus, la complexité de la tâche que doit exécuter l'expérimentateur peut être à l'origine de plusieurs erreurs. En effet, l'expérimentateur doit sélectionner sur son interface graphique la réponse qu'il pense appropriée en un minimum de temps, pour que l'interaction reste fluide et naturelle. Il doit en plus se concentrer sur les choix des utilisateurs sur leur interface graphique et les comportements non-verbaux lors de l'interprétation de ces choix.

On a pu remarquer par exemple dans le corpus collecté que l'expérimentateur n'a pas nécessairement apporté beaucoup de modifications des comportements non-verbaux à déclencher sur la patiente virtuelle lors d'échanges de courte durée. Il a ainsi parfois conservé la combinaison par défaut proposée par l'interface ou celle sélectionnée pour sa réaction précédente. Selon son retour, cela a souvent été dû au manque de temps pour sélectionner les comportements qu'il désirait afficher.

D'un autre côté, le délai de réponse parfois long n'a pas forcément eu d'impact sur l'évaluation du système par les utilisateurs. En effet, certains utilisateurs ont même souligné que les délais de réponses longs peuvent être représentatifs des patients atteints d'Alzheimer, et qu'il était important de ne pas s'impatienter face à ce type de patients et leur laisser le temps d'assimiler les informations. Il pourrait donc être intéressant dans des travaux futurs de se pencher sur cet aspect et de le

prendre en compte lors de la génération automatique des réponses de la patiente virtuelle.

5.2 . Conception des interactions

Pendant les interactions que nous avons collectées durant l'expérimentation Magicien d'Oz, les utilisateurs se sont servis d'une télécommande pour interagir avec l'interface graphique affichée sur le grand écran (menus dialogues et actions). Cette télécommande leur permettait de sélectionner un choix à interpréter par la suite avec leur comportement verbal et non-verbal, comme face à un patient réel.

Nous avons porté une attention particulière sur cette télécommande lors de la conception du système avec les partenaires. En effet, la présence même d'une télécommande peut avoir un impact plus ou moins important, selon sa taille et la complexité des commandes, sur le naturel de l'interaction et sur l'interprétation du comportement non-verbal. Nous avons alors envisagé l'utilisation de commandes vocales pour déclencher les choix affichés sur l'interface, à l'image du patient virtuel du projet PHENOVIRT (Dupuy et al., 2021). Cette modalité d'interaction est en effet pertinente pour un système qui vise les compétences de dialogue et qui s'intéresse plutôt au déroulement du contenu verbal d'un entretien avec un patient. Dans notre cas, où les compétences ciblées concernent le comportement non-verbal, la lecture de phrases à prononcer pourrait détourner l'attention de l'utilisateur de son comportement non-verbal, pour se focaliser sur l'expression verbale de la phrase à prononcer. C'est pourquoi notre choix s'est finalement porté sur un modèle de télécommande le plus petit et le moins encombrant possible, pour ne pas gêner l'interprétation des comportements non-verbaux des utilisateurs. Nous avons aussi décidé d'utiliser des commandes simples pour que les utilisateurs portent le moins d'attention possible à sa manipulation et se concentrent sur leur interprétation verbale et surtout non-verbale de leurs choix.

En ce qui concerne la formulation des choix possibles sur l'interface, nous avons choisi de proposer des choix de dialogue orientés sur des intentions de dialogue plutôt que sur des phrases déjà construites, pour laisser la liberté aux utilisateurs d'utiliser leurs propres mots et faciliter l'utilisation naturelle de leur comportement non-verbal associé. Dans l'état de l'art des patients virtuels, nous avons décrit les systèmes utilisés dans le Sick Call Project (Kenny et al., 2010) et le projet ACORFORmed (Ochs et al., 2017), qui proposent d'interagir directement à travers la voix avec le patient virtuel, sans imposer de choix sur une interface. Cette solution est complexe à mettre en place et nécessite de concevoir un système de dialogue basé sur un corpus riche et adapté au contexte. Nous avons choisi de nous concentrer plutôt sur le comportement non-verbal dans un premier temps, avec une perspective d'utiliser notre corpus et les données récoltées lors de la première expérimentation, où la patiente virtuelle était contrôlée par un expérimentateur, pour développer un système de dialogue. Le corpus pourra par la suite être enrichi avec

les données de futures expérimentations, où la patiente virtuelle sera contrôlée par notre modèle automatique. Cela permettrait d'ailleurs d'envisager des interactions plus dynamiques et plus proches de celles de la vie de tous les jours (avec des interruptions, des backchannels ou des recouvrements de parole) que ne gère pas notre découpage séquentiel en blocs d'interactions qu'utilise actuellement notre modèle COPALZ.

Lors de la conception des interactions, les partenaires neuropsychologues de l'équipe BROCA, qui interagissent fréquemment avec des patients atteints d'Alzheimer, ainsi que les experts en formation de l'équipe CIREL, ont souligné l'importance d'une autre modalité : le toucher relationnel. Le toucher relationnel s'oppose au toucher technique. Il permet de communiquer et de créer une intimité afin de rassurer et d'apaiser le patient. Nous avons effectivement constaté lors de nos observations en hôpital gériatrique l'importance du toucher relationnel, qui joue un rôle décisif lors des interactions avec des patients déments (Kim and Buschmann, 1999). L'entraînement à la bonne utilisation de cette modalité sociale est donc pertinent pour la formation du personnel médical et soignant (Ortega et al., 2019). Les limitations techniques nous ont toutefois contraints à ne pas prendre en compte cette modalité dans notre système. Les récents progrès concernant les systèmes haptiques offrent ainsi un potentiel très intéressant pour la simulation du toucher dans les interactions (Tsalamlal et al., 2015, 2018; Pelachaud et al., 2021) et leur intégration dans des futurs travaux de patients virtuels est une piste prometteuse à explorer.

5.3 . Comportements de la patiente virtuelle

La communication non-verbale est un élément crucial qui participe au bon déroulement d'interactions sociales dans le domaine médical. Les comportements non-verbaux des patients permettent d'appuyer les informations exprimées verbalement par ce patient et permettent de communiquer d'autres informations, par exemple sur ses intentions et son état émotionnel, et exprimer des indices associés à des troubles émotionnels et comportementaux caractéristiques de certaines pathologies. Les comportements non-verbaux sont d'autant plus importants lors d'interactions avec des patients atteints d'Alzheimer, qui ont de plus en plus de mal à communiquer verbalement avec l'évolution de la maladie et qui présentent de nombreux troubles émotionnels et comportementaux. Le personnel médical et soignant doit donc être formé à reconnaître et interpréter les comportements non-verbaux lors d'interactions avec ce type de patients. Afin de concevoir une patiente virtuelle Alzheimer, il est donc important de porter une attention particulière à l'expression des comportements non-verbaux de la patiente virtuelle. Ils doivent être réalistes et représentatifs des symptômes associés aux troubles des patients atteints d'Alzheimer.

La méthode traditionnellement utilisée lors de la conception de patients vir-

tuels pour reproduire des comportements pathologiques consiste en l'écriture d'un scénario pédagogique où les comportements sont déclenchés selon un script. Cela permet d'afficher des comportements fins, contrôlés et réalistes mais ces scripts apportent peu de variabilité aux réactions du patient virtuel. En effet, le nombre de branches possibles dans ce type de scénario augmente de manière exponentielle avec le nombre de modalités différentes à prendre en compte, et l'écriture d'un scénario plus riche et flexible devient ainsi rapidement une tâche d'édition ou spécification fastidieuse et complexe. De plus, les scripts se contentent d'afficher les comportements caractéristiques d'une pathologie, sans s'intéresser à la simulation des mécanismes internes responsables de l'apparition des comportements pathologiques de la maladie.

Nous avons choisi dans nos travaux de nous baser sur l'*Appraisal Bias Model* (Scherer and Brosch, 2009), issu de la littérature en psychologie cognitive pour proposer un modèle informatique simplifié des possibles mécanismes internes pouvant générer des réactions émotionnelles pathologiques. Ce type de modèle informatique inspiré de la psychologie cognitive est de plus en plus utilisé dans le domaine des agents virtuels car offre la possibilité de générer des comportements riches et variés en modélisant des caractéristiques individuelles telles que l'attitude ou la personnalité sur un agent. Il n'existe toutefois actuellement aucun modèle informatique permettant de simuler des comportements associés à des troubles émotionnels.

Notre modèle COPALZ est ainsi une première approche d'un modèle informatique permettant de générer de tels comportements. Dans nos travaux, nous nous sommes toutefois limités à certains aspects émotionnels de la pathologie, et plus particulièrement à la modélisation des troubles émotionnels à travers des biais d'évaluation cognitive, tels que définis par l'*Appraisal Bias Model* (Scherer and Brosch, 2009). La maladie d'Alzheimer engendre bien sûr d'autres troubles, comme des troubles du raisonnement et de l'attention, des troubles de perception, de régulation et de l'expression des émotions. Il faudrait donc envisager dans des travaux futurs d'intégrer d'autres composantes afin d'obtenir un modèle plus complet et plus global au vu des connaissances sur la maladie d'Alzheimer.

5.4 . Modèle automatique

Notre modèle COPALZ est une proposition de formalisation informatique de l'*Appraisal Bias Model* (Scherer and Brosch, 2009). Il se base sur le modèle CPM (Scherer, 2001), qui a été utilisé dans de nombreuses applications d'agents virtuels et qui a permis d'obtenir dans certaines études de bons résultats en termes de réalismes des comportements générés (Courgeon et al., 2014). De plus, avec l'*Appraisal Bias Model*, le CPM est un des seuls modèles à proposer des liens directs avec les pathologies émotionnelles, ce qui est pertinent dans notre contexte. Il existe néanmoins d'autres théories et modèles d'émotions plus récents que le CPM, comme la "constructed emotions theory" proposée par (Feldman Barrett, 2017).

