

**MODÉLISATION D'UNE INTERACTION
SYSTÈME-RÉSIDENT CONTEXTUELLE,
PERSONNALISÉE ET ADAPTATIVE POUR
L'ASSISTANCE COGNITIVE A LA RÉALISATION DES
ACTIVITÉS DE LA VIE QUOTIDIENNE DANS LES
MAISONS CONNECTÉES**

par

Armel Ayimdjì Tekemetieu

Thèse présentée au Département d'informatique
en vue de l'obtention du grade de philosophiæ doctor (Ph.D.)

FACULTÉ DES SCIENCES

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, 16 décembre 2021

Le 16 décembre 2021

Le jury a accepté la thèse de Monsieur Armel Ayimdji Tekemetieu dans
sa version finale

Membres du jury

Professeur Sylvain Giroux
Directeur
Département d'informatique

Professeure Hélène Pigot
Codirectrice
Département d'informatique

Professeure Carolina bottari
Codirectrice
École de réadaptation
Université de Montréal

Professeure Nadia Tahiri
Membre interne
Département d'informatique

Professeure Audrey Serna
Membre externe
Institut National des Sciences Appliquées de Lyon

Professeur Luc Lavoie
Président-rapporteur
Département d'informatique

Sommaire

Alors que le nombre de personnes vivant avec des déficits cognitifs qui découlent d'un traumatisme craniocérébral (TCC) va en croissant, les technologies d'assistance sont de plus en plus développées pour résoudre les problèmes qu'ils induisent dans la réalisation des activités de la vie quotidienne. L'Internet des objets et l'intelligence ambiante offrent un cadre pour fournir des services d'assistance sensibles au contexte, adaptatifs, autonomes et personnalisés pour ces personnes ayant des besoins particuliers. Une revue de la littérature sur le sujet permet de constater que les systèmes existants offrent très souvent une assistance excessive, quand l'aide contient plus d'information que nécessaire ou quand elle est fournie automatiquement à chaque étape de l'activité. Cette assistance, inadaptée aux besoins et aux capacités de la personne, est contraire à certains principes de la réadaptation cognitive qui prônent la fourniture d'une assistance minimale pour encourager la personne à agir au meilleur de ses capacités. Cette thèse propose des modèles pour automatiser l'assistance cognitive sous forme de dialogue contextuel entre une personne ayant des déficits cognitifs dus au TCC et un système lui fournissant l'assistance appropriée qui l'encourage à réaliser ses activités par lui-même. Les principales contributions sont : (1) un modèle ontologique comme support de l'assistance cognitive dans les maisons connectées ; (2) un modèle d'interaction entre l'agent intelligent d'une maison connectée et une personne ayant subi un TCC, dans le cadre de l'assistance cognitive. Le modèle ontologique proposé s'appuie sur les actes de langages et les données probantes de la réadaptation cognitive afin que l'assistance reflète la pratique clinique. Il vise à fournir aux maisons intelligentes la sémantique des données nécessaires pour caractériser les situations où il y a besoin d'assistance, les messages d'assistance de gradations différentes et les réactions de la personne. Informé par le modèle ontologique, le modèle d'interaction

SOMMAIRE

basé sur des arbres de comportement (« behaviour trees ») permet alors à un agent intelligent de planifier dynamiquement la diffusion de messages d'assistance progressifs avec des ajustements si nécessaire, en fonction du profil et du comportement du résident de la maison connectée lors de l'accomplissement de ses activités. Une validation préliminaire montre l'applicabilité des modèles dans l'implémentation de scénarios relatifs à l'utilisation sécuritaire d'une cuisinière connectée dédiée aux personnes ayant subi un TCC.

Mots-clés: Intelligence ambiante ; Maisons connectées ; Actes de langage ; Actes d'assistance ; Ontologies ; Arbres de comportement ; Interactions humain-machine ; Assistance cognitive ; Traumatisme craniocérébral.

Dédicace

À la mémoire de papa Raphaël...

À ma chère maman Bernadette...

À toi Virginies...

Remerciements

« La connaissance en fin de compte est basée sur la reconnaissance » [Wittgenstein]

Avant de parler de modélisation de l'assistance cognitive, je tiens à remercier les membres de mon propre réseau d'assistance.

Je remercie Sylvain Giroux, Hélène Pigot et Carolina Bottari, respectivement directeur et co-directrices de ma thèse, pour avoir toujours répondu promptement et avec grand intérêt à toutes mes sollicitations. Remettre continuellement mes idées en question a été un atout inestimable dans la qualité et l'avancement de mes travaux.

Mes travaux ont été influencés par des discussions pluridimensionnelles très constructives avec les membres du Laboratoire DOMUS. Je pense en particulier à Célia, Hubert, Frédéric, Corentin et Yannick.

Mes années de recherche n'auraient pas été si agréables sans les discussions constructives et décalées avec les « ndjanguistes » de l'AMED, avec qui nous nous encouragions mutuellement pour nos différentes thèses. Le Mbombock, Le Mikou, Le Nji, Manager, Le Mouz, Nyamoro, Raph des Raph, Prési Sev, Alino, Cyrille, merci les gars.

À mes parents, Nguetsa Bernadette et Tekemetieu Raphaël, qui, même s'ils n'ont pas toujours bien su ce que je faisais, ont toujours été présents et m'ont fait confiance. Les valeurs qu'ils m'ont transmises m'ont permis d'arriver jusqu'ici et d'aborder ce travail avec rigueur, humilité et persévérance.

À Arsène, Anicet, Alix, Arlette, Ulrich, Larissa, Linda, Livie, Vanessa, Audrey, Dimitrievna, Ashley, Hillary, Maria saphir, Nolan, Harry pour la chaleur familliale. Papa Salenko, je n'oublierai jamais le soutien que tu m'as toujours apporté, particulièrement durant mes études de DEA, merci big.

REMERCIEMENTS

À Nathan, Anaia et Daenerys vous méritez mes sincères remerciements. Vous avez une belle part dans cet accomplissement. Merci de tirer par devant.

À Fedjo Galbert et à toute la grande famille Fo'o Ngueme parce qu'ils ont toujours su que j'étais capable d'aller chercher ce Doctorat.

À Yollande et Guy, Léa et Olivier, Lanelle et Péguy, Natacha et Garcin, Louise et Xavio, ENSEMBLE vous constituez une fondation solide sur laquelle on peut s'appuyer POUR AVANCER.

Enfin, mes plus grands remerciements vont à Virginies, celle que j'appelle Ma Doudounette, mon assistant cognitif et émotionnel personnel. Malgré la longue durée de cette thèse, et des nuits passées sur mon clavier au lieu de la tenir dans mes bras, elle n'a jamais été jalouse de mon ordinateur. Au contraire, elle a su m'apporter l'amour et la tendresse indispensables à une vie belle, heureuse et équilibrée, propice à la recherche. Après une thèse, on se demande parfois avec inquiétude : c'est quoi la suite ? Pour ma part, puisque ma Doudounette marche à mes côtés, j'ai toute confiance en l'avenir.

Abréviations

AAL Ambient Assisted Living

AALS AAL System

AC Arbre de comportement

ACL Agent Communication Language

ADL Activity of daily living

AIVQ Activités instrumentales de la vie quotidienne

BFO Basic Formal Ontology

BN Bayesian network

BT(s) Behaviour Tree(s)

CBR Case-based reasoning

CNN Convolutional neural network

COOK Cognitive Orthosis for CoOKing

CoReDa Context-aware Reminding system for Daily Activities

CRT Cognitive Rehabilitation Theory

DOMUS Domotique et Informatique Mobile à l'Université de Sherbrooke

DUL DOLCE+DnS Ultralite

ERT Extremely randomized tree

FIPA Foundation for Intelligent Physical Agents

FSM Finite State Machine

GMM Gaussian mixture model

ABRÉVIATIONS

HFSM Hierarchical FSM

HMM Hidden Markov model

IA Intelligence Artificielle

ICF International Classification of Functioning

IoT Internet of Things

JOPA Java OWL Persistence API

k-NN k-nearest neighbours

MCBS Multi-cue background subtraction

MCI Mild cognitive impairment

ML Machine learning

MM Markov model

MQTT Message Queuing Telemetry Transport

NN Neural network

OWL Web Ontology Language

PNJ Personnage non joueur

PAI Profil des Activités Instrumentales de la vie quotidienne

QSR Qualitative spatial representation and reasoning

RDF Resource Description Framework

RFID Radio-frequency identification

RGB-D Red Green Blue-Depth

RNN Recurrent neural network

RTI Radio tomographic imaging

SAD Systèmes d'assistance à domicile

SAT Boolean SATisfiability problem

SHSA Smart Home Stress Assist

SMO Sequential minimal optimization

SOSA Sensor, Observation, Sample, and Actuator

ABRÉVIATIONS

SSN Semantic Sensor Network

SVM Support vector machine

SBC Système à base de connaissances

SWRL Semantic Web Rule Language

TCC Traumatisme craniocérébral

WIMP Windows, Icons, Menus and Pointing

W3C World Wide Web Consortium

Table des matières

Sommaire	ii
Dédicace	iv
Remerciements	v
Abréviations	vii
Table des matières	x
Liste des figures	xvi
Liste des tableaux	xviii
Introduction	1
1 Modélisation du contexte et raisonnement dans les systèmes d'aide à domicile. Principales tendances et leçons	14
1.1 Introduction	18
1.2 Ambient Assisted Living Services	21
1.2.1 Definition of AAL Services	21
1.2.2 Services for Inhabitants	22
1.2.3 Services for Caregiver	24
1.2.4 Basic Services	24
1.3 Context Information and Context Awareness in AAL Systems	26
1.3.1 Contextual Information on Inhabitants	28

TABLE DES MATIÈRES

1.3.2	Environmental Information	30
1.3.3	Physical Environmental Information	31
1.3.4	Social Environment	32
1.3.5	Temporal Information	32
1.3.6	Spatial Information	33
1.3.7	Delimiting the Context	33
1.3.8	Heterogeneity of Data	34
1.4	Approaches of Context Modelling in AAL Systems	34
1.4.1	Knowledge-Based Approaches	35
1.4.2	Data-Driven Approaches	39
1.4.3	Hybrid Approaches	42
1.4.4	Comparison Between Approaches	45
1.5	Discussion	53
1.5.1	Nature of Data	53
1.5.2	Visual Sensors	54
1.5.3	Biosensors	54
1.5.4	Activity, Body Posture and Fall Recognition Services	54
1.5.5	Predictive Services	55
1.5.6	Temporal Reasoning	55
1.5.7	Services for Inhabitants	56
1.6	Conclusion	56
2	Assistance cognitive et intelligence ambiante	59
2.1	Déficits cognitifs et assistance	60
2.1.1	Déficits cognitifs et incidence sur les activités de la vie quotidienne	60
2.1.2	Interventions cognitives	62
2.1.3	Assistance verbale en réadaptation cognitive	65
2.1.4	Vers l'automatisation de l'assistance pour la réadaptation cognitive des personnes ayant subi un traumatisme craniocérébral	70
2.2	Assistance cognitive dans les environnements intelligents	72
2.2.1	Intelligence ambiante	72
2.2.2	Sensibilité au contexte	73

TABLE DES MATIÈRES

2.2.3	Assistance cognitive dans les maisons connectées	75
2.2.4	Revue critique des systèmes existants	78
2.3	Conclusion	88
3	Outils méthodologiques de formalisation de l'assistance cognitive	89
3.1	Actes de langage	90
3.1.1	Composantes d'un acte de langage	91
3.1.2	Caractéristiques	92
3.1.3	Actes de langage et agents intelligents	92
3.1.4	Actes d'assistance	93
3.2	Ontologies	94
3.2.1	Origine et motivations	94
3.2.2	Définition	95
3.2.3	Types d'ontologies	96
3.2.4	Domaines d'applications	98
3.2.5	Construction et formalisation	99
3.2.6	Raisonnement ontologique	101
3.2.7	Intégration d'ontologies	103
3.3	Délibération et interaction humain-machine dans un environnement d'intelligence ambiante	104
3.3.1	Machines à états finis	106
3.3.2	Architectures de subsomption	107
3.3.3	Architectures téloréactives	107
3.3.4	Arbres de décision	108
3.3.5	Arbres de comportement et planification contingente	109
3.4	Conclusion	116
4	Des actes de langage aux actes d'assistance pour l'assistance cognitive dans les systèmes d'aide à domicile	117
4.1	Introduction	123
4.2	Background	126
4.2.1	Verbal assistance in the context of cognitive rehabilitation . .	126
4.2.2	Assistance in Ambient Assisted Living	129

TABLE DES MATIÈRES

4.2.3	Speech acts and assistance acts	130
4.2.3.1	Characteristics of speech acts	131
4.2.3.2	Felicity conditions and Infelicities	132
4.2.3.3	Speech acts and intelligent agents	133
4.2.3.4	Assistance acts	133
4.2.4	Ontologies in Ambient Assisted Living Systems	135
4.3	From speech acts to assistance acts	140
4.3.1	Infelicities of type A : Preventing misinvocations of assistance acts	140
4.3.2	Infelicities of type B : Preventing misexecutions of assistance acts	141
4.3.3	Infelicities of type Γ : Preventing abuses in assistance acts	143
4.4	The cognitive assistance model in a nutshell	143
4.4.1	Overview of the Cognitive Assistance Model	144
4.4.2	Situation perspective	146
4.4.2.1	User profile model	147
4.4.2.2	Circumstance model	150
4.4.3	Assistance act perspective	153
4.4.3.1	Assistance act content and execution modelling	154
4.4.3.2	Assistance act intention modeling	156
4.4.3.3	Completing the picture : reasoning on assistance acts	162
4.4.4	Evaluation perspective	164
4.5	Discussion	166
4.5.1	Contributions of the ontological model	167
4.5.2	Speech acts to assistance acts in ambient intelligence environments	169
4.5.3	Implementation	170
4.5.4	Validation	171
4.5.4.1	Laboratory experiments	172
4.5.4.2	Real-life experiments	172
4.6	Conclusion	173

TABLE DES MATIÈRES

5 Planification dynamique de l'interaction système-résident pour l'assistance cognitive dans un environnement d'intelligence ambiante	175
5.1 Introduction	181
5.2 Verbal assistance for cognitive rehabilitation	184
5.3 Ontological modelling of cognitive assistance	186
5.3.1 Ontological conceptualization : From speech acts to assistance acts	186
5.3.2 Ontological formalization	187
5.4 Behaviour trees for the cognitive assistance interaction	188
5.4.1 Problem formulation : planning and acting under an indirect control	188
5.4.2 Planning the delivery of assistance acts	190
5.5 Implementation and preliminary validation	195
5.5.1 Elliot : an interactive agent for cognitive assistance in AAL environments	195
5.5.2 Simulation and results	197
5.6 Conclusion	198
6 Implantation et validation	201
6.1 Description du système d'assistance : Elliot	202
6.1.1 Choix de l'activité de la vie quotidienne	204
6.1.2 Choix des situations d'assistance	204
6.1.3 Plateforme de simulation	206
6.1.4 Architecture et outils de développement	207
6.1.4.1 Technologie Elliot	207
6.1.4.2 API de l'ontologie	211
6.2 Outil de la simulation	214
6.3 Simulation	218
6.3.1 Objectif de la simulation	218
6.3.2 Paramètres de la simulation	218
6.3.2.1 Flot des niveaux d'assistance	218

TABLE DES MATIÈRES

6.3.2.2	Comportement du résident	219
6.3.3	Déroulement de la simulation	220
6.3.4	Situation 1 : supervision de la cuisinière	221
6.3.5	Situation 2 : fermeture de la porte du four	237
6.3.6	Situation 3 : présence du résident dans son domicile	243
6.3.7	Performances	243
6.4	Discussion et conclusion	245
Conclusion		247
Bibliographie		259

Liste des figures

1.1	Indoor ambient Assisted Living Services	22
1.2	Contextual information for AAL services	28
2.1	Pyramide des niveaux d'assistance	69
3.1	Délibération et interaction humain-machine	105
3.2	Exemple d'AC dans le domaine de l'assistance à domicile	114
4.1	Graded sequences of assistive prompts	128
4.2	The CAM overall picture	145
4.3	The use case scenario	146
4.4	Various types of messages and different actuators	147
4.5	The user profile model	149
4.6	The intervention plan model	150
4.7	The circumstance model	152
4.8	Assistance act content-execution model	155
4.9	Assistance act content-intention model	163
4.10	The evaluation perspective	165
5.1	The cognitive assistance cycle	185
5.2	Cognitive assistance ontology : Overall picture	188
5.3	Cognitive assistance ontology : Assistance act perspective	189
5.4	Main BT	192
5.5	Assist BT	193
5.6	Message BT	195

LISTE DES FIGURES

5.7	Elliot architecture and integration	197
6.1	Fonctionnement global du système Elliot	203
6.2	Architecture logique Elliot	208
6.3	Construction d'un AC sous JBT Editor	211
6.4	Construction de l'ontologie sous Protégé Editor	212
6.5	Visualisation de l'ontologie sous Ontograph	213
6.6	Architecture de l'API de l'ontologie	215
6.7	Interface du générateur des données de simulation	216
6.8	Ontologie déployée sur RDF4J	217
6.9	Interface d'accueil Elliot	220
6.10	Édition du profil du résident	221
6.11	Édition du flot des niveaux d'assistance	222
6.12	Fenêtre de démarrage de la simulation	223
6.13	Fonctionnement normal de la cuisinière	224
6.14	Le rond avant droit est resté sans surveillance	226
6.15	Paramètres générés par l'AC	228
6.16	Attente de la réaction du résident	230
6.17	Envoi du deuxième message	232
6.18	Envoi du troisième message	234
6.19	Intervention du système autonome de sécurité	236

Liste des tableaux

1.1	Basic service – activity recognition	46
1.2	Basic service – posture recognition	48
1.3	Basic service–fall detection	48
1.4	Predictive services	49
1.5	Services for inhabitants	50
1.6	Services for caregivers	52
2.1	Quelques interventions cognitives	63
2.2	Extrait d'un plan d'intervention ergothérapique	64
2.3	Synthèse des systèmes d'assistance cognitive	86
3.1	Les types de nœuds classiques des AC	113
4.1	Speech act infelicities and felicity conditions	134
4.2	Current state of the art	139
4.3	Contribution of the three pillars of the CAM	144
4.4	A speech act characterization of assistance acts	159
4.5	Assistance act grades and situations of use	160
5.1	Characterization of assistance acts	187
5.2	The illocutionary force of assistance acts	196
5.3	Assistance plans generated by the BT	199
6.1	Flots des niveaux d'assistance simulables	219
6.2	Quelques comportements simulables	222
6.3	Quelques résultats de simulation (Flot1 + résident Stubborn)	238

LISTE DES TABLEAUX

6.4	Quelques résultats de simulation (Flot4 + résident Feinter)	240
6.5	Quelques résultats de simulation (Flot5 + résident Stubborn)	241
6.6	Résultat de simulation (Flot5 + résident Feinter)	242
6.7	Résultat de simulation (Flot3 + résident Stubborn)	244
6.8	Temps d'exécution AC et ontologie	244

Liste des algorithmes

3.1	Exemples de plans générés par l'AC du robot nettoyeur	116
4.1	User profile modeling	150
4.2	Circumstance modeling	152
4.3	Situation identification	153
4.4	Content execution modelling	156
4.5	Assistance act content-intention modeling	162
4.6	A SPARQL query to infer the assistance act and the actuator	164
4.7	Evaluation modeling	166
6.1	Extrait de l'algorithme de traitement des données de la cuisinière . .	209
6.2	Requête SPARQL pour sélectionner le message et l'effecteur	229

Introduction

Contexte et motivations

Ces deux dernières décennies, l’Internet des objets [1, 2, 3], l’informatique ubiquitaire [4, 5] et l’intelligence ambiante [6, 7] ont connu un développement majeur. Mis ensemble, ils permettent d’utiliser des dispositifs interconnectés et intégrés de manière omniprésente et transparente dans l’environnement de l’utilisateur pour lui fournir des services capables de s’adapter dynamiquement au contexte. Les maisons connectées [8, 9] et les technologies d’assistance [10, 11, 12] ont largement tiré parti de cet essor. Les interfaces multimodales disponibles dans les environnements d’intelligence ambiante, en particulier les maisons connectées, permettent une interaction plus intuitive et plus efficace entre l’homme et la machine [13]. Les utilisateurs finaux peuvent tirer parti des modalités naturelles telles que les gestes, l’actionnement des objets du quotidien, la parole et le regard pour communiquer ou échanger des informations avec les applications [13, 14, 15]. Ces applications interagissent en retour avec les utilisateurs par le biais de plusieurs modes de communication parmi lesquels se retrouvent le texte, l’image, la vidéo, la voix (naturelle ou synthétique) et les signaux lumineux. Grâce aux capteurs et effecteurs variés, une maison connectée a le potentiel de collecter les données et les analyser afin de comprendre le contexte (informations sur les résidents, activités qui se déroulent, états des équipements, etc.) et fournir automatiquement des services d’assistance appropriés aux résidents avec des entrées minimales fournies par ces derniers [16]. Ces services tirent avantage de la disponibilité d’un plus large éventail de dispositifs interactifs pouvant potentiellement répondre à une plus grande variété de besoins des utilisateurs, ainsi que la disponibilité d’applications dans de nombreux domaines pouvant potentiellement contribuer à améliorer

INTRODUCTION

des aspects importants de la qualité de vie de l'utilisateur tels que les soins de santé. C'est pourquoi une direction importante de ce développement concerne les systèmes d'aide aux personnes ayant des déficits cognitifs et l'offre de services de réadaptation [11, 17]. Cet intérêt grandissant pour la fourniture de la réadaptation cognitive en tant que service peut aussi s'expliquer par l'augmentation de la population des personnes âgées et des personnes victimes de traumatisme craniocérébral (TCC) qui constituent une partie importante des personnes ayant des déficits cognitifs. Au Québec par exemple, Girard *et al.* [18] rapportent que les aînés âgés de 65 ans et plus étaient 16% en 2011, qu'ils seront environ 25% en 2031 et 28% en 2061. À mesure que les gens prennent de l'âge, le déclin de la mémoire et des fonctions exécutives et la prévalence de maladies liées au fonctionnement cognitif entraînent souvent des difficultés et des blessures potentielles lors de la réalisation des activités quotidiennes telles que la cuisine [19]. Quant aux victimes de TCC, elles sont plus de 50 millions dans le monde chaque année [20], tandis que pour la même période au Canada on dénombre plus de 20 000 adultes qui sont hospitalisés à la suite d'un TCC [21], le TCC étant associé à multiples déficits physiques, mentaux et psychosociaux [22] et considéré comme une cause majeure d'invalidité dans le monde [20, 23, 24]. Les déficits cognitifs impactent la capacité des individus à réfléchir, se concentrer, réagir aux émotions, formuler des idées, résoudre des problèmes, raisonner et se souvenir [25].

Dans cette thèse, nous nous intéressons à l'assistance aux personnes ayant un TCC, pour lesquelles les déficits cognitifs entraînent des difficultés pendant la réalisation des tâches quotidiennes, comme suivre leur progression dans la tâche ou identifier leurs erreurs [26]. Les tâches qui présentent de nombreux défis pour ces personnes sont des activités complexes, appelées activités instrumentales de la vie quotidienne (AIVQ) parmi lesquelles on peut citer la cuisine, l'utilisation du téléphone, faire le ménage, faire les courses, utiliser les transports et gérer les finances [27]. Une tâche comme la cuisine présente un niveau d'exigence assez important pour faire appel aux aptitudes cognitives variées dont l'attention, la mémoire, la planification, l'autosurveillance, l'autorégulation et le jugement [16]. Dans une perspective de réadaptation des personnes ayant des troubles ou des déficits de l'une ou plusieurs de ces facultés, il devient impératif de leur apporter de l'aide dans la réalisation des AIVQ, afin de les maintenir actifs, faciliter leur participation sociale, entretenir le sentiment d'appartenance à la

INTRODUCTION

communauté et améliorer leur qualité de vie [28, 29]. Cette aide prend très souvent la forme d'indices ou de messages incitatifs adressés à la personne lorsqu'elle se trouve confrontée à une difficulté. Sans l'utilisation de la technologie, des aidants formels qui sont des professionnels de la santé tels que les ergothérapeutes, ou des aidants informels interviennent pour fournir ces indications : il s'agit de *l'assistance cognitive*. Les aidants informels, aussi appelés proches aidants, sont des personnes faisant partie de l'entourage de la personne dépendante et qui lui apportent de l'aide pour effectuer les activités quotidiennes [30]. Rogers *et al.* [31] ont démontré qu'une intervention de réadaptation comportementale utilisant des indications (vocales la plupart du temps) de la part des proches aidants accroît l'indépendance et la participation active aux activités des personnes présentant des déficits fonctionnels dus aux troubles cognitifs. Seelye *et al.* [32] remarquent que les messages incitatifs sont utilisés de manière routinière par les cliniciens (ergothérapeutes en particulier) et les proches aidants pour aider les individus atteints de déficits cognitifs à maintenir leur indépendance dans les activités de tous les jours. Lorsque les messages sont vocaux, on parle *d'assistance verbale*. Très utilisée par les professionnels de la santé dans le cadre de l'assistance cognitive, elle peut être vue comme une interaction entre un aidant et une personne ayant des déficits cognitifs (par exemple, des questions, des éléments d'information fournis, des encouragements) visant à soutenir la réflexion de la personne et à compenser ses limitations cognitives [33].

Bien que des études et la pratique clinique démontrent l'importance de l'assistance verbale dans le soutien des personnes ayant des déficits cognitifs, mobiliser des ressources humaines aux fins d'assistance reste un défi majeur. Fournir de l'assistance à la personne ayant un TCC impose une charge sociale, financière et personnelle importante aux aidants formels et informels qui non seulement fournissent du soutien, mais en ont aussi besoin [34, 35]. Ceci constitue une autre motivation de l'attention portée ces dernières années sur le potentiel des différentes technologies d'assistance à apporter une solution pour les personnes souffrant de déficits cognitifs et leurs aidants, avec une attention particulière sur la population atteinte de TCC. Les produits et services technologiques, en offrant une assistance par envoi de signaux multimodaux (audio et visuels) dans un environnement augmenté par l'Internet des objets, ont démontré une certaine efficacité dans le soutien aux personnes ayant des besoins particuliers,

INTRODUCTION

comme des personnes victimes de TCC, atteintes de la maladie d’Alzheimer ou ayant des déficits cognitifs divers. Ils aident ces personnes à initier, corriger ou terminer des activités de manière indépendante [32]. De façon générale, les technologies d’assistance peuvent aider à compenser les déficits cognitifs et améliorer significativement la qualité de vie des personnes (utilisateurs^{1 2)} [17]. Parmi ces technologies figurent d’une part, des systèmes relativement simples comme le rappel ou suivi d’activités par des montres-alarmes ou des applications sur téléphones ou tablettes intelligents. D’autre part, on assiste à l’émergence de systèmes plus complets qui plongent la personne (appelée alors résident) dans un environnement connecté ayant le potentiel de lui fournir une assistance fluide, intégrée dans les tâches quotidiennes par une interaction naturelle avec les objets de tous les jours qui sont disséminés de façon non intrusive dans l’environnement ou même des objets portés [36]. Nous nous intéressons à cette deuxième catégorie de systèmes, où l’une des finalités est de fournir une interaction entre un environnement connecté et le résident (c’est-à-dire une interaction système-résident) où le système délivre des messages d’assistance visant à induire un comportement approprié de la part du résident en guise de réponse à l’assistance délivrée. L’idée est d’utiliser une maison connectée pour palier au mieux à l’indisponibilité 24h/24 de l’interaction entre la personne aidante et le client (interaction aidant-client) qui a lieu lorsqu’un aidant humain (professionnel ou proche aidant) fournit l’assistance verbale.

Problématique

Faire interagir la technologie avec une personne ayant des déficits cognitifs comporte des difficultés certaines. En effet, dans le domaine de la réadaptation cognitive, des études montrent que les conversations avec les personnes ayant des déficits cognitifs, en particulier les personnes ayant subi un TCC, ne sont pas toujours menées de façon appropriée et sont plus difficiles que les conversations avec des personnes sans

1. Dans cette thèse, la personne ayant des déficits cognitifs sera parfois appelée utilisateur du point de vue du système ou résident lorsqu’elle évolue dans un environnement comme une maison connectée. On l’appellera quelquefois client du point de vue de la réadaptation cognitive.

2. Dans tout le document, le genre masculin est utilisé comme générique, dans le seul but de ne pas alourdir le texte.

INTRODUCTION

TCC [37, 38]. Dans des systèmes d’assistance existants, il arrive que la technologie augmente plutôt la charge cognitive et tende à frustrer la personne, par exemple dans le cas où pendant l’exécution de la tâche celle-ci est interrompue pour qu’une interaction d’assistance soit offerte, alors que la personne n’en a pas besoin [39]. Dans un contexte de réadaptation qui vise à maintenir les personnes actives en les encourageant à effectuer des actions de manière indépendante [40], des efforts doivent être accentués sur la manière dont la technologie interagit avec les personnes ayant des déficits cognitifs. Il n’existe cependant pas de consensus clair ni de norme absolue en ce qui concerne le moment de l’intervention (quand déclencher l’interaction), le contenu des messages, la méthode d’envoi, ou l’interface d’envoi des messages [14, 32, 41].

Concernant le *moment de l’intervention*, contrairement aux systèmes qui délivrent l’assistance de façon automatique à chaque étape, il est souhaitable qu’une assistance intervienne au moment où la personne cible se trouve en difficulté et a besoin d’une aide du système. Une situation illustrative tirée de [42] concerne l’assistance verbale donnée à une dame qui a subi une lobotomie frontale et qui doit réaliser un gâteau. S’il lui est dit « *faites un gâteau* », elle pourra identifier les ingrédients nécessaires et faire le gâteau. Cependant, si aucun indice n’est donné, la dame n’initiera pas la tâche. Du point de vue de la technologie, comment est-ce qu’un système automatisé peut tirer parti des interfaces multimodales offertes par l’environnement pour suivre la personne et identifier le bon moment pour lui apporter de l’aide ?

Pour ce qui est du *contenu du message d’assistance* à envoyer au résident lorsqu’il se trouve en difficulté pendant la réalisation d’une activité, il y a plusieurs niveaux possibles. Le niveau du contenu de l’information donnée dans un message dépend du but de l’assistance, selon que l’on veut générer une intention chez la personne, l'aider à planifier son action, à réaliser son plan ou contrôler sa réalisation [43]. En effet, tout le monde ne réagit pas de la même façon au même niveau de message [32], les personnes en situation de déficits cognitifs ont des capacités qui diffèrent en ce qui concerne leur compréhension des différents types de messages. C'est pourquoi une assistance cognitive, même si elle part d'une bonne intention, n'est pas forcément une aide judicieuse si elle n'est pas adaptée au destinataire. Il faut trouver le bon équilibre entre le besoin d'aide, les capacités, et le désir d'indépendance ou d'autonomie très souvent manifesté par les personnes ayant des déficits cognitifs. Serna *et al.* [43] mentionnent

INTRODUCTION

qu'une assistance mal conçue peut avoir des effets néfastes, voire opposés aux objectifs de l'assistance cognitive. Il faut assister, mais pas plus que nécessaire, car un système qui fournit trop d'assistance peut nuire à la personne en la rendant dépendante de la technologie. Dans la même veine, Vogelpohl *et al.* [40] constatent que les aidants contribuent bien souvent à la perte de performance fonctionnelle quand ils agissent pour les patients au lieu d'encourager l'indépendance. Leur étude rapporte que les personnes ayant des déficits ont des réserves fonctionnelles qui peuvent être activées lorsque les aidants utilisent des niveaux d'assistance, des normes et des stratégies axées sur le problème pour soutenir leurs déficits cognitifs et physiques. La difficulté réside alors dans le choix du bon niveau d'assistance à fournir, c'est-à-dire la quantité et le sens de l'information à délivrer. Comment ne pas trop assister, sans courir le risque de ne pas assister du tout, ou de perdre trop de temps à converger vers l'assistance qui aidera finalement la personne à avancer dans sa tâche ? (Gagnon-Roy *et al.* [44] développent davantage cet aspect). Comme toutes les personnes n'ont pas les mêmes degrés d'autonomie, elles ne partagent pas le même profil et par conséquent n'ont pas besoin de la même assistance, ni au même niveau ni au même moment. En s'appuyant sur les connaissances en réadaptation, comment choisir le niveau d'assistance qui encourage la personne à utiliser au mieux ses réserves fonctionnelles pour accomplir la tâche par elle-même ?

Au moment de *l'exécution de l'assistance*, compte tenu de l'importance de la convivialité et de la facilité d'utilisation des interfaces par des personnes vivant avec des incapacités, il est souhaitable que plusieurs modalités de diffusion de l'assistance soient offertes [13]. Il convient alors de choisir des interfaces qui répondent au mieux aux besoins spécifiques de ces personnes. Comment choisir le mode de communication (texte, image, vidéo, etc.) et l'effecteur approprié pour que le message soit perçu et compris ?

Concernant *l'évaluation de l'assistance*, il arrive souvent qu'en fin d'assistance, le système ne vérifie pas si le but de l'assistance a été atteint. Plusieurs systèmes fonctionnent de manière contrôlée par l'utilisateur qui doit surveiller sa propre progression et fournir un retour d'information explicite à la technologie, par exemple en envoyant une commande vocale [45, 46] ou en appuyant sur un bouton lorsqu'une étape de la tâche est terminée ou lorsqu'il a besoin d'instructions plus détaillées [16, 47]. À cause

INTRODUCTION

de leurs déficits cognitifs, certaines personnes ne sont pas toujours aptes à fournir cette information explicite et il n'est pas possible de savoir si elles ont effectivement reçu l'aide dont elles avaient besoin ; il n'est pas possible de savoir si l'assistance a été utile. Comment la personne réagit-elle à l'assistance ? Est-elle frustrée ou encouragée à poursuivre sa tâche ? Faut-il adapter l'assistance (c'est-à-dire changer son contenu et/ou le moyen de diffusion) ?

Il découle de ce qui précède qu'un système qui offre de l'assistance cognitive devrait idéalement répondre aux questions précédentes, quant au moment de l'intervention, son contenu, le mode de diffusion et son évaluation, en prenant des décisions qui vont lui permettre de déclencher et diffuser l'assistance, l'arrêter lorsqu'elle réussit ou la poursuivre en l'adaptant dans le cas contraire. Les systèmes existants répondent souvent à une partie des questions soulevées, et ceci à des niveaux différents. Par exemple, l'assistant culinaire présenté par Wang *et al.* [16], et destiné aux personnes ayant un TCC, délivre automatiquement l'assistance à chaque étape de la recette (le moment pouvant être approprié ou pas), délivre toujours une assistance invariable pour chaque étape (même contenu de l'assistance, quel que soit le contexte), exécute l'assistance sur l'écran d'un iPad mini, mais évalue si l'assistance a permis à la personne d'avancer dans sa tâche grâce aux données des capteurs. Plusieurs autres travaux que nous présentons de façon intensive dans le Chapitre 1 permettent d'appuyer ce constat. Ce chapitre présente un état de l'art de la modélisation du contexte et du raisonnement en fonction des services d'assistance offerts. Il est complété par une synthèse présentée dans le Tableau 2.3 du Chapitre 2 de cette thèse.

Afin de maximiser les bénéfices d'une maison connectée et aller au-delà d'une assistance superficielle non adaptée aux besoins et capacités des résidents, notre recherche va s'attaquer à l'interaction système-résident aux fins d'assistance cognitive par la question centrale suivante :

Comment construire une interaction système-résident contextuelle et adaptive fondée sur les connaissances de la réadaptation cognitive et l'intelligence ambiante pour l'assistance dans les activités des individus ayant des déficits cognitifs découlant d'un TCC ?

INTRODUCTION

Objectif de la recherche

Pour répondre à la question précédente, cette thèse a pour objectif de : Concevoir, formaliser et implémenter un modèle d'assistance cognitive sur lequel peut s'appuyer une interaction système-résident contextuelle et adaptative aux fins d'assistance des personnes ayant un TCC, lors de la réalisation de leurs activités dans des maisons connectées.

Pour atteindre cet objectif global et répondre au mieux aux questions qui y ont mené, il est important que l'assistance automatisée s'appuie sur les profils des personnes et sur les données probantes de la réadaptation cognitive, c'est-à-dire les stratégies et interventions démontrées efficaces dans la pratique clinique. La présente thèse s'appuie entre autres sur certains des principes de réadaptation cognitive présentés par Sohlberg et Mateer [48] (cf. section 2.1.3 du chapitre 2), et s'intéresse aux maisons connectées qui encouragent la participation du résident au mieux de ses capacités dans la réalisation de la tâche. Il faut donc donner la possibilité aux cliniciens, lorsqu'ils ont évalué les utilisateurs, de configurer leurs profils et les interventions personnalisées que le système fournira en fonction du contexte courant. Il va également falloir que la technologie ait conscience du contexte c'est-à-dire qu'elle connaisse l'environnement (incluant l'appartement et ses pièces, divers équipements électroménagers, capteurs et effecteurs pertinents pour l'assistance) et ce qui s'y passe (incluant le résident et les activités en cours). De façon globale, permettre à la technologie embarquée dans une maison connectée d'offrir une assistance cognitive fondée sur la pratique clinique nécessite d'abord que les connaissances cliniques pertinentes soient formalisées, puis les processus de raisonnement et de prise de décision mis en place.

C'est ainsi que l'objectif général de ce travail de thèse se décline en quatre objectifs spécifiques comme suit :

1. Identifier les modèles de représentation du contexte et les raisonnements appropriés pour la modélisation des connaissances nécessaires à la fourniture de l'assistance cognitive dans des environnements d'intelligence ambiante ;
2. Construire le modèle formel de connaissances sur lequel va reposer l'interaction système-résident dans le contexte de l'assistance cognitive. Le modèle devra inclure les conditions nécessaires pour une interaction d'assistance cognitive

INTRODUCTION

- réussie, c'est-à-dire cohérente et alignée sur la pratique clinique ;
3. Modéliser le raisonnement clinique utilisé dans l'interaction d'assistance et planifier l'assistance cognitive sous forme d'interaction système-résident contextualiée, qui s'adapte à l'évolution du résident lors de la réalisation de son activité. Ce modèle dynamique inclura les choix des interventions cognitives et les niveaux d'assistance à opérationnaliser sous forme d'actes d'assistance qui vont s'exécuter à travers les dispositifs technologiques appropriés disséminés dans l'environnement de la personne ;
 4. Effectuer une validation préliminaire des modèles développés par une simulation dans le module de sécurité d'un assistant culinaire qui aide les personnes ayant un TCC dans la préparation sécuritaire de leurs repas.

Méthodologie

Notre travail de recherche a procédé par une approche multidisciplinaire alliant informatique et réadaptation cognitive pour construire des modèles pouvant servir à concevoir et implémenter des interventions cognitives personnalisables et sensibles au contexte dans lequel se déroulent les AIVQ.

La démarche a consisté en cinq phases que nous avons menées de façon séquentielle.

— Dans un premier temps, il a été question d'explorer les systèmes d'assistance à domicile de la littérature pour dégager les tendances en termes de modélisation des connaissances contextuelles et du raisonnement pouvant servir d'épine dorsale à la fourniture du service d'assistance cognitive dans un environnement d'intelligence ambiante. Il est ressorti une utilisation intensive des ontologies pour décrire les services aux résidents de tels environnements. Nous avons expliqué cette tendance par le fait que ces services s'appuient sur la connaissance que le système a de l'environnement et de l'habitant, ainsi que des connaissances en réadaptation cognitive. Une ontologie est capable de décrire de façon formelle les résidents, leurs domiciles et les dispositifs installés, y compris ceux destinés à l'interaction entre le résident et le système. En outre, la structure et la nature partageable des ontologies favorisent leur intégration avec d'autres modèles, notamment ceux basés sur l'analyse des données et l'apprentissage

INTRODUCTION

automatique. Fort de cette analyse, nous nous sommes orientés vers une modélisation à base d'ontologies formelles.

- Il a été question dans une seconde phase d'acquérir et de nous approprier les connaissances à modéliser, à savoir les capacités et les déficits des personnes ayant un TCC, certains principes de la réadaptation cognitive et certaines interventions démontrées efficaces dans la pratique clinique de l'assistance verbale délivrée à ces personnes. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur la littérature (livres et articles scientifiques en réadaptation cognitive), des discussions intensives avec les experts de la réadaptation cognitive, notamment des ergothérapeutes de notre équipe interdisciplinaire, ainsi que sur une formation d'une durée de trois jours sur le « Profil des Activités de la Vie Quotidienne (AVQ) : un instrument pour dresser un bilan » dont le but était de comprendre les déficits causés par un TCC dans la réalisation des tâches quotidiennes. Cette seconde phase nous a également permis d'identifier et comprendre les modèles informatiques complémentaires aux ontologies pour la formalisation de l'interaction système-résident aux fins d'assistance cognitive, à savoir les actes de langage et les arbres de comportement.
- La troisième phase a consisté en la construction d'un premier modèle, basé sur les actes de langage et les ontologies, qui formalise les connaissances (acquises lors de la phase 2) nécessaires pour l'assistance contextuelle et personnalisée pour les résidents des maisons connectées ayant des déficits cognitifs dus au TCC.
- Dans la quatrième phase, nous nous sommes intéressés de plus près à l'interaction système-résident aux fins d'assistance cognitive dans une maison connectée. En effet, si le modèle ontologique formalise la connaissance nécessaire à l'assistance cognitive, il ne dit pas comment la maison connectée (c'est-à-dire l'agent intelligent qui y est installé) va utiliser cette connaissance de façon dynamique et interactive lors du processus d'assistance. En nous servant des arbres de comportement, nous avons construit un deuxième modèle décrivant le comportement d'un agent intelligent capable d'utiliser les connaissances de l'ontologie pour opérationnaliser et planifier dynamiquement la diffusion des interventions cognitives sous forme d'actes d'assistance adaptatifs par rapport

INTRODUCTION

- aux réactions et à l'évolution d'un résident dans l'accomplissement de sa tâche.
- La cinquième et dernière phase a consisté en l'implémentation et la validation de la faisabilité des modèles construits. Il s'est agi d'une validation préliminaire par simulation sur le module de sécurité de l'assistant culinaire COOK dédié aux personnes ayant un TCC [49, 50].

Structure et organisation de la thèse

Cette thèse comporte six chapitres qui rendent compte de la méthodologie décrite dans la section précédente.

Les trois premiers chapitres sont dédiés à l'état de l'art :

- Chapitre 1 : Modélisation du contexte et raisonnement dans les systèmes d'aide à domicile. Principales tendances et leçons. Dans ce chapitre, nous faisons un état de l'art de la modélisation contextuelle et du raisonnement pour la fourniture des services d'assistance à domicile dans des environnements d'intelligence ambiante. Des tendances qui se dégagent de la littérature, nous tirons des leçons qui nous permettent de choisir une modélisation à base d'ontologies formelles comme appropriée pour l'automatisation de l'assistance cognitive dans une maison connectée. Ce chapitre a été publié en juillet 2021 sous le titre *Context Modelling in Ambient Assisted Living : Trends and Lessons* en tant que chapitre du livre *Internet of Things : Cases and Studies*.
- Chapitre 2 : Assistance cognitive et intelligence ambiante. Ce chapitre s'intéresse à l'assistance cognitive en sciences de la réadaptation et dans un environnement d'intelligence ambiante. Un accent particulier est mis sur l'assistance fournie aux personnes ayant subi un TCC. C'est pourquoi quelques systèmes automatisés qui ont été proposés dans la littérature pour fournir l'assistance cognitive à cette clientèle sont aussi présentés. Une synthèse permet d'exhiber leurs insuffisances et positionner nos travaux comme visant à apporter une contribution pour la résolution de certains des problèmes rencontrés dans les systèmes existants.
- Chapitre 3 : Outils méthodologiques de formalisation de l'assistance cognitive. Forts de la synthèse faite au chapitre précédent sur les systèmes existants, le

INTRODUCTION

troisième chapitre fait une présentation des outils méthodologiques. C'est ainsi qu'il permet d'abord de présenter plus en détail les ontologies, identifiées dans le chapitre 1 comme étant adéquates pour la formalisation des connaissances qui nous intéressent, et ensuite d'identifier et présenter des modèles informatiques complémentaires aux ontologies et qui vont soutenir l'atteinte de nos objectifs. Il s'agit des actes de langage comme outil de modélisation du dialogue (interaction) résident-système, et des arbres de comportement comme outils de planification et de prise de décision d'assistance.

Les trois derniers chapitres constituent l'ossature des contributions que nous apportons au domaine de l'assistance cognitive dans les environnements d'intelligence ambiante :

- Chapitre 4 : Des actes de langage aux actes d'assistance pour l'assistance cognitive dans les systèmes d'aide à domicile. Dans ce chapitre dédié à l'ingénierie des connaissances, nous proposons une modélisation formelle de l'assistance cognitive à partir de la théorie des actes de langage et des ontologies. Il permet de construire le modèle de connaissances nécessaires pour automatiser l'aide à domicile pour personnes ayant des déficits cognitifs liés au TCC. Ce chapitre est la présentation intégrale de l'article intitulé *From speech acts to assistance acts for cognitive rehabilitation in ambient assisted living : how to nudge cognitively impaired people to act independently*, soumis à la revue *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* de l'éditeur Springer. La version initiale a été soumise en février 2021. Pour donner suite aux demandes de correction des relecteurs, une nouvelle version a été renvoyée à l'éditeur en novembre 2021 pour publication. C'est cette dernière version qui est présentée dans le chapitre 4.
- Chapitre 5 : Planification dynamique de l'interaction système-résident pour l'assistance cognitive dans un environnement d'intelligence ambiante. Dans cet autre chapitre, nous tirons parti du modèle ontologique développé et de la capacité des arbres de comportement à offrir un bon équilibre entre le support des comportements orientés vers des buts, la modularité et la réactivité pour modéliser l'interaction dynamique entre un agent autonome et le résident d'une maison connectée aux fins d'assistance cognitive. Il permet de définir

INTRODUCTION

le comportement et les prises de décision de l'agent qui fournit l'assistance cognitive en interagissant avec le résident au cours du déroulement de son activité. Ce chapitre est la présentation intégrale de l'article intitulé *Modeling an Adaptive Resident-System interaction for cognitive assistance in Ambient Assisted Living*, présenté lors de la 09e édition de la conférence *Human-Agent Interaction (HAI2021)* qui a été organisée par *Nagoya University (Japan)* du 09 au 11 novembre 2021. L'article a été publié dans *ACM Digital Library*.

- Chapitre 6 : Implantation et validation. Ce dernier chapitre présente l'implémentation et une évaluation de l'utilisabilité de nos modèles dans le développement d'un agent pour la sécurisation d'une cuisinière intelligente adaptée aux personnes ayant des déficits cognitifs dus au TCC. Il permet de faire une validation préliminaire de notre travail de thèse par des simulations en laboratoire.

La conclusion générale discute des principaux résultats de cette thèse et en présente quelques perspectives.

Chapitre 1

**Modélisation du contexte et
raisonnement dans les systèmes
d'aide à domicile. Principales
tendances et leçons**

Résumé

Le développement actuel de l'Internet des objets (IoT) fait appel à l'intelligence ambiante qui garantit que les applications IoT fournissent des services sensibles au contexte, adaptatifs, autonomes et personnalisés en fonction des besoins des utilisateurs. L'un des problèmes clés de cette adaptabilité est la modélisation du contexte et les raisonnements induits. Plusieurs travaux dans la littérature ont abordé ce problème selon diverses techniques et perspectives. Ce chapitre passe en revue les approches de modélisation du contexte, en mettant l'accent sur les services offerts dans les systèmes d'assistance à domicile (SAD) pour les personnes ayant des déficits cognitifs. Nous présentons les caractéristiques des informations contextuelles, les services offerts par les SAD, ainsi que les modèles de contexte et de raisonnement qui ont été utilisés pour les mettre en œuvre. Une discussion met en évidence les tendances qui se dégagent de la littérature scientifique et éclaire sur la sélection des modèles les plus appropriés pour mettre en œuvre les SAD en fonction des données manipulées et des services offerts. Les ontologies et leurs mécanismes de raisonnement apparaissent alors comme une modélisation appropriée pour la formalisation des connaissances nécessaires à l'automatisation de l'assistance cognitive dans les environnements d'intelligence ambiante.

Commentaires

Le premier chapitre de cette thèse a été publié sous le titre *Context Modelling in Ambient Assisted Living : Trends and Lessons*, en tant que chapitre du livre Garcia Marquez F. P., Lev B. (Eds.), *Internet of Things - Cases and studies, International Series in Operations Research Management Science, vol 305. Springer, Cham, 2021, p.189-225*. Il s'agit du dixième chapitre du livre. Les auteurs dans l'ordre sont Armel Ayimdjì Tekemetieu, Corentin Haidon, Frédéric Bergeron, Hubert Kengfack Ngankam, Hélène Pigot, Charles Gouin-Vallerand et Sylvain Giroux.

Dans la réalisation de ce chapitre de livre, j'ai (Armel Ayimdjì Tekemetieu) contribué en tant que premier auteur à : la proposition initiale du chapitre aux éditeurs, la proposition du chapitre (titre, découpage en sections, rédaction du résumé du chapitre, rédaction du résumé des différentes sections et soumission de la proposition), la recherche documentaire, la sélection et l'organisation des articles candidats à la revue, l'invitation des co-auteurs et la répartition des articles à lire entre eux. Tout particulièrement, j'ai donné les orientations de l'article en proposant que cette revue de littérature sur la modélisation du contexte offre aux lecteurs des réponses aux questions suivantes : quels sont les services offerts par les systèmes d'intelligence ambiante aux personnes ayant des besoins particuliers (c'est-à-dire des personnes ayant des capacités cognitives ou physiques réduites) ? Quelle est la nature des informations manipulées par ces systèmes pour rendre ces services ? Et enfin, quels sont les modèles de représentation du contexte et du raisonnement couramment utilisés pour implémenter ces services ? J'ai rédigé l'introduction, la discussion et la conclusion. J'ai également contribué à la rédaction des autres sections, la relecture du chapitre et la rédaction de la réponse aux relecteurs.

Context Modelling in Ambient Assisted Living : Trends and Lessons

Armel Ayimdji Tekemetieu
Corentin Haidon
Frédéric Bergeron
Hubert Kengfack Ngankam
Hélène Pigot
Charles Gouin-Vallerand
Sylvain Giroux

Département d'informatique, Université de Sherbrooke,
Sherbrooke, Québec, Canada J1K 2R1

{armel.ayimdji.tekemetieu, corentin.haidon,
frédéric.bergeron2, hubert.kengfack.ngankam, helene.pigot,
charles.gouin-vallerand, sylvain.giroux}@usherbrooke.ca

Keywords: Ambient Assisted Living ; Context awareness ; Context modelling ; Ambient Assisted Living Services ; Internet of things

Abstract

The current Internet of Things (IoT) development involves ambient intelligence which ensures that IoT applications provide services that are sensitive, adaptive, autonomous, and personalized to the users' needs. A key issue of this adaptivity is context modelling and reasoning. Multiple proposals in the literature have tackled this problem according to various techniques and perspectives. This chapter provides a review of context modelling approaches, with a focus on services offered in Ambient Assisted Living (AAL) systems for persons in need of care. We present the characteristics of contextual information, services offered by AAL systems, as well as context and reasoning models that have been used to implement them. A discussion highlights the trends emerging from the scientific literature to select the most appropriate model to implement AAL systems according to the collected data and the services provided.

1.1. INTRODUCTION

1.1 Introduction

The Internet of Things (IoT) has emerged as a field offering multiple devices and applications that fulfil the Ambient Assisted Living (*AAL*Ambient Assisted Living) purpose [51]. The IoT is widely used to provide a broad range of services including home automation and user monitoring. AAL and IoT are closely intertwined ; IoT offers means to achieve AAL goals.

Providing services based on IoT supposed to react to events that are triggered in the environment. It is then essential for applications to perceive, understand and analyse the surrounding, which implies to be context-aware. Context-aware systems achieve their purpose by automatically considering the context they operate in without the user's explicit intervention [52]. Such systems improve usability by adjusting their services to the users and increase their efficiency with results that fit the context of use. They therefore hold significant potential to provide for adaptable services in ever-changing environments. AAL is a sub-discipline of context-aware systems which aims to improve the quality of life, especially for people experiencing difficulties in their everyday life. It particularly benefits from the adaptability of context-aware systems. In this chapter, we produce a literature review that focuses on AAL services that ensure health, autonomy and safety for people with special needs who desire to stay home, regardless of their age and physical and psychological conditions [53]. AAL systems need to be continually informed on the ongoing situation in order to counter risks, improve autonomy and cure and, so, without disturbing the inhabitants' habits. This implies that AAL systems are equipped with various sensors that collect information on the person with impairments evolving in his environment and actuators that modify the environment to adequately interact with him or her. Context-aware systems, by essence, must perceive the world of the inhabitant they intend to assist and reason on these perceptions. They are composed of organs that perceive, transmit, reason and communicate with the external world and deliver appropriate solutions that arise through several steps.

The first step is performed by sensors that collect contextual information from the environment. There are several types of sensors, and listing them quickly becomes irrelevant as new ones are continually being released in a rapidly growing market. To

1.1. INTRODUCTION

this day, no standard to represent data collected by sensors has been established, even from the same type of sensor. Often, values are graduated on different measurement units ; on/off information may be expressed by the binary code 0/1 and vice versa.

In the second step, the data sensors collected is transmitted through different networks. There are various protocols for this process ; some use Bluetooth, KNX or Zigbee, to name only a few. Gathering the various data coming from various sensors and protocol, communication is not trivial, and the use of middleware is recommended to tackle the convergence of context information. Among the frameworks that have appeared in recent years, CoCaMAAL presents a cloud oriented middleware approach [54]. Its aim is to provide a unified way to generate context information and to send it to the cloud. A multi-agent approach has also been proposed where each sensor is monitored by an agent [55]. An agent is composed of a three-level architecture. The sensor, at the first level, communicates with its proprietary protocol to the second level, named sink. The sink is responsible for the generation of data stream that it then sends to the third level, the gateway. The gateway receives streams from all sinks and regroups all the agents. Other types of middleware can be found in the literature [56, 57].

In the third step, the context-aware system reasons to elaborate actions that the actuators will carry out. Reasoning techniques, for the most part, are based on artificial intelligence to cope with constantly changing environments. These needs, on the one hand, to represent information that is dynamic, heterogeneous and sometimes inaccurate and, on the other hand, to adapt reasonings. Those are broadly classified into knowledge-based, data-driven and hybrid approaches. Each presupposes specific data modelling to perform the reasoning.

Finally, actions on the world are executed by actuators. Like sensors, the types of these devices have rapidly expanded regarding the effects, either visual, oral or under multiple modes, and the protocol they used. Context-aware systems must consider their impact on the environment and the inhabitant's reactions. This retroaction evaluation is part of the awareness of these systems. Creating new sensors and actuators and organizing them into various networks that allow for the establishment of complex and powerful data frameworks form the core of IoT research. For this chapter, we go one step further and examine how the data from the IoT can be used to build

1.1. INTRODUCTION

context-aware systems oriented towards AAL.

Several valuable surveys have been conducted on context-aware systems, IoT and AAL. Some focus on computational aspects, while others concern services offered. The survey conducted by [58] develops context representations, carried out by database and ontology modelling, and reasoning used to deal with the nature of context information. Reasoning is discussed according to the choice of sources, types of data and uncertainty of information. As well as [58], the surveys conducted by [59, 60] examine various models of representation, opening on architectures and AAL platforms. Criteria on interoperability, scalability, confidentiality, security and fault tolerance underlie the comparisons [61]. In a discussion includes situations where the models are applicable with respect to the nature of data and the types of sensors. A review of services offered by context-aware systems in smart homes is presented in [9] following by a discussion on the technical means, such as devices, protocols and algorithms, used to reason on context data. A more specific review focuses on AAL services, presenting tools, technologies and algorithms, as well as the applications in monitoring and the prevention of wandering and cognitive orthotics devices [53].

The goal of this chapter is to review recent context models in order to determine the most appropriate context modelling and reasoning approaches to consider for implementing specific AAL services based on IoT. Surveys conducted on the field tend to isolate services from context models. However, the type of service delivered may constrain not only the type of data collected by the IoT technology but also how these are represented and the type of reasoning. It is then important to build a bridge between AAL services and context models. We suggest that the choice of model and reasoning depends on the type of service delivered. To achieve this goal, we will present a review on context-aware systems for AAL covering the last decade (2010–2020) to identify last development trends. In this review, services, contextual representation and reasoning are described, and relations are established between them.

The chapter is organized as follows. An overview of the most frequently offered services in the AAL is presented in the first section. In the second section are presented the data used according to the context. The third section overviews the context models and reasoning that have been used during the last decade. In this section, we present

1.2. AMBIENT ASSISTED LIVING SERVICES

each model extensively and give a detailed view of context modelling and reasoning developed to provide services. Doing this enables us to synthesize and derive trends in the discussion section before concluding the chapter.

1.2 Ambient Assisted Living Services

To address the impacts of the service choice on context representations and reasonings, we first define what is a service and more specifically an AAL service. We then present the services according to the beneficiaries, first the inhabitants and second the caregivers. We close this section by presenting the basic services that are needed to achieve the previous ones.

1.2.1 Definition of AAL Services

Reference [62] distinguishes care and assistance services, on the one hand, and software services on the other hand. The latter are defined in information technology as a set of functionalities performing actions. The focus is put on data, processing, control flow and interoperability between all the components. The former are derived from a business and customer perspective and are defined in terms of added value provided to customers. In this section, we adopt the perspective from the customer to present the various services related to AAL, where the customers are the beneficiaries of AAL, either inhabitants or caregivers.

AAL services for people with special needs are by nature medical and social. They shift the focus to helping frail people in their daily life, to compensate for the natural reduction in physical or cognitive capacities they encounter. The task to assist becomes then central, instead of the technology used to perform it.

It requires generally a collaboration between different actors and a user-centred approach to achieve the appropriate service that fulfils the collaborative assisted living ecosystem. Thus, an AAL service refers to a composite service or a set of services that combines several simpler services to meet customer needs. It usually aims to achieve some of these goals :

- Aid persons with specific needs in their activities of daily living (ADLs).

1.2. AMBIENT ASSISTED LIVING SERVICES

- Promote autonomy and social integration.
- Personalize assistance according to capacities, preferences and habits.
- Adapt the assistance according to the evolution of the persons.
- Integrate needs of caregivers to help providing care and reduce burden.
- Enhance coordination of care through efficient systems.

AAL services have been widely explored in ambient intelligence field, where technology is integrated seamlessly into everyday objects to empower people through sensitive and adaptive environments. Among the variety of AAL services offered, we mainly focus in this review on services delivered indoor as shown in Figure 1.1. Outdoor as-



FIGURE 1.1 – Indoor ambient Assisted Living Services

sistance is covered in detail in the smart city literature. The indoor environment is generally restricted to smart homes [63, 64], but nursing homes and hospitals are also considered [65].

1.2.2 Services for Inhabitants

AAL services are dedicated generally to a wide set of inhabitants, most often elderly or frail people. For instance, [66] describes AAL services as providing intelligent and context-aware assistance for elderly people at home. Reference [67] states

1.2. AMBIENT ASSISTED LIVING SERVICES

that most of AAL services are dedicated to seniors and people with special needs, disabilities or impairments. This is shared by [68] that points out the capacity of AAL services to assist frail persons anytime and anywhere in their ADLs. But some services are dedicated for more specific categories of inhabitants including persons with loss of mobility [69], persons suffering from Alzheimer's disease [70] and other cognitive disabilities [50, 55], and persons experiencing a loss of perception or with chronic disease such as diabetics [71, 72].

There is a consensus among AAL designers that the off-the-shelf devices do not suit the inhabitant's needs and preferences. An adapted and personalized service is required to help inhabitants to stay home by assistive services, alert services and home automation.

Fostering autonomy is a major goal pursued by ambient assistance for inhabitants. Also called cognitive assistance when used to compensate cognitive deficits, the ambient assistance delivers appropriate prompts when the inhabitant forgets to carry out an ADL [73] or fails in performing it [50, 64, 70, 74]. Verbal and oral prompts are displayed to complete basic ADLs [64, 70], specific ADL such as taking medicine [71, 75] or more complex one, such as cooking [50]. Promptings are displayed in the smart home, on smart phones [76, 77] and through conversational agents [75, 78]. Some actions may even be physically carried out when the AAL system turns off electrical appliances [50, 77] or moves objects with robots [79].

In case of emergency, due to either abnormal physiological situation, lack of movements or abnormal body posture, AAL services alert the inhabitant or inform caregivers to resolve the situation [80]. In this case, it is important to quickly reach the inhabitant at the right moment in the right place [63, 76]. Feedback is also crucial to engage an efficient conversation between the inhabitant, AAL service and eventually caregivers to evaluate the dangerousness level [81].

Recent years have also seen the explosion of home automation services. Energy saving and lighting automation are often the targeted functionalities [51, 74]. The key principle is to personalize the service according to the on-going activity [45], the time of the day [70] and the inhabitant's perceptual capacities and preferences [74, 82].

1.2. AMBIENT ASSISTED LIVING SERVICES

1.2.3 Services for Caregiver

Caregivers benefit from AAL services, which help monitoring health, coordinating services and reducing burden. We use the term caregiver in a broad sense, meaning everyone who is giving care, including medical personnel and relatives with no medical training.

Relatives, also called informal caregivers, are often loved ones or neighbours, generally not living with the inhabitant. Few articles tackle the issue of an inhabitant living with his caregiver [83]. The area of expertise of the relatives is usually unknown and is not taken in account when deploying general services. Services dedicated for informal caregivers are aimed to reassure caregivers, alleviate the burden and help them prevent adverse situations [70].

Medical personnel, also called formal caregivers, are usually but not only nurses, beneficiary attendants, psychologists, occupational therapists and doctors. It is easier to define their expertise. Therefore, the language of interaction reflects the proper professional terms. In the hospital and in the nursing homes, the aim is to alert medical personnel as soon as a hazardous situation occurs [65, 84]. When the inhabitant lives at home, healthcare providers may be alerted remotely to intervene in the case of fall, fire risks and vital signs monitoring [77, 80, 81].

Recommendation systems are part of medical services to help making the right decision based on objective data coming from medical history and physiological and environmental sensors [55, 85]. Finally, coordination of the interventions between the multiple healthcare providers constitutes a service that requires context data [72].

1.2.4 Basic Services

Basic services are prerequisite for the elaborated services dedicated to inhabitants and caregivers that we have presented previously. They are intended to recognize what is going on in the smart home, either to identify the inhabitant's behaviour or to predict his next behaviour. Basic services concern mainly activity, body posture, location and identification of people.

1.2. AMBIENT ASSISTED LIVING SERVICES

Activity Recognition

Activity recognition is a popular service, and literature on this topic is abundant [75, 77, 86]. Activities are generally identified by a sequence of actions that may be sequential and a set of events occurring in the smart home. Context is helpful as most people reproduce habits leading to action repetition in the same order, at the same moment and the same place. Most often, authors discriminate activities among various ones from three [87] to five [88]. Activity recognition may occur in specific area of the smart home, like kitchen and bathroom [89].

The activity recognition helps diagnosing abnormal behaviours [51, 90], detecting change in the habits [54, 91] and predicting the next activity the inhabitant may perform [64].

Posture Recognition

Posture recognition consists most often to discriminate among three positions lying, sitting and standing. Associated with activity, it increases the likelihood of activity recognition [51, 73]. Posture recognition is intensively used to identify fall. A fall is detected when the posture changes abruptly from sitting or standing to lying at an unconventional place [73, 84].

Localization

Localization services aim to determine where persons or objects are within a given environment [86, 92]. While this service can be useful when someone gets lost, it is commonly used as a context information for other services, such as activity recognition or posture recognition.

A navigation service helps reaching a given destination. It combines a localization service with a cognitive assistance. This service usually involves a prediction of the next paths the inhabitant will follow to reach his goal [93]. The concept of destination is also extended to include completion of various tasks, as required by planification [76, 94].

1.3. CONTEXT INFORMATION AND CONTEXT AWARENESS IN AAL SYSTEMS

Predictive Services

Even if predictive services are most often included in other basic services, some papers focus specifically on how to determine the next item, either activity, behaviour, medical status or room. They analyse the past and current situation to infer what might occur next.

Predicting next activities is part of some AAL services to determine the most likely activity to assist in the future [64]. Also, predicting the next place to go is the core of navigation services [92]. Prevention is by essence a predictive service, whose purpose is to avoid any dangerous situation, both medically and in the daily living [80]. In recent years, researchers pushed predictive services into the realm of psychological predictions. In [54, 91], the authors aim to detect long-term changes, predicting then future behaviours, future psychological states or future disease symptoms. This prediction relies heavily on context data as no sensor can measure directly a psychological state.

In this section, we presented a review of current services offered in a healthcare context. We have presented them as being independent services. However, many papers in the literature propose solutions that include more than one service. For instance, COOK [50] is a cooking assistant coupled with an autonomous security service for cooking. It combines a cognitive assistant, an emergency prediction service relying on a localization service for some safety rules.

1.3 Context Information and Context Awareness in AAL Systems

Understanding and defining the context are a prerequisite to its modelling. This section will describe sources and characteristics of context and context awareness and will emphasize its importance in AAL. We will present how the main challenges of context modelling are derived from the nature of context information, which is dynamic, heterogeneous and sometimes inaccurate.

Context is a concept used in several domains to generally describe all the information or circumstances related to a fact or an event and that can help to explain

1.3. CONTEXT INFORMATION AND CONTEXT AWARENESS IN AAL SYSTEMS

or understand it (definition adapted from the Oxford dictionary). For instance, in the field of education, the concept of learning context is centred toward a human and its learning resources : it is the “various circumstances in which learning might occur, where the learning context consists of students, culture, teachers, lesson plans, etc. In addition, learning context refers to the set of learning activities, including the space in which learning itself occurs, and students’ perceptions of the ability of a particular space in providing rich learning experiences” [95]. In fact, some authors such as Bazire and Brézillon [96] found in the literature hundreds of definitions of the concept of context. Therefore, it is prerequisite to define the concept of context and context-aware computing applied to AAL systems for choosing the appropriate model.

In computer science and more specifically in ubiquitous computing, the Anind K. Dey definition of context is probably the most widely shared : “Context is any information that can be used to characterize the situation of an entity. An entity is a person, place, or object that is considered relevant to the interaction between a user and an application, including the user and applications themselves” [56]. The same author added that “a system is context-aware if it uses context to provide relevant information and/or services to the user, where relevancy depends on the user’s task” [56]. Related to ambient systems, context-aware computing “describes the ability of the computer to sense and act upon information about its environment, such as location, time, temperature or user identity. This information can be used to enable selective responses such as triggering alarms or retrieving information relevant to the task at hand” [97]. From those three definitions, we can extract some findings :

The nature of information for describing a context is task dependent. In fact, the entity (user or system) tasks are central to the notion of context.

If we compared the context to a “space”, the user, and more specifically the system/object with which the user is interacting to perform a task, is at the centre of this space.

Information about the context (i.e. contextual information) can be divided into four categories : (i) information about the users ; (ii) information about the environment/space surrounding the users ; (iii) information about the spatial elements of that space ; and (iv) information about time or temporal link between contextual

1.3. CONTEXT INFORMATION AND CONTEXT AWARENESS IN AAL SYSTEMS

information.

Based on these definitions and findings, we will, in the next lines, present and discuss about the concept of context and contextual information in AAL (Figure 1.2).

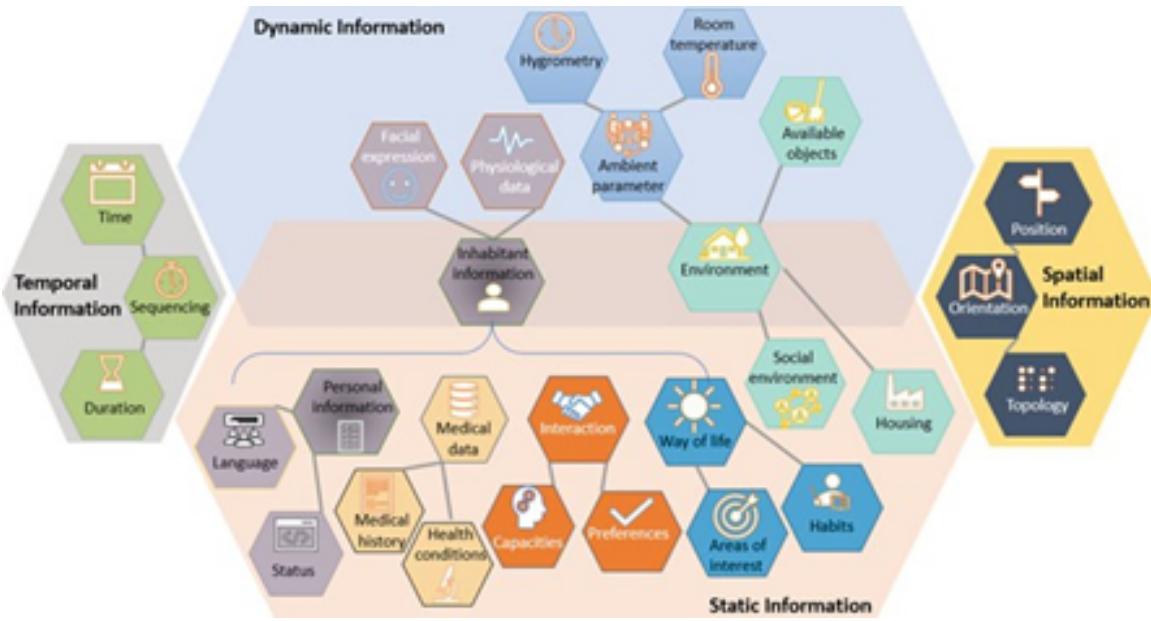


FIGURE 1.2 – Contextual information for AAL services

1.3.1 Contextual Information on Inhabitants

Information about the users is part of contextual information. In AAL, final users who benefit from services include inhabitants as well as caregivers. We first focus on services for inhabitants. To deliver adequate information under suitable forms for assisting, alerting or preventing necessitates to know the capacities of the user to handle such information. Any contextual data regarding the user concern and ability to deal with the service when it is delivered is also relevant. We then divide the contextual information on inhabitants into two categories that correspond to the static and dynamic characteristics pointed out by [51]. The first category regards general information, including capacities and preference. This information is rather

1.3. CONTEXT INFORMATION AND CONTEXT AWARENESS IN AAL SYSTEMS

static or evolves slowly over time. The second information, dynamic in nature, regards the current situation of the inhabitant, especially his position or physiological data.

Static Information on Inhabitants

First, information of the status helps identify the inhabitant who will receive the service. Even if the status information is not always explicit, many authors determine name, age, gender and language as important information to hold [51, 73, 77, 91]. This information may be part of the medical history ; some authors refer globally.

Second, as this literature review focuses on assistance, great emphasis is put on medical data such as diseases and symptoms. Some authors identify specific disease or health conditions, such as diabetes, pregnancy, diet and motor or cognitive diseases [71, 72, 75]. Most prefer to refer to a broad description of diseases they include in the medical history without specifying them. Especially they mention chronic diseases and medication and physiological data such as hypertension. Also, weight and size are indicators of health [91]. Some authors identify the medical model they rely on, either the international classification OMS [71] or a more local classification, hold by a shared medical record [65, 91, 98].

Third, some authors pay attention on how the service will be delivered. Besides the language, the interaction is determined by the sensorial capacities, for instance, failing eyesight [76, 99] and the preference such as the gender of the system voice [100]. The inhabitant profile is also determined by health conditions, such as head trauma that limits the number of stimuli [65]. Also, acceptation of messages is considered [100].

Fourth, the habits and areas of interest are taken in account, such as preferences in food or movies [75, 91]. Such habits may have an impact on health, such as smoking [98].

Finally, ethics consideration is part of the context due to the sensitive data handled. For instance, the level of confidentiality of the service delivered is determined by the situation and the persons who could be aware of the collected data [84].

1.3. CONTEXT INFORMATION AND CONTEXT AWARENESS IN AAL SYSTEMS

Dynamic Information on Inhabitants

Delivering appropriate services needs to collect contextual data that allows to judge the severity of the situation. A plethora of vital signs are gathered to evaluate at each moment the health status. It includes heart rate, respiration rate, blood pressure, blood oxygen saturation, blood sugar level and body temperature [51, 65, 71, 73, 80, 91, 101]. It is gathered continuously through wearable devices or at specific moments with electronic devices such as finger pulse oximeter and blood sugar metre.