Cette théorie s'inspire des travaux récents sur la structure et le fonctionnement du cerveau pour proposer un modèle des émotions et de leur fonctionnement, et qui propose aussi des liens avec certaines pathologies émotionnelles (Shaffer et al., 2022). Il n'existe toutefois actuellement pas de modèle informatique inspiré de cette théorie.

Le modèle CPM théorique est plus complexe que le modèle informatique que nous proposons, et nous en avons donc simplifié certains aspects. En ce qui concerne les interactions entre les différentes composantes de CPM, notre modèle déroule un événement de manière linéaire, en commençant par la perception, suivie d'une évaluation cognitive, qui résulte en l'expression de comportements et de changements internes. Dans son modèle théorique, Scherer postule que chaque étape a un impact sur la précédente, et que le processus se décrit comme une succession d'évaluations récursives plutôt que comme un processus linéaire. Nous avons également limité le nombre de critères d'évaluation d'un événement à un petit sous-ensemble des critères proposés par le CPM, ce qui rend l'évaluation résultante plus contrôlée mais moins riche et moins fine que ce que propose le modèle théorique. Ces simplifications sont toutefois nécessaires pour proposer une première formalisation informatique, qui pourra être enrichie dans de futurs travaux.

5.5 . Evaluation du modèle automatique

L'évaluation d'un modèle qui permet de générer des comportements soulève plusieurs problématiques (Gratch and Marsella, 2005). Il est en effet difficile d'évaluer les mécanismes internes responsables des pathologies émotionnelles et les retours qualitatifs d'experts médicaux concernant la pertinence des réactions pathologiques et d'experts en formation pour l'aspect pédagogique de la simulation représentent une des seules possibilités pour évaluer un tel modèle. Il serait possible d'évaluer avec ces retours le pouvoir génératif de notre modèle en ce qui concerne la pertinence des comportements non-verbaux déclenchés.

Nous avons proposé une première étape qui consiste à comparer les comportements générés par notre modèle à ceux sélectionnés par l'expérimentateur lors de l'expérimentation. Les résultats de l'évaluation lors de notre première expérimentation du système et du réalisme des comportements de la patiente virtuelle suggèrent que cette méthode permet d'avoir une première idée quant à la validité des comportements générés par la patiente virtuelle en termes de réalisme et d'intérêt pédagogique. Toutefois, cette méthode de validation repose pour l'instant sur de courts extraits d'un corpus d'interaction limité, et nous devons encore tester le modèle sur plus de situations différentes. De plus, nous comparons les simulations aux comportements sélectionnés par l'expérimentateur (un expert Alzheimer dans notre cas), qui sont le reflet de la performance de ce dernier et de ses choix (Voir section 5.1). L'étape de l'évaluation par des experts permettra d'apporter une validation qualitative supplémentaire.

Une autre limitation de notre méthode d'évaluation concerne la modalité d'expression des comportements non-verbaux. Le modèle CPM postule qu'une évaluation résulte en une expression séquentielle de comportements non-verbaux. Dans notre modèle, nous avons effectivement proposé d'afficher les comportements non-verbaux en suivant cette modalité. Toutefois, afin de comparer les comportements non-verbaux déclenchés par notre modèle à ceux déclenchés par l'expérimentateur durant notre expérimentation de magicien d'Oz, nous avons également proposé d'évaluer l'affichage simultané des comportements non-verbaux déclenchés par l'évaluation de la situation. En effet, l'interface du magicien d'Oz utilisée lors de la récolte des données de notre corpus ne permettait que l'affichage simultané des comportements non-verbaux, pour simplifier la tâche déjà complexe du magicien d'Oz. Nous avons donc évalué les comportements déclenchés uniquement selon la modalité d'affichage simultanée. Il pourrait être intéressant dans de futurs travaux de comparer les comportements déclenchés selon ces deux modalités (simultanée et séquentielle), pour évaluer la différence de perception en termes de pertinence et de réalisme.

Nous devons également garder à l'esprit que la maladie d'Alzheimer est très complexe et n'est toujours pas complètement comprise. Ainsi, la variabilité des symptômes et de leur intensité rend difficile une évaluation correcte de la crédibilité des comportements simulés par notre modèle et c'est pourquoi nous avons choisi de nous concentrer sur la reproduction de situations pédagogiques considérées comme pertinentes et intéressantes par les experts médicaux. Notre modèle permet ainsi de simuler un ensemble de six troubles émotionnels sur un agent, à travers la modélisation de biais d'évaluations et de leur impact sur l'évolution de l'humeur de cet agent. Les résultats obtenus lors de l'évaluation suggèrent que notre modèle permet d'adapter le profil de la patiente à travers deux paramètres : celui de l'avancement de la maladie que l'on souhaite représenter et celui de l'instabilité de l'humeur de l'agent. Ces paramètres pourraient être utilisés dans de futurs travaux pour proposer un système d'ajustement dynamique de la difficulté pour permettre de s'adapter aux différents profils d'utilisateur (Seyderhelm and Blackmore, 2021). On pourrait par exemple adapter la difficulté au niveau d'expertise et aux compétences sociales de l'apprenant ou encore en fonction de sa performance actuelle durant la simulation, afin d'éviter de le mettre en situation d'échec. Ce type de système nécessite néanmoins de déterminer et d'analyser la performance de l'utilisateur et de pouvoir lui en faire un retour. Actuellement, très peu de systèmes proposent un retour automatique, et les simulations en santé privilégient plutôt des entretiens post-interaction avec des experts (Chaby et al., 2022).

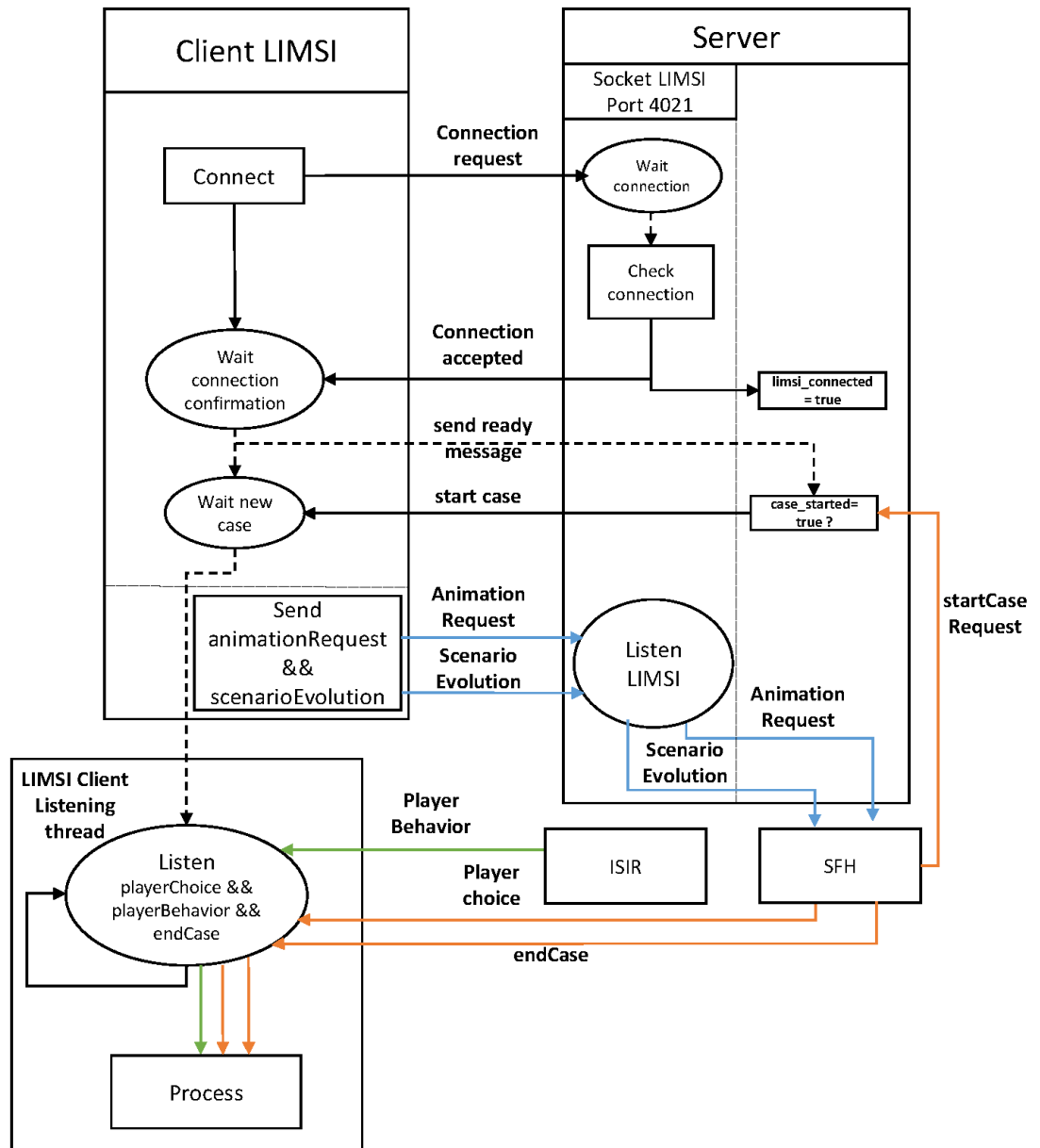
En perspective, il faudrait bien sûr envisager d'évaluer notre modèle COPALZ avec la version automatique de notre patiente virtuelle en interaction avec des personnels soignants. Nous pourrions ainsi évaluer les performances de notre modèle en temps réel, et récolter des retours du personnel soignant quant à son intérêt pédagogique et/ou au réalisme des comportements générés. Il serait également

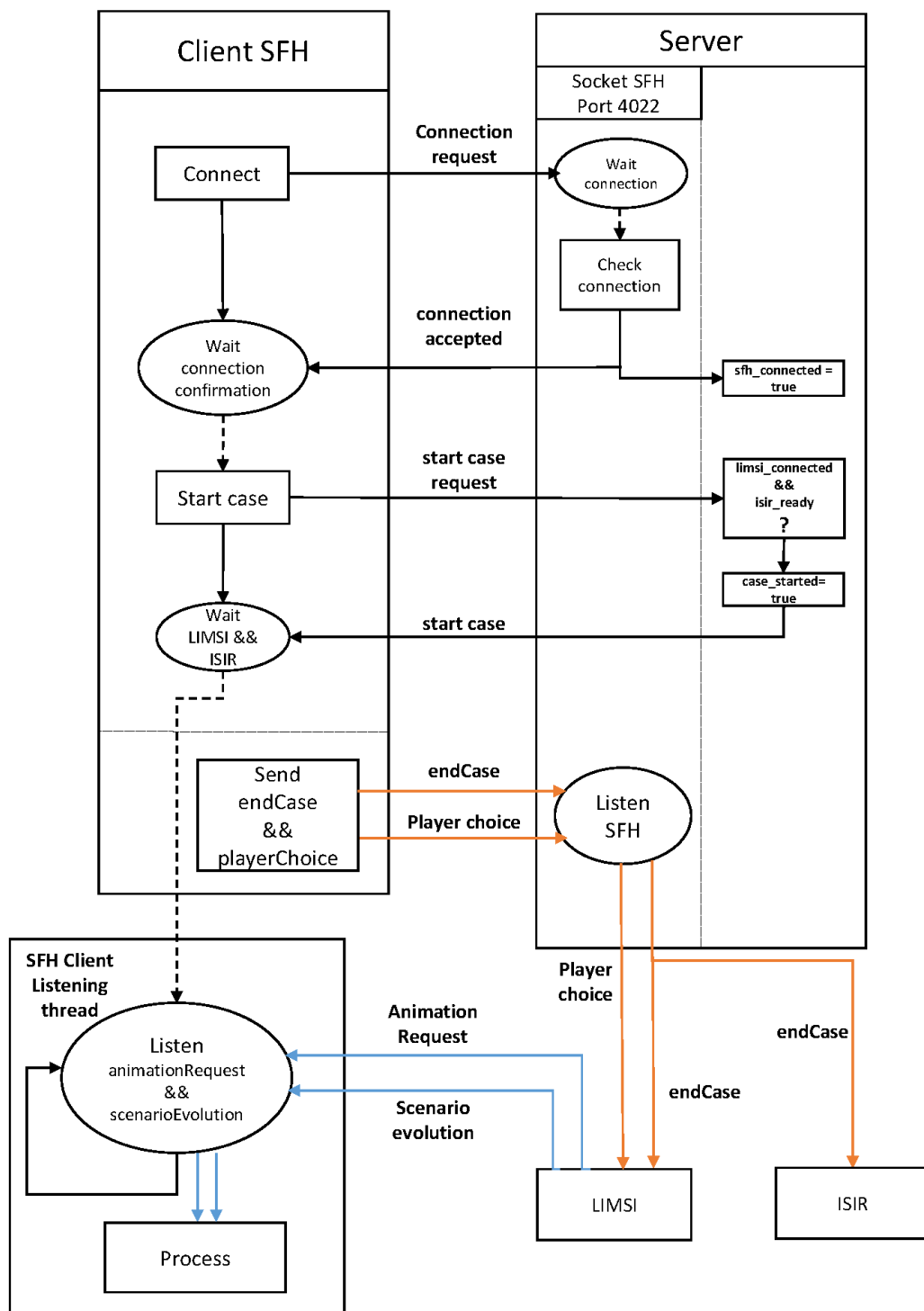
intéressant d'effectuer une évaluation sur des sessions répétées pour mesurer l'évolution des performances des utilisateurs après utilisation de notre système. D'autres étapes d'évaluation de l'apprentissage pourraient être pertinentes à explorer à long terme au-delà de cette thèse. Ainsi le modèle de Kirkpatrick propose 4 niveaux d'évaluation de formations (Kirkpatrick and Kirkpatrick, 2016). Ce modèle a par exemple été appliqué à la formation de personnel soignant pour personnes à déficience intellectuelle (Smidt et al., 2009). Le prototype que nous avons conçu vise actuellement le premier niveau, qui concerne l'appréciation de l'outil de formation, et le deuxième niveau qui est orienté sur l'apprentissage de nouvelles connaissances. Les deux niveaux suivants, qui concernent l'intégration des nouvelles compétences acquises par les utilisateurs dans leur pratique professionnelle et les résultats de l'application de ces compétences sur des vrais patients, pourraient être évalués dans de futures recherches.

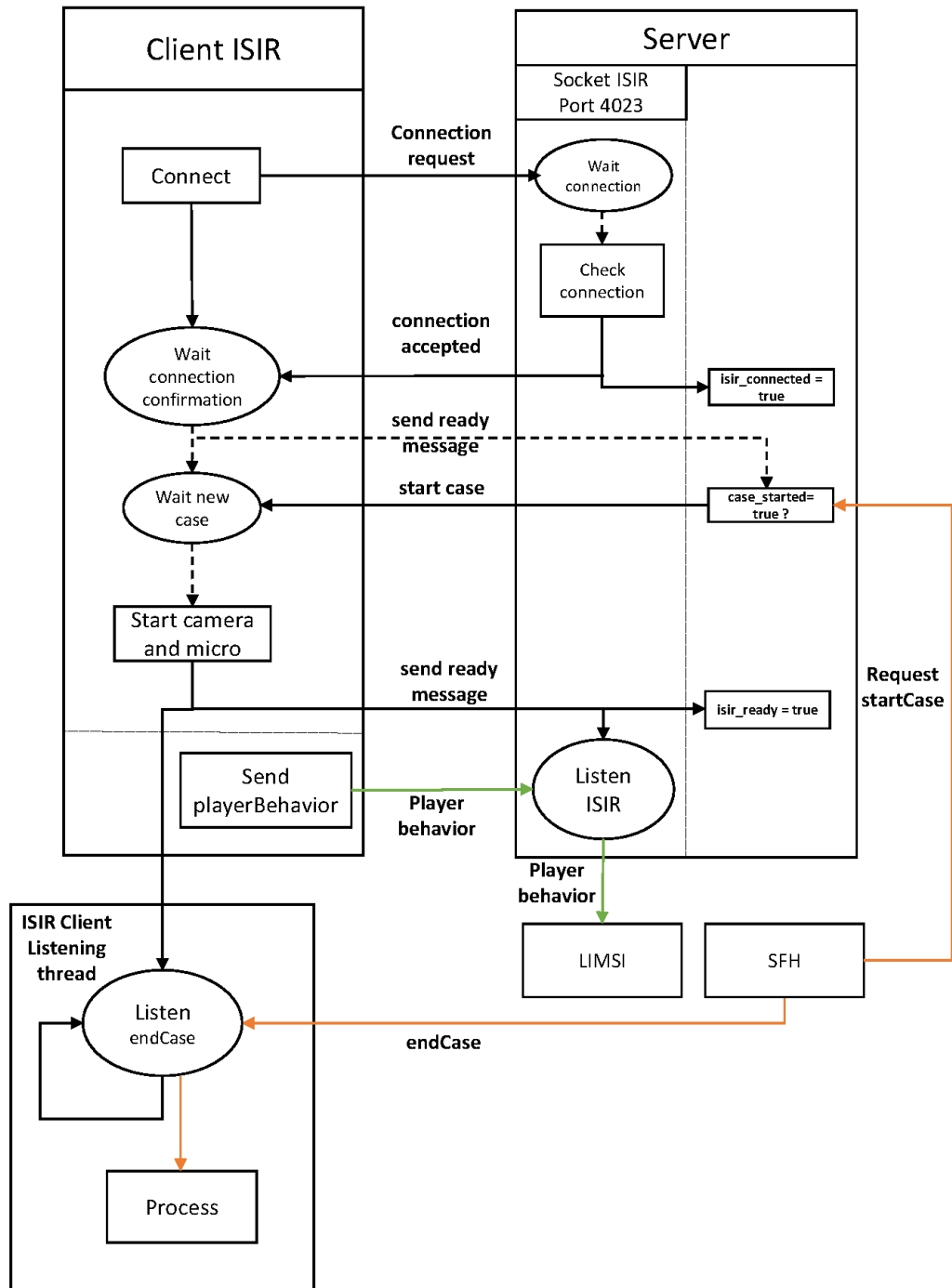
Enfin, le modèle COPALZ que nous avons développé, basé sur l'Appraisal Bias Model, ne se limite pas seulement à une application à la maladie d'Alzheimer. En effet, notre modèle permet de simuler tout un ensemble de troubles émotionnels et comportementaux, et il serait intéressant de l'évaluer et de l'adapter dans d'autres contextes et l'appliquer à d'autres pathologies.