Recognizing emotion and facial expressions provides information on the pain felt and the confidence in the service [75, 100].

The location of the inhabitant and his position in space is also an important source of contextual data. It helps determine the service and its modality of delivering. Fire emergencies exemplify how the position data influences the service : where (in which room the message must be sent ?) ; when (waiting for people coming back to the kitchen ?) ; how (on the closer screen or by oral message ?) ; and what (is the inhabitant not reachable requiring to turn off the stove automatically ?) [50, 81]. Information on space and the influence of the position of the inhabitant will be more detailed in the Section Spatial Information.

1.3.2 Environmental Information

Environmental information is by nature contextual. It concerns everything that surrounds a person. In the International Classification of Functioning (ICF) model validated by the World Health Organization, the environment is a key component to explain the human being functioning [102]. Individuals characterized by their deficiencies and capacities interact with the environment to carry out activities. This interaction generates handicap if the individual with his capacities is unable to complete the desired activity in the specific environment. Among the physical, social and financial environmental aspects involved in ICF, context in AAL retains just the first two. Physical environment refers to all objects and physical structures that the person may be in contact with during his life. For the purpose of AAL, we restrict this physical environment to home. Social environment refers to the persons who surround the inhabitant and the ones he could meet to satisfy his goals and fulfil his activities.

1.3. CONTEXT INFORMATION AND CONTEXT AWARENESS IN AAL SYSTEMS

In both social and physical environments, static and dynamic features of the collected data are distinguished. We present first the data gathered to determine the physical environment and second the data to determine the social environment.

1.3.3 Physical Environmental Information

Physical environmental data describe on one hand how the inhabitant feels comfortable and on the other hand how he interacts with the environment to complete activities. The first set draws together data regarding ambient parameters [82, 85, 103]. Among multiple parameters some papers mention at least lightness [51, 74, 91], noise [80, 89, 91], temperature [63, 77], humidity [63, 103], and carbonic gas and smoke concentrations [78, 103]. The second set of data helps describe the current activity in process. Knowing the room where the inhabitant is or the seat he is sitting on points towards the activities to recognize. It supposes to locate the inhabitant and know the layout of space and furniture. Spatial reasoning will be described in the Section Spatial Information. We focus here on contextual data collected to help determining activities in progress. Spatial data are collected through infrared sensors, pressure mats and contact on doors to locate the inhabitant. As almost all studies use such sensors, let us name just few [45, 65, 70, 88, 104, 105]. Some studies use specific information to determine the kind of activities in process as electrical power [45, 81, 82, 88, 103] or flow sensor [88]. Moreover, some activities are precisely targeted when a specific object is involved during its execution such as dry soil to water plant [78], phone when calling [100] and all radio-frequency identification (RFID) sensors placed on objects [71, 106]. Even more precisely, RGB-D (Red Green Blue-Depth) cameras inform about movements done by the inhabitant for recognizing current activities [84, 106, 107, 108]. Wearable sensors are generally used to collect physiological data, but accelerometer gives relevant information about the activity in process or the severity of the situation. It is the case when the inhabitant is falling [73, 80, 88, 106]. Finally, some authors pay attention to the state of the objects involved in the environment to ensure that they are available, such as battery level [103] and computer state [77].

1.3. CONTEXT INFORMATION AND CONTEXT AWARENESS IN AAL SYSTEMS

1.3.4 Social Environment

Finally, the social environment is taken in account. It implies registering in the medical history the name and function of medical staff [72] and, in general, information on relatives [51, 72, 91, 92]. This information is necessary when caregivers need to be reached, either for informing of the evolution of the inhabitant's daily life or to alert when adverse events occur [45].

1.3.5 Temporal Information

On one hand, some context-aware systems are reacting to specific information at a specific time without any notions of historic or temporal logic. On the other hand, AAL services need, in most of the case, a history of the contextual information in order to adapt services or recognize series of human activities, for instance, knowing how much time a day a user is using the oven or if the oven was started before detecting someone in the shower. Such information is the premise of activity recognition.

Temporal information is essential to support activity recognition and error detection. Especially, determining if activities are executed in parallel or sequentially may lead to diverse inferences. It is then required to keep a trace of the time a contextual information has been collected. For that purpose, Allen [109] proposed a framework to support the temporal reasoning using the interval logic. His work is one of the cornerstones of the activity recognition. Since the work of Allen, the W3C proposed a draft recommendation for a definition of an OWL ontology to specify the time and the temporal relation between concepts [110]. It provides a framework for the use of the temporal concepts in ontologies that describe context, such as the model described in the next section.

Other projects propose to use machine learning (ML) approaches to manage temporal relation and, for instance, classify series of events into activities and thus generate higher level of contextual information, either decision trees [101], dynamic time warping [111], support vector machine (SVM) [101, 107], Bayesian networks (BNs) [64, 93], specialized probabilistic models such as Markov models (MMs) [45, 83, 91] or sequence mining [64, 94]. In [112], the authors are using a hybrid approach by extracting frequent episodes of events with the Apriori algorithm and using an

1.3. CONTEXT INFORMATION AND CONTEXT AWARENESS IN AAL SYSTEMS

MM to model the transition between the user's activities.

1.3.6 Spatial Information

Spatial information includes the structure of environment itself (i.e., the topology) and the position of the objects or users in the space. Combined with other contextual information, the movement of specific objects monitored over time helps inferring the activities the user is performing [86, 113]. It is required then at some extent to describe the space and its topology and know the positions of the entities (i.e., objects or users) in a Euclidean space.

Geometrical systems are used to describe spatial information. In [114], an ontology model includes a referential system where each physical entity received a three-dimensional cardinal position and a time stamp related to the last position when a user or an object was located. In [115], the authors extend the ontology model of [114] to describe an environment's topology. They include zones delimited by walls, cabinets and doors. Zones are described by a list of 2D positions, forming 2D geometrical structures, and entities (objects or users) are placed into zones. Finally, the users' field of view is also represented to determine which entities the user may perceive. This spatial information, added to other contextual information, allows reasoning over service provision on the most adapted devices for a specific user.

Most of the works use descriptive representations to reason on space, either using ontologies [63, 116] among other knowledge representations [93].

1.3.7 Delimiting the Context

One of the problems that come up regularly in the literature about context is to delimit its spatial and temporal boundaries. The definition proposed by [56], as the capacity for a computing system to perceive contextual information, does not stand anymore for distributed systems and IoT. In fact, context boundaries are constantly pushed by aggregating information for different nodes such as smart phones, sensor networks, etc. The context boundaries, instead of being delimited by the capacities of perception, may be defined by the goals of services offered. For instance, the context of cooking assistance [81] may be restricted to the preparation of meals, such as the

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

culinary fence, the state of the meal in preparation and the state of the oven. However, in several systems that propose a framework for multiple services [64, 70], the context boundaries must then be extended until the upper one. But with web services, the boundaries need to be pushed even farther. Thus, the limits of context at the end must be ultimately specified by the developers and the different end users.

1.3.8 Heterogeneity of Data

The heterogeneity of the sensors that are producing data at different rhythms and in different formats raises the issue of context-aware standard. In one of the first context-aware system framework, the Context Toolkit [56], widgets are filtering and transforming data before sharing it to other services. In modern IoT sensor networks, such transformation can be performed directly in the nodes. However, in most AAL systems that implement context awareness, a certain level of context modelling is required to allow higher-level reasoning and inferences. In the next section, we are covering different approaches in modelling contextual information for AAL systems.

1.4 Approaches of Context Modelling in AAL Systems

As discussed in the preceding section, context is a complex but key aspect for AAL systems to provide adaptability to users' needs. This section focuses on studies that provide precise information on how authors approach context modelling and reasoning in their AAL systems. However, it is important to note that multiple studies in the literature do not explicit those concepts despite discussing context awareness [92] or support systems for AAL services [66, 83, 107, 108]. Hence, we could not include them inside our analysis. We describe several works done in the literature, focusing on their approaches of context modelling and reasoning. Approaches developed so far are either knowledge-based, a model is provided, holding semantical knowledge; or data-driven, data is the main source of reasoning; or sometimes both, what we will refer to as "hybrid approaches".

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

1.4.1 Knowledge-Based Approaches

Recent literature promotes logic-based and semantic models, where explicit description of domain knowledge and inference engines are used to derive implicit knowledge. Advantages of knowledge-based approaches include a shared understanding of data and their semantics, as well as reasoning mechanisms. Some of the recent works in this vein are summarized in the following.

Multiple works are dedicated to software architecture.

In 2010, [55] describes an architecture for IoT based on a multi-agent approach. The architecture handles low-level data stream of sensors and translates them into higher-level data, giving them a healthcare-related semantic, thanks to specialized ontologies and inference rules.

SAMURAI [116] is another architecture designed to tackle large-scale knowledge-based context. It relies on a semantic representation of the rooms and activities in OWL. Batch reasoning is performed using Apache Spark and simple RDF triples as rules. Complex event streams are handled by Esper and help provide higher-level interpretation of low-level events. Finally, GeoSPARQL's spatiotemporal reasoning data is used as an input for classification and clustering, opening the way to activity recognition.

The work in [79] describes a multi-agent robotic intelligence for user assistance in activities like moving objects. An event model is represented in an ontology when a SQL database stores agent's memory. Ontological reasoning is then performed to recognize the current situation, followed by the simulation of assistance in a virtual environment to ensure the feasibility of actions before doing them in the real world.

Finally, in 2018, [65] describes a cascading framework for healthcare support in hospitals and nursing homes. The framework rests on an ontology compiling medical domain and IoT knowledge to semantically annotate observations inside the environment. After filtering and aggregation, reasoning is performed on the observations locally and in the cloud using OWL 2 RL or DL, and the medical staff is prevented in case of emergency.

Medical staff can also benefit from recommendations to support their decisions especially using ontologies for contextual handling and rule-based inference.

In 2012, [72] proposes a tool to ease the coordination of professionals working

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

with chronically ill patients. An OWL-DL ontology of the chronic illness domain has been built considering 19 diseases, 2 syndromes and 5 social issue specificities and adequate interventions. A personalized ontology is then built according to the patient diagnoses and symptoms, and probabilities of illness and effective interventions are computed based on the ontological properties and relations.

Reference [71] is a recommendation expert system for anti-diabetic drug selection built on top of an ontology (medicine name, composition and associated information), and a diabetic patient tests ontology in OWL with Protégé. Medical guidelines were used as criteria for SWRL rules about drug selection, which were then converted to JESS for reasoning. Recommendations are inferred by applying the rules to the patient test data, resulting in a list of recommended drugs and their descriptions.

On the patients' side, multiple instances of AAL systems are described.

COOK [50, 81] is a cognitive orthosis designed to help people with head trauma injury during meal preparation. The orthosis relies on an OWL ontology holding concepts such as home space, devices, assistance and activities. Data gathered from the sensors is fed to a “Preventive Assistance System” following hierarchical task network-inspired scenarios to detect hazardous situations, to alert the user and the caregiver and to stop the stove in case of emergency.

Reference [51] presents E-care@Home, an adapted house for older adults with special needs that can offer domestic automation and health e-monitoring (anomaly detection and emergency) based on activity recognition. In E-care@Home, context raw data streams from various environmental and body sensors are collected and stored into a database that feeds an ontology of sensors belonging to an ontology network that also contains ontologies on events, situations, time intervals and the physical environment. Activity recognition is then performed by a set of logic rules built on top of ontologies and non-monotonic reasoning using answer set programming for stream reasoning.

Reference [85] proposes Dem@Home, an ambient intelligence system for clinical support of people living with dementia. Ambient and wearable sensor observations and application domain specifics are captured in an OWL2 ontology that is aligned on DUL and integrates OWL Time¹ to capture temporal context. OWL2

1. <https://www.w3.org/TR/owl-time/>

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

reasoning enables activity recognition, while SPARQL rules are used to determine non-pharmaceutical interventions to improve care and to extract clinical problems.

Reference [74] proposes a home automation system that supports personalization for elderly persons and their caregivers. They use an ontology for devices and digital personality representation. The ontology integrates OWL Time for temporal aspects. Rules are added to determine automatic actions to perform and to check autonomously whether the intended actions are performed correctly.

Moreover, AAL solutions often rely on activity or situation recognition.

In [87] where raw data from pressure, contact and ultrasonic sensors are described in CoSSN (Cognitive SSN), an ontology that supports semantic detection of three activities (dressing up, watching TV, taking shower) by the means of SPARQL rules and queries.

Reference [104] provides some strong insights on how they use an ontology combined with a reasoner to perform real-time activity recognition despite focusing on time-window manipulation. The OWL-DL ontology holds representations of activities of daily living, house and sensors. Using pellet and their described algorithm, they achieve real-time activity recognition with high accuracy.

Reference [88] presents an ontology-based activity and body posture recognition for older adults with cognitive and physical impairments. An ontology is used to store data from wearable sensors, objects used and actions performed by users. OWL reasoning with HermiT reasoner enables to derive users' activities (cooking, having meal, taking medicine, washing dishes, watching TV, wandering in lounge, toileting) and body posture (standing, sitting, walking).

Reference [63] proposes an ontology-based situation-aware assistance for cognitively impaired people in smart homes. OWL reasoning using SPARQL is used for situation recognition (e.g., sleeping, making coffee, cooking, drinking, watching TV, location, events) and user prompting.

Finally, for the recognition of complex kitchen and bathroom activities of ageing population in an AAL environment, [89] uses an ADL ontology enriched with rules to derive events from raw data of multiple sensors first and then activities from events.

Navigation and location are other topics discussed in the literature.

Reference [117] aims at minimizing the need in sensors by inferring the user's

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

location and intention from their control logs, i.e., how they interact with the system and not with the environment. To do so, an ontology is built describing the user, devices, basic services, locations, effects and the AAL system itself. Relations link the user with doors, rooms, devices, services and their effect. SWRL rules are then used to infer the movement of the user and its intention and suggest adequate device or service activation.

Reference [92] presents one of the very few outdoor services considered in this review which is the assistive navigation system based on augmented reality for people with MCI. The system generates navigation based on the user's cognitive context (orientation needs) and well-known places to supply spatial orientation and cognitive facilitation. The user's context is represented by fuzzy sets that enable to dynamically generate routes due to the use of fuzzy logic.

Finally, some works cannot be labelled behind the previous categories.

Recently, Converness, a conversational assistance system that analyses verbal and nonverbal observations and provides speech-based information about basic care (e.g., injury treatment) to older adults with cognitive impairments (mild cognitive impairment (MCI), dementia), was proposed in [75]. Converness makes use of OWL2 ontologies to model sensor data, user profile (e.g., medical data, preferences), non-verbal data (e.g. gestures, facial expression) and conversation themes and topics. OWL2 reasoning and SPIN/SHACL rules are then used for topic understanding and conversational awareness when defeasible reasoning (non-monotonic rules) is used for user-centred conflict resolution (context disambiguation).

Concerning the management of a smart building, a comfort-compliant energy saving system is proposed in [103]. This work uses an OWL ontology to represent the smart building concepts, environmental parameters and devices, while rulebased agents and defeasible logics are used to enforce energy-saving policies in the automatic management of the smart infrastructure.

The works presented here show the importance of the integration of semantics in AAL systems. In fact, semantics provides a better understanding of the meaning of data collected by IoT devices and favours human and machine readability and easy interpretability. For example, [71], E-care@Home [51], Converness [75] and COOK [50, 81] go beyond sensor raw data and provide high-level descriptions of en-

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

vironments, users' needs and profiles, activities and their preconditions aligned with changes captured in raw data to provide health or safety assistance to users with special needs. However, capturing semantics requires a good understanding of the domain and procedures, a good trade-off between the expressivity of the chosen knowledge representation formalism and efficiency of reasoning and ideally a good mean to describe and reason on temporal relations between data or activities as in [51, 74]. In some cases, inaccurate or missing sensor readings, the availability of huge volume of data and the need for prediction of future behaviours can be hardly manage with knowledge-based techniques : here come into play data-driven approaches.

1.4.2 Data-Driven Approaches

Data-driven approaches use statistical and ML techniques on context datasets. The best strengths of these models are their independence from precise human description of knowledge and their ability to handle noise, uncertainty or incomplete sensor data. They have been widely used for some service provision in AAL systems.

A lot of works focus on activity or posture recognition as a baseline.

Reference [105] takes a brain-inspired approach for human activity recognition. Starting from the sensor values, a network of "neuro-symbolic" network, similar to a neural network (NN), is trained with online-available dataset. Additional knowledge and reasoning variables from external sources are supported such as time or presence. The current activity is then deducted by inputting the current situation to the network.

SCAN [106] is a framework for activity recognition which relies on three layers : recognizing artefacts with which the user interacts, inferring the user's activity and representing the user's activity. First, acquired data is compared to a threshold to extract the interactions between the user and his artefacts. Then, activity inference is performed by matching the duration, number of beats and artefacts with hardcoded criteria.

Reference [101] proposes a generic feature engineering approach. From a variety of wearable sensors, robust features are selected to generate reliable classification models for activity recognition. The aim is to reduce the costs by facilitating execution of

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

algorithms on devices with limited resources and by using as few sensors as possible. In this study, SVM, random forest and extremely randomized trees (ERT) show better accuracy for all combinations of sensors among six classifiers.

Reference [107] presents novel methods and ideas to design automatic posture recognition systems using an RGB-D camera. Two supervised methods are introduced to learn and recognize human postures. The first method consists in training CNNs based on convolutional features extracted from 2D images to recognize human postures using transfer learning on RGB and depth images. The second method consists to model the posture using the body joint configuration in the 3D space and recognize posture through SVM classification of 3D skeleton-based features.

Reference [108] presents an activity recognition system based on skeleton data extracted from a depth camera that can be installed in an AAL environment. The system makes use of ML techniques to classify the actions that are described with a set of a few basic postures known as “key poses”. The training phase creates several models related to the number of clustered postures by means of a multiclass SVM, trained with sequential minimal optimization (SMO). The classification phase adopts the X-means algorithm to find the optimal number of clusters dynamically for activity recognition.

Going further, some works tackle prediction or behaviour trends that may arise.

Reference [64], with MavHome project, aims “to create a home that acts as an intelligent agent” detecting actions of its inhabitants, predicting the next action and acting accordingly to assist [94]. Interactions between inhabitants and devices are stored inside a Markov chain of events ; hence the next action is the action with the highest probability considering the current state and precedent known sequence of actions.

Reference [69] presents an AAL system that uses spatial and temporal context to recognize ADL and detect increasing or decreasing health conditions of elderly with diabetes and decreased mobility. Privacy-compliant low-resolution visual sensor data feeds a Hidden Markov Model (HMM) with k-nearest neighbours (k-NN) classifier for user’s location. Mobility patterns and sleep duration estimates serve as the backbone of ADL recognition and problem detection.

To detect future anomalous behaviours of elderly suffering from dementia, [118]

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

makes use of low-level wireless sensors (motion and door entry point) in an existing home, making it smart. The collected sensor observations are then represented either in time series or start time/duration parameters to enable an RNN to predict the future values of activities for each sensor and, then, the future behaviours of the resident.

Reference [78] designed a virtual butler which provides spatialized vocal interaction to the inhabitants. The state of all sensors within the home is stored inside a buffer and updated with new records to feed ML classification algorithm. Classification rules derived from a pre-trained multilayer perceptron neural network are used to predict whether a situation is normal or abnormal and to interact with the inhabitant accordingly.

Privacy is another important issue represented.

Reference [112] presents a pattern mining approach that does not necessarily involve highly intrusive sensors. Heterogenous sensor data are mined to detect frequent patterns, and activity recognition can then be deduced from the chain of events that is detected by the system.

Following this privacy trend, [84] proposes an intelligent risk detection and telecare assistant with a focus on privacy protection for long-term care of elderly or disabled people. The video-based system gives the opportunity to caregivers to assess the real risk and system interventions by visualizing the scene and the user at different levels of privacy including raw image, blur, silhouette or 3D avatar. The video stream is processed with Gaussian mixture model (GMM) and multi-cue background subtraction (MCBS) for object detection (e.g., faces, bodies) and situation recognition (events and activities).

Finally, some works deal with other concerns such as positioning or multioccupancy.

Since many AAL services are based on location of objects of interest, [90] proposes a position-based AAL framework that combines a device-free localization system based on radio tomographic imaging (RTI) and an ADL monitoring system together, for ageing in place. In the monitoring system, the position-based marks offer the emergent representation of daily activities and are used with a convolutional neural network (CNN) to accomplish the tasks of recognizing ADLs and detecting anomalies.

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

Reference [83] explores the problem of multi-occupant context modelling through their data traces disambiguation. First, an accessibility graph of the binary sensors network is built. Then, sensor data is aggregated into user traces and used to train MMs of multiple occupants. Parameters are obtained by following a conditional least squares method combined with a distance-based assumption.

These approaches are very efficient for pattern recognition and prediction problems where some models are trained on raw data collected from various IoT devices to recognize actions/behaviours and/or predict next actions/behaviours. For instance, SCAN [106, 107, 108, 112] uses various sensors to classify activities, while systems like MavHome [64, 118] extend this scope with prediction. When privacy is a key, some systems make use of non-intrusive sensors [69, 112], or they change the way data are handled and presented accordingly [84, 107, 108]. It should be noted that data-driven approaches presented in the described works are appropriate when semantics is not a key and that there is enough annotated data and good processing power available. Furthermore, when IoT devices are subject to changes, the need for training data enforces to re-train data to adapt to changes in devices and can be a drawback of these approaches. Concerning data-driven algorithms, regardless of the theoretical model used (ad hoc models or mature models including MM, NN, BN), they are usually not reusable as they do not offer abstract reasoning mechanisms based on semantics. That's why hybrid approaches were developed to benefit from the strength of both knowledge-based and data-driven approaches and to mitigate their shortcomings.

1.4.3 Hybrid Approaches

A third category, hybrid approaches, has emerged to combine both strengths of knowledge-based and data-driven models. The last decade is also prominent in AAL services implemented this way.

Hybrid-approaches also rely on basic services such as activity recognition.

Reference [111] presents a system that recognizes ADLs using a kinect RGB-D camera. First, dynamic time warping algorithm learns and recognizes sub-activities (e.g., reaching, opening) that are used in a second time by a FuzzyDL reasoner to recognize high-level activities (e.g., making cereal, taking medicine). Activities are

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

represented in a fuzzy ontology that includes the semantic interpretation of actions performed by users and handles vagueness and uncertainty.

Reference [93] proposes a hybrid approach based on computational narratives to interpret everyday activities. Various video and depth sources feed the author's qualitative spatial representation and reasoning (QSR) framework handling space, action and change representation, prediction or explanation. Activities are interpreted following Bayesian/Markov logic over the observation sequences.

Complete hybrid AAL systems are then built atop those basic services especially for medical purpose or user prompting.

In [80], pervasive healthcare monitoring is intended to offer a real-time interactive medical consultation, to predict risky situations and prompt the inhabitant in case of emergency. User's medical history and physiological and ambient data collected from various wearable and environmental sensors are represented in XML document. These data constitute the base for some case-based reasoning (CBR). A case-based reasoning approach is used where retrieval and adaptation are handled by hierarchical fuzzy rules. A k-NN function is then applied to determine the best solution.

Reference [45] proposes a context-aware decision-making under uncertainty for voice-based control of a smart home for people with reduced mobility, in emergency or in loss of autonomy. OWL2 ontologies are used to represent sensor and actuator raw data (e.g., microphones, infrared presence detectors, lights) at a low level and, at a reasoning level, concepts like activity, location and situations. The reasoning is performed in many ways : ontologies are enriched with SWRL rules for situation recognition (e.g., "main door open"), location is inferred using temporal dynamic networks for multisource fusion and spreading activation, and activity recognition and decision-making (e.g., "turn on the ceiling light") are based on ML.

iMessenger [73] is an activity monitoring and reminder delivery framework built on top of ontological modelling and context extraction. It utilizes an OWL ontology built in Protégé-OWL to describe activities as a series of events at specific locations over a period. Accelerometer data is translated into postures using SVM, and indoor location is determined using an RFID system. SWRL rules with temporal reasoning are used to provide feedback based on the consistency or inconsistency between the user's expected and observed behaviours.

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

Reference [77] presents a smart home system that can recognize 20 common ADL. The system predicts, reasons and interacts with the elderly through reminders and messages via a mobile phone and may also act on the environment. Data from environmental sensors, RFID readers and user profile are represented in a taxonomy. To take into account vagueness and uncertainty of data collecting from diverse sources, a rough set theory helps building activity models as rule-based classification problems. Assistive actions are derived with CBR, followed by a rule-based reasoning that fine-tune the decision for a case.

Reference [70] designed an architecture for AAL applied to the night-time wandering scenario. An OWL ontology is used to represent the user scenarios of daily living inside the physical environment. Various reasoning approaches such as ontological reasoning, fuzzy logic, BNs or rules are used to determine activities and assist the resident.

Another notable mention is CoCaMAAL, with which Forkan *et al.* [54, 91] aim to detect long-term behavioural change and predict abnormality in an AAL. CoCaMAAL relies on user traces about presence, vital signs, activities and life patterns to detect changes in the daily living habits or health conditions. An ontology stores information about persons, places, environment and devices, which is then translated into XML to train an HMM. Pushing the current context into this HMM allows the system to detect if an abnormal behaviour or long-term change is happening.

BDCaM [98] is an extension of CoCaMAAL dedicated for people with limited mobility, regarding situations of loss of autonomy and emergency. They propose a context-aware decision-making under uncertainty and based on big data. OWL2 ontologies are used to represent sensor and actuator raw data at a low level. Reasoning, based on concepts like activity, location and situations, is performed in various ways. Ontologies are enriched with SWRL rules when a specific situation is recognized (e.g., “main door open”). Location is inferred using temporal dynamic networks for multi-source fusion and spreading activation. Activity recognition and decision-making are based on ML.

Finally, optimal service delivery is discussed in [82] with a context-aware application that provides services according to a predefined preference of a user. The system collects raw sensor data into a database and uses an ontology to draw high-level

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

context. Based on context data here called service-triggering information, a k-NN classifier combined with an ontology-based context modelling infers the predefined service that will maximize user's satisfaction.

An overview of the presented hybrid works points out that the integration of knowledge-based and data-driven techniques could help build systems that are capable of semantic interpretation and logic reasoning while taking advantage on historicized and sometimes imprecise data collected over time to recognize habits and predict the future. In this way, systems like iMessenger [70, 73, 77, 111] make use of data-driven models to derive low-level context information in real time (opening, moving, reaching, etc.) that are then used by ontology-based rule reasoning mechanisms to derive upper-level context knowledge (activities, posture, location, etc.) and provide feedback adapted to situations. On the contrary, systems like [45, 82, 98] do the inverse by rather using ontologies for situation recognition and data-driven models for decision-making. No matter the way you go, hybrid systems can become cumbersome if not well managed and should be implemented carefully to not fall into unnecessary big, complicated and costly systems that function poorly.

1.4.4 Comparison Between Approaches

Tables 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, and 1.6 resume the links between services and reasoning approaches. The tables list all the reviewed articles, grouped according to the service they deliver. Each table is dispatched between data-driven, knowledge-driven and hybrid approach. The reference number identifies the article and the type of gathered data, and the context modelling and context reasoning are mentioned when available.

The first three tables present the basic services. Most of the basic services concern activity recognition (Table 1.1). No knowledge-driven approach is used for fall detection (Table 1.3). At the reverse, recommendation systems, which are dedicated to medical caregivers, are only based on knowledge-driven approaches (Table 1.6). Predictive services use basic services to predict next activities, behaviours or position. They are part of emergency services in order to prevent hazardous situations. Table 1.4 lists the articles that focus on predictive services even if other ones mention to

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

TABLEAU 1.1 – Basic service – activity recognition

Data	Context modeling	Context Reasoning	Ref.
<i>Data-driven approach</i>			
Camera image (low level included) and depth image	GMM, MCBS for object interaction/activity recognition		[84]
	HMM based on mobility patterns and sleep duration	k-NN	[69]
	SVM trained with SMO	X-means	[108]
Wearable sensor data	Classifier (logistic regression, random forest, ERT, SVM, k-NN, BN)		[101]
Any sensor data, time, presence	NN alike		[105]
Radio devices	CNN over RTI		[90]
Any sensor data	User interaction with objects as a series of beats	Custom rules	[106]
	Frequent pattern mining with presented algorithm and mapping function		[112]
<i>Knowledge-driven approach : Ontology</i>			
Any sensor data	Sensors, physical environment, activities	Pellet reasoner, time-window algorithm	[104]
		Rules	[89]
	User personality, devices, OWL time		[74]
	Physical environment, ADLs	ML, RDF batch reasoning, spatiotemporal reasoning (GeoSPARQL)	[116]

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

Tableau 1.1 (Suite) - Basic service – activity recognition

Data	Context modeling	Context Reasoning	Ref.
Pressure, contact, ultrasonic sensor data	(CoSSN) : Activities, observation, features of interest, cognitive stimulus	SPARQL rules	[87]
Environmental and body sensor data	Sensors, events, situations, time intervals, physical environment	Logic rules and non-monotonic reasoning (answer set programming)	[51]
	Sensors, events, time, dementia related (DUL)	OWL2 reasoning	[85]
<i>Hybrid approach</i>			
Environmental and body sensor data	XML : Medical data, wearable and ambient sensors	CBR : Fuzzy rules for retrieval and adaptation, k-NN selection	[80]
Accelerometer data, RFID tags	Ontology : Physical environment places linked to RFID, activities as events linked to posture and places	Kalman filters and SVM classification of activities. Activity consistency validation through SWRL and SQWRL rules	[73]
Camera image (low level included) and depth image	Fuzzy ontology : Activities as sequential execution of sub-activities	k-NN for sub-activity recognition on the posture. Fuzzy rules for high-level activity recognition	[110]
	CLP (QSR), Bayesian/Markov model		[93]
Any sensor data	Ontology : Physical environment, devices, appliances, activities	Ontological reasoning, fuzzy logic, BNs, rules	[70]

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

TABLEAU 1.2 – Basic service – posture recognition

Data	Context modelling	Context reasoning	Ref.
<i>Data-driven approach</i>			
Any sensor data	CNN from 2D images, transferred to RGB-D images; and SVM over skeleton model		[107]
<i>Knowledge-driven approach</i>			
Environment and body sensor data	Sensors, objects, events (interactions), actions performed	Activity recognition and body posture through OWL reasoning with HermiT	[88]
<i>Hybrid approach</i>			
Accelerometer data, RFID tags	Ontology : Physical environment (RFID), activities (events with posture and place)	Kalman filters and SVM classification of activities. Activity consistency validation through SWRL and SQWRL rules	[73]

TABLEAU 1.3 – Basic service–fall detection

Data	Context modelling	Context reasoning	Ref.
<i>Data-driven approach</i>			
Camera and depth	GMM, multi-cue background subtraction for object interaction/activity recognition		[84]
<i>Hybrid approach</i>			
Accelerometer data, RFID tags	Ontology : Physical environment (RFID), activities (events with posture and place)	Kalman filters and SVM classification of activities. Activity consistency validation through SWRL and SQWRL rules	[73]

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

TABLEAU 1.4 – Predictive services

Service	Data	Context modelling	Context reasoning	Ref.
<i>Data-driven approach</i>				
Next activity	Sequence of actions	Markov chain of events	Current state highest probability	[64, 94]
Future behaviours	Motion and door entry point	Time series, start time/duration parameters	Recurrent NN	[118]
<i>Knowledge-driven approach</i>				
Navigation	User well-known places, position (GPS)	Fuzzy sets	Fuzzy logic	[92]
Emergency prevention	Environmental and body sensor	Ontology : Sensors, events, situations, timeintervals, physical environment	Logic rules and non-monotonic reasoning (answer set programming)	[51]
	Environmental and body sensor, physiological and medical status, Bluetooth bracelet presence	Ontology : ACCIO-based (physical space, sensors, medical observations, nurses, patients, etc.) plus medical symptoms, diagnoses, faults	Semantic annotation at the reception, C-SPARQL/ custom rules	[65]
<i>Hybrid approach</i>				
Future behaviours	User traces about presence, physiological data, activities, life patterns	Ontology : Persons(profile, habits), physical space (places), devices	HMM classifier trained with XML representation of the ontology	[54, 91]
			Above plus supervised learning to improve user and general rules	[98]
Emergency prevention	Environmental and body sensor data	XML : Medical data, wearable and ambient sensors	CBR : Fuzzy rules for case retrieval and adaptation, k-NN for selection	[80]

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

TABLEAU 1.5 – Services for inhabitants

Data	Context modelling	Context reasoning	Ref.
<i>Data-driven approach</i>			
Binary sensor data	Markov chain with CLS and presented assumption		[83]
Any sensor data	Multilayer perceptron neural network, classification algorithms		[78]
User traces	Markov chain of user traces and interactions with the system		[64, 94]
<i>Knowledge-driven approach</i>			
Any sensor data, user profile, service requests	Physical environment, sensors, user profile	Fuzzy rules	[115]
User control logs	User, devices and their effects, basic services, locations, AAL system	Adequate device/service activation through SWRL rules	[117]
Low-level sensor data stream	Patient physiological metrics, physical environment actions, sensor events	Inferring healthcare-related high-level data through inference rules	[55]
Sensor data, interaction context	Meta-concepts, events, queries and facts, scenarios or knowledge. SQL database for agent memory	Situation recognition and assistance through ontological reasoning and virtual reality simulation	[79]
Sensor data as events	User personality, devices, time (OWL time)	Rules	[74]
Wireless sensor, actuator and smart meter data	Smart building, environment parameters and devices	Rules, defeasible logic	[103]

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

Tableau 1.5 (Suite) - Services for inhabitants

Data	Context modelling	Context reasoning	Ref.
Any sensor data	Seven ontologies : (1) sensors, actuators, medical devices, appliances ; (2) actions, activities ; (3) physical space ; (4) actors ; (5) medical information ; (6) services/applications ; (7) time	SPARQL rules	[63]
Speech	Ontology : Sensor data, medical data, user preferences, nonverbal data (gestures, face), conversation themes and topics	SPIN/SHACL rules, non-monotonic rules for context disambiguation	[75]
Environmental kitchen sensor data		Ontological reasoning over hierarchical task network-inspired scenarios	[50, 81]
<i>Hybrid approach</i>			
Speech, infrared presence detectors, lights	Ontology : Sensors (microphone, infrared presence detectors, lights), activities, physical environment places, situations	SWRL rules for situation recognition, temporal dynamic networks for location inference, ML activity recognition and decision-making	[45, 98]
Environmental sensors data, RFID readers, body sensors, camera image	Contextual labels : User profile (name, sex, age, preferences), tasks, social situation, temporality, environment	SPARQL rules, CBR	[77]

1.4. APPROACHES OF CONTEXT MODELLING IN AAL SYSTEMS

Tableau 1.5 (Suite) - Services for inhabitants

Data	Context modelling	Context reasoning	Ref.
Any sensor data, user preferences	Ontology : Person and relations, time frames, locations, activities	k-NN to select the service that will maximize user's satisfaction	[82]
Environment and body sensor data	XML : Medical data, wearable and ambient sensors	CBR : Fuzzy rules for case retrieval and adaptation, k-NN for selection	[80]
Any sensor data	Ontology : Physical environment, devices, appliances, activities	Ontological reasoning, fuzzy logic, Bayesian networks, rules	[70]
Accelerometer data (smartphone), RFID tags	Ontology : Physical environment places linked to RFID, activities as events linked to posture and places	Kalman filters and SVM	[73]

TABLEAU 1.6 – Services for caregivers

Data	Context modelling	Context reasoning	Ref.
<i>Knowlede-driven approach : Ontology</i>			
Patient tests (discrete physiological data)	Anti-diabetic drugs (medicine, composition, contraindication, HbA1c%), patient tests	SWRL rules, JESS reasoning	[71]
	Chronic illness signs, symptoms, interventions, assessments, syndromes. Tailored to the patient	Inference/counting properties	[72]
Any sensor data	Sensors, events, time, dementia related (DUL)	Activity recognition with OWL2reasoning, non-pharmaceutical interventions through SPARQL rules	[85]

1.5. DISCUSSION

make prediction. Most AAL systems for inhabitants combine various services offering ambient assistance as well as alert in case of emergency. Home automation services are also included in ambient assistance when the AAL service modifies the physical environment to offer a comfortable ambiance personalized according to time of the day and activities. Table 1.5 resumes all the services for inhabitants. Among the services for caregivers, the articles reviewed refer on services to formal caregivers (Table 1.6). They concern most often medical services.

1.5 Discussion

The last decade works on context-aware AAL have been extensively presented to derive a trend among context modelling and reasoning. Some findings from previous reviews are still accurate [60, 119]. Key-value [54] and markup language like XML [80] are still used to store context data for data-driven reasoning. However, other approaches like key-value, markup and object-oriented modelling, which have been widely used 10 years ago to capture domain knowledge, tend to disappear in knowledge-based systems to be replaced by ontologies.

In the following, we explore what influences the choice of context modelling and reasoning. Starting with the context data, specifically its nature and the sensors used to collect data, we then show how some services induce the type of modelling.

Considering the recent literature, when it comes to choose convenient context modelling and reasoning approach for service implementation, some other issues have been raised up beyond the service itself : nature of data and types of sensors.

1.5.1 Nature of Data

Nature of data is important for decision-making. In fact, inaccurate data lead to poor decisions and then to irrelevant services. Sometimes it happens that sensors stop working or worse give non-sense data. These device failures generate uncertain or incomplete data. In addition, inhabitants themselves can be source of uncertainty. For instance, they may leave home for a long time to go on holidays or to hospital. If they forgot to turn off the AAL system, data are still collected leading to errors

1.5. DISCUSSION

in decision. At the reverse, inhabitants who usually live alone may invite guests who introduce confusion in the data collected. To deal with this uncertainty and vagueness in data, some context models include fuzzy sets [92] and fuzzy ontologies [120], while reasoning is performed with fuzzy logics [92], fuzzy rules [80, 91], BNs [70, 93] and Markov logics [45, 93, 94].

1.5.2 Visual Sensors

Either low-resolution visual sensors [69] or high-resolution RGB-D cameras [107, 111] require computer vision algorithms for data-driven analysis and exploitation. In this way, k-NN [69, 111], GMM [84], MM [69, 93], SVM [73, 107, 108], NN [105] , dynamic time warping [110] and CBR [77, 80] are used to classify user activities, body postures and falls in AAL systems.

1.5.3 Biosensors

The wide adoption of wearable biosensors among people leads to increase the amount of collected data and the number of advanced pervasive healthcare systems. It was expected that this increase of digital data would promote data-driven approaches for health monitoring. However, ontologies are the most used context model, combined with rule reasoning (either classic, fuzzy or non-monotonic) for prompt and alert propagation, emergency and recommendations in health monitoring systems [51, 55, 65, 71, 72, 77]. These systems can turn hybrid when data-driven reasoning is added to achieve more accurate results or to extend the services with anomaly detection and the prediction of future behaviours. It is the case with k-NN [80], MM [54, 91] or supervised learning [98] which is added to achieve more accurate results or to extend the services with anomaly detection and the prediction of future behaviours.

1.5.4 Activity, Body Posture and Fall Recognition Services

As previously stated, data-driven classification models are the most used when the environment is equipped with visual sensors. However, visual sensors are not always appropriate due to the high cost of high-resolution cameras, the need for

1.5. DISCUSSION

a performing machine processing and privacy issues. To avoid such inconvenience, several AAL systems make use of other types of sensors, more affordable and privacy compliant. Wearable sensors and non-visual ambient sensors include, among others, accelerometers, passive infrared, contact and mobile phones. Therefore, data-driven models are used only occasionally, such as SVM [101] and CNN [90]. The reasoning approach is more likely knowledge based. Ontologies with rule reasoning are largely prominent [51, 74, 85, 87, 89, 104, 116]. They are sometimes coupled with SVM [73] and BN [70].

1.5.5 Predictive Services

Predictive services are most often based on historical context data. The significant amount of available data collected from multiple sensors collected over time suggests the prevalence of data-driven models. In fact, the review shows that MM has been used for predicting the next activity [64, 94] and inhabitants' future behaviours [91, 98]. NN also appears to be a useful model to improve reasoning on temporal for sequential or parallel activities. NN is also used to predict future anomalous behaviours [118]. The prediction of future health state and prevention of health emergency rely most often on physiological data that are gathered by biosensors. These predictions are widely handled by ontologies and rule reasoning [51, 65]. They can be extended with data-driven reasoning to efficiently take advantage on historical data like k-NN to refine CBR [80].

1.5.6 Temporal Reasoning

Managing time-stamped data and representing temporal relationships are essential in AAL systems, whether to detect or predict activity, body posture or fall; to offer ambient assistance, home automation and navigation services; or in case of emergency. The most obvious finding of this review is the wide use of ontologies to implement various types of AAL services. Decision-making is then provided with OWL or SPARQL rules. This is a bit surprising while weaknesses of ontologies have been widely reported, especially regarding the difficulty to deal with temporal data [121, 122]. On the opposite, the efficiency of MM and NN has been established [118, 123]. This

1.6. CONCLUSION

preponderant use of ontologies can be explained by many efforts that have been done to overcome this weakness. For instance, the development of Time Ontology (OWL Time) as a W3C recommendation helps describing temporal properties of resources in ontologies. OWL Time is used in some of the reviewed works [63, 74, 85]. In the same vein, ontologies are also coupled with data-driven models to enhance time management [82, 91, 111, 116].

1.5.7 Services for Inhabitants

Services for inhabitants provide direct assistance, either for comfort, for daily task execution or in case of emergency. The review shows that a pure data-driven approach like in [78] is rare. Most of the time, a knowledge-based approach, such as an ontology, represents information, and rules are triggered for decision-making, such as SWRL and SPARQL rules. SPIN, fuzzy rules and defeasible rules often appear to derive adapted and personalized services to the user or to give alert in case of emergency. Hybrid approaches are also common for the provision of services to inhabitants. In fact, ontological reasoning is enhanced by associating data-driven approaches like BN [70], Markov logics [45] and k-NN [82] to ontologies.

This intensive use of ontologies to describe services for inhabitants can be explained by the fact that these services rely on the knowledge the system has on environment and the inhabitant. It means to be able to describe the home and the installed devices, including those for user-home communication. It also implies to be able to specify the capacities, the deficits and the preferences of inhabitants. In addition, the structure and the shareable nature of ontologies favour their integration with other models like data-driven ones.

1.6 Conclusion

Many context and reasoning models have been proposed in the last decade to capture context data and extract relevant knowledge for decision-making in ever-changing environments. AAL systems, which make use intensively of IoT devices and algorithms, aim to offer comfort, safety, assistance and monitoring. In this review

1.6. CONCLUSION

of literature, we have adopted two guidelines, first to review more specifically the context-aware AAL systems dedicated for people with specific needs and second to present the review from a service-oriented perspective. Our hypothesis was that the nature of services and the types of collected data impact the choice of modelling and reasoning on context.

To this end, several AAL systems of different types developed in the last decade have been investigated. We classify them in three groups : basic services, which are usually prerequisite for more elaborated ones, services usually provided to improving the lifestyle of inhabitants and the services that enable caregivers to monitor inhabitant's actions in the AAL environment. We then clarify context awareness terminologies and the data mainly gathered in AAL. An extensive and comprehensive review of selected works has been carried out to derive technical development trends in terms of context modelling and reasoning for AAL service provision. To resume the reasoning approaches, it is worth pointing out they are separated into two broad schools of thought : knowledge-driven approaches where ontologies enriched by logical rules are preponderant and data-driven approaches where supervised and unsupervised classification techniques among others are prevailing. A third approach aims to benefit from the strengths of the two previous ones by combining them into a hybrid approach.

Some trends in choosing context modelling have emerged from this review. First, the types of sensors influence data modelling and reasoning. Numerous digital data collected by cameras imply the use of data-driven models for activity, body posture and fall classification. When other ambient sensors are used, ontologies are favoured for those services and sometimes are combined with data-driven models. Biosensors used in health monitoring produce data more often handled in ontologies or hybrid systems. This approach is completed by various data-driven models to deliver more accurately prompts, alerts and recommendations. Whatever the delivered service, uncertainty and vagueness coming from data force to complete the initial approaches. Fuzzy sets, fuzzy ontologies and fuzzy rules are added in knowledge-based approach ; BN and MM are widely used in data-driven approaches.

No trend is emerging from services to caregivers. However, regarding the implementation of services to inhabitants, research efforts are converging towards know-

1.6. CONCLUSION

ledge representation in ontologies and rule reasoning. Data-driven reasoning completes occasionally this approach. When it comes to predict the future, data-driven models like MM and NN take advantage on historical data collected over time to provide relevant insights on the events more likely to occur.

In the future, it is expected that the IoT market diversify its products. AAL systems tend also to become more complex, offering more than one service. It appears then that in the future AAL system will mix different approaches, by using the most convenient one to implement a specific service or group of services. The challenge will be in an optimal combination, to take advantage of them instead of getting lost in a myriad of models. We do not pretend to have covered all the services available in AAL systems, even less to predict the next years. We neither intend to make a critical review of the works presented. However, this work has tried to give an insight of the most suitable modelling and reasoning technique to select for a given AAL service.

Chapitre 2

Assistance cognitive et intelligence ambiante

2.1. DÉFICITS COGNITIFS ET ASSISTANCE

Ce chapitre porte sur des aspects de l’assistance cognitive en science de la réadaptation et son automatisation. On s’intéresse à l’utilisation de la technologie pour tirer parti de l’intelligence ambiante afin d’automatiser l’assistance dans un environnement familial. Il s’agit ici d’explorer et comprendre certains principes de réadaptation et des interventions utilisés dans la pratique clinique, afin qu’ils servent de base à l’automatisation de l’assistance cognitive aux personnes ayant un TCC dans une maison connectée. Nous complétons aussi la revue de littérature faite dans le Chapitre 1 qui portait sur la modélisation contextuelle par une analyse critique de l’assistance cognitive telle que fournie par quelques systèmes existants. Cela nous permet d’identifier leurs faiblesses et positionner nos travaux comme contribution dans le domaine. De plus, ce complément de l’état de l’art permet d’identifier des modèles complémentaires aux ontologies pour la modélisation de l’assistance cognitive aux personnes ayant un TCC, sous forme d’interaction système-résident dans une maison connectée.

Le chapitre se présente comme suit. Il commence par présenter quelques déficits cognitifs et des besoins d’assistance des personnes ayant un TCC, ainsi que l’assistance verbale qui apparaît comme une façon d’opérationnaliser les interventions cognitives utilisées pour les aider. La deuxième section présente l’automatisation de l’assistance cognitive dans des environnements d’intelligence ambiante. Une revue critique des systèmes existants qui tirent parti de la sensibilité au contexte pour fournir des services d’assistance personnalisés est présentée dans la troisième et dernière section.

2.1 Déficits cognitifs et assistance

2.1.1 Déficits cognitifs et incidence sur les activités de la vie quotidienne

Les déficits cognitifs innés ou acquis (TCC, vieillissement, etc.) augmentent les défis dans l’accomplissement des tâches quotidiennes complexes ou AIVQ chez les personnes qui en sont sujettes. Les séquelles cognitives qui peuvent être observées chez les personnes ayant subi un TCC sont de nature variée, parmi lesquelles on trouve [124, 125, 126, 127] :

- **Lenteur dans le traitement de l’information.** Il s’agit d’une réduction de

2.1. DÉFICITS COGNITIFS ET ASSISTANCE

- la vitesse de réflexion par rapport à ce que la tâche à accomplir demande.
- **Faible attention et concentration.** La personne a tendance à être distraite par ce qui se passe autour d'elle au lieu de se concentrer sur sa tâche.
 - **Difficultés de langage et de communication.** La fluidité verbale est affectée, la personne a de la difficulté à trouver ses mots et à comprendre les messages des interlocuteurs.
 - **Défaillance de la mémoire et de l'apprentissage.** À la suite d'un TCC, la personne peut avoir des pertes de mémoire. Des problèmes majeurs peuvent aussi être observés dans l'apprentissage de nouvelles informations et leur intégration avec les connaissances déjà acquises.
 - **Défaillance des fonctions exécutives.** Il s'agit notamment de la capacité à planifier, à fixer des objectifs, à organiser, à lancer et à exécuter un plan pour atteindre un objectif souhaité. Cela comprend aussi des compétences en matière d'évaluation et de suivi des performances pendant l'accomplissement d'une tâche.

Ces déficits cognitifs entraînent une dépendance fonctionnelle qui influence la performance dans l'accomplissement des AIVQ et entraîne un besoin d'assistance. Les déficits cognitifs cités plus tôt affecteront différentes personnes de différentes manières. En effet, les déficits cognitifs dus au TCC ne se présentent pas de la même façon chez tout le monde, cela dépend du type, de la sévérité, de la nature des lésions cérébrales, et même de la durée du traumatisme [20, 124, 125]. En fonction donc du traumatisme, les personnes n'auront pas le même degré d'autonomie, elles n'auront pas le même profil et par conséquent elles n'auront pas le même besoin d'assistance. De plus, le niveau de fonctionnement d'un client est déterminé non seulement par les séquelles du TCC au niveau de son corps, mais aussi par son environnement qui peut affecter son niveau global d'invalidité [20]. C'est pourquoi le rôle de l'ergothérapie qui est axée sur le client et ses performances est fondamental dans le processus de réadaptation cognitive. Parmi les rôles de l'ergothérapeute dans un cas de TCC, on peut noter l'évaluation de la personne pour mesurer son indépendance, et la mise sur pied des interventions adaptées à son contexte pour la soutenir dans ses activités quotidiennes et soutenir également ses proches aidants [28, 35, 128]. C'est ainsi qu'on note plusieurs outils d'évaluation ou de mesure du niveau d'indépendance dans l'ac-

2.1. DÉFICITS COGNITIFS ET ASSISTANCE

complissement des activités quotidiennes. Par exemple, le « Assessment of Motor and Process Skills (AMPS) » est un test largement utilisé en ergothérapie pour mesurer le besoin d'assistance des clients [129]. Aussi, un outil d'évaluation comme le Profil des Activités Instrumentales de la vie quotidienne (PAI) [130, 131, 132] propose aux ergothérapeutes une série de mesures de l'indépendance des personnes ayant un TCC afin de faciliter la compréhension de leur problématique. Ces outils d'évaluation du niveau d'indépendance fonctionnelle sont développés dans le domaine de la réadaptation cognitive pour aider les professionnels de la santé à planifier les soins offerts aux personnes ayant des déficits cognitifs et à agir de concert avec leurs proches aidants dans la prestation de ces soins [133]. L'évaluation s'appuie sur des interactions entre l'évaluateur et la personne, permettant d'explorer les besoins et capacités de ce dernier pour identifier les interventions qui pourraient améliorer ses performances lors de l'accomplissement de ses activités quotidiennes [134]. Ces interventions peuvent aussi être mises sur pied pour aider les proches aidants qui eux aussi ont besoin de soutien du fait de la charge que constitue l'assistance à une personne ayant des déficits cognitifs dus au TCC [35]. Nous nous intéressons davantage aux interventions cognitives adressées à la personne ayant un TCC.

2.1.2 Interventions cognitives

Les interventions cognitives sont le socle de l'assistance dans le cadre de la réadaptation cognitive. Cette dernière est définie comme un service systématique d'activités thérapeutiques orientées vers le fonctionnement de la personne, fondées sur l'évaluation et la compréhension des déficits cérébraux et comportementaux de cette dernière [23]. Il s'agit de moyens d'intervention qui contribuent à soutenir des fonctions ou déficits cognitifs spécifiques tels que ceux présentés dans la section précédente. Quelques interventions cognitives sont décrites dans le Tableau 2.1 : régulation de la charge mentale (Pacing) [48, 128], orientation [48], journal de bord [48], liste de contrôle [135], gestion du temps [136] et entraînement à la gestion des objectifs [137, 138]. Les interventions cognitives peuvent être données selon un **plan d'intervention** qui décrit la structure des interventions à exécuter pour assister une personne donnée dans certaines activités pour atteindre un but spécifique du point de vue de sa réadapta-

2.1. DÉFICITS COGNITIFS ET ASSISTANCE

TABLEAU 2.1 – Quelques interventions cognitives dans le domaine de la réadaptation

Intervention cognitive	Problèmes cibles	Description
Rappel	Mémoire	Aide la personne à se rappeler des choses oubliées (tâches ou actions à effectuer, etc.)
Régulation de la charge mentale (Pacing)	Attention ; Fatigue.	Aide la personne à réguler la réalisation de l'activité en fonction de son rythme et de ses capacités attentionnelles (Ex : Déterminer le temps à allouer aux activités, faire des pauses, distribuer ses activités quotidiennes de façon réaliste)
Orientation	Attention ; Distraction.	Encourage la personne à superviser ses activités consciemment (Ex : Entraîner le client à se poser des questions à des moments précis)
Journal de bord	Distraction ; Difficulté de passer d'une tâche à l'autre.	Encourage le client à prendre des notes (écrites ou vocales) lorsqu'une idée concernant une autre activité lui vient en tête, sans perdre le focus sur la tâche en cours.
Liste de contrôle	Mémoire	Consiste à présenter une liste d'éléments à vérifier en cours de la réalisation d'une tâche. L'introduction d'une liste de vérification diminue la quantité d'indices et incrémente le nombre de tâches finalisées correctement.
Gestion du temps	Lenteur dans le traitement de l'information.	Permettre aux personnes de compenser leur lenteur cognitive
Entraînement à la gestion des objectifs	Dysfonctionnement exécutif (impulsivité, actions non dirigées vers le but, etc.)	Enseignement, pratique, structure narrative et pratique de prise de conscience. Le GMT comporte six étapes : arrêter, définir la tâche principale, lister les étapes, apprendre les étapes, exécuter la tâche, vérifier les résultats.

2.1. DÉFICITS COGNITIFS ET ASSISTANCE

tion. Il s'agit d'un plan établi après une évaluation clinique de la personne ayant des déficits cognitifs afin de personnaliser l'assistance. Il contient entre autres les activités cibles, les objectifs à atteindre, les interventions cognitives et les modalités de leur application (voir Tableau 2.2).

TABLEAU 2.2 – Extrait d'un plan d'intervention ergothérapique

BUT	
Améliorer la participation sociale de Monsieur XXX dans ses activités à la maison et favoriser sa réintégration socioprofessionnelle.	
OBJECTIFS SPÉCIFIQUES	MOYENS ET MODALITÉS D'INTERVENTION SPÉCIFIQUES À CET OBJECTIF
1. Monsieur préparera deux fois/sem. un repas complet de façon autonome dans un délai raisonnable, d'ici 2 mois.	<p>Utilisation d'un Timer pour la cuisson (mettre le Timer plusieurs fois lors de la cuisson pour amener monsieur à évaluer son but et si celui-ci est atteint).</p> <p>Recommandation de faire les recettes plus compliquées le matin (souvent moins de fatigue)</p> <p>Utilisation d'une liste de contrôle pour favoriser le fait de suivre une séquence (travailler avec monsieur la conception de la liste de contrôle en fonction de la recette)</p> <p>Modification de l'environnement (diminution des distractions)</p>
2.

Les modèles développés dans notre travail ne permettent pas de mettre en œuvre toutes les interventions cognitives présentées ici. Nous allons approfondir celles pouvant être mises en œuvre par l'assistance verbale que nous décrivons dans la section suivante.

2.1. DÉFICITS COGNITIFS ET ASSISTANCE

2.1.3 Assistance verbale en réadaptation cognitive

L'un des objectifs de la réadaptation cognitive auprès d'une personne ayant un TCC est de « *renforcer la capacité de la personne à traiter et interpréter l'information et d'améliorer sa capacité à réaliser des fonctions mentales* » [139]. Il s'agit non seulement de renforcer, consolider ou restaurer les capacités altérées, mais aussi d'enseigner des moyens de contourner ou de compenser la fonction altérée. Ceci peut être fait par l'assistance verbale, décrite comme des interactions (par exemple, des questions, des éléments d'information fournis, des encouragements) visant à soutenir la réflexion de la personne et à compenser ses limitations cognitives [33]. Il s'agit d'un échange entre l'aidant et le client, dans lequel le premier envoie des indications verbales qui sont censées induire chez le second un comportement approprié en guise de réponse. Compte tenu des problèmes engendrés par les déficits cognitifs chez les personnes TCC, et particulièrement la difficulté qui existe dans la communication avec cette clientèle telle qu'explorée par Sim *et al.* [38], l'assistance verbale est donnée en s'appuyant sur des principes de réadaptation cognitive. Certains de ces principes ont été proposés pour l'implémentation des mécanismes de réadaptation efficaces, spécifiquement pour des personnes rencontrant des difficultés cognitives, comportementales, émotionnelles et psychosociales après un TCC (liste non exhaustive) [48] :

- La réadaptation cognitive s'appuie sur un diagnostic médical et neuropsychologique, mais elle est basée sur une formulation en constante évolution des besoins individuels du client, de ses problèmes et de ses forces d'un point de vue physique, cognitif, émotionnel et social.
- La réadaptation cognitive met l'accent sur la collaboration et la participation active de la personne.
- La réadaptation cognitive est axée sur les objectifs et, bien que centrée sur les problèmes, elle s'appuie sur les points forts de la personne.
- La réadaptation cognitive est principalement axée sur l'éducation, en mettant l'accent sur l'autonomisation, la maîtrise de soi et l'autosuffisance.
- Les objectifs de la réadaptation cognitive peuvent inclure l'amélioration des compétences cognitives et comportementales, et l'aide au client pour comprendre et gérer ses réactions émotionnelles aux changements de son fonctionnement.

2.1. DÉFICITS COGNITIFS ET ASSISTANCE

- La réadaptation cognitive aide les clients à mieux comprendre leurs forces et leurs limites, et à s'adapter aux changements de fonctionnement et de situation liés à une blessure.

Ces principes mettent en avant les *besoins du client*, sa *participation active*, ses *forces*, son *autonomisation* et *l'amélioration de ses compétences* entre autres. L'état de l'art présenté par Barman *et al.* [139] sur la réadaptation cognitive des personnes ayant un TCC s'aligne dans cette direction en notant qu'un principe fondamental en réadaptation cognitive est de redonner le pouvoir à la personne en renforçant un ou plusieurs aspects de ses compétences, connaissances, et/ou comportements, pour la rendre apte à agir par elle-même au meilleur de ses capacités.

La mise en œuvre de certains de ces principes de réadaptation dans l'administration de l'assistance verbale a fait émerger des pratiques qui se sont révélées efficaces dans l'assistance aux personnes ayant un TCC. On peut parmi eux mentionner l'identification des signaux d'alerte, la gradation de l'assistance et les délais de réflexion.

Les signaux d'alerte

Des déficits cognitifs pouvant être observés chez une personne à la suite d'un TCC ont été présentés précédemment. L'une des raisons d'être de l'assistance verbale est de soutenir la personne lorsque ces déficits entravent son évolution dans ses tâches. Dans le processus d'assistance, il faut que la personne aidante puisse identifier les moments où les difficultés se présentent. Ainsi, pour qu'une assistance soit appropriée, elle doit être fournie au bon moment, lorsque le client en a besoin [39]. Les signaux d'alerte sont des éléments induits par une nécessité d'assistance. Les situations où il y a besoin d'assistance sont par exemple, « la présence de problèmes de sécurité et/ou émotionnels », « la difficulté à progresser dans la tâche », « une demande d'aide », « les actions hors tâche », « sauter des étapes importantes de la tâche » [140, 141].

Les signaux d'alerte rejoignent les principes de réadaptation axés sur les besoins du client, sa participation active et ses forces, car il faut le laisser avancer par lui-même dans sa tâche tant qu'il est capable de le faire, et intervenir uniquement lorsque des difficultés surviennent.

2.1. DÉFICITS COGNITIFS ET ASSISTANCE

La gradation de l'assistance

L'utilisation d'une suite graduelle de consignes s'est révélée efficace dans l'assistance aux personnes atteintes de déficits cognitifs. Elle consiste à commencer le processus d'assistance avec des indications peu informatives et à passer progressivement aux indications plus directes et explicites si la personne ne réagit pas de manière adéquate [32, 33, 130, 141, 142, 143].

Greber *et al* [143] ont utilisé cette stratégie pour faciliter l'acquisition de compétences et l'achèvement des activités chez des enfants ayant des troubles d'apprentissage. Dans cette étude, les auteurs ont commencé par donner des indices moins informatifs (implicites) pour ne pas passer à un niveau de sollicitation plus explicite que si l'élève n'avait pas réussi à s'engager dans la tâche. En théorie de réadaptation cognitive, cela s'appelle **gradation d'indices** [32, 143] ou **gradation de l'assistance** [43], qui permet à un système d'assistance, tout en restant efficace et pertinent, de ne pas entraver l'indépendance de la personne. La gradation préconise l'émission de messages de type guidage selon la nature cognitive du problème, en commençant par ceux qui donnent peu d'indices, suivis de ceux qui donnent des indices de plus en plus précis, afin d'encourager plus d'implication de la part du client. Elle a aussi été utilisée dans Archipel [144] et COOK [49, 81], des assistants culinaires pour cuisinières connectées, qui aident des personnes atteintes de déficits cognitifs dans la préparation de repas. De même, il a été montré que les ergothérapeutes peuvent faciliter la formulation d'objectifs liés à une activité et l'atteinte de résultats chez les personnes présentant des déficits cognitifs dus au TCC en utilisant plusieurs messages d'assistance verbale bien ajustés et de tonalités variables [33]. Ce résultat a été atteint en suivant les directives d'administration du *Profil des Activités Instrumentales de la vie quotidienne* [130, 131, 132], qui offre un cadre encourageant l'apport d'un minimum d'aide, uniquement lorsque nécessaire, pour permettre aux personnes d'effectuer les tâches au maximum de leur potentiel. Les indications sont données progressivement au fil du temps, en commençant par celles contenant des informations implicites et en progressant vers celles contenant des informations plus explicites en cas d'échec de l'assistance. Pour permettre de grader l'assistance, Le Dorze *et al.* [33] ont identifié et défini les types d'assistance verbale suivants :

- Encourager ou stimuler la réflexion. Pour encourager le client à réfléchir à une

2.1. DÉFICITS COGNITIFS ET ASSISTANCE

- solution, c'est-à-dire à planifier la tâche, puisqu'il semble être en difficulté pour initier la réflexion (exemple : *Qu'est-ce que vous pourriez faire maintenant ?*).
- Remettre en question. Pour souligner une erreur sans la mentionner, afin d'amener une révision de la part de la personne (exemple : *Pensez-vous que cette quantité est suffisante ?*).
 - Inviter à l'action. Pour pousser la personne à passer de la planification à l'exécution de la tâche (exemple : *Vous n'avez aucune idée ?*).
 - Raviver. Pour relancer l'action ou la réflexion lorsqu'elle semble s'être arrêtée sans être complète (exemple : *Et si vous vouliez avoir les informations sans avoir à vous rendre sur place ?*).
 - Donner un indice. Pour fournir une information complémentaire directive et explicite liée à la tâche (exemple : *Vous pourriez appeler le 411 pour avoir le bon numéro de téléphone*).
 - Echafauder. Pour amener le client à poursuivre la réalisation de la tâche en se reposant sur un élément antérieurement formulé ou réalisé par la personne (exemple : *Plus tôt vous avez trouvé deux idées*).

Ces types d'assistance peuvent être fournis selon la **méthode de l'entonnoir** [145] qui définit une échelle de gradation suivant trois niveaux hiérarchiques, allant de l'assistance la plus générale à la plus spécifique, comme le montre la pyramide de gradation de la Figure 2.1, dans laquelle on fournit plus d'information à mesure que l'assistance évolue dans le temps.

- **Réflexion / doute.** Une assistance verbale de nature très générale visant à structurer la pensée ou aider la personne à comprendre le problème auquel elle est confrontée.
- **Piste de solution.** Une assistance verbale plus spécifique visant à aider la personne à trouver elle-même une solution au problème.
- **Élément de réponse / réponse.** Une assistance verbale très spécifique qui contient des éléments de la solution au problème ou qui indique clairement à la résolution le problème.

La gradation de l'assistance rejoint les principes de réadaptation axés sur la participation active du client, ses forces et son autonomisation, car ne pas donner directement toute l'information spécifique encourage la personne à faire des inférences lui permet-

2.1. DÉFICITS COGNITIFS ET ASSISTANCE

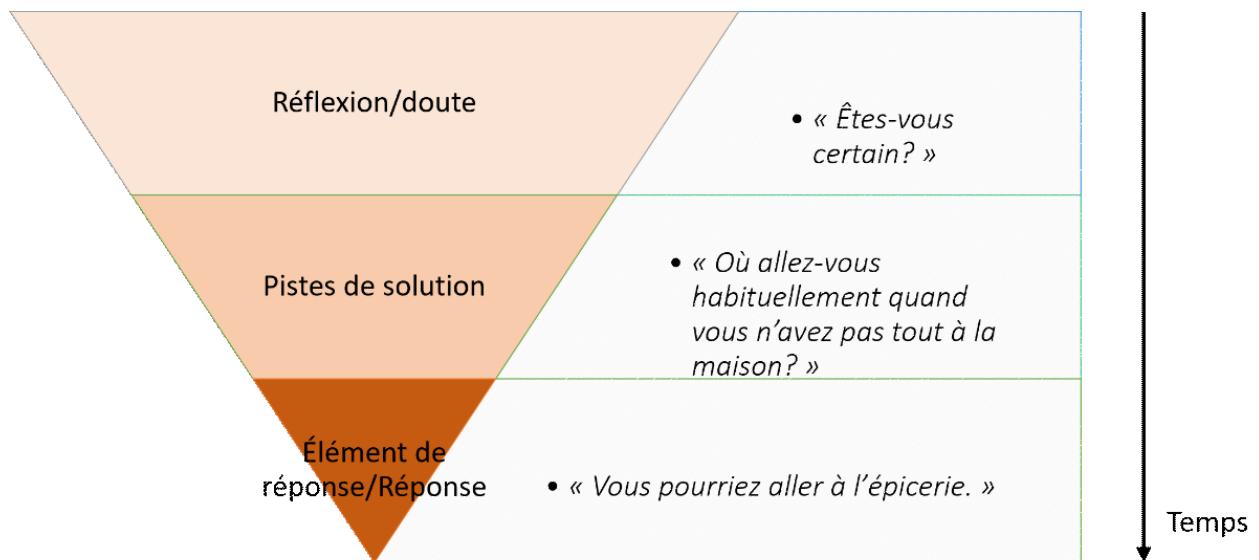


FIGURE 2.1 – Pyramide des niveaux d’assistance selon la méthode entonnoir : assistance pour encourager à aller faire l’épicerie

tant de trouver lui-même ce dont il a besoin pour avancer dans sa tâche. La gradation de l’assistance, les types et les niveaux d’assistance décrits ci-dessus ont servi de base aux modèles développés dans cette thèse pour automatiser l’assistance dans une maison connectée.

Les délais de réflexion

Parmi les déficits cognitifs listés précédemment figurent la lenteur dans le traitement de l’information, la facilité à être distrait et les problèmes de mémoire. Accorder un temps de réflexion pour laisser le temps à la personne de traiter l’information et de mobiliser ses ressources mnémoniques peut contribuer au succès d’une aide fournie. Un délai de réflexion est un délai accordé à la personne assistée pour résoudre le problème [33]. Après qu’une assistance ait été fournie, il est important de laisser suffisamment de temps à la personne pour répondre ou identifier elle-même son erreur et la corriger.

Les délais de réflexion rejoignent les principes de réadaptation cognitive axés sur la participation active du client, ses forces et son autonomisation, car lui laisser un

2.1. DÉFICITS COGNITIFS ET ASSISTANCE

temps suffisant pour réagir lui donne la chance d'utiliser ses réserves fonctionnelles pour pouvoir traiter le problème sans aide superflue.

2.1.4 Vers l'automatisation de l'assistance pour la réadaptation cognitive des personnes ayant subi un traumatisme craniocérébral

L'assistance telle qu'explorée précédemment et dont a besoin une personne ayant des déficits cognitifs pour pallier les difficultés quotidiennes impose une charge sociale, financière et personnelle importante sur les professionnels de la santé et les proches aidants [34, 35]. En effet, on a la possibilité d'envoyer cette personne dans une institution spécialisée où le personnel mobilisé 24/7 réalise les activités pour la personne. Non seulement cette solution n'encourage pas une personne à réapprendre des facultés perdues après avoir subi un TCC par exemple, mais aussi elle ne lui permet pas d'utiliser ses capacités résiduelles afin de ne pas les perdre. Il s'agit donc d'une solution qui ne s'aligne pas avec certains principes de la réadaptation cognitive qui prônent plutôt la participation active de la personne en situation de handicap [48, 146]. De plus, les frais d'institutionnalisation sont élevés, et la majorité des personnes ayant des déficits cognitifs préfèrent vivre chez elles [147, 148]. Une autre possibilité est de recourir aux services de proches aidants et/ou à ceux des professionnels de la santé pour fournir l'assistance cognitive et ainsi aider la personne à participer aux tâches quotidiennes. Cependant, suivre 24/7 la réalisation des activités fonctionnelles quotidiennes des personnes ayant des besoins particuliers et donner des indications au besoin sont des tâches fastidieuses pour les aidants et sont souvent associées à des effets néfastes sur leur santé [149].

Le recours à l'automatisation de l'assistance apporte une piste de solution pour accroître l'autonomie, réduire la charge des aidants et éviter ou réduire les coûts d'institutionnalisation des personnes ayant un TCC [29, 150]. Les signaux d'alerte, la gradation de l'assistance et les délais de réflexion présentés dans la section précédente se sont révélés prometteurs dans la pratique de l'assistance verbale pour la réadaptation cognitive des personnes ayant un TCC. Elles apparaissent comme une base solide sur laquelle peut s'appuyer une automatisation efficace. Fort de ce constat, dans la

2.1. DÉFICITS COGNITIFS ET ASSISTANCE

suite de ce travail nous voyons l'assistance cognitive automatisée comme un processus s'appuyant sur ces trois aspects comme suit :

Le système d'assistance suit continuellement les activités de la personne pour détecter les situations où un signal d'alerte doit être identifié. Une fois le signal d'alerte identifié, le système infère le besoin d'assistance et délivre un message d'aide adapté à la situation. L'adaptation du message consiste entre autres à choisir son contenu en tenant compte de la quantité d'information adéquate à transmettre (gradation) en fonction du client et de la situation. Une fois l'assistance donnée, le système laisse le temps à la personne de traiter l'information et de réagir avant d'évaluer la réussite ou l'échec de l'assistance. Le système poursuit l'interaction si le client n'a pas réagi comme prévu (induisant ainsi un nouveau besoin d'assistance) ou l'arrête si la réaction attendue a été observée. De plus, puisque l'assistance fournie pour un signal d'alerte donné n'est pas un processus infini, le nombre de messages d'assistance à délivrer pour obtenir une réponse appropriée de la personne doit être limité. Ainsi, l'interaction système-résident peut aussi s'arrêter parce que ce nombre limite est atteint sans que le client ne réagisse comme souhaité, et que le système doive intervenir pour permettre d'avancer dans la tâche ou même régler une question d'ordre sécuritaire.

Notre travail va permettre de modéliser minimalement des interventions cognitives de type *rappel, orientation, journal de bord* et *liste de contrôle* (cf. Tableau 2.1) afin qu'elles puissent être fournies par des systèmes d'intelligence ambiante, notamment les maisons connectées. Ces environnements intelligents ont démontré leur potentiel à apporter du soutien aux personnes ayant un TCC par la fourniture d'une assistance basée sur des indications multimodales (texte, voix, signaux, etc.) délivrées lors de l'accomplissement des AIVQ comme la préparation des repas [16, 49]. Cette dernière activité nous servira très souvent comme exemple illustratif dans la suite de nos travaux.