Annexes

**Annexe A : Schéma du
protocole de communication
UDP utilisé pour le système de
magicien d'Oz de VirtuAlz**







**Annexe B : Questionnaire
d'évaluation du système de
patient virtuel contrôlé par un
magicien d'Oz de VirtuAlz**

Grille d'entretien :

A remplir par l'expérimentateur

Code participant : |_|_|_|_|

Date : |_|_|/|_|_|/|_|_|_|_|

Pour mieux vous connaître :

Date de signature du consentement : |_|_|/|_|_|/|_|_|_|_|

Sexe : ☐ Homme ☐ Femme

Âge : ☐ 18-24 ans ☐ 25-34 ans ☐ 35-44 ans ☐ 45-54ans ☐ 55-65 ans

Vous êtes actuellement :

☐ Aide-soignant.e
☐ Infirmier.e
☐ Cadre infirmier.e
☐ Faisant fonction de (précisez) :

Vos années d'expérience		
☐ moins de 5 ans	☐ de 5 à 15 ans	☐ plus de 15 ans

VOTRE FORMATION

A. Dans le cadre de votre formation professionnelle avez-vous déjà abordé (Entretien)

- ☐ La communication avec les patients atteints par une maladie d'Alzheimer et/ou de démence apparentées.
- ☐ Les particularités des patients atteints de la maladie d'Alzheimer et démences apparentées.

B. Si vous avez suivi une (ou des) formation(s), quels types vous ont été proposées ? (Entretien)

- ☐ Cours théorique
- ☐ Jeu pédagogique (jeu de rôles, simulation avec mannequin...)
- ☐ Cours pratique (discussion et étude de cas)
- ☐ Une formation basée sur le numérique (jeux-vidéos, formation par internet, etc.)
- ☐ Autre, précisez :

C. Aimerez-vous développer vos compétences en suivant une formation (ou des formations) supplémentaires sur la gestion des situations délicates avec des patients présentant des démences ? Mettez une croix sur la flèche pour exprimer votre avis.

Pas du tout  Tout à fait

D. Seriez-vous intéressé(e) par un entraînement à la gestion des situations délicates avec un outil de type jeu vidéo ? Mettez une croix sur la flèche pour exprimer votre avis

Pas du tout  Tout à fait

Entretien de feedback :

Amener les participants à justifier les éléments sur lesquels ils se sont basés pour faire leurs choix et qu'ils en prennent conscience.

1. Retour automatisé pour le formateur (entretien instrumenté) : traces des actions effectuées sur/avec le simulateur (chronogramme / frise chronologique, données à préciser selon prototype).

- **Phase 1** : Observation – Diagnostic
- **Phase 2** : Choix d'une stratégie (sélection, changement de sélection...)
- **Phase 3** :

2. Référentiel pour la conduite de l'entretien :

- Le soignant peut expliquer comment et en fonction de quoi il a agi, quelles dimensions ont été prises en compte dans le diagnostic de situation (observation du comportement, expressions faciales, échanges verbaux, éléments biographiques...)
- Le soignant peut argumenter des choix, expliquer des phénomènes ou processus observés en s'appuyant sur des connaissances scientifiques et techniques (communication verbale et non-verbale, MAAD) ;
- Le soignant peut critiquer ses conclusions et tirer des leçons sur les pratiques plus ou moins adaptées et efficaces en fonction de la situation de communication.

Questionnaires post-évaluation :

Échelle d'utilisabilité du système (SUS)

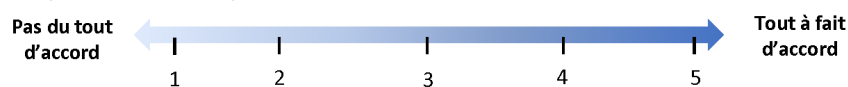
Lisez chaque énoncé et indiquez sur une échelle de 1 (« Pas du tout d'accord ») à 5 (« Tout à fait d'accord ») votre degré d'accord avec les affirmations suivantes.

	Pas du tout d'accord				Tout à fait d'accord
	1	2	3	4	5
1. Je pense que je vais utiliser l'outil VirtuAlz fréquemment.					
2. Je trouve que l'outil VirtuAlz est inutilement complexe.					
3. Je trouve l'outil VirtuAlz facile à utiliser.					
4. Je pense devoir faire appel à un support technique pour être capable d'utiliser l'outil VirtuAlz					
5. Je trouve que les différentes fonctions (interagir, répondre...) de l'outil VirtuAlz sont bien intégrées.					
6. Je trouve qu'il y a trop de contenus incohérents dans l'outil VirtuAlz.					
7. Je pense que la plupart de mes collègues apprendraient à utiliser l'outil VirtuAlz rapidement.					
8. Je trouve l'outil VirtuAlz désagréable à utiliser.					
9. Je me suis senti(e) en confiance lorsque j'ai utilisé l'outil VirtuAlz.					
10. Je dois apprendre beaucoup de choses avant de me sentir familiarisé(e) avec l'outil.					

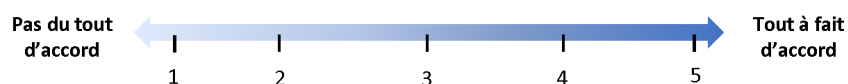
Appréciation de l'outil

Lisez chaque énoncé et indiquez sur une échelle de 1 (« Pas du tout d'accord ») à 5 (« Tout à fait d'accord ») votre degré d'accord avec les affirmations suivantes.

1. Les expressions faciales du patient virtuel m'ont semblées crédibles et naturelles.



2. J'ai trouvé que les comportements et échanges avec le patient virtuel étaient crédibles et naturels.



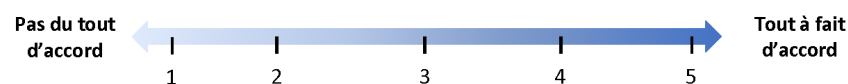
3. Le niveau de sévérité de démence présenté était-il cohérent avec le niveau de démence indiquée sur la fiche du patient virtuel ?



4. Si non, quel niveau de démence présente le patient virtuel selon vous ?



5. J'ai trouvé que le déroulement du scénario correspondait à la réalité clinique



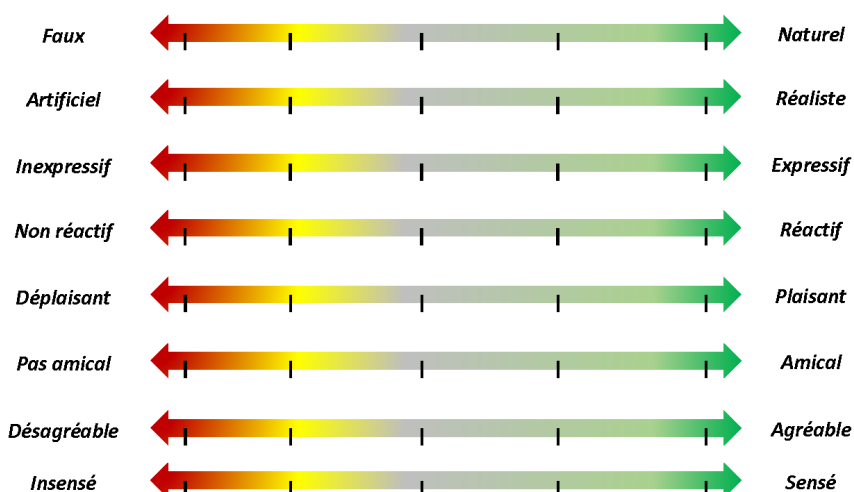
Questionnaire de KirkPatrick

Lisez chaque énoncé et indiquez sur une échelle de 1 (« Pas du tout d'accord ») à 5 (« Tout à fait d'accord ») votre degré d'accord avec les affirmations suivantes.

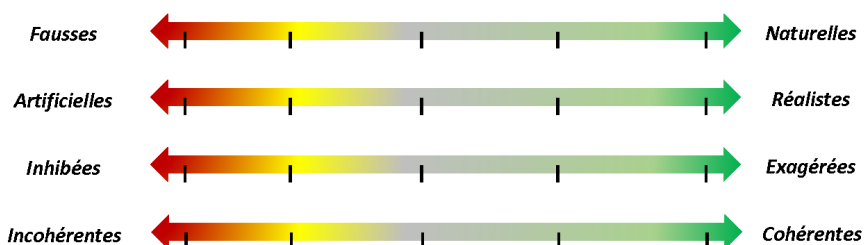
	Pas du tout d'accord	Pas vraiment d'accord	Neutre/indifférent	Assez d'accord	Tout à fait d'accord
1. Je suis satisfait(e) de l'outil VirtuAlz	1	2	3	4	5
2. L'outil VirtuAlz permet d'apporter des connaissances sur la gestion des troubles du comportement des patients atteints de la maladie d'Alzheimer	1	2	3	4	5
3. L'outil VirtuAlz m'a apporté des compétences supplémentaires par rapport à la gestion des patients atteints de la maladie d'Alzheimer	1	2	3	4	5
4. L'outil VirtuAlz est pertinent dans le cadre de mon travail	1	2	3	4	5
5. Je recommande l'utilisation de l'outil VirtuAlz aux futurs soignants	1	2	3	4	5

Mesure du réalisme du patient virtuel (Godspeed)

Veuillez noter vos impressions au sujet du Patient Virtuel. Comment le situez-vous pour chacune des paires de concepts suivants ? (Mettez une croix sur la flèche pour exprimer votre avis)



Veuillez noter vos impressions au sujet des expressions faciales de la patiente :



Comment vous êtes-vous senti(e) lors de l'interaction avec la patiente :



Améliorations à apporter à l'outil

Répondez librement aux questions suivantes :

1. Selon vous, quelle(s) amélioration(s) pourrai(en)t être faite(s) sur le Visuel(graphisme) du patient Virtuel ?

2. Selon vous, quelle(s) amélioration(s) pourrai(en)t être apportée(s) quant au scénario qui vous a été proposé ?

3. Pensez-vous que nous pourrions apporter d'autre(s) type(s) d'amélioration(s) ?

**Annexe C : Questionnaire NP :
Evaluation des situations
possibles du premier scénario
de VirtuAlz, selon les critères
du modèle CPM sélectionnés
dans le modèle COPALZ, par
des personnes ne présentant
aucune pathologie
émotionnelle avérée**



Bonjour,

Merci d'avoir accepté de participer à notre étude. Le but de ce questionnaire est de récolter votre avis sur la manière dont vous évaluez certains événements dans un contexte qui vous sera présenté. Pour cela, vous devrez répondre, pour chaque événement que l'on va vous présenter, à un ensemble de questions. Le questionnaire que vous allez remplir demande environ 15 à 20 minutes. Vos réponses sont complètement anonymes. Nous vous demanderons de commencer le questionnaire lorsque vous avez assez de temps. Il est possible de prendre de courtes pauses entre chaque question. Placez-vous dans un endroit calme et assurez-vous de ne pas être dérangé. Lorsque vous êtes prêt(e), appuyez sur le bouton "Suivant".