2.2 Assistance cognitive dans les environnements intelligents

2.2.1 Intelligence ambiante

Les technologies d’assistance sont utilisées pour maintenir ou améliorer les capacités fonctionnelles des personnes en situation de handicap [10]. Alors qu’il existe des applications d’assistance sur ordinateurs, tablettes ou smartphones, on s’achemine de plus en plus vers une technologie plus transparente, qui s’intègre de façon naturelle dans le quotidien des personnes au travers des objets de tous les jours (frigidaire, cuisinière, robinet, étagère, télévision, voiture, etc.). L’informatique ubiquitaire ou pervasive introduite par Weiser [5] et l’intelligence ambiante offrent cette possibilité. En effet, la production de plus en plus importante d’objets connectés a modifié la façon dont les données sont collectées, partagées et utilisées dans les applications, qui offrent alors de nouvelles possibilités. Ces objets facilitent la localisation des personnes, la collecte et l’échange d’information. Les interfaces humain-machine quant à elles deviennent flexibles et intuitives comme la reconnaissance vocale et gestuelle. Weiser [5] introduit *l’informatique ubiquitaire* comme l’intégration des ordinateurs de manière transparente dans le monde qui nous entoure. L’idée est d’intégrer les technologies de l’information dans divers appareils et objets de la vie quotidienne. *L’intelligence ambiante* quant à elle étend les bases techniques de l’informatique ubiquitaire en garantissant que ces objets se comportent adéquatement et qu’ils aident effectivement l’utilisateur plutôt que de le surcharger [151]. En ce sens, l’intelligence ambiante est un paradigme de l’informatique qui vise à renforcer les capacités des personnes par le biais d’environnements numériques sensibles et adaptatifs qui répondent aux besoins humains [7]. Elle souhaite connecter les objets du quotidien pour qu’ils puissent interagir dans un réseau distribué et fournir une vie sûre et confortable à l’humain. L’intelligence ambiante met en œuvre des éléments de base parmi lesquels :

- *L’ubiquité* : la capacité pour l’utilisateur d’interagir (activement ou passivement), n’importe où, avec une multitude d’appareils interconnectés, de capteurs, d’effecteurs, et plus globalement avec les systèmes électroniques embarqués dans tous les équipements autour de lui.

2.2. ASSISTANCE COGNITIVE DANS LES ENVIRONNEMENTS INTELLIGENTS

- *La sensibilité au contexte* : la faculté du système à percevoir en permanence la présence et la localisation des personnes, des appareils et des objets, pour prendre en compte les contextes d'usage. Des capteurs variés sont disponibles à cette fin : caméras, microphones, capteurs de proximité, capteurs biométriques, capteurs de présence, de pression, lecteurs RFID (Radio Frequency Identification), etc.
- *L'intelligence artificielle* : la capacité du système à analyser le contexte et adapter continuellement son comportement en fonction des situations. Le système s'appuie sur un réseau de connaissances (une ontologie par exemple) et/ou apprend automatiquement en se basant sur les comportements des utilisateurs afin de leur répondre au mieux.
- *L'interaction intuitive* : l'accès aux services se fait de la façon la plus intuitive voire naturelle possible. À la différence des interfaces traditionnelles de type WIMP (Windows, Icons, Menus and Pointing), l'interface humain-machine devient multimodale, offre plusieurs modes d'interaction avec le système, et s'articule autour de la manipulation d'objets réels, et de la reconnaissance vocale et gestuelle.

Notre recherche envisage d'utiliser concomitamment ces éléments de l'intelligence ambiante pour automatiser l'assistance cognitive. C'est l'une des raisons pour lesquelles nous avons choisi la maison connectée comme environnement d'assistance. Elle a le potentiel d'intégrer les interventions cognitives dans les AIVQ de façon transparente et intuitive au travers des objets du quotidien couramment utilisés. Afin que le comportement du système, notamment les mécanismes de raisonnement soient toujours explicables par les données probantes et le système configurable par les ergothérapeutes, cette recherche s'appuiera sur une formalisation des connaissances cliniques et des maisons connectées. La sensibilité au contexte permettra d'offrir une assistance personnalisée et adaptée en fonction de la situation.

2.2.2 Sensibilité au contexte

Fournir une aide à la réalisation des AIVQ par un système automatisé ne peut être possible que si ce dernier est entre autres capable de reconnaître adéquatement

2.2. ASSISTANCE COGNITIVE DANS LES ENVIRONNEMENTS INTELLIGENTS

les activités en cours, de localiser la personne aidée et les objets environnants essentiels, et de détecter les comportements inadéquats. Il s'agit pour le système d'avoir conscience du contexte, le contexte étant défini par Dey et Abowd [152] comme « *toute information pouvant être utilisée pour caractériser la situation d'une entité. Une entité est une personne, un lieu ou un objet considéré comme pertinent pour l'interaction entre un utilisateur et une application, y compris l'utilisateur et les applications eux-mêmes* ». Autrement dit, si une information peut être utilisée pour caractériser la situation d'un participant dans une interaction, cette information fait partie du contexte. En considérant une situation où une personne prépare un repas sur une cuisinière connectée dotée d'un assistant culinaire virtuel, le profil de la personne fait partie du contexte puisque les indications seront données en fonction du plan d'intervention personnalisé. La localisation de la personne (à la cuisine, dans le salon, dans la chambre à coucher, etc.) fait également partie du contexte puisque si la cuisinière est par exemple laissée sans surveillance, l'assistant culinaire peut envoyer une alerte par un média disponible dans la pièce où l'utilisateur se trouve. Cependant, des personnes jouant aux échecs sur le balcon à l'extérieur ne font pas partie du contexte, car elles n'affectent pas l'activité de préparation du repas.

Dey et Abowd [152] identifient quatre aspects du contexte : *Qui* (identification de l'utilisateur du système et de son rôle : identity awareness), *Quoi* (activité de l'utilisateur : task awareness), *Quand* (moment où se déroule l'activité, moment où le service est nécessaire à son destinataire : temporal awareness) et *Où* (le lieu de l'activité : location awareness). Ces quatre aspects permettent de déterminer un cinquième qui est *Pourquoi* (raison pour laquelle une situation arrive). C'est ainsi que ces aspects sont regroupés dans ce que Brooks [153] appelle le *quintet du contexte* (the *context quintet*).

Les informations du contexte sont soit connues et fournies d'avance au système (comme le profil du client et les appareils installés), soit générées au cours des activités (comme les déplacements de la personne et les changements d'état de divers appareils ou portes d'armoires). L'aspect ubiquitaire est ainsi assuré, car toutes ces informations sont perceptibles par le système grâce à la dissémination dans l'environnement d'un ensemble varié de capteurs (étiquettes RFID, capteurs de mouvement, de lumière, de contact, de pression, etc.), effecteurs (ampoule, haut-parleurs, etc.) et appareils intel-

2.2. ASSISTANCE COGNITIVE DANS LES ENVIRONNEMENTS INTELLIGENTS

ligents (cuisinières, réfrigérateurs, téléviseurs, etc.). La disponibilité de cette panoplie de matériel augmente une maison connectée en lui donnant le potentiel d'être sensible au contexte, la *sensibilité au contexte* étant définie comme l'utilisation des données du contexte pour fournir des informations et/ou des services pertinents à l'utilisateur dépendamment de la tâche de l'utilisateur [152]. La sensibilité au contexte donne la possibilité de fournir des services personnalisés et adaptés à la situation courante. C'est ainsi que l'intelligence artificielle peut tirer parti de cette sensibilité au contexte pour fournir une interaction entre le système et le résident qui est confortable pour ce dernier. Par exemple, si une personne ayant un TCC allume sa cuisinière dans le but de préparer un repas et oublie de placer une casserole sur le rond allumé, l'assistant culinaire doit éteindre le rond vide pour des raisons de sécurité. Pour préserver l'autonomisation du résident, l'assistant peut lui demander de remédier à la situation par un dispositif d'interaction adapté près de lui, soit en déposant une casserole sur le rond ou en l'éteignant. Et si la situation de risque perdure, l'assistant culinaire pourra alors éteindre le rond.

Nous allons mettre en œuvre l'ubiquité, la sensibilité au contexte, l'intelligence artificielle et l'interaction système-résident pour offrir une assistance cognitive pertinente dans un environnement permettant d'optimiser les bénéfices de cette assistance pour un utilisateur ayant des déficits cognitifs liés au TCC. L'environnement choisi est la maison connectée, cette dernière étant le milieu de vie naturel de la personne, augmenté par des objets connectés et l'intelligence ambiante.

2.2.3 Assistance cognitive dans les maisons connectées

Les objets connectés mis en réseau pour supporter l'intelligence ambiante peuvent se retrouver dans des environnements variés et augmenter ces environnements dans lesquels il est alors possible de fournir des services contextuels et personnalisés. Un exemple d'environnement enrichi par l'intelligence ambiante est la maison connectée. Il s'agit d'une maison qui embarque un ensemble d'objets connectés faisant partie d'une infrastructure technique de gestion automatisée appliquée à l'habitation, et dont les fonctionnalités les plus fréquentes sont l'assistance à la réalisation des activités quotidiennes, à la participation sociale et à la sécurité [154]. Une maison connectée,

2.2. ASSISTANCE COGNITIVE DANS LES ENVIRONNEMENTS INTELLIGENTS

par sa capacité à utiliser toutes les informations du système de manière flexible, offre un certain nombre d'avantages par rapport à un environnement soutenu uniquement par un réseau de dispositifs discrets [155]. Notre conception de la maison connectée rejoint celle de la maison intelligente dont plusieurs définitions ont été proposées dans la littérature. D'un point de vue applicatif, une maison intelligente est une application de l'informatique ubiquitaire dans laquelle l'environnement intérieur est contrôlé par l'intelligence ambiante pour fournir des services d'assistance ou automatisés sensibles au contexte et faciliter le contrôle à distance [9]. Du point de vue de l'infrastructure, une maison intelligente est une maison équipée de capteurs et d'effecteurs de différents types pour surveiller les activités et les mouvements, ainsi que les situations à risque [7]. Ainsi, les travaux sur les maisons connectées concernent non seulement le développement de la partie matérielle (capteurs, effecteurs, etc.), mais aussi l'utilisation de l'intelligence ambiante pour traiter et exploiter les données produites et manipulées par les capteurs et autres équipements. La finalité est de fournir des services de haut niveau comme ceux identifiés au Chapitre 1, pour des personnes ayant des troubles cognitifs et leurs aidants.

Précédemment, nous avons présenté les signaux d'alerte, la gradation de l'assistance et les délais de réaction pour décrire brièvement comment un service automatisé d'assistance cognitive peut être fourni aux personnes ayant subi un TCC (cf. section 2.1.4). De façon plus détaillée, ce fonctionnement est divisé en quatre étapes fondamentales :

- **Déclenchement de l'assistance.** Il s'agit du moment précis où l'assistance se met en action. Lors de la réalisation d'une tâche, l'assistance peut être déclenchée avant, pendant ou après l'activité ou une étape particulière, ou encore à la survenue d'un événement particulier. L'assistance est déclenchée au moment opportun par un signal d'alerte.
- **Détermination du contenu de l'assistance.** Il s'agit du message d'assistance en lui-même. Les messages d'assistance peuvent être généraux et fournir peu de détails, ou être plus spécifiques. Il s'agit de grader l'assistance pour l'adapter aux circonstances et au résident.
- **Exécution de l'assistance.** Exécuter l'assistance au moyen de la technologie se fait par l'envoi du message à l'aide d'une variété d'interfaces qui allègent la

2.2. ASSISTANCE COGNITIVE DANS LES ENVIRONNEMENTS INTELLIGENTS

charge des personnes qui ont l'habitude de fournir l'assistance verbale [32]. En particulier, la maison connectée offre des effecteurs de types variés déployés dans l'environnement et permettant de complémer l'assistance verbale par des messages visuels et des signaux. Les équipements peuvent être des afficheurs, des tablettes, des luminaires, des haut-parleurs et des téléviseurs, tandis que les modes de communication et les équipements d'interaction peuvent être visuels (texte, lumière, image, etc.) ou auditifs (son, voix, etc.).

- **Évaluation de l'assistance.** Une fois que l'assistance a été donnée, il est souhaitable qu'elle soit évaluée pour savoir comment l'utilisateur a réagi après réception, afin de prendre la décision d'assister de nouveau ou d'arrêter. Cette évaluation faite après un certain délai de réaction laissé au résident permet de fermer la boucle du cycle de l'assistance vu qu'elle peut donner lieu à un nouveau déclenchement de l'assistance et faire recommencer le cycle.

Ces quatre étapes abordent l'assistance cognitive comme un processus plutôt que comme un message isolé délivré à une personne. Pour le mettre en évidence, nous emploierons alors parfois l'appellation *processus d'assistance cognitive*. En effet, après identification du besoin d'assistance, le message d'assistance devrait être généré et envoyé dans l'environnement via les effecteurs, et la réaction du résident attendue. Après évaluation de ladite réaction, le cycle peut recommencer si le résident n'a pas réagi comme prévu ou s'arrêter. Il s'arrêtera parce que la réaction escomptée a été observée, ou parce que le temps réservé à une réponse adéquate du résident est échu, ou encore s'il y a un risque de sécurité et que le système doit intervenir. On se retrouve dans ***une interaction système-résident aux fins d'assistance cognitive*** dont le processus du point de vue du système peut être résumé par l'expression régulière suivante :

$$IdentifierBesoin(Assister\;Attendre\;Evaluer) + (Arreter|Intervenir) \quad (2.1)$$

Plusieurs systèmes d'assistance dans les maisons connectées ont été proposés ces dernières années. Nous en faisons une brève revue critique par rapport aux quatre étapes du processus d'assistance cognitive décrites ci-dessus (déclenchement, contenu, exécution, évaluation) en mettant l'emphase sur ceux plus particulièrement dédiés à la

2.2. ASSISTANCE COGNITIVE DANS LES ENVIRONNEMENTS INTELLIGENTS

clientèle TCC.

2.2.4 Revue critique des systèmes existants

Systèmes dédiés à la clientèle TCC

Des systèmes d’assistance cognitive ont été spécialement développés pour des personnes ayant des déficits cognitifs causés par un TCC. Nous présentons ci-dessous une liste non exhaustive, mais représentative de ceux proposés au cours des deux dernières décennies (dans l’ordre chronologique).

TEACH-M, 2005

TEACH-M est une technologie proposée pour faciliter l’apprentissage et la mémorisation des activités comportant plusieurs étapes. Elle est destinée aux personnes souffrant de troubles graves de la mémoire et des fonctions exécutives résultant d’un TCC [156]. Conçue spécialement pour enseigner une séquence spécifique d’étapes pour l’utilisation d’une interface simple de courrier électronique, elle s’appuie sur l’affichage à l’écran de l’ordinateur des messages d’assistance directs et explicites (texte et captures d’écran) pour faciliter l’apprentissage et la mémorisation des étapes. L’objectif de l’assistance, offerte pendant plusieurs séances, est d’accroître la capacité de la personne à effectuer de manière autonome les étapes d’envoi du courrier électronique. Les messages d’assistance sont retirés au fur et à mesure que les participants exécutent les étapes de manière autonome, montrant ainsi qu’ils sont capables d’apprendre de nouvelles connaissances.

TEACH-M n’offre pas d’interaction à proprement parler avec le système d’assistance, l’assistance étant directe et explicite, et offerte automatiquement à chaque étape sans attendre de voir si la personne est capable d’avancer par elle-même. Ce système ne s’appuie donc pas sur les forces des personnes et ne s’adapte pas non plus à leurs profils spécifiques. Le système est dédié à une seule tâche (courrier électronique) sans qu’aucune information technique ne soit donnée sur sa généralisation pour une autre tâche.

CATPro, 2009

2.2. ASSISTANCE COGNITIVE DANS LES ENVIRONNEMENTS INTELLIGENTS

Chang *et al.* [41] ont présenté CATPro (Context-Aware Task Prompting system), un système pour accroître l’indépendance professionnelle et personnelle des patients ayant des troubles cognitifs, comme les personnes ayant subi un TCC. Ici, les descriptions des tâches et des lieux où elles doivent être exécutées sont configurées et stockées dans des PDA (Personal Digital Assistant) en format XML. Ces PDA sont portés par les utilisateurs qui reçoivent de l’assistance multimodale à travers eux (vibrations, photos, voix). Le système offre deux niveaux d’assistance. Un niveau élevé pour les personnes qui ont des déficits plus prononcés et qui reçoivent alors un message d’assistance (un rappel) chaque fois qu’ils entrent dans des zones où une tâche doit être faite. Le niveau bas est destiné aux personnes ayant un meilleur niveau de fonctionnement, qui ne reçoivent de l’assistance que lorsqu’ils quittent un emplacement sans avoir accompli la tâche à faire à cet endroit. La sélection des messages d’assistance, la reconnaissance de l’accomplissement ou de l’oubli d’un élément de la tâche est basée sur des balises de localisation Bluetooth et des étiquettes RFID fixées aux outils et aux objets rattachés aux tâches assignées, l’utilisateur portant un lecteur RFID sur son poignet. Il s’agit des objets tels que les poubelles et les fenêtres pour les tâches de type conciergerie ou les lavabos pour la tâche de nettoyage des lavabos.

L’un des grands avantages de ce système est l’existence de deux niveaux d’assistance. Cependant, là encore, il n’y a pas d’interaction à proprement parler avec le système d’assistance. La conséquence est qu’il n’est pas possible de passer dynamiquement de l’un des niveaux à l’autre pour s’adapter aux difficultés ou tirer parti des forces de la personne en fonction de la situation. Les indices qui sont directs et explicites ne le permettent pas non plus. Par ailleurs, l’usage du PDA comme seul dispositif de diffusion de l’assistance ne tire pas assez parti des possibilités offertes par un environnement d’intelligence ambiante.

Tampa Smart Home, 2011

La maison intelligente de Tampa en Floride [157] a été conçue pour corriger deux problèmes des systèmes d’assistance existants et identifiés par les cliniciens d’un hôpital de vétérans spécialisé dans la réadaptation des patients souffrant de déficits cognitifs et de mémoire liés au TCC : (1) assurer la sécurité du patient, et (2) éviter la répétition des messages d’assistance et leur diffusion au moment inopportun. Les

2.2. ASSISTANCE COGNITIVE DANS LES ENVIRONNEMENTS INTELLIGENTS

applications mises en œuvre comportent des rappels programmés, une aide à la localisation, et des messages interactifs sur des panneaux muraux LCD à écrans tactiles répartis dans l'hôpital. Par exemple, lorsque les vétérans sortent, ils indiquent par l'un des écrans leur destination et l'heure approximative de retour. Le système leur rappelle alors de retourner à l'hôpital lorsqu'ils ne sont pas de retour après l'heure prévue.

Parmi les aspects les plus intéressants de Tampa Smart Home, on note la gradation des messages d'assistance. Par exemple, le système peut envoyer des rappels très spécifiques “*You forgot to check out*” ou d'autres plus subtiles “*Did you forget something ?*” en fonction de la personne. Cependant, le niveau du rappel est figé par le clinicien dans la configuration du système pour chaque vétéran et l'on se retrouve dans la même situation que celle du système CATPro, où il n'est pas possible de passer dynamiquement d'un niveau à un autre pendant l'assistance.

aQRdate, 2013

En 2013, une équipe interdisciplinaire de cliniciens et informaticiens [158] a expérimenté un système nommé *aQRdate* capable de générer un ensemble d'instructions adaptatives par un téléphone mobile pour assister des personnes présentant des déficits de la mémoire et des fonctions exécutives causés par un TCC. Dans aQRdate, chaque activité à réaliser est identifiée et décrite comme un ensemble d'instructions qui doivent être suivies pour la mener à bien. Les instructions ont été construites selon des lignes directrices proposées par l'équipe de réadaptation : informations minimales, modalités à la fois textuelle, graphique et vocale, et des symboles sur fond de couleur plutôt que du texte sur les boutons. Pour avoir les instructions, l'utilisateur doit scanner le code QR de l'activité (préalablement imprimé) avec le téléphone mobile.

On remarque ici qu'une fois le code QR scanné, le système donne toute la liste des instructions. Et donc, même si chaque instruction contient une information minimale, l'aide est reçue même si elle n'est pas nécessaire. De plus, l'absence d'interaction fait qu'il n'est pas possible de donner un peu plus d'information si jamais l'information minimale n'a pas aidé à avancer dans la tâche.

2.2. ASSISTANCE COGNITIVE DANS LES ENVIRONNEMENTS INTELLIGENTS

COOK, 2015

COOK (Cognitive Orthosis for CoOKing) [49, 50, 81] est un assistant culinaire dédié aux personnes ayant un TCC, et visant à favoriser l'autonomie et la sécurité dans la préparation des repas. COOK est doté de trois modules : un module d'assistance à la sécurité qui envoie des rappels lorsque la cuisinière est utilisée de façon non sécuritaire (par exemple si elle est laissée sans surveillance ou si la porte du four est laissée ouverte), un module d'assistance culinaire pour donner des instructions durant les étapes de préparation des repas, et un module de configuration pour paramétrier et personnaliser l'assistance.

Bien qu'ayant montré sa capacité à aider les personnes ayant un TCC en s'appuyant sur des interventions de réadaptation cognitive (par exemple l'intervention de type *orientation* pour filtrer des distracteurs), COOK n'offre pas vraiment d'interaction avec le résident, il se limite à l'affichage des messages de rappels. Les instructions dans l'assistant culinaire sont également données de façon directe et explicite tout au long de la recette, même si le résident n'en a pas besoin. Aussi, son interface limitée à l'écran tactile de la tablette ne permet pas de bénéficier pleinement des avantages d'un environnement d'intelligence ambiante.

O'Neill *et al.*, 2018

O'Neill *et al.* [46] ont décrit un dispositif d'assistance contrôlé par la voix qui pose des questions à l'utilisateur à chaque étape de l'activité et lui donne des instructions en fonction des réponses. Les questions sont du type oui/non à chaque étape de l'activité pour vérifier si l'étape a été réalisée afin que la prochaine instruction appropriée soit émise.

En tant que dispositif isolé, le système ne tient pas compte du contexte et n'est pas dédié aux environnements d'intelligence ambiante. De plus, il n'est pas possible pour les utilisateurs d'effectuer une étape sans l'aide explicite du système puisqu'il est obligatoire de répondre « oui » ou « non » pour recevoir l'instruction suivante et pouvoir continuer la tâche avec l'assistant.

Wang *et al.*, 2019

Un autre système d'assistance multimodale est présenté par Wang *et al.* [16] pour

2.2. ASSISTANCE COGNITIVE DANS LES ENVIRONNEMENTS INTELLIGENTS

assister les personnes atteintes de TCC dans des tâches de préparation de repas. Le système décompose une recette en étapes discrètes et fournit des instructions automatiques étape par étape par l'interface utilisateur en fonction de la modalité (audio et visuelle) spécifiée à chaque étape.

Ici encore, aucune chance n'est donnée aux utilisateurs d'effectuer les opérations par eux-mêmes puisque des instructions explicites sont automatiquement données à chaque étape même s'il n'y a pas de signal d'alerte.

Smart Home Stress Assist, 2020

Plus récemment, Smart Home Stress Assist (SHSA) a été proposée pour soutenir des militaires souffrant d'un TCC léger et d'un stress post-traumatique [159]. SHSA utilise Amazon Echo et l'intelligente ambiante pour fournir un soutien automatisé en modifiant l'environnement physique de l'utilisateur (par exemple, la lumière, la température, le son et l'odeur) pour l'aider à se reconnecter au moment présent. De plus, des fichiers audio préenregistrés (musique apaisante ou voix familière), des messages SMS prédéfinis et des indications sont fournis dans le but de réduire le stress.

SHSA n'est pas à proprement parler un environnement d'assistance à la réalisation d'activités. L'assistance est donnée au bon moment (quand le résident est stressé) par des effecteurs disséminés dans l'environnement. Cependant, il n'y a ni gradation de l'assistance ni évaluation pour éventuellement adapter l'assistance. Par ailleurs, réduire le stress peut être intégré à la réalisation d'une activité, afin d'aider la personne à mieux performer en situation de stress par exemple.

Autres systèmes d'assistance

Nous explorons brièvement quelques systèmes d'assistance non spécifiquement dédiés à la clientèle TCC, mais dont l'étude peut contribuer à la conception de notre système. Ils sont présentés selon l'ordre chronologique.

Aware Home, 2002

Parmi les premiers systèmes populaires, on retrouve Georgia Tech Aware Home [160], une maison connectée conçue pour maintenir une vigilance familiale et soutenir les routines quotidiennes des personnes âgées. Elle offre trois principaux services : le

2.2. ASSISTANCE COGNITIVE DANS LES ENVIRONNEMENTS INTELLIGENTS

maintien des liens sociaux entre les personnes âgées et leurs enfants, l'assistance cognitive en cas de trous de mémoire et de problème de planification, et la gestion des situations de crise par alerte des services extérieurs. Abowd *et al.* ont étudié de quelle manière la sensibilité au contexte peut aider à intervenir pendant les trous de mémoire qui se produisent quand une personne est distraite pendant une activité de cuisine et qu'elle oublie ce qu'elle était en train de faire. Des photos sont prises et organisées en images pertinentes pendant le déroulement des activités et affichées au besoin.

Aware Home déclenche l'assistance lorsque le résident a des trous de mémoire, puis affiche des captures d'images enregistrées jusqu'au point où le résident en est dans son activité. Ceci peut permettre à l'utilisateur de retrouver le contexte de l'exécution de sa tâche. L'une des faiblesses du système est de fournir directement une aide explicite, sans interaction ou mécanisme d'évaluation du succès ou de l'échec de l'intervention pour vérifier si le résident a reçu une aide appropriée.

MavHome, 2003

MavHome [64] est une maison intelligente qui s'appuie sur des algorithmes de prédiction pour apprendre les routines quotidiennes et automatiser les tâches du résident. Ici, l'assistance est fournie au bon endroit, en fonction de la position du résident. Cependant, cet environnement entièrement automatisé met le résident dans un tout automatique où l'aide n'est pas forcément déclenchée lorsque ce dernier est en difficulté. Ceci ne va pas dans le sens de l'autonomisation des utilisateurs telle que prônée par les principes de la réadaptation cognitive. Les tâches sont accomplies par le système (par exemple, passer une commande d'épicerie) sans donner au résident la possibilité d'agir par lui-même, avec une assistance minimale ou sans assistance. Ce type de système n'est pas adapté à la clientèle TCC qui devrait être encouragée à faire des tâches par elle-même tant qu'elle le peut.

CoReDA, 2007

Si *et al.* [161] ont présenté CoReDA (Context-aware Reminding system for Daily Activities) comme un prototype de système ubiquitaire d'assistance aux personnes âgées ayant des troubles de la mémoire à court terme du fait de la démence. Il a pour rôle d'assister ces personnes dans la réalisation de leurs activités par des indications mi-

2.2. ASSISTANCE COGNITIVE DANS LES ENVIRONNEMENTS INTELLIGENTS

nimales qui garantissent que ces dernières fassent de leur mieux dans la tâche, afin d'exercer leur cerveau et retarder la détérioration de leur état de démence. Le système apprend automatiquement la routine de l'utilisateur (les étapes qu'il accomplit pour chaque activité) et lorsque l'état de ce dernier se détériore au point où il oublie une étape de sa routine (c'est-à-dire que ce dernier n'évolue pas après un certain temps déterminé à l'avance), le système intervient en envoyant un rappel avec trois modalités simultanées (affichage d'un texte, éclairage LED et affichage d'une image).

CoReDa utilise un sous-système de planification pour apprendre la routine de la personne, et donner les rappels appropriés. Cependant, les rappels sont directs et explicites en cas de problème, sans possibilité de les changer dynamiquement s'ils n'aident pas.

HomeAssist/DomAssist, 2016

HomeAssist (aussi dénommé DomAssist) [162, 163] est une plateforme offrant des services d'assistance aux tâches quotidiennes (préparation des repas, rappel de prise de médicaments, etc.), à la sécurité (orientation du résident, surveillance de la cuisinière, alertes aux proches aidants, etc.) et aux activités sociales (partage de photos, jeux solitaires ou collaboratifs, etc.) pour le maintien à domicile des personnes âgées. Les interactions entre l'utilisateur et les services offerts se font sur deux tablettes faisant partie de l'infrastructure. Une tablette principale statique est disposée dans une position centrale de la maison, elle est dédiée aux notifications et aux alertes audio et visuelles. Une autre tablette est mobile et est dédiée aux activités sociales et de loisirs.

Les concepteurs de HomeAssist mentionnent une assistance délivrée en temps opportun et une adaptation de l'assistance par rapport aux capacités de l'utilisateur. Cette adaptation consiste à choisir les types de notifications (figures, couleurs, sons et textes), qui sont de deux types : critiques ou non critiques. Cependant, il n'y a pas d'adaptation des notifications par rapport à l'évolution du résident dans sa tâche. L'absence d'interaction au sens de l'assistance fait qu'un seul type de notification est configuré pour chaque utilisateur. Par ailleurs, les moyens d'exécution de l'assistance sont réduits, car ramenés au niveau des deux tablettes, ne permettant pas à HomeAssist d'exploiter au mieux les possibilités offertes par l'intelligence ambiante.

2.2. ASSISTANCE COGNITIVE DANS LES ENVIRONNEMENTS INTELLIGENTS

Synthèse

Le Tableau 2.3 présente une synthèse des systèmes d'assistance du point de vue du déroulement de l'assistance. Il comporte les systèmes décrits précédemment auxquels nous avons ajouté quelques-uns déjà évalués dans l'article qui constitue le Chapitre 4. Ceci nous permet d'avoir une vue globale de la littérature du domaine. Dans ce tableau les travaux sont évalués par rapport aux critères suivants :

- Les quatre étapes fondamentales que nous avons identifiées comme faisant partie du processus d'assistance cognitive (cf. section 2.2.3) :
 - Est-ce que l'assistance est déclenchée en fonction du besoin c'est-à-dire après un signal d'alerte ?
 - Le contenu de l'assistance est-il approprié à la situation (gradation) ?
 - L'assistance est-elle exécutée par des interfaces distribuées et diffuses de l'environnement d'intelligence ambiante ?
 - Le succès ou l'échec de l'assistance est-il évalué ?
- L'interaction : Est-ce que l'assistance est vue comme un processus dynamique dans lequel une assistance qui échoue doit être suivie par une autre plus adaptée ?
- L'assistance aux AIVQ : Est-ce que le système est dédié à l'assistance aux activités complexes de la vie quotidienne ?
- L'assistance cognitive à la clientèle TCC : Le système est-il adapté à l'assistance cognitive aux personnes ayant un TCC ?

Le contenu de chaque cellule renseigne sur le niveau de satisfaction du critère (en colonne) par le système présenté (en ligne). Ce niveau de satisfaction est donné par les symboles (✓) si le critère est satisfait, (✓-) si le niveau de satisfaction est faible, (x) s'il n'est pas satisfait. La cellule est laissée vide lorsqu'il n'y a pas assez d'information pour évaluer.

Par exemple, Aware Home déclenche l'assistance en cas de besoin (en cas de trou de mémoire), MavHome ne propose pas d'assistance cognitive puisque le système effectue directement des tâches même lorsque l'utilisateur est capable de procéder par lui-même (par exemple, passer une commande d'épicerie), CoReDa offre de l'assistance cognitive, mais elle n'est pas spécifiquement dédiée aux personnes TCC, Dem@Home n'évalue pas si l'assistance donnée a marché ou pas, tandis que O'Neill *et al.* [46] évalue

2.2. ASSISTANCE COGNITIVE DANS LES ENVIRONNEMENTS INTELLIGENTS

TABLEAU 2.3 – Synthèse des systèmes d’assistance cognitive

	Assistance en fonction du besoin	Gradation de l’assistance	Interfaces distribuées	Evaluation de l’assistance	Interaction	Assistance aux AIVQ	Assistance Cognitive au TCC
Aware Home [160]	✓	x	x	x	x	✓	✓-
MavHome [64]	✓ -	x	✓	x	✓ -	✓	x
TEACH-M [156]	✓ -	x	x	x	x	x	✓
CoReDA [161]	✓	x	✓	x	x	✓	✓ -
CATPro [41]	✓	✓ -	x	x	x	✓	✓
Archipel [144]	✓	x	✓ -	✓ -	✓ -	✓	✓ -
Tampa Smart Home [157]	✓	✓ -	✓ -	✓ -	x	✓ -	✓
aQRdate [158]	✓ -	x	✓	x	x	✓	✓
Díaz Rodríguez <i>et al.</i> [111]	✓ -	x	x	x		✓	x
Skillen <i>et al.</i> [76]	✓ -	x	x	x	✓ -	✓ -	x
COOK [49, 50, 81]	✓ -	✓ -	✓ -	x	x	✓	✓
HomeAssist [163]	✓	✓ -	x	x	x	✓	✓ -
Dem@Home [85]	✓ -	x	x	x	x	✓	✓ -
Sweet-Home [45]	✓ -	x	✓	x	x	✓ -	✓ -
E-care@Home [51]	✓ -	x	✓ -	x	x	✓ -	x
O’Neill <i>et al.</i> [46]	✓ -	x	x	✓ -	✓ -	✓	✓
Wang <i>et al.</i> [16]	✓ -	x	x	✓ -	x	✓	✓
Smart Home Stress Assist [159]	✓	x	✓	x	x	x	✓

2.2. ASSISTANCE COGNITIVE DANS LES ENVIRONNEMENTS INTELLIGENTS

l’assistance par un retour vocal explicite de l’utilisateur avant d’émettre l’instruction suivante.

Il ressort de cette synthèse que les défauts majeurs que rencontrent les systèmes évalués se situent principalement au niveau de la gradation de l’assistance, de l’évaluation de cette dernière et de l’interaction avec le système d’assistance. Par exemple, le système de Wang *et al.* [16] laisse l’instruction d’assistance affichée telle quelle jusqu’à ce que l’étape soit accomplie pour pouvoir continuer. Lorsque certains systèmes offrent la gradation des messages, elle reste limitée parce qu’un seul grade est configuré dans le système pour un utilisateur précis, et que la quantité d’information délivrée ne peut pas être modulée en fonction des difficultés rencontrées pendant l’accomplissement de la tâche. Pourtant, la performance d’une personne ayant des déficits cognitifs n’est pas forcément constante tout le long de l’activité, du fait de la fatigue mentale par exemple qui peut faire décroître la concentration et la mémoire, et augmenter la distractibilité [164]. Par ailleurs, dans plusieurs des systèmes présentés, le résultat de l’assistance n’est pas évalué. Lorsque cela est prévu, la plupart du temps c’est à l’utilisateur de faire une rétroaction explicite comme pour O’Neill *et al.* [46] en répondant « Oui/Non ». Les défauts de gradation et d’évaluation expliquent aussi le manque d’interactivité avec le système une fois que l’assistance est déclenchée, ce qui ne permet pas d’inscrire l’assistance dans un processus dynamique et flexible en matière de variabilité dans l’assistance (différents niveaux d’assistance) selon les situations.

Les insuffisances des systèmes existants par rapport à l’assistance cognitive vue comme un processus dynamique déclenché après un signal d’alerte nous permettent de considérer les critères suivants comme importants pour la conception d’un système d’assistance cognitive pour personnes ayant un TCC dans une maison connectée : Il doit suivre l’évolution du résident tout au long de la réalisation de son activité.

- Il doit fournir une assistance personnalisée à chaque résident.
- Il doit fournir l’aide minimale dont le résident a besoin.
- Il doit fournir une aide dont le contenu s’adapte à la situation pendant le déroulement de l’activité.
- Il doit être généralisable à plusieurs AIVQ.
- Il doit fonctionner sans retour explicite de la part du résident.

2.3. CONCLUSION

- Il doit être configurable par les cliniciens.

Pour respecter ces critères, nous allons développer le volet technologique de l’assistance cognitive en nous appuyant sur le volet clinique brièvement présenté dans la section 4.2.1. Il nous a permis de comprendre certains aspects de la pratique des ergothérapeutes en matière d’assistance cognitive, de façon à les formaliser pour les rendre accessibles à la maison connectée qui sera alors capable d’intervenir de façon adéquate.

2.3 Conclusion

Dans ce chapitre, il a été question d’explorer certaines difficultés que vivent les personnes ayant des déficits cognitifs dans l’accomplissement des activités complexes, en particulier ceux ayant subi un TCC, et de comprendre la façon dont l’assistance de réadaptation leur est fournie. Ceci nous a permis de voir l’assistance cognitive comme un processus déclenché par un signal d’alerte, au cours duquel il faut être capable de choisir et délivrer le message d’assistance approprié au besoin, et de suivre son succès ou son échec pour pouvoir réagir en conséquence. Nous avons ensuite exploré certains systèmes d’assistance cognitive existants afin d’évaluer leurs forces et faiblesses par rapport à ce processus. Cet exercice nous a renseignés sur les critères importants à prendre en compte lors de la conception d’un système d’assistance cognitive automatisée pour personnes TCC dans une maison connectée. Dans la suite de cette thèse, nous allons explorer les outils méthodologiques qui seront utilisés pour construire un système d’assistance cognitive intégrant au mieux ces critères.

Chapitre 3

Outils méthodologiques de formalisation de l’assistance cognitive

3.1. ACTES DE LANGAGE

L'étude menée jusqu'ici a montré que prendre appui sur la pratique clinique pour fournir l'assistance cognitive automatisée dans une maison connectée nécessite que les connaissances cliniques soient accessibles par l'agent autonome implanté dans l'environnement c'est-à-dire qu'elles soient formalisées. Il en est de même pour les connaissances sur l'environnement en lui-même et sur la personne ayant des déficits cognitifs qui bénéficiera de l'assistance, afin de tirer parti de l'ubiquité et de la sensibilité au contexte. Il est aussi ressorti la nécessité de modéliser l'interaction dynamique entre le système et le résident, ainsi que le processus de prise de décision du système dans le choix des messages à diffuser et des dispositifs d'interaction. Pour construire ces modèles, ce chapitre présente les outils méthodologiques qui seront utilisés. La première section s'intéresse aux *actes de langage* comme moyen de modélisation de l'interaction entre une maison connectée et son résident. Les *ontologies*, identifiées au Chapitre 1 comme moyen approprié de formalisation de l'assistance cognitive dans un environnement d'intelligence ambiante, sont présentées de façon plus détaillée dans la section 3.2. Puisque les connaissances ontologiques sont statiques et que l'assistance cognitive a été présentée jusqu'ici comme un processus dynamique s'appuyant sur ces connaissances, la section 3.3 présente des modèles de délibération et planification dynamique des actions d'un agent intelligent interactif en fonction de l'évolution du contexte ambiant. Parmi les modèles présentés, les arbres de comportements apparaissent comme les plus appropriés pour l'assistance cognitive et sont choisis pour la suite du travail.

3.1 Actes de langage

La théorie des actes de langage, initiée par Austin [165] et développée par Searle [166, 167, 168], étudie le moyen mis en œuvre par un locuteur pour agir sur son environnement (en général son interlocuteur) par des énoncés. Dans bien des cas, pour atteindre nos propres buts, on émet un énoncé (vocal, sonore, écrit ou même lumineux) pour affecter les croyances, les buts et l'état émotionnel de celui à qui l'on s'adresse. Cette théorie est donc intéressante pour modéliser le dialogue système-résident, en particulier les messages incitatifs que la maison connectée enverra au résident.

3.1. ACTES DE LANGAGE

3.1.1 Composantes d'un acte de langage

On identifie trois composantes pour un acte de langage : l'acte *locatoire*, l'acte *ilocatoire* et l'acte *perlocatoire*.

L'**acte locatoire** représente un énoncé significatif, un message qui est transmis (sons, mots, phrases). Par exemple, l'énoncé « La cuisinière est laissée sans surveillance ».

L'**acte perlocatoire** représente l'effet produit sur le destinataire du message, l'ensemble des actions du destinataire après réception du message. Par exemple, l'interlocuteur se dirige vers la cuisinière pour la surveiller.

L'**acte illocatoire** représente l'intention, le désir de l'émetteur. Il vise à produire un certain effet sur le destinataire lors de la formulation d'un énoncé. L'intention derrière l'énoncé précédent c'est que l'interlocuteur aille surveiller la cuisinière.

Austin [165] et Searle [166] identifient cinq catégories d'actes illocutoires :

- Les actes *déclaratifs* ou *verdictifs* (acquitter, condamner, décréter, virer, etc.) ;
- Les actes *directive*s (commander, ordonner, pardonner, léguer, dégrader, prier, supplier, etc.) ;
- Les actes *promissifs* (promettre, faire voeu de, garantir, parier, jurer de, etc.) ;
- Les actes *expressifs* ou *comportatifs* (s'excuser, remercier, déplorer, critiquer, féliciter, etc.) ;
- Les actes *assertifs* ou *expositifs* ou *représentatifs* (informer, affirmer, nier, postuler, remarquer, etc.).

La notion de **force illocutoire** a été développée par Searle [166] pour quantifier ou grader la force de persuasion d'un acte de langage. Il distingue deux éléments dans la structure syntaxique d'un énoncé : l'indicateur propositionnel et l'indicateur de force illocutoire. Un *indicateur de force illocutoire* montre quel acte illocutoire (quelle intention) le locuteur accomplit dans un énoncé : il marque l'engagement du locuteur. Les dispositifs d'indication de force illocutoire comprennent entre autres : l'ordre des mots, l'accentuation, l'intonation, l'humeur, la ponctuation, le mode du verbe et les verbes dits performatifs. Le type d'acte illocutoire peut être indiqué en commençant une phrase par « je m'excuse », « je préviens », « je déclare », « je m'engage » par exemple. Souvent, dans des situations de langage réelles, le contexte précise ce que la force illocutoire de l'énoncé est, sans qu'il soit nécessaire d'invoquer l'indicateur de force illocutoire de façon explicite.

3.1. ACTES DE LANGAGE

3.1.2 Caractéristiques

Les actes de langage défendent une vision opérationnelle selon laquelle le langage ne sert pas seulement à informer ou décrire le monde (par des énoncés dits constatifs) mais aussi à « accomplir des actes » [165] ; on parle alors d'énoncés performatifs. Les actions accomplies par les énoncés sont des actes de langage. Les énoncés performatifs peuvent être explicites ou implicites. Par exemple, l'énoncé « Je te promets de faire la vaisselle » réalise l'acte de la promesse de façon explicite, tandis que « Est-ce que tu peux me passer le sel ? » en général ne signifie pas « Es-tu en capacité physique de me donner le sel ? », mais plutôt un ordre implicite.

Il faut souvent réunir plusieurs conditions pour qu'un énoncé performatif fonctionne, c'est ce que [165] appelle **conditions de félicité**. Contrairement aux énoncés constatifs qui peuvent être vrais ou faux, les énoncés performatifs peuvent être heureux ou malheureux, l'acte peut réussir ou échouer en fonction des conditions de félicité. Ces conditions dépendent de l'existence de procédures conventionnelles (parfois institutionnelles : conditions d'évaluation, mariage, etc.) et de leur application correcte et complète, de l'engagement des interlocuteurs. La notion d'engagement est une des conditions de l'interaction et donc de la réalisation des effets attendus d'un énoncé. Il s'agit de l'engagement de la part de chacun des interlocuteurs pour comprendre et interpréter les actes de l'autre, et même adapter leurs propres actes aux actes en cours et guider ainsi l'autre dans sa manière de (ré)agir. Par exemple, un énoncé comme « Une cuisinière allumée et laissée sans surveillance constitue un danger » est un énoncé performatif qui appelle implicitement l'interlocuteur à prendre des dispositions pour remédier à un danger spécifique. Cet acte de langage ne réussira que si certaines conditions sont remplies. Entre autres, l'interlocuteur a laissé sans surveillance une cuisinière allumée, et a conscience que le locuteur a la capacité de déceler les dangers.

3.1.3 Actes de langage et agents intelligents

Au-delà des communications entre personnes, les actes de langage sont aussi utilisés pour les communications entre agents logiciels. Les systèmes multi-agents constituent un exemple de cette utilisation où les agents interagissent via un langage spécial

3.1. ACTES DE LANGAGE

de communication appelé ACL (Agent Communication Language) basé sur la théorie des actes de langage. L'un des langages de communication inter-agent actuellement les plus utilisés est celui proposé par FIPA¹ (Foundation for Intelligent Physical Agents), appelé FIPA ACL [169]. Il définit vingt-deux (22) actes performatifs que les agents peuvent utiliser lors des échanges de messages pour dévoiler leurs intentions, ce qu'ils attendent de leurs interlocuteurs. On a par exemple des actes pour demander l'accomplissement d'une action, pour accepter ou refuser d'exécuter une action, pour informer ou pour requérir de l'information. Une autre utilisation des actes de langage se retrouve dans les interactions humain-machine [170, 171]. Ici, les actes de langage sont principalement utilisés pour générer les messages des boîtes de dialogues qui permettent d'informer l'utilisateur ou de lui demander de l'information. Lorsque ces interactions visent à aider un utilisateur présentant des déficiences cognitives à réaliser des actions, on arrive à ce que Bauchet *et al.* [144] appelle *actes d'assistance*.

3.1.4 Actes d'assistance

Les actes d'assistance se situent dans le cadre de l'assistance cognitive où les technologies avancées sont utilisées pour compenser des déficits cognitifs. Un acte d'assistance est défini comme un acte de langage émis lors d'une interaction Humain-Machine dans un contexte d'assistance cognitive [144]. Ces travaux prennent l'exemple d'un assistant cognitif qui rappelle une activité ou guide une personne en établissant avec elle une communication dont le but est l'accomplissement d'actions spécifiques par cette personne. Les actes d'assistance apparaissent donc comme un moyen de mettre en œuvre des interventions cognitives puisque la théorie des actes de langage se fonde sur l'incitation à déclencher chez autrui des actions sans pour autant agir à sa place : l'interlocuteur reste au centre de l'accomplissement de l'action. En donnant la possibilité de faire varier la tonalité des messages par des formulations générales (implicites) et des formulations plus spécifiques (explicites), les actes de langage peuvent permettre d'encourager une personne à accomplir des actions par elle-même. Dans notre étude de la littérature, nous n'avons pas trouvé de travaux appliquant les actes de langage à la modélisation des interactions avec des personnes ayant subi un TCC.

1. <http://www.fipa.org/repository/aclspecs.php3> [consulté en juillet 2021]

3.2. ONTOLOGIES

Pourtant, ils ont le potentiel de mettre en œuvre dans une maison connectée certains principes de réadaptation cognitive pour personnes TCC et favoriser le respect de certains critères de conception explorés au Chapitre 2, plus précisément, l'aide minimale qui encourage la participation active de la personne au mieux de ses capacités, l'autonomisation, la gradation de l'assistance, l'évaluation de l'assistance (de l'effet perlocutoire) et l'interaction système-résident.

Afin que l'agent ambiant d'une maison connectée puisse émettre des actes d'assistance en accord avec les principes de réadaptation pour personnes TCC explorés jusqu'ici, il faut que les interventions cognitives, les profils utilisateurs et le contexte soient modélisés et formalisés. La formalisation des interventions cognitives va permettre d'avoir une assistance technologique alignée sur les données probantes, celle des profils utilisateurs à adapter l'assistance aux besoins et capacités de la personne, et celle du contexte à adapter l'assistance à la situation courante (le moment, le lieu, l'activité en cours, l'environnement matériel). Les ontologies vont être utilisées comme modèles de formalisation de ces connaissances.

3.2 Ontologies

Dans cette section, nous présentons les ontologies comme formalisme de représentation des connaissances. Nous partons de leur origine pour comprendre à quoi elles servent et ce qu'elles contiennent, jusqu'à l'utilisation conjointe d'ontologies dans les systèmes à base de connaissances. Nous passons par les différents types d'ontologies, les domaines dans lesquels elles sont utilisées, les méthodes de construction et les langages de formalisation, et les mécanismes de raisonnement qu'elles permettent.

3.2.1 Origine et motivations

Empruntée de la philosophie, l'utilisation des ontologies en informatique résulte en partie des travaux de recherche en Intelligence Artificielle (IA) où l'on s'intéresse à savoir comment formaliser des connaissances pour qu'elles puissent être interprétées par des machines. L'utilisation conjointe des systèmes à bases d'objets et de logiques, dans le but de représenter les propriétés générales de ce qui existe dans un formalisme

3.2. ONTOLOGIES

supportant un traitement rationnel automatique, a conduit à la constitution d'ontologies formelles. Pour communiquer, les différents intervenants doivent disposer d'une compréhension partagée de l'information. L'absence d'une compréhension partagée peut conduire à une limitation de l'interopérabilité, de la réutilisabilité et du partage de l'information, conduisant ainsi à la réinvention de la roue dans chaque nouveau système [172].

Ces problèmes peuvent être résolus, en réduisant voire en éliminant les confusions conceptuelles et terminologiques qui existent, par l'introduction d'une abstraction qui va apporter une compréhension partagée de l'information. Les travaux de Arp *et al.* [172], Fernandez *et al.* [173], et Guarino *et al.* [174] entre autres, montrent que cette compréhension commune et partagée peut être vue comme un cadre unificateur pour les différents points de vue et servir de base pour :

- La **communication** entre les entités ayant des besoins différents et des points de vue différents dus aux différents contextes ;
- L'**interopérabilité** entre les systèmes ;
- La **réutilisabilité**, une compréhension partagée étant une base pour l'encodage formel des entités importantes, des propriétés, des processus et leurs interrelations dans le domaine d'étude. Cette représentation formelle peut alors constituer un composant réutilisable ou partagé ;
- La **fiabilité**, une représentation formelle rend possible la vérification de consistance et de cohérence, conduisant ainsi à des logiciels plus fiables et conformes à la réalité.

3.2.2 Définition

Dans le domaine de l'ingénierie des connaissances, plusieurs définitions de l'ontologie ont été proposées. Une définition qui en fait une bonne synthèse est celle de [175] selon laquelle une ontologie est une *spécification formelle et explicite d'une conceptualisation partagée*. Autrement dit, c'est un modèle abstrait regroupant des concepts importants d'un phénomène du monde, ces concepts étant décrits et définis de façon précise et explicite dans un langage accessible aux machines. De plus, l'ontologie capture une connaissance consensuelle et non celle d'un expert isolé. Une définition plus

3.2. ONTOLOGIES

récente, que nous adoptons parce qu'elle est plus détaillée, plus précise sur le contenu et la structure d'une ontologie, est celle de Arp *et al.* [172] qui définit une ontologie comme un *artefact de représentation, comprenant une taxonomie en tant que partie propre, dont les représentations sont destinées à désigner une combinaison d'universaux, de classes définies et de certaines relations entre eux*. Pour Arp *et al.* [172], un artefact de représentation est la représentation de la réalité dans un format spécifique, de manière que des personnes différentes puissent comprendre les termes contenus et en apprendre davantage sur les entités qu'elles représentent en réalité. La taxonomie est une hiérarchie composée de termes désignant des *types* (ou *catégories d'objets* ou *universaux* ou *classes*) liés par des relations de sous-types, et où les types ou universaux sont les entités (tout ce qui existe, y compris les objets, les processus et les qualités) du monde auxquelles se réfèrent les noeuds dans la hiérarchie. Par exemple, dans l'ontologie de l'assistance cognitive dans les maisons connectées, on pourra avoir les classes *Tâche*, *Pièce* et *Cuisine*, avec *Cuisine* comme sous-classe de *Pièce*, et la relation *se-déroule* qui lie une *Tâche* à une *Pièce* pour signifier qu'une tâche se déroule dans une pièce (par exemple, la préparation d'un repas dans la cuisine).

3.2.3 Types d'ontologies

En fonction de la granularité et du but visé par l'ontologie, on distingue quatre types d'ontologies [176, 177, 178, 179] :

- Les **ontologies fondamentales**. Aussi appelées ontologies génériques ou ontologies de haut niveau, elles représentent des catégories et relations générales communes à plusieurs domaines. Elles favorisent l'intégration, le partage et la réutilisabilité de l'information, rejoignant ainsi les motivations principales de la construction des ontologies. Par exemple, l'ontologie DUL² (DOLCE+DnS Ultralite), elle-même basée sur une autre appelée DOLCE [180], est une ontologie fondamentale adaptée au domaine de l'ingénierie linguistique et cognitive. Entre autres, DUL a été utilisée comme ontologie de haut niveau par Andreadis *et al.* [85] pour modéliser les données du contexte (données des capteurs, etc.) dans une maison connectée dédiée aux personnes atteintes de la maladie

2. <http://ontologydesignpatterns.org/wiki/Ontology:DOLCE+DnSUltralite> [consulté en juillet 2021]

3.2. ONTOLOGIES

d’Alzheimer, et par Ni *et al.* [181] comme base de modélisation des activités des résidents des maisons connectées. Dans les domaines biologique et biomédical, l’ontologie générique BFO (Basic Formal Ontology) a été utilisée comme base pour le développement de plus de 130 ontologies publiques [172].

- Les **ontologies de domaine**. Elles sont des représentations des catégories et des relations de base d’un domaine précis. Par exemple, SSN (Semantic Sensor Network) [182], une ontologie des réseaux de capteurs dans le domaine de l’Internet des objets. Elle-même réutilise SOSA (Sensor, Observation, Sample, and Actuator) [183] pour décrire entre autres les capteurs et leurs observations, les procédures impliquées, les caractéristiques étudiées, les échantillons utilisés à cette fin, les propriétés observées, ainsi que les effecteurs.
- Les **ontologies de tâches**. Les processus de raisonnement appliqués aux connaissances forment eux-mêmes un domaine de connaissance. Ces ontologies spécifient des entités qui relèvent de la résolution d’un problème telle que la déduction. Elles fournissent les définitions des concepts et relations utilisés pour spécifier un processus de raisonnement lors de la réalisation d’une tâche particulière. Les ontologies de tâches peuvent être réutilisées pour des tâches similaires dans différentes applications.
- Les **ontologies applicatives**. Elles décrivent la structure des connaissances nécessaires à la réalisation d’une tâche particulière. Puisque chaque application est généralement caractérisée par un domaine particulier et une tâche particulière, les ontologies d’application sont issues d’une intégration des ontologies de domaines et des ontologies de tâches qui ont été spécialisées pour modéliser les besoins spécifiques de l’application. Par exemple, les ontologies de Ni *et al.* [181] et Andreadis *et al.* [85] mentionnées ci-dessus sont des ontologies applicatives du domaine des maisons connectées respectivement pour la reconnaissance d’activités et l’assistance aux personnes ayant des troubles cognitifs dus à la maladie d’Alzheimer. Le Chapitre 1 fait une revue plus complète des modèles ontologiques du domaine de l’assistance dans les environnements d’intelligence ambiante.

L’ontologie de l’assistance cognitive que nous entendons mettre sur pied est une ontologie applicative du domaine des maisons connectées. Pour la standardiser et

3.2. ONTOLOGIES

accroître son potentiel de réutilisation et d’interopérabilité, nous allons l’aligner sur DUL qui est adaptée au domaine. De plus, DUL va permettre de réunir les concepts interdisciplinaires issus de l’ingénierie des maisons connectées, et des sciences de la réadaptation. Afin de bénéficier des efforts déjà réalisés en matière de modélisation des données de capteurs dans les environnements IoT, nous allons intégrer SSN³ comme sous-ontologie de modélisation du contexte ambiant de la maison connectée, SSN étant l’ontologie recommandée par W3C (World Wide Web Consortium) à cet effet⁴.

3.2.4 Domaines d’applications

Aujourd’hui les ontologies sont présentes dans plusieurs domaines qui ne cessent de s’étendre. Fürst [177] identifie deux grands domaines d’application : le Web sémantique et les systèmes à base de connaissances (SBC). Nos travaux se situent dans le domaine des SBC où nous nous intéressons aux ontologies comme ressource de base pour conceptualiser l’assistance cognitive dans une maison connectée, pour assurer l’interaction système-résident, et pour le raisonnement qui assurera la cohérence de l’assistance.

Un SBC basé sur une ontologie contient deux niveaux de description [184] :

- Le *niveau terminologique* (*TBox*) qui définit des classes et les relations entre elles (c’est-à-dire l’ontologie proprement dite) ;
- Le *niveau factuel ou assertionnel* (*ABox*) qui énonce des faits sur des particuliers.

Par exemple, si *Luminaire* et *Chambre* sont deux classes, et *estInstalléA* est une relation, toutes définies dans la TBox, on peut avoir dans la ABox les assertions suivantes : *Luminaire(lumChevet)*, *Chambre(chbreCoucher)*, *estInstalléA(lumChevet ; chbreCoucher)* qui correspondent respectivement aux énoncés : *lumChevet* (le luminaire de chevet) est un luminaire, *chbreCoucher* (la chambre à coucher) est une chambre et le luminaire de chevet est installé dans la chambre à coucher.

Les SBC basés sur des ontologies portent entre autres sur l’informatique biomédicale [185, 186], le traitement automatique du langage naturel [187, 188], l’Internet des

3. <https://www.w3.org/TR/vocab-ssn/> [consulté en août 2021]

4. <https://www.w3.org/TR/vocab-ssn/> [consulté en août 2021]

3.2. ONTOLOGIES

objets, l'intelligence ambiante et les maisons connectées tels que largement explorés dans le Chapitre 1 de cette thèse.

Même si des ontologies ont été mises sur pied dans le domaine de l'assistance cognitive automatisée, nous n'avons pas trouvé de travaux sur des ontologies pouvant supporter un système d'assistance cognitive dédié aux personnes TCC en ce qui concerne l'aide minimale, la participation active au meilleur des capacités, la gradation et l'évaluation de l'assistance, et l'interaction système-résident.

3.2.5 Construction et formalisation

Une ontologie fournit à un système automatisé les connaissances expertes du domaine qui sont nécessaires pour rendre les services pour lesquels il est conçu. Pour que ces connaissances soient utilisables, il faut les conceptualiser et les formaliser dans un langage accessible à la machine. Parmi les méthodes de construction d'ontologies proposées dans la littérature, un certain nombre fait un large consensus : la méthode 101 [189], METHONTOLOGY [173], la méthode de Uschold et King [190], et TOVE [191]. La plupart de ces méthodes ont en commun un ensemble d'étapes clés :

- La *spécification de l'ontologie*. Définir le but, la portée, le degré de formalité, les futurs utilisateurs et les sources d'information.
- L'*acquisition des connaissances*. Identifier et définir les termes de l'ontologie.
- La *réutilisation de l'existant*. Identifier et intégrer les ontologies préexistantes dans la construction de la nouvelle ontologie.
- La *conceptualisation*. Définir les classes, les propriétés et la hiérarchie des classes.
- L'*implémentation*. Formaliser à l'aide d'un langage de représentation d'ontologies.
- L'*évaluation*. Vérifier et valider l'ontologie et son environnement logiciel.

L'implémentation ou formalisation est l'étape sans laquelle l'ontologie ne serait pas exploitable par des machines. Il s'agit de décrire les classes et relations à l'aide d'un langage formel, la plupart de temps un langage de logique de description [184]. Le langage OWL (Web Ontology Language) recommandé par le W3C est l'un des plus

3.2. ONTOLOGIES

utilisés, non seulement pour le Web sémantique, mais aussi pour les bases de connaissances à portée plus restreinte. Dans chacune de ses deux versions (OWL 1 et OWL 2), OWL comporte trois sous-langages qui se distinguent par leurs pouvoirs expressifs c'est-à-dire leur capacité à pouvoir représenter différents types de connaissances en fonction des opérateurs logiques qu'ils offrent, et par conséquent leur capacité d'inférence. Dans sa deuxième version (OWL 2), les sous-langages sont appelés *profils*⁵. Du moins expressif au plus expressif, on distingue *OWL 2 EL*, *OWL 2 QL* et *OWL 2 RL*. OWL 2 EL aide à définir des classes ayant un grand nombre de propriétés et des contraintes simples, car il n'admet que les constructeurs du langage de logique de description EL+ [192], ce qui restreint considérablement son pouvoir expressif. OWL 2 QL est destiné aux applications qui utilisent de très grands volumes de données et où les requêtes constituent la principale tâche de raisonnement. Les raisonnements sont efficaces (*LOGSPACE* décidables en la taille des données) mais l'expressivité est assez limitée en ne permettant que les constructeurs de la famille de logiques de description DL-Lite [193]. OWL 2 RL quant à lui est destiné aux applications qui nécessitent un raisonnement à grande échelle sans trop sacrifier de puissance expressive. Il est conçu pour les applications OWL 2 qui veulent un bon compromis entre expressivité du langage et efficacité du raisonnement. De plus, il permet de raisonner à base des règles logiques.

Pour la formalisation de l'assistance cognitive, il est nécessaire que le langage de formalisation puisse permettre de représenter les interventions cognitives, la maison connectée et ses équipements, les profils des résidents et le contexte de déroulement des activités. De plus, les raisonnements doivent être complets et décidables en temps raisonnable, pour que le résident puisse toujours recevoir l'aide dont il a besoin afin de pouvoir évoluer dans son activité. Comme mentionné plus haut, nous allons réutiliser les ontologies SOSA (incluse dans SSN) et DUL dont les langages de description sont respectivement *ALI(D)* et *SHOIN(D)*. L'expressivité maximale dont nous avons besoin est donc *SHOIN(D)* puisque nous n'allons pas introduire de nouveaux constructeurs. La logique de description *SHOIN(D)* étant déjà au-delà de l'expressivité de DL-Lite sur lequel repose OWL 2 QL, le profil qui sied à la représentation de notre ontologie est OWL 2 RL. De plus, la possibilité offerte par ce dernier d'intégrer des

5. <https://www.w3.org/TR/owl2-profiles/> [consulté en juillet 2021]

3.2. ONTOLOGIES

règles logiques pour représenter certains types de connaissances permet d'améliorer et/ou d'étendre le service d'assistance cognitive.

3.2.6 Raisonnement ontologique

En plus de la capacité de représentation des connaissances qu'offrent les ontologies, l'une de leurs forces réside dans les mécanismes de raisonnement qu'il est possible de leur appliquer, c'est-à-dire les possibilités d'inférer de nouvelles connaissances à partir de celles explicitement représentées. Parmi les mécanismes de raisonnement de base se trouvent :

- La **subsumption**, qui permet la classification des catégories d'objets dans la hiérarchie de l'ontologie, et des inférences logiques basées sur la relation de type « est un ». Par exemple, l'ontologie de E-care@Home [51] contient la relation de subsumption ($NodeHolder \sqsubseteq SSN : Platform$) dénotant le fait que tout *NodeHolder* est un *Platform* au sens de l'ontologie SSN, c'est-à-dire un objet de l'environnement sur lequel peut être installé un capteur/effecteur (par exemple un mur sur lequel on peut installer un capteur de mouvement, ou une cafetière sur laquelle on peut apposer une étiquette RFID). Ainsi, pour installer un capteur, l'ontologie pourra lister les instances de *Platform*, incluant tous les individus classifiés comme étant des instances de *NodeHolder*.
- La **vérification d'instance**, qui permet de retrouver les classes dont un individu est une instance.
- La **vérification de cohérence**, qui permet de vérifier que les individus de l'ontologie sont cohérents par rapport à la définition des classes c'est-à-dire qu'ils sont bien classés.

À côté de la relation de subsumption, des *axiomes* permettent de renforcer les contraintes et être plus précis sur les définitions des différentes classes. En revenant à l'exemple de l'ontologie de E-care@Home, une contrainte supplémentaire peut-être attachée à la définition de *NodeHolder* de la façon ci-dessous pour ajouter la possibilité de localiser

3.2. ONTOLOGIES

un *NodeHolder* dans la maison connectée.

$$\begin{aligned} \textit{NodeHolder} &\sqsubseteq \textit{SSN : Platform} \sqcap \\ &\exists \textit{DUL : hasLocation} \bullet \textit{Location} \end{aligned}$$

En matière de raisonnement, ceci pourrait permettre par exemple de savoir où est localisé un capteur qui a généré une donnée, le capteur étant installé sur le *NodeHolder*.

En outre, il existe des connaissances qui sont difficilement représentables sous forme de classes ou d'axiomes et nécessitent d'autres types de formalisation. Un exemple connu est l'impossibilité pour OWL d'exprimer une relation entre deux individus avec lesquels un troisième individu est en relation. Par exemple, la relation *oncleDe*(*X*, *Y*) qui nécessite la capacité de contraindre la valeur d'une propriété *frereDe* d'un terme *X* à la valeur d'une propriété *enfantDe* de l'autre terme *Y* [194]. En d'autres termes, la propriété *frereDe* appliquée à *X* (*frereDe*(*X*, *Z*)) doit produire un résultat *Z* qui est également une valeur de la propriété *enfantDe* lorsqu'elle est appliquée à *Y* (*enfantDe*(*Y*, *Z*)). La jointure de relation est en dehors du pouvoir expressif de OWL. Pour des raisons de décidabilité, les langages de formalisation d'ontologies n'offrent pas toujours le degré d'expressivité souhaité. Des règles logiques peuvent alors être introduites pour ajouter de l'expressivité en donnant la possibilité d'établir des liens qu'il serait difficile, voire impossible d'établir avec les descriptions ontologiques de concepts et de relations. Une façon de représenter des connaissances nécessitant des jointures de ce type consiste à utiliser les opérateurs d'implication (\rightarrow) et de conjonction (\wedge) des langages à base de règles. La relation *oncleDe* apparaîtrait alors comme *frereDe*(*X*, *Z*) \wedge *enfantDe*(*Y*, *Z*) \rightarrow *oncleDe*(*X*, *Y*). Les règles permettent d'ajouter des connaissances plus opérationnelles, comme dans le système de recommandation de Chen *et al.* [71] où des règles SWRL⁶ (Semantic Web Rule Language) sont utilisées pour déduire les prescriptions médicamenteuses de patients diabétiques à partir des connaissances de l'ontologie des médicaments antidiabétiques. Elles servent également à formaliser des comportements par défaut, des exceptions et même les relations entre entités d'ontologies différentes intégrées dans le même système.

6. <https://www.w3.org/Submission/SWRL/> [consulté en août 2021]

3.2. ONTOLOGIES

3.2.7 Intégration d'ontologies

Les concepteurs et utilisateurs d'ontologies n'utilisent pas seulement leurs propres ontologies, mais réutilisent des ontologies préexistantes. Il arrive donc que l'on ait besoin d'utiliser dans le même SBC plusieurs ontologies. Des alignements peuvent être utilisés pour l'importation des données d'une ontologie dans une autre ou pour la fusion d'ontologies. Dans notre travail, l'intégration d'une ontologie fondamentale comme DUL et de l'ontologie des capteurs SSN semble très pertinente pour la construction de l'ontologie de l'assistance cognitive. DUL définit des concepts de base et une structure globale standardisée de l'ontologie, SSN formalise les réseaux de capteurs. Euzenat et Shvaiko [195] définit un ensemble de concepts clés pour l'utilisation conjointe d'ontologies :

- **Correspondance.** Relation sémantique entre entités d'ontologies différentes.
- **Alignement.** Ensemble de correspondances entre deux ou plusieurs ontologies.
- **Fusion d'ontologies.** Création d'une nouvelle ontologie à partir de plusieurs existantes ; les ontologies initiales sont modifiées.
- **Intégration d'ontologies.** Inclusion d'une ontologie dans une autre, ainsi que des assertions exprimant les liens entre les ontologies. Contrairement à la fusion, l'ontologie incluse n'est pas altérée.

DUL et SSN seront intégrées à l'ontologie de l'assistance cognitive par alignement sans altération de leur structure d'origine. Ceci assurera la réutilisabilité, la maintenabilité et l'évolution de l'ontologie de l'assistance cognitive avec les ontologies intégrées.

Les connaissances représentées dans une ontologie sont statiques et ne peuvent être utilisées dans un processus que grâce à un agent intelligent qui implémente une procédure dynamique, et qui se sert de l'ontologie pour prendre des décisions informées c'est-à-dire basées sur des connaissances du domaine d'application. Ainsi, bien que l'ontologie soit capable de représenter des connaissances sur les capteurs/effecteurs, la configuration de la maison connectée, les profils des résidents et les interventions cognitives utilisées dans la pratique clinique entre autres, il faut qu'un agent autonome implanté dans la maison gère des aspects comme l'interaction avec le résident et les prises de décision d'assistance (les moments d'intervention, la sélection des messages et des effecteurs appropriés, l'évaluation de l'assistance, etc.). La suite de notre travail consiste à présenter et sélectionner des outils de délibération et d'interaction pour

3.3. DÉLIBÉRATION ET INTERACTION HUMAIN-MACHINE DANS UN ENVIRONNEMENT D'INTELLIGENCE AMBIANTE

compléter la formalisation de l'assistance cognitive dans une maison connectée.

3.3 Délibération et interaction humain-machine dans un environnement d'intelligence ambiante

Dans une maison connectée offrant de l'assistance, les messages d'assistance générés et diffusés dans l'environnement sont des stimuli produits par les effecteurs afin de modifier l'environnement également perceptible par la personne ayant des déficits cognitifs. Ces messages sont produits par des agents autonomes implémentant des fonctions d'apprentissage automatique, de raisonnement orienté vers des buts et/ou de planification. La planification pouvant être statique comme dans le cas d'une alarme déclenchée à un moment précis ou à intervalles de temps réguliers, ou dynamique en fonction du profil du résident et de son évolution dans ses activités. En réaction aux stimuli, le résident effectue des actions qui sont perçues en retour par les agents autonomes, décrivant ainsi un processus de délibération (prise de décision) et d'interaction entre agents intelligents et humains. La Figure 3.1 montre une vue schématique des entités et concepts intervenants dans un tel processus. Le processus qu'illustre la Figure 3.1 est le cadre général de prise de décision et d'interaction d'entités autonomes évoluant dans les systèmes d'intelligence ambiante. Le système repose la plupart du temps sur une plateforme d'automatisation chargée d'intégrer et connecter les différentes entités physiques et logicielles. Ingrand *et al.* [196] identifient et décrivent quelques fonctionnalités d'un tel processus comme suit :

- *Planification* : synthétiser une trajectoire dans un espace d'actions abstraites basé sur des modèles prédictifs de l'environnement et des actions réalisables afin d'atteindre un certain objectif.
- *Action* : traduire les actions planifiées en commandes concrètes appropriées au contexte courant et réagir aux événements.
- *Perception* : détecter et reconnaître les éléments et les relations caractérisant l'état du monde, ainsi que les événements, les actions et les plans pertinents pour la tâche.
- *Raisonnement orienté buts* : comparer ce qui est prédit à ce qui est observé,

3.3. DÉLIBÉRATION ET INTERACTION HUMAIN-MACHINE DANS UN ENVIRONNEMENT D'INTELLIGENCE AMBIANTE

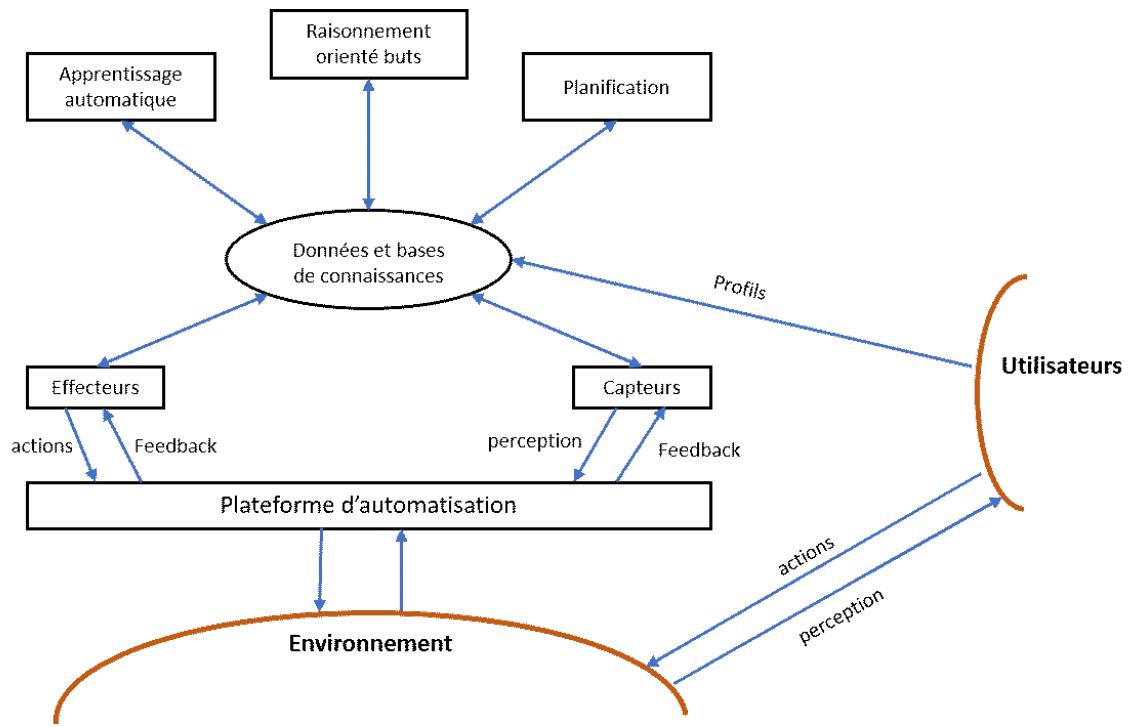


FIGURE 3.1 – Délibération et interaction humain-machine en contexte d'intelligence ambiante

déetecter et interpréter les divergences, effectuer un diagnostic et déclencher des actions de correction si nécessaire.

- *Apprentissage* : acquérir, adapter et améliorer ses modèles de délibération par l'expérience.