Bon courage et merci ! :)

Partie A: Description du contexte

Pour remplir ce questionnaire, nous allons vous demander de vous imaginer dans la situation suivante :

Vous êtes à l'hôpital pour une journée après une intervention sans gravité. Vous êtes dans votre chambre pendant quelques heures pour qu'on puisse vous prendre en charge et surveiller votre état. Personne ne vous a parlé de prendre des médicaments. Peu de temps après, un membre du personnel soignant (on désignera cette personne par "une infirmière" dans la suite du questionnaire) toque à votre porte.

Maintenant que vous avez cette situation en tête, nous allons vous décrire différents événements qui pourraient arriver. Vous devrez évaluer chaque événement selon votre point de vue.

Le questionnaire est découpé en 5 phases qui se suivent dans le temps. Pour chaque phase, plusieurs événements possibles vous sont présentés et vous devez les évaluer.

Partie B: Phase 1

Vous êtes dans votre chambre, l'infirmière s'apprête à entrer. Ici vous devez considérer que votre but actuel est de rester seul(e) et tranquille dans votre chambre après l'intervention.

L'infirmière s'apprête donc à entrer dans votre chambre. Elle peut le faire de plusieurs manières, et vous devez évaluer ces manières de faire en cochant la réponse la plus appropriée à votre évaluation dans les tableaux ci-dessous.

Dans la suite du questionnaire, c'est à vous d'imaginer les conséquences qui pourraient arriver à la suite de l'événement.

B1. L'infirmière toque à la porte, l'ouvre et attend sur le pas de la porte.

Pas du tout
d'accord

Plutôt pas
d'accord

Plutôt
d'accord

Tout à fait
d'accord

Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte

☐ ☐ ☐ ☐



	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

B2. L'infirmière toque et entre directement dans la chambre.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

Partie C: Phase 2

L'infirmière est maintenant entrée dans la chambre avec des médicaments. Vous êtes un peu inquiet(e) à l'idée de prendre ces médicaments. L'infirmière aura différentes manières de faire face à votre inquiétude.

Vous devez évaluer ces manières de faire en cochant la réponse la plus appropriée à votre évaluation dans les tableaux ci-dessous.

C1. L'infirmière s'approche de vous et prépare les médicaments.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐



C2. L'infirmière s'approche de vous et met les médicaments de côté pour le moment.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

C3. L'infirmière veut vous rassurer et vous explique ce qu'elle fait avec les médicaments.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

C4. L'infirmière vous fait la conversation et détourne votre attention des médicaments.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

C5. L'infirmière vous dit qu'elle repassera plus tard.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐



	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

Partie D: Phase 3

L'infirmière est dans la chambre et veut que vous preniez les médicaments. Vous êtes toujours inquiet(e) à l'idée de prendre ces médicaments, l'infirmière aura différentes manières de faire face à votre inquiétude.

Vous devez évaluer ces manières de faire en cochant la réponse la plus appropriée à votre évaluation dans les tableaux ci-dessous.

D1. L'infirmière vous tend les médicaments avec un verre d'eau.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

D2. L'infirmière veut vous rassurer et vous explique que c'est important que vous preniez les médicaments.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

D3. L'infirmière vous encourage à prendre les médicaments.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐



	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

D4. L'infirmière vous fait la conversation.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

D5. L'infirmière laisse les médicaments de côté pour le moment.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

D6. L'infirmière range les médicaments.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐



Partie E: Phase 4

L'infirmière est dans la chambre et veut que vous preniez les médicaments. Dans cette phase, vous devez imaginer que vous avez refusé de prendre les médicaments. L'infirmière aura différentes manières de réagir à votre refus.

Vous devez évaluer ces manières de faire en cochant la réponse la plus appropriée à votre évaluation dans les tableaux ci-dessous.

E1. L'infirmière accepte votre refus et vous explique à quoi servent les médicaments.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

E2. L'infirmière vous propose à nouveau de prendre les médicaments.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

E3. L'infirmière insiste pour que vous preniez les médicaments et vous encourage à les prendre.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐



E4. L'infirmière laisse les médicaments de côté pour le moment.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

E5. L'infirmière veut vous rassurer et vous réexplique que c'est important de prendre les médicaments.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

E6. L'infirmière vous fait la conversation pour détourner votre attention des médicaments.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

E7. L'infirmière range les médicaments.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐



	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

Partie F: Phase 5

Vous devez maintenant imaginer que vous avez pris les médicaments. L'infirmière aura différentes manières de réagir à cela.

Vous devez évaluer ces manières de faire en cochant la réponse la plus appropriée à votre évaluation dans les tableaux ci-dessous.

F1. L'infirmière range son matériel avant de sortir de la chambre.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

F2. L'infirmière attend un moment sur le pas de la porte avant de sortir de la chambre.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

F3. L'infirmière vous dit au revoir puis sort de la chambre.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐



	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

F4. L'infirmière vous félicite d'avoir pris les médicaments, puis sort de la chambre.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

F5. L'infirmière vous fait la conversation avant de sortir.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐

F6. L'infirmière sort de la chambre.

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord
Cet événement est survenu de manière soudaine et abrupte	☐	☐	☐	☐
Cet événement vous est familier	☐	☐	☐	☐
Cet événement est agréable	☐	☐	☐	☐
Les conséquences de cet événement sont compatibles avec votre but (rester seul(e) dans votre chambre)	☐	☐	☐	☐
Vous pensez avoir la possibilité d'éviter ou de modifier les conséquences de cet événement	☐	☐	☐	☐



Partie G: Informations complémentaires

Merci d'avoir répondu à ce questionnaire. Pour finir, nous allons vous demander de renseigner quelques informations vous concernant. Pour rappel, vos réponses sont complètement anonymes.

G1. Veuillez indiquer votre âge :

G2. Veuillez indiquer votre sexe :

Masculin ☐

Féminin ☐

Autre ☐

Autre

G3. Avez-vous récemment (6 derniers mois) passé un séjour à l'hôpital ?

Oui ☐

Non ☐

Autre ☐

Autre

G4. Etes-vous actuellement suivi par un professionnel pour un ou des troubles émotionnels ou mentaux ?

Oui ☐

Non ☐

Autre ☐

Autre



G5. N'hésitez pas à nous laisser des commentaires si vous en avez :

Nous vous remercions d'avoir répondu à ce questionnaire. Si vous avez des questions, des remarques ou des suggestions, n'hésitez pas à nous envoyer un message à une des adresses suivantes :

benamara@limsi.fr jean-claude.martin@limsi.fr

Merci encore d'avoir pris le temps de participer à notre étude

Bibliographie

- Alnefaie, A., Singh, S., Kocaballi, B., and Prasad, M. (2021). An Overview of Conversational Agent : Applications, Challenges and Future Directions. In Proceedings of the 17th International Conference on Web Information Systems and Technologies, pages 388–396. SCITEPRESS - Science and Technology Publications.
- American Psychiatric Association (2013). DSM-5 Diagnostic Classification. In Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, pages 611–614. American Psychiatric Association.
- Anderson, K., André, E., Baur, T., Bernardini, S., Chollet, M., Chrysafidou, E., Damian, I., Ennis, C., Egges, A., Gebhard, P., Jones, H., Ochs, M., Pelachaud, C., Porayska-Pomsta, K., Rizzo, P., and Sabouret, N. (2013). The TARDIS framework : Intelligent virtual agents for social coaching in job interviews. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 8253 LNCS :476–491.
- André, E. and Rist, T. (2001). Controlling the behavior of animated presentation agents in the interface scripting versus instructing. AI Magazine, 22(4) :53–66.
- Aneja, D. and Hoegen, R. (2021). Understanding conversational and expressive style in a multimodal embodied conversational agent. In Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings. Association for Computing Machinery.
- Arnaud, M., Adam, C., and Dugdale, J. (2017). Les limites du BDI pour rendre compte du comportement humain en situation de crise. Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle (RJCIA 2017).
- Arnold, M. B. (1960). Emotion and personality. Vol. I. Psychological aspects. Columbia Univer. Press, Oxford, England.
- Ballard, C., Lowery, K., Powell, I., O'Brien, J., and James, I. (2000). Impact of behavioral and psychological symptoms of dementia on caregivers. In International Psychogeriatrics, volume 12, pages 93–105.
- Baltrusaitis, T., Zadeh, A., Lim, Y. C., and Morency, L. P. (2018). OpenFace 2.0 : Facial behavior analysis toolkit. In Proceedings - 13th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, FG 2018, pages 59–66.

- Barot, C., Lourdeaux, D., and Lenne, D. (2013). Using planning to predict and influence autonomous agents behaviour in a virtual environment for training. In 2013 IEEE 12th International Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing, pages 274–281. IEEE.
- Barrett, L. F., Adolphs, R., Marsella, S., Martinez, A. M., and Pollak, S. D. (2019). Emotional Expressions Reconsidered : Challenges to Inferring Emotion From Human Facial Movements. Psychological science in the public interest : a journal of the American Psychological Society, 20(3) :165–166.
- Bartneck, C., Kulic, D., and Croft, E. A. (2008). Measuring the anthropomorphism, animacy, likeability, perceived intelligence and perceived safety of robots. In Metrics for Human-Robot Interaction, ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, pages 37–44.
- Becerril-Ortega, R., Vanderstichel, H., Petit, L., Urbiolagallegos, M. J., Schoch, J., Dacunha, S., Benamara, A., Ravenet, B., Zagdoun, J., and Chaby, L. (2022). Design Process for a Virtual Simulation Environment for Training Healthcare Professionals in Geriatrics. Professional and Practice-based Learning, 30 :101–127.
- Beck, R. S., Daughtridge, R., and Sloane, P. D. (2002). Physician-patient communication in the primary care office : a systematic review. The Journal of the American Board of Family Medicine, 15(1).
- Becker-Asano, C. (2008). WASABI : Affect simulation for agents with believable interactivity, volume 319. IOS Press.
- Benamara, A., Martin, J.-C., Prigent, E., Chaby, L., Chetouani, M., Zagdoun, J., Vanderstichel, H., Dacunha, S., and Ravenet, B. (2022). Copalz : A computational model of pathological appraisal biases for an interactive virtual alzheimer patient. In Proceedings of the 21st International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, pages 72–81.
- Benamara, A., Prigent, E., Martin, J.-C., Zagdoun, J., Chaby, L., Chetouani, M., Dacunha, S., Vanderstichel, H., and Ravenet, B. (2021). Conception des Interactions avec un Patient Virtuel Alzheimer pour la Formation du Personnel Soignant. In 32e Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine, volume 21, pages 1–12. Virtual Event.
- Benamara, A., Ravenet, B., Prigent, E., Chaby, L., and Martin, J.-C. (2020). Patient virtuel alzheimer : vers une modélisation informatique des pathologies émotionnelles et expressives. In Workshop sur les Affects, Compagnons artificiels et Interactions.

- Bickmore, T. W. and Cassell, J. (2000). How about this weather? Social Dialog with Embodied Conversational Agents. In Proceedings of the American Association for Artificial Intelligence Fall Symposium on Narrative Intelligence, pages 4–8.
- Broekens, J. (2021). Emotion. In The Handbook on Socially Interactive Agents, chapter 10, pages 349–384. ACM, New York, NY, USA.
- Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. Usability evaluation in industry, 189(194) :4–7.
- Burton, K. and Kaszniak, A. (2006). Emotional experience and facial expression in Alzheimer’s disease. Aging, Neuropsychology, and Cognition, 13(3-4) :636–651.
- Buschmeier, H. and Kopp, S. (2018). Communicative listener feedback in human-agent interaction : Artificial speakers need to be attentive and adaptive : Socially interactive agents track. In Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS, volume 2, pages 1213–1221.
- Callejas, Z., Ravenet, B., Ochs, M., and Pelachaud, C. (2014). A computational model of social attitudes for a virtual recruiter. In 13th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS 2014, volume 1, pages 93–100.
- Cao, Z., Hidalgo, G., Simon, T., Wei, S. E., and Sheikh, Y. (2021). OpenPose : Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 43(1) :172–186.
- Cassell, J., Sullivan, J., and Prevost, S. (2000). Embodied Conversational Agents. MIT press.
- Castellanos, S., Rodríguez, L. F., Castro, L. A., and Gutierrez-Garcia, J. O. (2018). A computational model of emotion assessment influenced by cognition in autonomous agents. Biologically Inspired Cognitive Architectures, 25 :26–36.
- Chaby, L., Benamara, A., Pino, M., Prigent, E., Ravenet, B., Martin, J.-C., Vanderstichel, H., Becerril-Ortega, R., Rigaud, A.-S., and Chetouani, M. (2022). Embodied Virtual Patients as a Simulation-Based Framework for Training Clinician-Patient Communication Skills : An Overview of Their Use in Psychiatric and Geriatric Care. Frontiers in Virtual Reality, 3.
- Chaby, L. and Narme, P. (2009). La reconnaissance des visages et de leurs expressions faciales au cours du vieillissement normal et dans les pathologies neurodégénératives.

Chollet, M., Wörtwein, T., Morency, L. P., Shapiro, A., and Scherer, S. (2015). Exploring feedback strategies to improve public speaking : An interactive virtual audience framework. In UbiComp 2015 - Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, pages 1143–1154. Association for Computing Machinery, Inc.

Cipriani, G., Borin, G., Vedovello, M., Di Fiorino, A., and Nuti, A. (2013). Socio-pathic behavior and dementia.

Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. Educational and Psychological Measurement, 20(1) :37–46.

Courgeon, M., Clavel, C., and Martin, J. C. (2014). Modeling facial signs of appraisal during interaction ; impact on users' perception and behavior. In 13th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS 2014, volume 1, pages 765–772.

Courgeon, M., Martin, J. C., and Jacquemin, C. (2011). Marc : modèles informatiques des émotions et de leurs expressions faciales pour l'interaction Homme-machine. PhD thesis, Université Paris Sud - Paris XI.

Cummings, J. L. (2000). Cognitive and behavioral heterogeneity in Alzheimer's disease : Seeking the neurobiological basis.

Cummings, J. L., Mega, M., Gray, K., Rosenberg-Thompson, S., Carusi, D. A., and Gornbein, J. (1994). The neuropsychiatric inventory : Comprehensive assessment of psychopathology in dementia. Neurology, 44(12) :2308–2314.

Darwin, C. (1872). The expression of the emotions in man and animals. Digireads.

Davey, M. F. and Clarke, A. M. (2004). Communication and decision making among residents with dementia. Geriacton, 22(3) :17–24.

de Melo, C., Gratch, J., Carnevale, P., and Read, S. (2012). Reverse appraisal : The importance of appraisals for the effect of emotion displays on people's decision making in a social dilemma. Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society, 34(34).

de Sevin, E., Bevcqua, E., Hyniewska, S., and Pelachaud, C. (2012). Un modèle d'interlocuteur virtuel avec des comportements d'écoute crédibles. Techniques et sciences informatiques, 31(4) :503–531.

Di Pastena, A. (2014). Communication verbale et non verbale dans la maladie d' Alzheimer : une atteinte globale. PhD thesis, Université Charles de Gaulle - Lille III.

- Dias, J., Mascarenhas, S., and Paiva, A. (2014). FAtiMA modular : Towards an agent architecture with a generic appraisal framework. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 8750 :44–56.
- Diesbach, P. L. and Midgley, D. F. (2007). Embodied agents on a website : Modelling an attitudinal route of influence. In Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics).
- Digier, S., Jenni, K., Decensi, D., De, D., and Schwander-Maire, F. (2016). Les stratégies de communication efficaces dans la prise en charge des personnes atteintes de la maladie. PhD thesis, Haute Ecole Arc Santé domaine Neuchâtel Les.
- Dupuy, L., de Sevin, E., Cassouduesalle, H., Ballot, O., Dehail, P., Aouizerate, B., Cuny, E., Micoulaud-Franchi, J.-A., and Philip, P. (2021). Guidelines for the design of a virtual patient for psychiatric interview training. Journal on Multimodal User Interfaces, 15(2) :99–107.
- Ekman, P. and Friesen, W. (2003). Unmasking the face : A guide to recognizing emotions from facial clues. Prentice-Hall.
- Ekman, P., Friesen, W., and Hager, J. (2002). The Facial Action Coding System : A Technique for the Measurement of Facial Movement. A Human Face. I-Tech Education and Publishing, Vienna.
- Ekman, P. and Friesen, W. V. (1978). Manual for the facial action coding system. Consulting Psychologist Press.
- Ekman, P. and Friesen, W. V. (1982). Felt false and miserable smiles [Ekman & Friesen, 1981].pdf. Journal of Nonverbal Behavior, 6(4) :238–252.
- El-Nasr, M. S., Yen, J., and Ioerger, T. R. (2000). FLAME - Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 3(3) :219–257.
- Everitt, D. E., Fields, D. R., Soumerai, S. S., and Avorn, J. (1991). Resident Behavior and Staff Distress in the Nursing Home. Journal of the American Geriatrics Society, 39(8) :792–798.
- Feldman Barrett, L. (2017). How emotions are made : The secret life of the brain. MacMillan.
- Fourati, N., Richard, A., Caillou, S., Sabouret, N., Martin, J. C., Chanoni, E., and Clavel, C. (2016). Facial expressions of appraisals displayed by a virtual storyteller for children. In Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture

- Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), volume 10011 LNAI, pages 234–244.
- Fraser, N. M. and Gilbert, G. N. (1991). Simulating speech systems. Computer Speech and Language, 5(1) :81–99.
- Frijda, N. H. (1988). The Laws of Emotion. American Psychologist, 43(5) :349–358.
- Gauthier, S., Cummings, J., Ballard, C., Brodaty, H., Grossberg, G., Robert, P., and Lyketsos, C. (2010). Management of behavioral problems in Alzheimer’s disease. International Psychogeriatrics, 22(3) :346–372.
- Gebhard, P. (2005). ALMA - A layered model of affect. In Proceedings of the International Conference on Autonomous Agents, pages 177–184.
- Gebhard, P., Baur, T., Schneeberger, T., and André, E. (2018). MARSSI : Model of appraisal, regulation, and social signal interpretation : Socially interactive agents track. In Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS, volume 1, pages 497–506.
- Gil, R. and Arroyo-Anllo, E. M. (2019). Emotions and Alzheimer’s disease : Neuropsychology and ethical issues. NPG Neurologie - Psychiatrie - Geriatrie, 19(112) :233–240.
- Granry, J.-C. and Moll, M.-C. (2012). État de l’art (national et international) en matière de pratiques de simulation dans le domaine de la santé. Technical report, Haute Autorité de Santé.
- Gratch, J. and Marsella, S. (2005). Evaluating a computational model of emotion. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 11(1) :23–43.
- Gross, J. J. and Feldman Barrett, L. (2011). Emotion generation and emotion regulation : One or two depends on your point of view.
- Hamming, R. (1986). Coding and information theory. Prentice-Hall, Inc.
- Hareli, S. and Hess, U. (2012). The social signal value of emotions. Cognition and Emotion, 26(3) :385–389.
- Henry, J. D., Rendell, P. G., Scicluna, A., Jackson, M., and Phillips, L. H. (2009). Emotion Experience, Expression, and Regulation in Alzheimer’s Disease. Psychology and Aging, 24(1) :252–257.
- Hojat, M., Louis, D. Z., Markham, F. W., Wender, R., Rabinowitz, C., and Gonnella, J. S. (2011). Physicians’ empathy and clinical outcomes for diabetic patients. Academic Medicine, 86(3) :359–364.