Qu'il s'agisse d'entités physiques comme les robots ou virtuelles comme les assistants virtuels, elles peuvent exhiber un ou plusieurs de ces comportements. Plusieurs modèles permettant de les mettre en œuvre ont été proposés dans la littérature. Ils incluent entre autres les *machines à états finis*, les *architectures de subsomption*, les *architectures téléo-réactives*, et les *arbres de décision*. Ces modèles d'agents autonomes sont pertinents pour la perception, la planification, l'action, et le raisonnement orienté vers des buts. Les modèles d'apprentissage, basés sur les données, ont été discutés et discriminés dans le Chapitre 1. Les sections suivantes discutent de ces modèles et aboutissent à la présentation des arbres de comportement comme des sortes d'arbres

3.3. DÉLIBÉRATION ET INTERACTION HUMAIN-MACHINE DANS UN ENVIRONNEMENT D'INTELLIGENCE AMBIANTE

de décision particuliers, adaptés à la modélisation de l'interaction système-résident aux fins d'assistance cognitive.

3.3.1 Machines à états finis

Une machine à états finis (ou FSM pour Finite State Machine) est un type d'automatisation qui utilise un nombre fini d'états dans son exécution. Le processus entre dans un état lorsqu'il est déclenché par un événement, puis ne quitte cet état que lorsqu'un autre événement est déclenché [197]. L'idée est de décomposer les comportements d'un agent en plusieurs états, avec un état initial dans lequel il continuera à fonctionner jusqu'à ce qu'un nouvel événement le fasse passer dans un autre état et ainsi de suite. Ces passages entre états, appelés transitions, permettent d'ajouter des conditions de passage d'un état à un autre.

Le framework DATA [198], basé sur une machine à états finis, a été proposé pour le développement de systèmes d'intelligence ambiante supportant les interactions entre les utilisateurs de profils variés avec le système et les appareils électroniques. Langensiepen *et al.* [199] quant à lui a utilisé les FSM pour reconnaître les activités des employés de bureau, améliorer leur confort et optimiser la consommation électrique. Bien que les machines à états soient intuitives, faciles à comprendre et à implémenter, elles présentent des désavantages en termes de modularité et réactivité. Leur définition peut vite devenir lourde à mesure que se complexifie le comportement. Un comportement réactif nécessite un nombre important de transitions qui complique la maintenance, le passage à l'échelle et la réutilisabilité [200]. C'est pourquoi les machines à états finis hiérarchiques (HFSM pour Hierarchical FSM) ont vu le jour. Celles-ci comportent des super-états qui contiennent plusieurs sous-états. Cela permet de définir des macro-comportements composés de micro-comportements. Le nombre de transitions peut ainsi être réduit grâce aux transitions génériques qui connectent les super-états au lieu de connecter directement un grand nombre de sous-états. Cependant, pour de longues séquences d'actions qui doivent être réexécutées si l'environnement a changé (réactivité), il faut toujours des sous-états complètement connectés. Les HFSM ont été largement utilisés pour définir les comportements des personnages non joueurs (PNJ) dans les jeux vidéo, c'est-à-dire des personnages non contrôlés par

3.3. DÉLIBÉRATION ET INTERACTION HUMAIN-MACHINE DANS UN ENVIRONNEMENT D'INTELLIGENCE AMBIANTE

le joueur [201]. Pour ce qui est de l'assistance cognitive, les connaissances en science de la réadaptation évoluent et il est attendu que de nouvelles stratégies et interventions voient le jour. Un système basé sur des FSM rendrait complexe l'intégration de nouvelles possibilités dans la structure décisionnelle de l'agent d'assistance.

3.3.2 Architectures de subsomption

Introduites par Brooks [202] pour structurer les comportements réactifs des robots en particulier, leur utilisation a été largement étendue à divers systèmes pour décrire les comportements temps réel des agents autonomes en général. L'idée est de décomposer le comportement global en comportements spécifiques appelés *compétences*, s'exécutant en parallèle, chacun d'eux pour accomplir une tâche particulière (par exemple, *se déplacer, éviter des obstacles*). Les compétences sont ordonnées selon des priorités différentes et chacune d'elles a accès à la composante de perception de l'environnement et aux effecteurs. Les compétences de priorités élevées subsument les compétences de plus basse priorité. Cette architecture est largement répandue en robotique pour planifier les déplacements (systèmes de navigation) et les actions des robots. Connell [203] l'utilise pour explorer l'environnement à la recherche d'autres agents avec lesquels interagir, Amir et Maynard-Zhang [204] pour rechercher et déplacer des objets.

Une architecture de subsomption permet de prioriser certains comportements et offre aussi l'avantage de faciliter le développement et les tests des systèmes temps réel. Ceci peut être intéressant pour prioriser certaines interventions dans l'assistance cognitive. Cependant, l'absence d'une structure globale pour les différentes compétences rend le passage à l'échelle et la maintenance du système difficiles parce que l'ajout de nouvelles compétences est difficile à estimer. Pourtant, l'évolution des connaissances en sciences de la réadaptation nécessitera l'ajout de nouvelles pistes dans les prises de décision d'un agent d'assistance cognitive.

3.3.3 Architectures téléoréactives

Nilsson [205] introduit les architectures téléoréactives pour organiser les comportements d'agents autonomes dans des environnements dynamiques. Elles permettent

3.3. DÉLIBÉRATION ET INTERACTION HUMAIN-MACHINE DANS UN ENVIRONNEMENT D'INTELLIGENCE AMBIANTE

de diriger l'agent vers l'atteinte d'objectifs spécifiques (d'où le terme *teleo*) grâce à un ensemble de règles priorisées de type *condition-action*, tout en étant réactif aux changements de l'environnement. Puisque Nilsson avait principalement travaillé sur des robots mobiles, la plupart des travaux sur cette approche ont porté sur le développement de tels systèmes, comme le système de contrôle qui planifie et exécute les actions des véhicules autonomes d'exploration sous-marine [206]. Cependant, ce paradigme a inspiré des domaines autres que la robotique. Par exemple, Marinovic *et al.* [207] utilise l'approche téléoréactive pour modéliser un workflow médical dans un système de santé pervasif sous forme de processus orienté buts, afin de faire face aux effets imprévisibles que produisent généralement l'intervention d'agents humains (médecins, infirmières, patients, etc.). Le travail de Sánchez *et al.* [208] quant à lui, dans le but de faciliter le développement de systèmes IoT (Internet of Things), propose de modéliser ces derniers comme un ensemble de nœuds téléoréactifs communicants. Ces nœuds perçoivent continuellement l'environnement, détectent les changements et réagissent en conséquence tout en poursuivant leur objectif final. En cas de problème, ils n'échouent pas, mais reviennent en arrière pour évoluer à nouveau vers leur objectif final.

Les architectures téléoréactives offrent une structure intuitive pour la conception de systèmes simples et permettent aux agents de monitorer continuellement les conditions d'exécution de leurs actions pour exhiber des comportements très dynamiques. Leurs principaux désavantages résident dans la maintenabilité difficile d'une longue liste de règles lorsque le système se complexifie, et la façon de gérer les échecs parce qu'il faut pour chaque action une condition qui vérifie si elle échoue.

3.3.4 Arbres de décision

Les modèles basés sur des arbres sont très populaires grâce à leur capacité à modéliser des systèmes complexes dans une structure relativement simple en ce qui concerne l'interprétation. Un arbre de décision est un arbre orienté contenant une liste de nœuds de type « *si-alors* », constituant des points de décision. Les nœuds internes décrivent des prédictats à évaluer, les branches sont les résultats de ces évaluations, tandis que les feuilles décrivent les décisions, conclusions ou actions à effectuer [209].

3.3. DÉLIBÉRATION ET INTERACTION HUMAIN-MACHINE DANS UN ENVIRONNEMENT D'INTELLIGENCE AMBIANTE

En ce qui concerne leurs applications, Lopez-Gude et al. [210] les utilise pour prédire le comportement des personnes âgées dans le cadre de la téléassistance à domicile. Dans la même veine, ils sont utilisés par Maekawa et al. [211] pour reconnaître une large gamme d'activités à partir des données des capteurs magnétiques portés à la main. Ces activités vont des activités simples impliquant les mouvements de la main comme la marche et la course, à l'utilisation d'appareils électroniques comme les téléphones portables et les appareils photo. Ce modèle est aussi utilisé par Lopez et al. [212] pour décider du comportement et des actions d'un robot conversationnel de manière adaptative en fonction du sujet et des circonstances, dans une tâche de négociation complexe avec un humain.

Les arbres de décision utilisés par les agents évoluant dans des environnements dynamiques peuvent être construits manuellement ou par apprentissage automatique. Ils sont relativement simples à construire et peuvent l'être de façon modulaire : un arbre simple peut être implanté au départ pour un nombre restreint de décisions, puis au fur et à mesure, des décisions supplémentaires peuvent être ajoutées pour étendre le comportement global. Leur principal désavantage c'est qu'aucun flux d'information ne sort des noeuds, ce qui rend le traitement des défaillances très difficile. De plus, ils sont relativement instables parce qu'un petit changement dans les données peut entraîner un grand changement dans la structure de l'arbre de décision optimal [200], ce qui n'est pas intéressant du point de vue de l'assistance cognitive dont les interventions sont sujettes à évolution.

Les architectures d'agents présentées ci-dessus peuvent être généralisées grâce aux arbres de comportement (AC) qui offrent une structure permettant de minimiser la plupart de leurs désavantages et mieux planifier le comportement d'un agent qui adapte ses actions selon les changements qui surviennent dans l'environnement [200]. C'est pourquoi ils sont présentés de façon plus détaillée par rapport à la planification et l'interaction dans la section suivante.

3.3.5 Arbres de comportement et planification contingente

Les AC ont été proposés dans l'univers des jeux vidéo pour structurer la prise de décision d'un agent autonome (précisément les PNJ) et lui donner la réactivité nécessaire.

3.3. DÉLIBÉRATION ET INTERACTION HUMAIN-MACHINE DANS UN ENVIRONNEMENT D'INTELLIGENCE AMBIANTE

saire dans une interaction avec d'autres agents dans un univers dynamique. Ils ont été repris dans d'autres domaines pour donner la possibilité aux agents de percevoir leur environnement et planifier dynamiquement leurs actions tout en interagissant avec les autres (y compris les humains) comme on le voudrait dans l'assistance cognitive. Cette planification évolutive est dite *contingente* ou *conditionnelle*.

Arbres de comportement dans les environnements d'intelligence ambiante

Les AC ont révélé toute leur puissance dans l'industrie du jeu vidéo pour structurer le comportement des entités contrôlées par le moteur de jeu, qu'il s'agisse d'ennemis ou de partenaires amicaux du personnage contrôlé par le joueur [213, 214, 215]. Leur utilisation en dehors des jeux vidéo se retrouve aussi dans le domaine de la robotique pour la planification dynamique du comportement des robots évoluant dans des environnements dynamiques [200, 216, 217, 218]. Les travaux de Francillette *et al.* [219, 220] se situent dans le champ de l'assistance aux activités quotidiennes et proposent d'utiliser des AC pour modéliser les activités domiciliaires. Ils n'ont pas pour objectif de fournir l'assistance à proprement parler, mais plutôt de simuler le comportement d'une personne qui réalise des activités dans une maison connectée afin de faciliter le processus d'assistance cognitive pour cette personne.

Dans notre exploration de la littérature, nous n'avons pas identifié des travaux ayant utilisé des AC pour modéliser l'assistance cognitive, encore moins l'assistance cognitive aux personnes ayant un TCC. Nos travaux se situent dans la suite des travaux de Francillette *et al.* [219, 220] et entendent apporter l'assistance cognitive aux personnes TCC en utilisant les AC pour structurer les prises de décision d'assistance, la réactivité et l'adaptabilité de l'agent autonome en fonction du profil de la personne et du contexte des activités qu'il réalise. Nous voyons alors une analogie entre l'agent autonome d'une maison connectée et un PNJ dans un jeu vidéo. Comme un PNJ amical qui guide le joueur dans un jeu, l'agent autonome d'une maison connectée est l'agent amical qui guide la personne ayant des déficits cognitifs dans ses activités quotidiennes. Selon Isla [214], il est important pour un PNJ d'effectuer les actions correctement, au bon moment, et d'une manière qui ne brise pas l'illusion de la vie réelle. De même, dans une perspective de réadaptation cognitive, il est très important que l'agent autonome d'une maison connectée fournit la bonne assistance (c'est-à-

3.3. DÉLIBÉRATION ET INTERACTION HUMAIN-MACHINE DANS UN ENVIRONNEMENT D'INTELLIGENCE AMBIANTE

dire des indices appropriés) au bon moment (c'est-à-dire quand cela est nécessaire) et d'une manière qui ne rompt pas l'interaction intuitive que le résident a avec les objets du quotidien disséminés dans la maison. Les AC offrent un outil expressif pour modéliser le comportement et le contrôle de flux de tels agents autonomes interactifs.

Caractéristiques des arbres de comportement

Un AC est un modèle mathématique basé sur une structure d'arbre, qui permet de structurer la prise de décision d'exécution de différentes tâches par un agent autonome, comme un robot ou une entité virtuelle dans un jeu vidéo [200]. Il est constitué de nœuds hiérarchiques qui contrôlent le flux de prise de décision de l'entité intelligente. Différents types de nœuds internes (*nœud de contrôle de flux*) contrôlent le flux de la racine vers les feuilles (*nœud d'exécution*) qui sont les commandes réelles. La structure de commutation entre les tâches de l'AC permet de sélectionner le chemin adapté au contexte. Un AC supporte une architecture pilotée par des « *ticks* » qui sont des activations de l'arbre. Lorsqu'un nœud est activé (reçoit un *tick*), il activera ses enfants à partir de la gauche et ainsi de suite jusqu'à ce qu'un nœud d'exécution soit atteint (parcours en profondeur d'abord). Un *tick* reçu dans un nœud feuille permet l'exécution de ce noeud. Le nœud feuille renvoie immédiatement l'un de ses états (ou statuts) possibles à son parent : « *En cours d'exécution (Running)* » si son exécution est en cours, « *Succès (Success)* » si elle a atteint son but, ou « *Échec (Failure)* » sinon. Par la suite, le nœud d'exécution renvoie son résultat qui est successivement propagé vers les nœuds supérieurs. L'architecture pilotée par les *tick* prévoit que quand un nœud est activé, il doit retourner immédiatement son statut. Le statut *Running* doit donc être retourné pour les opérations longues.

Dans la formulation classique des AC, il existe quatre catégories de nœuds de contrôle de flux (*Sélecteur*, *Séquence*, *Parallèle* et *Décorateur*) et deux catégories de nœuds d'exécution (Action et Condition) comme résumé dans.

— Nœuds de contrôle de flux

- **Sélecteur** : tâche qui exécute séquentiellement tous ses enfants dans l'ordre (de gauche à droite). Si l'un d'entre eux réussit, la tâche *Sélecteur* réussit. Si tous échouent, la tâche *Sélecteur* échoue.
- **Séquence** : tâche qui exécute séquentiellement tous ses enfants dans l'ordre.

3.3. DÉLIBÉRATION ET INTERACTION HUMAIN-MACHINE DANS UN ENVIRONNEMENT D'INTELLIGENCE AMBIANTE

Si l'un d'eux échoue, la tâche *Séquence* échoue. Si tous réussissent, la tâche *Séquence* réussit.

- **Parallèle** : tâche qui exécute simultanément tous ses enfants. Une tâche parallèle possède une politique de contrôle : *Sélecteur* ou *Séquence*. Si la politique de la tâche parallèle est *Séquence*, le parallèle échoue si un enfant échoue ; si tous réussissent, alors le parallèle réussit. Si la politique de la tâche parallèle est *Sélecteur*, le parallèle échoue si tous ses enfants échouent. Si l'un d'eux réussit, alors le parallèle aussi réussit.
- **Décorateur** : tâche avec un enfant et dont le but est de modifier la façon dont cet enfant se comporte. Les décorateurs dépendent des implémentations. Par exemple, Java Behaviour Trees⁷ (JBT) , un Framework Java pour la conception et l'exécution des AC, propose des décorateurs parmi lesquels :
 - *Inverter* : qui inverse l'état renvoyé par son nœud fils lorsque ce dernier se termine. Il transforme *Success* en *Failure* et *Failure* en *Success*.
 - *Succeeder* : qui réussit à tous les coups. Il exécute son nœud fils, mais, quel que soit le statut de retour de ce dernier, le *Succeeder* réussira toujours.
 - *Repeat* : qui exécute son nœud fils pour toujours. Lorsque sa tâche enfant se termine, elle l'exécute à nouveau.
 - *Until Fail* : qui réexécute son nœud fils tant que ce dernier n'échoue pas. Il réussit dès que le fils échoue.

— Nœuds d'exécution

- **Action** : action générique qui est exécutée par l'agent dont le comportement est décrit par l'AC. Ce nœud réussit si l'action achève son exécution, et échoue dans le cas contraire.
- **Condition** : condition générique qui est exécutée par l'agent dont le comportement est décrit par l'AC. Ce nœud réussit si la condition est évaluée à *Vrai*, et échoue dans le cas contraire (*Faux*).

Le Tableau 3.1 résume les types de nœuds rencontrés de façon classique dans les AC. Pour pouvoir prendre des décisions informées, un AC utilise une structure de données

7. <https://github.com/gaia-ucm/jbt> [consulté en juillet 2021]

3.3. DÉLIBÉRATION ET INTERACTION HUMAIN-MACHINE DANS UN ENVIRONNEMENT D'INTELLIGENCE AMBIANTE

TABLEAU 3.1 – Les types de nœuds classiques des AC

	Type de nœud	Symbol	Succès	Échec	En cours d'exécution
Nœuds de contrôle de flux	<i>Sélecteur</i>		Si un fils réussi	Si tous les fils échouent	Si un fils est en cours d'exécution
	<i>Séquence</i>		Si tous les fils réussissent	Si un fils échoue	Si un fils est en cours d'exécution
	<i>Parallèle</i>		Dépend de la politique de contrôle	Dépend de la politique de contrôle	Simon
	<i>Décorateur</i>		Dépend du type de décorateur	Dépend du type de décorateur	Dépend du type de décorateur
Nœuds d'exécution	<i>Action</i>		Lorsque terminé	Si impossible de terminer	Pendant l'exécution
	<i>Condition</i>		Si la condition est Vraie	Si la condition est fausse	Jamais

3.3. DÉLIBÉRATION ET INTERACTION HUMAIN-MACHINE DANS UN ENVIRONNEMENT D'INTELLIGENCE AMBIANTE

clé-valeur distincte appelée ***Blackboard*** pour stocker les informations. Chaque nœud d'exécution peut accéder au *Blackboard* pour lire des informations ou pour en stocker, ces dernières étant alors disponibles pour l'ensemble de l'AC.

Exécution d'un arbre de comportement

Pour décrire le processus d'exécution et la réactivité d'un AC, considérons l'AC de la Figure 3.2, conçu pour un robot qui aide au nettoyage dans une maison connectée. Il a pour but de localiser des déchets au sol de la salle à manger, se déplacer au besoin pour les ramasser et aller ensuite les jeter à la poubelle. Pour planifier le comportement du robot par rapport à cette tâche, nous utilisons l'algorithme de planification proposé par Colledanchise *et al.* [216] pour construire l'AC du robot nettoyeur. Lorsque

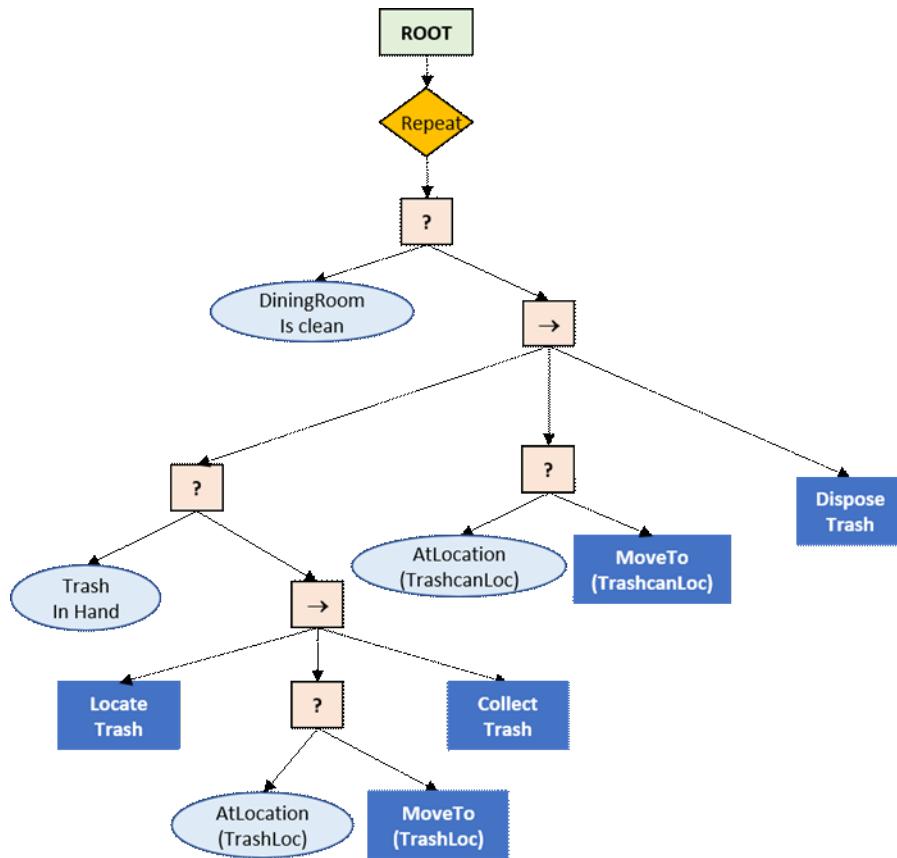


FIGURE 3.2 – Exemple d'AC dans le domaine de l'assistance à domicile

3.3. DÉLIBÉRATION ET INTERACTION HUMAIN-MACHINE DANS UN ENVIRONNEMENT D'INTELLIGENCE AMBIANTE

l'exécution commence, le *tick* ou *activation* traverse l'AC et atteint la condition *DiningRoom Is clean* (la salle à manger est propre) qui est le but que le robot essaie continuellement d'atteindre. S'il n'y a pas de déchet dans la pièce, la condition réussit, le sélecteur réussit ensuite et le *Repeat* aussi. Cette courte branche de l'AC se répète continuellement jusqu'à ce que le robot repère un déchet quelque part dans la pièce, ce qui fait échouer la condition *DiningRoom is clean*. Les *tick* continuent alors à explorer l'arbre et atteignent la condition *Trash In Hand* qui échoue (puisque le robot n'a pas encore le déchet en main). Les *tick* continuent et atteignent l'action *Locate Trash*, qui est exécutée. Les *tick* continuent jusqu'à la condition *AtLocation(TrashLoc)* qui échoue, car le robot n'est pas encore à l'emplacement de l'ordure à ramasser. L'action *MoveTo(TrashLoc)* s'exécute alors et renvoie l'état *Running* car le déplacement du robot vers l'emplacement de l'ordure est une opération longue. Pendant son déplacement, le robot voit la poubelle avec sa caméra et sait qu'il a atteint l'emplacement de la poubelle. Par conséquent, la condition *AtLocation(TrashLoc)* réussit et les *tick* n'atteignent plus l'action de déplacement. Les *tick* continuent vers l'action *Collect Trash* qui est exécutée et renvoie *Running* jusqu'à ce que le robot ait le déchet en main, ce qui fait que la condition *Trash In Hand* renvoie *Success* et que les *ticks* continuent vers *AtLocation(TrashcanLoc)* qui échoue. L'action *MoveTo(TrashcanLoc)* s'exécute alors et renvoie l'état *Running* comme décrit ci-dessus, jusqu'à ce que le robot atteigne l'emplacement de la poubelle où la condition *AtLocation(TrashcanLoc)* renvoie *Success*. Les *ticks* continuent sur l'exécution de *Dispose Trash* et le robot jette le déchet dans la poubelle. Les informations telles que la position du déchet, du robot et de la poubelle sont stockées dans le *Blackboard* et partagées entre les noeuds d'exécution. L'architecture pilotée par les *ticks* permet à l'entité qui implémente l'AC d'être très réactif, non seulement parce que l'arbre est réévalué depuis sa racine à chacun des *ticks*, mais aussi parce que quand un noeud est activé, il doit très rapidement retourner son statut pour permettre aux *ticks* de continuer l'exploration de l'arbre. Dans l'exemple du robot nettoyeur, si le déchet tombe des mains du robot alors qu'il se déplace vers la poubelle, les *ticks* échoueront sur la condition *Trash in Hand*, ce qui fera que le robot relocalisera le déchet et ira le ramasser de nouveau avant de continuer vers la poubelle où il le jettera, sans avoir à replanifier en termes d'expansion de l'AC. L'algorithme 3.1 montre deux exemples de plans que l'AC du robot nettoyeur est susceptible de générer.

3.4. CONCLUSION

Algorithme 3.1 – Exemples de plans générés par l'AC du robot nettoyeur

```
<!-- Plan1 (Normal) : -->
[locateTrash, MoveTo(TrashLoc), CollectTrash, MoveTo(TrashcanLoc),
 DisposeTrash]
<!-- Plan 2 (le déchet tombe accidentellement des mains du robot alors
qu'il se dirige vers la poubelle) : -->
[locateTrash, MoveTo(TrashLoc), CollectTrash, MoveTo(TrashcanLoc),
 locateTrash, CollectTrash, MoveTo(TrashcanLoc), DisposeTrash]
```

3.4 Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter un ensemble d'outils méthodologiques (actes de langage, ontologies, délibération et interaction humain-machine) nécessaires à la construction des modèles pour la mise en place de l'assistance cognitive dans les maisons connectées. La suite s'intéresse à la mise sur pied de ces modèles.

Chapitre 4

**Des actes de langage aux actes
d'assistance pour l'assistance
cognitive dans les systèmes d'aide
à domicile**

Résumé

L’assistance cognitive basée sur la technologie est très souvent excessive ou insuffisante, et donc pas nécessairement utile, en raison de son inadéquation avec les besoins et capacités des personnes atteintes de déficits cognitifs. L’assistance cognitive est généralement fournie par le biais d’un dialogue pendant lequel l’aidant fournit des indications qui devraient fournir comme réponse chez la personne assistée un comportement approprié. Ce chapitre propose un modèle d’assistance cognitive basé sur les actes de langage et les ontologies pour les systèmes d’assistance à domicile (SAD). Il vise à caractériser les situations dans lesquelles une assistance est nécessaire et à supporter un dialogue adaptatif entre le SAD et les individus pour les aider à faire face aux situations problématiques de manière minimalement assistée, dans la mesure du possible. La théorie des actes de langage est étendue pour opérationnaliser les interventions cognitives en termes de messages d’assistance contextuels. Le modèle permet aux SAD d’identifier le moment approprié pour fournir l’assistance en fonction des observations des capteurs, et délivrer des messages d’assistance progressifs avec des arrêts, ou des ajustements et des reprises, en fonction des comportements des personnes souffrant de déficits cognitifs, tels que ceux induits par le traumatisme craniocérébral (TCC). Une telle assistance centrée sur l’utilisateur prend en compte à la fois ses capacités et ses besoins afin de lui fournir le niveau d’assistance adéquat qui le pousse à effectuer des tâches par lui-même, de la façon la plus indépendante possible. Le modèle s’appuie sur l’assistance verbale telle que donnée aux personnes ayant un TCC dans la pratique clinique, et l’étend pour permettre aux SAD de fournir des actes d’assistance en temps opportun par le biais de divers effecteurs lors de la réalisation des activités de la vie quotidienne. Le modèle est formalisé dans une ontologie pour permettre le raisonnement, l’extension et

la réutilisation dans différents SAD. L'illustration sur un scénario de la vie quotidienne montre son utilité et son applicabilité pour la fourniture de l'assistance cognitive par la diffusion de messages d'assistance graduels.

Commentaires

Dans ce chapitre est intégralement présenté l'article intitulé *From speech acts to assistance acts for cognitive rehabilitation in ambient assisted living : how to nudge cognitively impaired people to act independently, 35 pages*, soumis en février 2021 à la revue *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing (AIHC)* de l'éditeur *Springer*. La dernière version révisée en fonction des commentaires des relecteurs a été renvoyée en novembre 2021 à l'éditeur pour poursuivre le processus de publication. C'est cette version révisée qui est présentée ici. Les auteurs dans l'ordre sont Armel Ayimdji Tekemetieu, Hélène Pigot, Carolina Bottari et Sylvain Giroux.

L'un des intérêts de ce modèle c'est la possibilité qu'il offre, au travers de sa composante "*Intervention Plan*" dans le profil de l'utilisateur, d'intégrer les informations fournies par l'ergothérapeute. Ainsi, le modèle tout en étant générique permet au clinicien de personnaliser l'assistance cognitive selon les caractéristiques particulières de chaque client.

Dans la réalisation de cet article, j'ai (Armel Ayimdji Tekemetieu) contribué en tant que premier auteur à la formalisation ontologique du modèle théorique d'assistance cognitive dans les maisons connectées, et à la rédaction de la première mouture de l'article. La conception du modèle théorique en lui-même, à savoir la conception de l'assistance cognitive à partir des actes de langage et des principes de réadaptation cognitive, a entièrement été accompagnée par mes directeurs de recherche Hélène Pigot, Carolina Bottari et Sylvain Giroux. Tous les auteurs ont contribué à la correction du manuscrit.

From Speech Acts to Assistance Acts for Cognitive Assistance in Ambient Assisted Living: How to Nudge Cognitively Impaired People to Act Independently

Armel Ayimdjì Tekemetieu

Département d'informatique, Université de Sherbrooke,
Sherbrooke, Québec, Canada J1K 2R1
Armel.Ayimdji.Tekemetieu@USherbrooke.ca

Hélène Pigot

Département d'informatique, Université de Sherbrooke,
Sherbrooke, Québec, Canada J1K 2R1
helene.pigot@usherbrooke.ca

Carolina Bottari

École de réadaptation, Université de Montréal,
Montréal, Québec, Canada H3N 1X7
carolina.bottari@umontreal.ca

Sylvain Giroux

Département d'informatique, Université de Sherbrooke,
Sherbrooke, Québec, Canada J1K 2R1
sylvain.giroux@usherbrooke.ca

Keywords: Cognitive assistance; ambient assisted living; speech acts; ontologies; activities of daily living

Abstract

Technology-driven cognitive assistance is often either excessive or insufficient, and then not necessarily helpful, because of the inadaptability to the needs and abilities of people with cognitive impairments. Cognitive assistance is usually a dialogue where the caregiver provides assistive cues to which the assisted person replies with behaviours. This research proposes an ontology-based cognitive assistance model for ambient assisted living (AAL) systems. It aims to characterize the situations where assistance is needed and to provide an adaptive dialogue between the AAL system and individuals to help them cope with problematic situations in a minimally assisted

manner, in so far as it is possible. The theory of speech acts is extended to translate cognitive assistance into adaptive assistive messages. The model enables AAL systems to identify when to assist according to the sensor observations and to deliver progressive minimal guidance messages with stops, or adjustments and replays, depending on the behaviours of people living with cognitive impairments, such as traumatic brain injury (TBI). Such user-centered assistance considers both the abilities, and the assistance needs of individuals, to give the right level of assistance that just nudges them towards carrying out tasks “on their own”. The model builds on cognitive assistance as used within clinical practice in the field of TBI and extends it to enable AAL systems to deliver assistance acts in due course through various actuators during the person’s everyday life activities. The model is formalized in an ontology to enable reasoning capability, extension, and reuse in different AAL systems. The illustration using a real-life scenario shows its usability and applicability in the provision of cognitive assistance through graded guidance message spreading.

4.1. INTRODUCTION

4.1 Introduction

The expected increase in the number of individuals with cognitive impairments and associated functional impairments is a growing public health concern. Professional and family caregivers are recognized as indispensable for improving the quality of life of persons with impaired cognitive functions [30], such as traumatic brain injury (TBI). Seelye *et al.* [32] reports that prompts are used by caregivers on a routine basis to help individuals with cognitive impairments maintain independence in activities of daily living (ADL). However, mobilizing caregivers to provide 24/7 assistance to cognitively impaired people in their daily routines is both expensive and a significant burden for the formal and informal support network [221, 222]. Ambient assisted living (AAL) is of considerable interest in supporting people with disabilities in terms of health, well-being and independence [11, 17, 223]. Meanwhile, there is a significant risk for an ambient assisted living system (AALS) to provide either too much assistance or not enough, which fails to adapt to persons' abilities. In fact, to provide the right support required by individuals with cognitive impairments, it is necessary to understand their level of independence in everyday activities [133, 140]. A core principle of cognitive rehabilitation is to empower cognitively impaired people by providing the right level of assistance, therefore avoiding over- or under-assistance. On the one hand over-assistance occurs when the support is given while the person is able to pursue the task on his/her own without support; on the other hand, under-assistance occurs when the amount of information provided in the assistance is not enough to help the user progress in the task. Consequently, to increase the effectiveness of AALSs dedicated to cognitive assistance, it is necessary to build on evidence-based strategies and interventions of cognitive rehabilitation.

Numerous research groups in the field of cognitive rehabilitation have demonstrated the ability of verbal assistance to improve task performance or to reduce occurrence of disruptive behaviours during ADLs in people with various cognitive impairments. [31] demonstrated that behavioural rehabilitation interventions using verbal cues from family caregivers increases independence and active participation in ADLs for people with functional deficits due to cognitive impairments. The study conducted in [33] concluded that occupational therapists can facilitate an individual's

4.1. INTRODUCTION

ability to plan an activity and achieve the intended goal in people who have sustained a moderate or severe TBI by using a variety of well-adjusted prompts. In this vein, Gagnon-Roy *et al.* [141] reports that failing to give the person with TBI the optimal time and opportunity to think through a given task prior to a prompt increases the risk of either underestimating or overestimating the person’s ability and his or her assistance needs.

We are interested here in the ability of an AALS to adapt to the cognitive abilities of users¹ with TBI, such that the chance is always given to them to carry out tasks on their own. In this way, we are in line with Serna *et al.* [43] who recommended that a cognitive assistance system should assist:

- *no more than needed.* A system that provides assistance more than needed can have a negative impact on users.
- at the right time. If assistance is not offered at the right time, it can become counterproductive.
- *in a non-intrusive way.* If the assistance is too intrusive, the risk is to bother users and to lead to the rejection of the system.
- *in a perceptible way.* If the assistance is not offered with the appropriate communication mode, it may not be considered by users.
- *effectively.* If the assistance does not achieve its objective, there can be risky situations.

In the practice of cognitive rehabilitation, real-time assistance is given through a dialogue between the caregiver and the user. The caregiver sends assistance messages (mostly vocal) expecting the user to react through his/her behaviours. This dialogue ends when the user manages to overcome the difficulty that was preventing him from progressing in his task, or when after a certain period of time, the sequence of assistance messages has not helped him. Thus, one of the aims of an automated system offering cognitive assistance is to help the resident of an AAL environment by providing an AALS-resident dialogue that emulates the caregiver-resident dialogue.

Based on speech act theory [165, 166], a dialogue between two entities is more than just transmitting information, it also leads to actions. The AALS-resident di-

1. In this work, the terms “*user*”, “*assisted person*”, “*patient*” and “*resident*” are used to refer to the same entity, namely the resident of an AAL environment who has cognitive impairments.

4.1. INTRODUCTION

alogue may be modelled as speech acts to nudge assisted persons to take actions as responses. According to the Webster dictionary², the dialogue is then understood as “*an exchange between a person and something else, such as a computer*”. The speech act theory therefore provides tools to help better understand how cognitive assistance dialogue works, how assistive message contents and residents’ actions are connected, and how an AALS needs to set up conditions for a successful cognitive assistance dialogue.

The objective of this research is to build a model that ensures necessary conditions for a successful cognitive assistance dialogue between an AALS and its resident. Such a system enables assisted persons to initiate behaviours without acting in their place: the user remains at the center of the achievement of the task, making the assistance that is provided consistent with rehabilitation principles. This research is based on three pillars: *cognitive assistance* provided in real-time to a person with TBI, *speech acts* that enable a “hearer” to act by the means of utterances, and *ontologies* to express the semantics of the assistive dialogue. To produce enhanced cognitive responses in addressees, we use speech acts to characterize situations where assistance is needed, assistive message contents, assistance level as well as assistance effects on assisted persons. An ontology-based assistance model enables reasoning capabilities, extension and reuse in multiple AALSs which will then be able to provide cognitive assistance through adaptative guidance message spreading. More precisely, this research aims to design an ontology that will support the recognition of situations where assistance is needed and the design of a progressive resident-system dialogue to help users cope with problematic situations on their own, or in a minimally assisted manner, in so far as that is possible. To achieve this objective, the current work benefits from the results of some previous works of our interdisciplinary team, like those of Pinard *et al.* [50] who applied a user-centred design approach where end-users with severe TBI influence how a design takes shape [224], with the objective of building technologies that are easily usable and that meet user needs.