- Hoque, M. E. and Picard, R. W. (2014). Rich nonverbal sensing technology for automated social skills training. Computer, 47(4) :28–35.
- Horstmann, G. (2003). What do facial expressions convey : Feeling states, behavioral intentions, or actions requests ? Emotion, 3(2) :150–166.
- Hot, P., Klein-koerkamp, Y., Borg, C., Richard-mornas, A., Zsoldos, I., Paignon, A., Thomas, C., and Baciou, M. (2013). Fear recognition impairment in early-stage Alzheimer's disease : When focusing on the eyes region improves performance. Brain and Cognition, 82(1) :25–34.
- Howick, J., Moscrop, A., Mebius, A., Fanshawe, T. R., Lewith, G., Bishop, F. L., Mistiaen, P., Roberts, N. W., Dieninytė, E., Hu, X. Y., Aveyard, P., and Onakpoya, I. J. (2018). Effects of empathic and positive communication in health-care consultations : a systematic review and meta-analysis. Journal of the Royal Society of Medicine, 111(7) :240–252.
- Hubbard, G., Cook, A., Tester, S., and Downs, M. (2002). Beyond Words : Older people with dementia using and interpreting nonverbal behaviour. Journal of Aging Studies, 16(2) :155–167.
- Hudlicka, E. (2008). Modeling the Mechanisms of Emotion Effects on Cognition. In AAAI Fall Symposium : Biologically inspired cognitive architectures, pages 82–86.
- Israel, L. S. F. and Schonbrodt, F. D. (2019). Emotion Prediction with Weighted Appraisal Models - Validating a Psychological Theory of Affect. IEEE Transactions on Affective Computing.
- Jain, S. and Asawa, K. (2015). EMIA : Emotion Model for Intelligent Agent. Journal of Intelligent Systems, 24(4) :449–465.
- James, W. (1884). What is an Emotion ? Source : Mind, 9(34) :188–205.
- Jung, B., Ahad, A., and Weber, M. (2005). The Affective Virtual Patient : An E-Learning Tool for Social Interaction Training within the Medical Field. Proceeding TESI 2005 Training . . .
- Kaiser, S. and Scherer, K. R. (1998). Models of "normal" emotions applied to facial and vocal expression in clinical disorders. Emotions in psychopathology : Theory and research, (November) :81–98.
- Kenny, P. G., Parsons, T. D., and Garrity, P. (2010). Virtual Patients for Virtual Sick Call Medical Training. Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC) 2010.

- Kim, E. J. and Buschmann, M. T. (1999). The effect of expressive physical touch on patients with dementia. International Journal of Nursing Studies, 36(3) :235–243.
- Kipp, M. (2001). ANVIL A generic annotation tool for multimodal dialogue. In EUROSPEECH 2001 - SCANDINAVIA - 7th European Conference on Speech Communication and Technology, pages 1367–1370.
- Kirkpatrick, D. (1959). Techniques for evaluating training programs. A four-part series beginning in the November issue. Training and Development Journal (then titled Journal for the American Society of Training Directors).
- Kirkpatrick, J. D. and Kirkpatrick, W. K. (2016). Kirkpatrick's Four Levels of Training Evaluation. BusinessPro collection. ATD Press.
- Kononowicz, A. A., Woodham, L. A., Edelbring, S., Stathakarou, N., Davies, D., Saxena, N., Tudor Car, L., Carlstedt-Duke, J., Car, J., and Zary, N. (2019). Virtual Patient Simulations in Health Professions Education : Systematic Review and Meta-Analysis by the Digital Health Education Collaboration. Journal of medical Internet research, 21(7) :e14676.
- Kononowicz, A. A., Zary, N., Edelbring, S., Corral, J., and Hege, I. (2015). Virtual patients - What are we talking about? A framework to classify the meanings of the term in healthcare education. BMC Medical Education, 15(1) :11.
- 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 Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), volume 4133 LNAI, pages 205–217.
- Krämer, N. and Manzeschke, A. (2021). Social Reactions to Socially Interactive Agents and Their Ethical Implications. The Handbook on Socially Interactive Agents, pages 77–104.
- LaValle, S. M. and Branicky, M. S. (2004). On the relationship between classical grid search and probabilistic roadmaps. Springer Tracts in Advanced Robotics, 7 STAR :59–75.
- Lazarus, R. S. (1968). Emotions and adaptation : Conceptual and empirical relations. Nebraska Symposium on Motivation, 16 :175–266.
- Lorié, Á., Reinero, D. A., Phillips, M., Zhang, L., and Riess, H. (2017). Culture and nonverbal expressions of empathy in clinical settings : A systematic review.

- Lugrin, B. (2021). Introduction to Socially Interactive Agents. In The Handbook on Socially Interactive Agents, pages 1–20. ACM.
- Magai, C., Cohen, C. I., and Gomberg, D. (2002). Impact of Training Dementia Caregivers in Sensitivity to Nonverbal Emotion Signals. International Psychogeriatrics, 14(1) :25–38.
- Mammarella, N. and Fairfield, B. (2014). Emotional working memory and Alzheimer's disease. International Journal of Alzheimer's Disease, 2014 :1–6.
- Marsella, S., Gratch, J., Petta, P., and Others (2010). Computational models of emotion. A Blueprint for Affective Computing-A sourcebook and manual, 11(1) :21–46.
- Marsella, S. C. and Gratch, J. (2009). EMA : A process model of appraisal dynamics. Cognitive Systems Research, 10(1) :70–90.
- Matsuyama, Y., Bhardwaj, A., Zhao, R., Romero, O. J., Anand Akoju, S., and Cassell, J. (2016). Socially-aware animated intelligent personal assistant agent. aclanthology.org, pages 13–15.
- McKenzie, G. L., Teri, L., Salazar, M. K., Farran, C. J., Beck, C., and Paun, O. (2011). Relationship between system-level characteristics of assisted living facilities and the health and safety of unlicensed staff. AAOHN Journal, 59(4) :173–180.
- Mehu, M. and Scherer, K. R. (2015). The Appraisal Bias Model of Cognitive Vulnerability to Depression. Emotion Review, 7(3) :272–279.
- Mezey, M., Fulmer, T., Wells, D. L., Dawson, P., Sidani, S., Craig, D., and Pringle, D. (2000). Effects of an Abilities-Focused Program of Morning Care on Residents Who Have Dementia and On Caregivers. Journal of the American Geriatrics Society, 48(4) :442–449.
- Micoulaud-Franchi, J. A., Sauteraud, A., Olive, J., Sagaspe, P., Bioulac, S., and Philip, P. (2016). Validation of the French version of the Acceptability E-scale (AES) for mental E-health systems. Psychiatry Research, 237 :196–200.
- Monteiro, A. M. F., Santos, R. L., Kimura, N., Baptista, M. A. T., and Dourado, M. C. N. (2018). Coping strategies among caregivers of people with alzheimer disease : A systematic review.
- Moran, M., Walsh, C., Lynch, A., Coen, R. F., Coakley, D., and Lawlor, B. A. (2004). Syndromes of behavioural and psychological symptoms in mild Alzheimer's disease. International Journal of Geriatric Psychiatry, 19(4) :359–364.

- Moshkina, L., Park, S., Arkin, R. C., Lee, J. K., and Jung, H. (2011). Tame : Time-varying affective response for humanoid robots. International Journal of Social Robotics, 3(3) :207–221.
- Neumann, R., Seibt, B., and Strack, F. (2001). The influence of mood on the intensity of emotional responses : Disentangling feeling and knowing. Cognition and Emotion, 15(6) :725–747.
- O'Brien, K. H. M., Fuxman, S., Humm, L., Tirone, N., Pires, W. J., Cole, A., and Goldstein Grumet, J. (2019). Suicide risk assessment training using an online virtual patient simulation. mHealth, 5 :31–31.
- Ochs, M., Jain, S., Pergandi, J. M., and Blache, P. (2018). Toward an automatic prediction of the sense of presence in virtual reality environment. In HAI 2018 - Proceedings of the 6th International Conference on Human-Agent Interaction, pages 161–166, New York, NY, USA. ACM.
- Ochs, M., Montcheuil, G. D., Pergandi, J.-m., Saubesty, J., Donval, D., Pelachaud, C., Mestre, D., and Blache, P. (2017). An architecture of virtual patient simulation platform to train doctors to break bad news. In Conference on Computer Animation and Social Agents (CASA), Séoul, South Korea.
- Ojha, S., Vitale, J., and Williams, M.-A. (2020). EEGS : A Transparent Model of Emotions.
- Olsen, D. E. (1997). Interview and interrogation training using a computer-simulated subject. In Industry Training, Simulation & Education Conference (I/ITSEC), pages 1–9.
- Ortega, R. B., Lucie, P., and Vanderstichel, H. (2019). Élaboration d'un outil de simulation pour la formation de soignants en gériatrie. Expérimenter pour apprendre ou questionner ses pratiques. In 5e colloque international de la didactique professionnelle.
- Ortony, A., Clore, G. L., and Collins, A. (1989). The Cognitive Structure of Emotions. Contemporary Sociology, 18(6) :957.
- Patel, V. and Hope, T. (1993). Aggressive behaviour in elderly people with dementia : A review. International Journal of Geriatric Psychiatry, 8(6) :457–472.
- Pelachaud, C. (2005). Multimodal expressive embodied conversational agents : Multimodal expressive ECAs. Proceedings of the 13th ACM International Conference on Multimedia, MM 2005, pages 683–689.
- Pelachaud, C., Busso, C., and Heylen, D. (2021). Multimodal Behavior Modeling for Socially Interactive Agents. In The Handbook on Socially Interactive Agents, volume 1, pages 259–310. ACM.

- Pelachaud, C. and Poggi, I. (2002). Subtleties of facial expressions in embodied agents. Journal of Visualization and Computer Animation, 13(5) :301–312.
- Picard, R. W. (2000). Affective computing. The MIT Press, 1st edition.
- Plutchik, R. (1980). A General Psychoevolutionary Theory Of Emotion. In Theories of Emotion, pages 3–33. Academic Press.
- Pocnet, C., Rossier, J., Antonietti, J. P., and Von Gunten, A. (2011). Personality changes in patients with beginning alzheimer disease. Canadian Journal of Psychiatry, 56(7) :408–417.
- Poggi, I. (2007). Mind, hands, face and body : a goal and belief view of multimodal communication. Weidler.
- Poggi, I., Pelachaud, C., de Rosis, F., Carofiglio, V., and Carolis, B. D. (2005). Greta. a believable embodied conversational agent. In Multimodal intelligent information presentation, pages 3–25. Springer.
- Postel, J. (1980). User Datagram Protocol. Technical report, DARPA Network Working Group Report RFC-768, USC Information Sciences Institute.
- Rao, A. S. and Georgeff, M. P. (1991). Modeling rational agents within a BDI-architecture. In Proceedings of the 2nd International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning, volume 91, pages 473–484.
- Reger, G. M., Norr, A. M., Rizzo, A. S., Sylvers, P., Peltan, J., Fischer, D., Trimmer, M., Porter, S., Gant, P., and Baer, J. S. (2020). Virtual Standardized Patients vs Academic Training for Learning Motivational Interviewing Skills in the US Department of Veterans Affairs and the US Military : A Randomized Trial. JAMA Network Open, 3(10).
- Rizzo, A., Shilling, R., Forbell, E., Scherer, S., Gratch, J., and Morency, L.-P. (2016). Autonomous virtual human agents for healthcare information support and clinical interviewing. In Artificial intelligence in behavioral and mental health care, pages 53–79. Elsevier.
- Robinson, K. E., Allen, P. J., Quail, M., and Beilby, J. (2020). Virtual patient clinical placements improve student communication competence. Interactive Learning Environments, 28(6) :795–805.
- Roseman, I. J. (1984). Cognitive determinants of emotion : A structural theory. Review of personality & social psychology.
- Roter, D. L., Frankel, R. M., Hall, J. A., and Sluyter, D. (2006). The expression of emotion through nonverbal behavior in medical visits. Journal of General Internal Medicine, 21(1) :28–34.

- Rouleau, G., Pelletier, J., Côté, J., Gagnon, M. P., Martel-Laferrrière, V., Lévesque, R., Health, S., and Fontaine, G. (2020). Codeveloping a virtual patient simulation to foster nurses' relational skills consistent with motivational interviewing : A situation of antiretroviral therapy nonadherence.
- Rousseau, T. (2011). Communication et émotion dans la maladie d'Alzheimer. NPG Neurologie - Psychiatrie - Geriatrie, 11(65) :221–228.
- Rousseaux, M., Sève, A., Vallet, M., Pasquier, F., and Mackowiak-Cordoliani, M. A. (2010). An analysis of communication in conversation in patients with dementia. Neuropsychologia, 48(13) :3884–3890.
- Roux, P., Okuya, Y., and Martin, J.-C. (2021). Simulation virtuelle : développement du Jeu sérieux SIVIPSY pour l'enseignement de la psychiatrie aux étudiants en santé. Technical report, LAREQUOI.
- Russell, J. A. and Mehrabian, A. (1977). Evidence for a three-factor theory of emotions. Journal of Research in Personality, 11(3) :273–294.
- Scherer, K. R. (2001). Appraisal Considered as a Process of Multilevel Sequential Checking.
- Scherer, K. R. (2009). The dynamic architecture of emotion : Evidence for the component process model. Cognition & Emotion, 23(7) :1307–1351.
- Scherer, K. R. (2022). Theory convergence in emotion science is timely and realistic.
- Scherer, K. R., Bänziger, T., and Roesch, E. (2010). A Blueprint for Affective Computing : A sourcebook and manual. Oxford University Press.
- Scherer, K. R. and Brosch, T. (2009). Culture-specific appraisal biases contribute to emotion dispositions. European Journal of Personality, 23(3) :265–288.
- Scherer, K. R., Ellgring, H., Dieckmann, A., Unfried, M., and Mortillaro, M. (2019). Dynamic facial expression of emotion and observer inference. Frontiers in Psychology, 10(MAR) :508.
- Schroeder, J. and Schroeder, M. (2018). Trusting in machines : How mode of interaction affects willingness to share personal information with machines. In Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, volume 2018-Janua, pages 472–480.
- Seyderhelm, A. J. A. and Blackmore, K. (2021). Systematic Review of Dynamic Difficulty Adaption for Serious Games : The Importance of Diverse Approaches. SSRN Electronic Journal.

- Shaffer, C., Westlin, C., Quigley, K. S., Whitfield-Gabrieli, S., and Feldman Barrett, L. (2022). Allostasis, Action, and Affect in Depression : Insights from the Theory of Constructed Emotion. Annu. Rev. Clin. Psychol, 18.
- Shvo, M., Buhmann, J., and Kapadia, M. (2019). An Interdependent Model of Personality, Motivation, Emotion, and Mood for Intelligent Virtual Agents. In IVA 2019 - Proceedings of the 19th ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents, pages 65–72. Association for Computing Machinery, Inc.
- Smidt, A., Balandin, S., Sigafoos, J., and Reed, V. A. (2009). The Kirkpatrick model : A useful tool for evaluating training outcomes. Journal of Intellectual and Developmental Disability, 34(3) :266–274.
- Smith, C. A. and Ellsworth, P. C. (1985). Patterns of Cognitive Appraisal in Emotion. Journal of Personality and Social Psychology, 48(4) :813–838.
- Taenzer, P. A., Sauve, L., Burgess, E. D., Milkavich, L., and Whitmore, B. (1996). The Health Interview : Automated Assessment in a Multidisciplinary Outpatient Hypertension Treatment Program. M.D. Computing, 13(5) :423–426.
- Templier, L., Chetouani, M., Plaza, M., Belot, Z., Bocquet, P., and Chaby, L. (2015). Altered identification with relative preservation of emotional prosody production in patients with Alzheimer’s disease. Geriatric et psychologie neuropsychiatrie du vieillissement, 13(1) :106–115.
- Tsamlal, M. Y., Amorim, M. A., Martin, J. C., and Ammi, M. (2018). Combining Facial Expression and Touch for Perceiving Emotional Valence. IEEE Transactions on Affective Computing, 9(4) :437–449.
- Tsamlal, M. Y., Martin, J. C., Ammi, M., Tapus, A., and Amorim, M. A. (2015). Affective handshake with a humanoid robot : How do participants perceive and combine its facial and haptic expressions? 2015 International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction, ACII 2015, pages 334–340.
- van de Bijl, E., Klein, J., Pries, J., Bhulai, S., Hoogendoorn, M., and van der Mei, R. (2022). The Dutch Draw : Constructing a Universal Baseline for Binary Prediction Models.
- Varni, G., Hupont, I., Clavel, C., and Chetouani, M. (2017). Computational Study of Primitive Emotional Contagion in Dyadic Interactions. IEEE Transactions on Affective Computing, 3045(c).
- Wallace, R. S. (2009). The Anatomy of A.L.I.C.E. Parsing the Turing Test : Philosophical and Methodological Issues in the Quest for the Thinking Computer, pages 181–210.

- Webster, D. and Dibartolo, M. C. (2014). Using a standardized patient learning activity to teach baccalaureate nursing students about dementia care. Nurse Educator, 39(3) :103–104.
- Weintraub, S., Wicklund, A. H., and Salmon, D. P. (2012). The neuropsychological profile of Alzheimer disease.
- Wilson, R., Rochon, E., Mihailidis, A., and Leonarda, C. (2012). Examining success of communication strategies used by formal caregivers assisting individuals with Alzheimer’s disease during an activity of daily living. Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 55(2) :328–341.
- Yongsatianchot, N. and Marsella, S. (2021). A computational model of coping for simulating human behavior in high-stress situations. In Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS, volume 3, pages 1413–1421.
- Zagdoun, J., Chaby, L., Benamara, A., Urbiolla Gallegos, M. J., and Chetouani, M. (2021). Non-Verbal behaviors analysis of healthcare professionals engaged with a Virtual-Patient. In ICMI 2021 Companion - Companion Publication of the 2021 International Conference on Multimodal Interaction, pages 353–361.
- Zawieja, P. and Benattar, L. (2019). Health staff burnout in geriatrics : Prevalence and determinants in 185 French facilities. NPG Neurologie - Psychiatrie - Geriatrie, 19(113) :286–293.