As background to this research, we first describe verbal assistance and speech acts while showing how they provide a useful theoretical foundation for guiding the development of automated cognitive assistance. We then use this material, especially

2. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/dialogue> [Accessed August 2021]

4.2. BACKGROUND

necessary conditions for successful speech acts, to move from the theory of speech acts to a theory of assistance acts by designing and instantiating an ontology-based cognitive assistance model (CAM) based on gradable minimally assistive messages, that can be used by AALSs to support people with TBI in the completion of daily activities to their fullest potential. We then discuss the strengths of the semantic model, and the current status and challenges of its implementation before concluding the work.

4.2 Background

4.2.1 Verbal assistance in the context of cognitive rehabilitation

The field of cognitive rehabilitation and its related evidence-based practice guidelines provide a strong theoretical and empirical foundation to guide the development of effective smart environment assistive prompting technologies for people with cognitive impairments, such as TBI [32]. According to [139], the goal of cognitive rehabilitation following TBI is to “enhance the person’s ability to process and interpret information and to improve the person’s ability to perform mental functions”. These authors report that cognitive rehabilitation is divided into restorative and compensatory approaches. The former aims at reinforcing, strengthening, or restoring the impaired skills while the latter aims at teaching ways of bypassing or compensating for the impaired function. Whether to restore or to compensate, an appropriate assistance should be provided following a warning signal: if there is no warning signal, there is no need for assistance. Some authors have defined warning signals as factors leading to the need for assistance. For example, Gagnon-Roy *et al.* [141] identifies the following warning signals: “Presence of safety and/or emotional issues”, “Lack of progress in the task”, “Requests for help”, “Off-task actions”, “Inappropriate actions according to the context”, “failing to initiate an activity” and “skipping important task steps”.

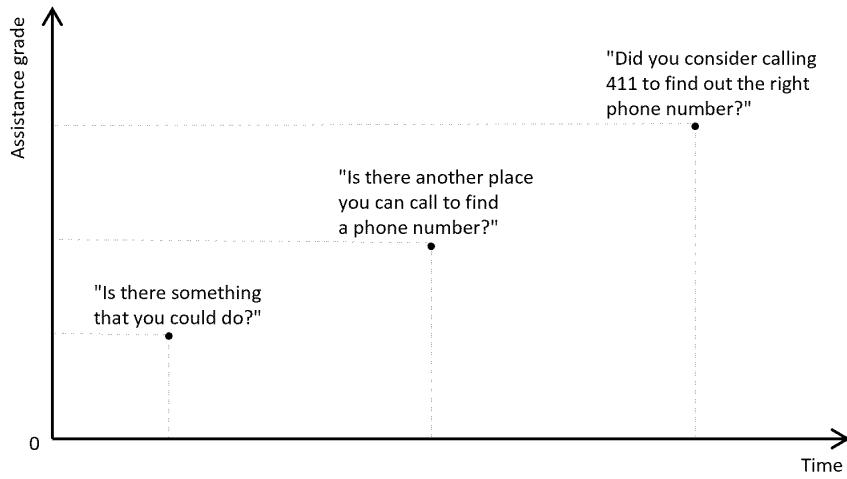
Tools have been developed to evaluate individuals with cognitive impairments secondary to a TBI. The aim of one such evaluation is to allow occupational therapists

4.2. BACKGROUND

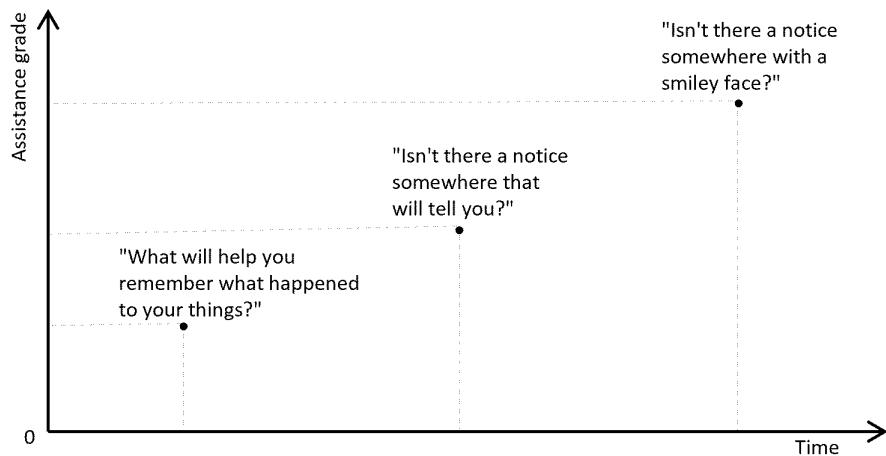
to assess the person's optimal level of independence, abilities and assistance needs, and to offer assistance as needed when performing their daily activities [225]. The Instrumental Activities of Daily Living Profile [130] was developed to evaluate the independence in everyday activities of individuals having sustained a TBI in consideration of high-level cognitive functions and identify verbal assistance needs that could be used by an AALS to personalize the assistance provided and address the person's specific needs. In this vein, real-time verbal assistance is often used when evaluating persons with cognitive deficits to facilitate task progression and facilitate activity completion [53, 130]. Verbal assistance is described in Gagnon-Roy *et al.* [141] as "interactions (e.g., questions, bits of information provided, encouragement) aiming to support the person's thinking and compensate cognitive limitations." Verbal assistance is therefore a process carried out in the form of dialogue between the caregiver and the patient: the caregiver sends assistive prompts, to which the resident responds with his or her behaviour. In fact, once the caregiver has identified the resident's need for assistance, he/she sends an assistance message adapted to the situation and gives the resident time to react. Once the reaction is evaluated, the caregiver can pursue the dialogue if the resident has not reacted as expected (thus inducing a new need for assistance) or stop because the expected reaction has been observed. This caregiver-patient dialogue may also stop because the limited number of assistive messages to send for an adequate response from the patient has been reached without him/her reacting as expected, and the caregiver must handle the situation on his/her own.

Using a graded hierarchy of prompts has been shown to be effective in assisting cognitively impaired populations to complete tasks [32]. It consists of starting the assistance process with less informative prompts and moving towards more informative ones if the assisted person doesn't react adequately. A tool like the IADL Profile promotes the provision of a minimum amount of assistance, only as required, to enable persons to perform tasks to their fullest potential: assistive prompts are given gradually over time, from those with implicit information and progressed to those with more explicit information in case of assistance failure. Following IADL Profile administration guidelines, [33] provided verbal assistance to facilitate task progression in individuals with cognitive deficits secondary to TBI. They used a sequence of graded cues when the individual was confronted with a problem he/she could not

4.2. BACKGROUND



(a) Prompts taken from Le Dorze *et al.* [33]



(b) Prompts taken from Camp *et al.* [142]

Figure 4.1 – Graded sequences of assistive prompts

solve on his/her own when attempting to obtain a schedule of bus departures (see Figure 4.1a). Greber *et al.* [143] also used this strategy of graded assistance to facili-

4.2. BACKGROUND

tate the acquisition of skills and the completion of activities in children with learning disabilities. In that work, authors started by giving less informative cues and moved to more explicit information if the student failed to perform the task. Other works such as Camp *et al.* [142] also used graded verbal cues for cognitive assistance in helping an 83-year-old woman with dementia find her personal effects (see Figure 4.1b).

It would be desirable that verbal assistance be provided on a daily basis by health-care professionals or informal caregivers working with individuals with cognitive impairments of varying degrees. Unfortunately, the human assistance required by people with cognitively impairments in their daily routines is not always available because of its high cost and the significant burden for the formal and informal support network. Technology-driven assistance has been shown to be a viable alternative in an AAL environment [17], especially when automated prompts are based on clinical evidence [226].

4.2.2 Assistance in Ambient Assisted Living

In an IoT-enabled environment, assistance can be non-intrusively integrated into daily activities through natural interactions with everyday objects distributed in the environment. That is why daily task facilitation in AAL has been a prolific field of research with numerous systems developed so far.

Early popular systems include the Georgia Tech Aware Home [160], a technology designed to maintain a familial vigilance and support daily routines of older adults. It was able to remind users by grabbing snapshots during activities, arranging them into relevant images and displaying them in case of memory issues. A weakness of the system was to directly provide an explicit assistance instead of a progressive one that empowers the person as we propose is the ideal manner in which assistance should be provided. In addition, there was no mechanism for the evaluation of the success or failure of the intervention.

MavHome [64] is a smart home relying on prediction algorithms to learn daily routines and to automate tasks for the inhabitant. This fully automated environment is not compliant with the empowerment of users, as tasks are accomplished by the

4.2. BACKGROUND

system (e.g., place a grocery order) without giving residents the chance to act by themselves, with minimal or no assistance.

More recently, [46] described a user-controlled (voice-based) prompting device that asks questions to users and prompts them according to responses. The device asks a yes/no question at each step of the activity to check if the step has been completed and issues the next appropriate prompt. As a single device, the system is not context-aware and not dedicated to AAL environments. In addition, it is not possible for users to do any step without the explicit help of the system since it is mandatory to answer “yes” or “no” to receive the next prompt and to be able to continue the task with the assistant.

[16] presented another recent system, a multimodal prompting system for assisting individuals with TBI in multi-step cooking tasks. The system breaks down a recipe into discrete steps and provides automatic step-by-step prompts through the user interface according to the prompting modality (audio and visual) specified at each step. Here again, no chance is given to users to perform operations by themselves since explicit prompts are automatically given at each step even though there is no warning signal (as defined previously). These systems only offer a weak support for a cognitive assistance for ADL completion that is compliant with the hypotheses underlying our work in this area, as presented earlier, in which we propose that technology-assisted systems should seek to optimize persons’ independence in respect of their remaining cognitive abilities and not take over the task and think for them:

- Assistance is not always provided when needed.
- Assistance level is not always consistent with people’s abilities.
- Assistance is not provided in a progressive manner to give users the chance to act on their own with as minimal assistance as possible.
- Assistance is not always evaluated to check if it really helped.

4.2.3 Speech acts and assistance acts

The theory of speech acts initiated in the field of linguistics as a way to better understand human communication were adopted by computer scientists in modelling communication between systems (system-to-system) or between systems and users.

4.2. BACKGROUND

This section presents speech acts and provides the theoretical foundation to turn them into assistance acts for cognitive assistance.

4.2.3.1 Characteristics of speech acts

In many cases, to achieve their own goals, people use different utterances to affect beliefs, goals, and the emotional states of others. Speech act theory initiated by [165] and developed by [166, 167, 168] examines utterances used by speakers to act on their environments, especially on their interlocutors. It defends an operational view that speech does not serve only to inform or describe the world (through the so-called statements) but also to perform actions: utterances are then called performatives.

A speech act has three components: a *locutionary act*, an *illocutionary act* and a *perlocutionary act*.

The **locutionary act** represents the physical act of uttering something, e.g., words, sentences, sounds.

The **illocutionary act** represents the intention behind the utterance, the desire of the speaker. It aims to produce a certain effect on the addressee. [167] classified illocutionary acts as follows:

- Representatives: to tell people how things are, e.g., informing, affirming, denying, noticing.
- Commissives: to commit for future actions, e.g., promising, guaranteeing, betting, swearing.
- Expressives: to express feelings and attitudes, e.g., congratulating, thanking, deplored.
- Directives: to try to get people to do things, e.g., ordering, requesting, praying, begging.
- Declarations: to bring about changes through utterances, e.g., declaring, convicting, firing.

The notion of **illocutionary force** was developed by Searle [166] to grade how persuasive a speech act can be. The illocutionary force can vary from implicit (i.e., the intention is hidden) to more explicit (i.e., the intention is clear) depending on word order, emphasis, intonation, mood, punctuation, and performative verbs. The latter are explicit specific verbs to indicate which illocutionary act is accomplished,

4.2. BACKGROUND

e.g., “I inform you that...”, “I warn you...”, “I promise to...”, “I apologize for...”, “I deplore that...”, “I declare that...”

Direct and **indirect** speech acts are also distinguished [165, 168]. When a speech act is used as it is, e.g., a representative to describe a state of affairs, a directive to order or command, the speech act is direct. For example, a statement like “Watch the stove!” is a direct speech act, since it’s a directive giving the order to watch the stove. Conversely, a speech act can be used to perform another one depending on the context, e.g., a representative can be used to warn instead of just giving an information. In this case the speech act is indirect. For example, in a situation when someone forgets a meal on a stove, receiving an utterance like “the stove has been left unattended” will be interpreted as a warning or an order to watch the stove. In this case, a representative (the description of a situation) is used as a directive (the order to watch the stove), making the speech act indirect.

The **perlocutionary act** represents the effect produced on the addressee of the message i.e., the set of behaviours adopted by the addressee after receipt of the message, e.g., to go and turn the stove off.

Contrary to the so-called constatives i.e., statements which may be true or false, performatives can be either happy or unhappy. In other words, they can succeed or fail depending of the observed effect on the addressee compared to the expected one.

4.2.3.2 Felicity conditions and Infelicities

Felicity conditions are necessary conditions that must be in place for a speech act to be successful i.e., for an utterance to achieve its purpose. On the reverse, **infelicities** are things that can go wrong and cause the failure of an utterance. [165] described felicity conditions with respect to infelicities. He developed the doctrine of infelicities, where they are categorized into **misfires** and **abuses**. There is a misfire when the act purported to be done is null or void because a problem occurs during the invocation of the procedure or its execution, so that it doesn’t take effect (e.g., an employee who makes an utterance to fire his boss). An abuse is an act that is achieved when the utterer is insincere (e.g., to promise to do something without the intention to do it). Therefore, abuses can be seen as intentional errors while misfires are unintentional errors.

4.2. BACKGROUND

Table 4.1 summarizes the six concrete classes of infelicities, referred to as $A.1, A.2, B.1, B.2, \Gamma.1, \Gamma.2$. The way Table 4.1 presents infelicities can seem counterintuitive, so the reader should be aware that each class of infelicity is presented with the description of the felicity condition to meet for the infelicity to not take place. The examples used are based on a wedding ceremony and the act of marrying people that Austin used in [165].

Infelicities are taken as the starting point to develop the cognitive assistance model as described in section 4.3.

4.2.3.3 Speech acts and intelligent agents

Speech acts have been widely used in various computing systems. In many multi-agent systems, agents interact via a special communication language called ACL (Agent Communication Language) based on speech acts [169]. One of the widely used inter-agent communication languages, developed by FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents), is FIPA-ACL³. It defines 22 performatives that agents can use to disclose their intentions and what they expect from other agents. For example, there are performatives to inform, to request for information, to call for action, to accept or refuse to perform an action.

Another interesting use of speech acts is found in interactive systems such as [170] and [171] for Human-Machine (H2M) interactions. In such systems, speech acts are mainly used to generate messages which are displayed in dialogue boxes to inform the user or request information. When H2M interactions are designed to help cognitively impaired people to perform daily activities, it comes to what Bauchet *et al.* [144] calls assistance acts.

4.2.3.4 Assistance acts

Previous works introduced speech acts in the development of cognitive assistance. Bauchet *et al.* [144] introduced and defined an **assistance act** as a speech act emitted during a human-computer interaction in a context of cognitive assistance. An illustration was given in ARCHIPEL, a cognitive orthosis that encourages assisted

3. <http://www.fipa.org/repository/aclspeccs.html> [Accessed August 2021]

4.2. BACKGROUND

Table 4.1 – Speech act infelicities and felicity conditions

Infelicities	Misfires	<p>A.1. “There must exist an accepted conventional procedure having a certain conventional effect, that procedure to include the uttering of certain words by certain persons in certain circumstances” ([165], p.14).</p> <p>Example: “I declare you husband and wife”. For this statement to really make the involved persons married, the marriage procedure should have been described (in appropriate civil status documents for example) and accepted.</p>
		<p>A.2 (misapplications): “The particular persons and circumstances in a given case must be appropriate for the invocation of the particular procedure invoked.” ([165], p.15)</p> <p>Example: “I declare you husband and wife”. (Persons) The utterer should be the person appointed to marry people, e.g., a mayor, and each future groom/bride should want to be married to the other (persons). (Circumstances) It is necessary that neither member of the couple be already married with someone else (depending on the country or religion), the publication of wedding banns should have been made, the utterance should be made after the future bride and groom have said “YES” to the marriage, and so on.</p>
	Misexecutions	<p>B.1. (Flaws): “The procedure must be executed by all participants correctly” ([165], p.15)</p> <p>Example: The person appointed to conduct the ceremony should use some dedicated sentences to get the consent of future grooms, like “Do you take John/Jane Doe to be your lawful wedded husband/wife?”</p>
		<p>B.2. (Hitches) “The procedure must be executed by all participants completely” ([165], p.15)</p> <p>Example: The speech act of attempting to marry by saying “I will” is abortive if the other says “I will not”.</p>

4.2. BACKGROUND

Table 4.1 (continued) - Speech act infelicities and felicity conditions

Abuses	<p>Γ.1. (Insincerities) “the procedure is designed for use by persons having certain thoughts, feelings, or intentions, or for the inauguration of certain consequential conduct on the part of any participant, then a person participating in and so invoking the procedure must in fact have those thoughts, feelings, or intentions, and the participants must intend so to conduct themselves” ([165], p.39)</p> <p>Example: “I promise to be faithful” fails if the marriage vow is done without the intention to keep the promise.</p>
	<p>Γ.2. “and the participants must so conduct themselves subsequently” ([165], p.39)</p> <p>Example: To promise but to not perform the act afterward.</p>

persons by prompting them to take actions for activity completion. The assistance act model extends the speech act theory by including interactions from AAL. The dialogue is then not restricted to oral interactions but may also include visual interactions, such as light to draw attention to specific objects, and sound to support an advice issued from an AALS [43]. A key aspect in assistance acts is to not interfere with the assisted person’s independence, by keeping him/her at the forefront of the action. That’s why assistance acts build on speech acts that promote triggering actions in others without acting in their place. However, the system developed by Bauchet *et al.* [144] lacked abstraction as the knowledge and reasoning mechanisms were imbedded and rigidly fixed in the code, making the “intelligence” of the system very limited. That’s why subsequent works like Olivares *et al.* [81] and many other works made use of ontologies as a means of abstracting and formalizing more meaningful high-level knowledge that can help in developing customizable and evolutive assistive systems.

4.2.4 Ontologies in Ambient Assisted Living Systems

The use of ontologies in computer systems is a result of research work in artificial intelligence with the focus on how to formalize knowledge so that it can be interpreted

4.2. BACKGROUND

by machines. In an AALS that provides support to users, there is a large amount of knowledge to consider to be able to provide an assistance that is relevant to the user. Tekemetieu *et al.* [227] identifies four categories into which this knowledge can be grouped: information about the users (e.g., their impairments), information about the environment/space surrounding the users (e.g., appliances available), the spatial elements of that space (e.g., location) and information about temporality (e.g., time or order of events). Ontologies have been used in several AALSs as a way of abstracting this knowledge for reasoning purposes and service provision to support users in different ways.

In this vein, E-care@Home [51] is built on a network of ontologies to abstract sensors data, events, situations, time intervals and the physical environment in order to recognize activities and offer domestic automation and health e-monitoring (anomaly detection and emergency). A user profile ontology model was presented by Skillen *et al.* [76] to enable the personalization of Help-On-Demand services like assistance for automated ticket machines and assistance for personalized route guidance using a mobile phone. Dem@Home [85] is a system that uses an ontology to capture ambient and wearable sensors observations and application domain specifics in order to recognize activities, highlight problematic situations and determine non-pharmaceutical interventions to monitor people living with dementia. Sweet-Home described in [45] used ontologies to capture sensors and actuators' raw data for situation recognition (e.g., "main door open"). Diaz-Rodriguez *et al.* [111] represented activities in a fuzzy ontology to include the semantic interpretation of actions performed by users and to handle vagueness and uncertainty, the aim being activity recognition (e.g., making cereal, taking medicine).

This growing interest in ontologies for AALSs can be explained by several advantages, including the following:

- They offer knowledge representation in a human readable format that increases understandability and shareability. This is important as a usable cognitive assistant should be designed by an interdisciplinary team of experts in cognitive rehabilitation and computer sciences. For example, it will be easier to model an occupational therapist's knowledge (e.g., reasoning, strategies) and a user's occupational therapy evaluation results in a way understandable by both oc-

4.2. BACKGROUND

- cupational therapists and AALS engineers, and by the system.
- They increase the reusability and expendability of knowledge. Since the ontology contains the consensual knowledge on concepts and relations of a given domain, and their hierarchical organization, each system can therefore reuse the same ontology and populate it with its own specific data. For example, occupational therapist’s knowledge, important aspects of the occupational therapist’s evaluation of a user, AAL devices and furniture, once abstracted into the ontology for cognitive assistance, can be shared across multiple systems. In so doing, the cognitive assistant installed in an environment E for a user U will use the same knowledge model applied on factual information about E and U . In addition, each AALS design team will be free to extend the model by adding new specialized conceptualizations to fit their specific needs.
 - They enable reasoning mechanisms for inconsistency detection and service provision. For instance, an intervention plan made by an occupational therapist after the evaluation of a patient with cognitive impairments contains cognitive interventions and strategies that can be used to guide individuals in their ability to carry out everyday activities. When configuring the AALS for this specific user, if the plan contains an intervention that is not consistent with the cognitive approach chosen by the occupational therapist, the inconsistency will be detected by the system. Moreover, ontologies offer automated reasoning to infer implicit knowledge from explicit one in order to provide services. For example, let’s consider a user in the living room and a system’s attempt to display a text message on a LED display above the television set. If the device is not available (offline or not responding), by relying on the ontology, it will be possible for the system to look for an equivalent audio message and play it on a speaker in the living room.
 - They ease data integration from multiple systems. We want to offer the possibility for the cognitive assistance to be continuously improved upon with historicized data accumulated over time from multiple cognitive assistants. Since ontologies offer a standardized schema for knowledge representation between systems, data-driven algorithms will be able to benefit from the shared structure of data coming from different systems.

4.2. BACKGROUND

Although the existing systems presented above take advantage of features offered by ontologies, they fail to be consistent with cognitive assistance since they lack an alignment with evidence-based practices of cognitive rehabilitation that is necessary to offer a relevant assistance to cognitively impaired people as reported at the end of section 4.2.2 To fill this gap, [81] started the construction of an ontology model for cognitive assistance, illustrated on the preventive assistance system of COOK, a culinary assistant which reduces the exposition of individuals with TBI to dangerous situations during meal preparation. [81] was most focused on the description of strategies and cognitive interventions used by healthcare professionals. However, it lacks an important part: the **resident-system dialogue** that actually operationalizes the assistance process. In fact, the cognitive assistance process for ADL completion is a dialogue that consists of an interaction between the system that sends assistive messages and the resident who answers by his/her behaviours.

Table 4.2 summarizes the works evaluated against criteria derived from the goal of the current work. It shows for each selected criterion, the extent to which it is supported by the cited work (✓ Support, ✓ – Weak support; X No support; cells are left blank where there is not enough information to evaluate the criterion). For instance, Aware Home triggers assistance when needed (in case of memory loss), MavHome doesn't offer cognitive assistance since the system directly perform tasks even when the user is able to proceed on his/her own (e.g., placing a grocery order), Dem@Home doesn't grade the assistance, [46] evaluates the assistance before issuing the next prompt; the use of ontologies is not specified in [160].

It appears from Table 4.2 that existing AALSs lack enough abstraction to provide cognitive assistance supported by evidence-based cognitive rehabilitation. The CAM proposed in the current work intends to offer a formalization of the knowledge that an AALS needs when it comes to provide cognitive assistance as promoted by the rehabilitation practice of the healthcare provider. In other words, we propose to build a reusable assistance model that will enable AALSs to determine the appropriate moment to give assistance and the appropriate level (grade) of assistance to give. The current work builds on [81] and extends the model with a focus on the construction of the resident-system dialogue.

4.2. BACKGROUND

Table 4.2 – Current state of the art evaluated against the criteria from our goal

	Cognitive assistance	Assistance offered when needed	Assistance evaluation	Assistance grading	Distributed multimodal interfaces	Dialogue	Support for ADL	Use of ontologies
Aware Home [160]	✓	✓	x	x	x	x	✓	
MavHome [64]	x	✓-	x	x	✓	✓-	✓	x
Archipel [144]	✓	✓	✓ -	x	✓	✓ -	✓	x
Diaz-Rodriguez <i>et al.</i> [111]	x	✓-	x	x	x		✓	✓
Skillen <i>et al.</i> [76]	x	✓-	x	x	x	✓ -	✓ -	✓
Dem@Home [85]	✓	✓-	x	x	x	x	✓	✓
Olivares <i>et al.</i> [81]	✓	✓-	x	✓ -	✓	x	✓	✓
Sweet-Home [45]	✓	✓-	x	x	✓	x	✓ -	✓
E-care@Home [51]	x	✓-	x	x	✓ -	x	✓ -	✓
O'Neill <i>et al.</i> [46]	✓	✓-	✓	x	x	✓ -	✓	
Wang <i>et al.</i> [16]	✓	✓-	x	x	x	x	✓	

4.3. FROM SPEECH ACTS TO ASSISTANCE ACTS

4.3 From speech acts to assistance acts

From a cognitive assistance point of view, when performing a task, it is desirable that assistance be triggered when the user is facing a difficulty and needs help. Therefore, the system should be able to identify situations where conditions of assistance are met, e.g., *a stove that has been turned on has been left unattended for a while, the resident suffers from fatigue, he/she is slow in making decisions or taking required actions, he/she is inactive.*

In Table 4.1 above, we described infelicities with respect to conditions that are necessary for the success of a speech act. In the same vein, to ensure that necessary conditions are satisfied before uttering an assistance act with higher chances of success, preventing infelicities is at the heart of the CAM. In the following, we explain how the model adapts speech act infelicities to prevent assistance act infelicities. A.1, A.2, B.1, B.2, Γ.1, Γ.2 refer to notations in Table 4.1.

4.3.1 Infelicities of type A: Preventing misinvocations of assistance acts

Misinvocations refer to persons and circumstances, and their adequacy to the procedure to invoke. In an AAL perspective, they therefore refer to the broadly accepted definition of context given by Dey et Abowd [152] as “*any information that can be used to characterize the situation of an entity. An entity is a person, place, or object that is considered relevant to the interaction between a user and an application, including the user and the applications themselves*”. In a cognitive assistance application, context may include the user’s identity, his/her cognitive impairments, his/her health conditions, the adapted interventions, the surrounding objects, and his/her behaviours when performing a particular task, including the task itself.

Infelicities of type A.1: Ensuring the conventional procedure

In the case of an AALS, to our knowledge, there is no known conventional procedure to provide cognitive assistance. We then recommend having a training session during which users are informed of the procedure adopted for the automated assistance, the type of cues the system will utter and the circumstances, the meanings, and the

4.3. FROM SPEECH ACTS TO ASSISTANCE ACTS

expected effects of assistance acts. A training session contributes to ensure that we satisfy A.1 before the system is used. However, we are aware that this can't always be ensured if we consider the cognitive impairments of the user.

Infelicities of type A.2: Ensuring appropriateness of persons and circumstances

Appropriateness of persons (A.2.1)

For cognitive assistance, there are two types of “persons”: the system and users.

- For users, each one is unique, and the assistance procedure is different for each because they don't have the same needs, abilities, and preferences. The characteristics that make them different one from the other will be put in a user profile such that the system can invoke assistance acts that are appropriate and adapted to each single user profile. A **user profile model** is included in the CAM to this end. It is fully described in section [4.4.2.1](#).
- The AALS is the provider of the assistance. It is appropriate for the invocation of the assistance if it is designed to this end, and it has knowledge of user profiles and actuations to assist.

Appropriateness of circumstances (A.2.2)

Circumstances for the invocation of the assistive procedure include any information mentioned in the definition of the context reported above, apart from the specific user information already included in the user profile. For instance, the activity in progress, the current state of the appliances and the objects surrounding the user are part of the circumstances. The **circumstance model** of the CAM, that contributes to ensuring appropriateness of circumstances, is described in section [4.4.2.2](#).

4.3.2 Infelicities of type B: Preventing misexecutions of assistance acts

Once persons and circumstances are appropriate, an assistance act can be invoked. However, something can go wrong during the execution and the purported act is compromised (Misexecutions) either by a flaw or hitch i.e., faulty, or incomplete performance. It is important that the system and the user do not do anything wrong

4.3. FROM SPEECH ACTS TO ASSISTANCE ACTS

while performing the procedure.

Infelicities of types B.1 and B2: Ensuring that flaws and hitches do not occur

Flaws covers mutual agreements which secure correct understanding. They include wrong or vague formulas and uncertain references, e.g., the system uttering “*use the ladle*” when there are three types of ladles. On the other hand, hitches occur when the act is abortive. They point out that however much we take into the procedure it would still be possible for a participant to reject it all. For instance, if the system utters “*The stove has been left unattended*” and the user doesn’t react, there is a hitch that causes the assistance act to fail. A correct and complete execution of an assistance act, that prevents a misexecution, includes both a system utterance and a user reaction. The CAM helps in the prevention of infelicities of types B.1 and B.2 as follows.

- The system should be implemented to execute assistance correctly and completely. We propose an **assistance act perspective** in the CAM which formalizes the entities involved in the execution of the assistance from the system side. By relying on the model, algorithms will therefore be able to select assistance acts whose contents and meaning are appropriate to situations and to execute them correctly and completely, namely, to send them to users through convenient actuators. However, the CAM is not the only component of the AALS that is responsible for the correctness and completeness of the execution of assistance acts. It also depends on the hardware (especially actuators) and algorithms that will use the model. For example, an actuator can be temporarily unavailable or defective, or a poorly designed algorithm can select inadequate assistance acts to trigger, and the messages do not reach the user. The assistance act perspective of the CAM is fully described in section 4.4.3.
- When the system executes an assistance act, a resident’s behaviour is expected, namely he/she is expected to react adequately after receiving the message. However, in a cognitive assistance perspective, we do not want to force or constrain users’ behaviours, we want to encourage users to act on their own instead. Moreover, cognitive assistance is a continuous process in which the

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

resident's reaction to an assistance act determines the next step in the assistance, i.e., to stop in case of a desirable effect or to progress the assistance if the desired effect is not attained. To support the execution of assistance acts from the user side, we included in the model an **evaluation perspective** to allow the evaluation of assistance acts based on their perlocutionary effects on users. It will therefore be possible to check that the resident executes the procedure correctly and completely. The evaluation perspective of the CAM is detailed in section [4.4.4](#).

4.3.3 Infelicities of type Γ: Preventing abuses in assistance acts

This type of infelicity is about the intention behind the utterance i.e., the sincerity of the participants in the dialogue, whether it is Γ.1 (speech acts performed by utterers who are not sincere) or Γ.2 (non-respect of a commitment).

- In the perspective of cognitive assistance, the system is built to help and not to fool cognitively impaired people. Even in situations where systems try to fool users to evaluate their abilities (e.g., brain-training games), they are designed to act “in good faith”. Consequently, any AALS that gives cognitive assistance is assumed to intend to conduct properly and actually conducts subsequently.
- On the other hand, a user with cognitive impairments cannot be assumed to always act as intended: this is the rationale underlying the need for cognitive assistance. Our model addresses this question with its evaluation perspective already mentioned above and described in section [4.4.4](#), that assesses users' reactions to assistance acts and takes further decisions accordingly.

4.4 The cognitive assistance model in a nutshell

The CAM takes a user-centric approach and revolves around situations where assistance is needed, execution of assistance acts and evaluation of users' behaviours after assistance. This section presents the most important classes and relationships that make up the CAM ontology. To present the model in a comprehensive way,

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

section 4.4.1 summarizes the roles of the three theories underlying the CAM, namely cognitive assistance, speech acts and ontologies. Section 4.4.2, section 4.4.3, and section 4.4.4 give details on the three modelling perspectives, respectively the situation perspective, the assistance act perspective, and the evaluation perspective.

4.4.1 Overview of the Cognitive Assistance Model

Cognitive rehabilitation, speech acts and ontologies constitute the pillars of the CAM. Each of these theories was presented in the background section. Table 4.3 summarizes the contribution of each in the construction of the CAM.

Table 4.3 – Contribution of the three pillars of the CAM

Theory	Contribution to the CAM	Examples of concepts used for the development of the CAM
Cognitive assistance	To provide the theoretical foundation of cognitive assistance interventions that have been shown effective in clinical practice.	Assistance needs Cognitive interventions Verbal assistance Graded prompts Progressive assistance
Speech acts	To provide the theoretical material for modeling necessary conditions, content and meaning, grading and evaluation of the assistance	Infelicities Felicity conditions Locutionary acts Illocutionary acts Perlocutionary acts Illocutionary force
Ontologies	To provide the conceptual model for formalization and reasoning capabilities	Class hierarchy Ontology reuse Consistency checking Reasoning

The main “visible” component of the CAM is an ontology that formalizes knowledge from cognitive assistance, speech acts, and AAL. The ontology will support a resident-system dialogue for the real-time cognitive assistance of users while perform-

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

ing their daily activities. We applied some design principles of the Noy and McGuiness ontology development methodology [189]. For example, to standardize and benefit from efforts already done in sensor data modelling in IoT-enabled environments, we rigorously integrated DUL⁴ (Dolce Ultra Lite) upper ontology and SOSA (Sensor, Observation, Sample and Actuator) [183]. Figure 4.2 shows an overview of the CAM ontology in its three main perspectives: **situation**, **assistance act** and **evaluation** perspectives. They are described in detail in the next sections of this paper. In the

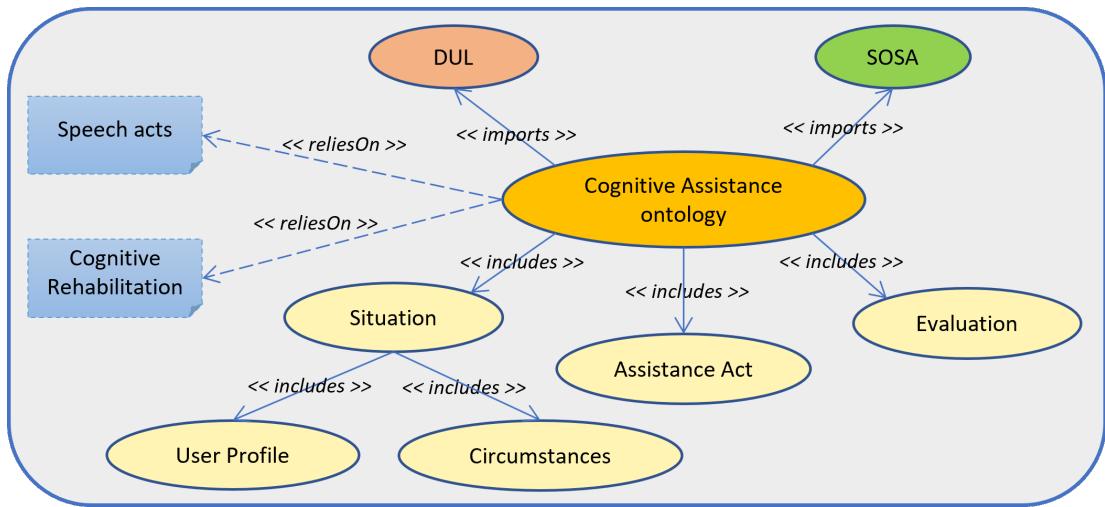


Figure 4.2 – The CAM overall picture

following, each part of the model will be described, followed by an example of use. These examples will be based on a scenario (Figure 4.3) that consists in identifying a potential risk situation when the user is cooking and sending a sequence of graded assistive messages to encourage him/her to go and watch the stove. The stove is equipped with three ultrasonic sensors (front, left and right) to check the proximity of the user to the stove and four amperemeters mounted on the burners to measure the current intensity. Figure 4.4 shows examples of actuators that can be used by an AALS to deliver assistance acts to the resident.

4. http://ontologydesignpatterns.org/wiki/Ontology:DOLCE+DnS_Ultralite [Accessed August 2021]

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

Raph is a 42-year-old man who had a severe TBI resulting from a car accident 18 years ago. He no longer cooks but wants to start cooking hot meals again. He can move around independently without technical assistance. He is sometimes subject to memory lapses and episodes of fatigue. He can be easily distracted while performing an activity. An intervention plan has been produced by the Occupational therapist and integrated into the AALS.

One day, Raph is cooking on the stove, then he goes in the living room to watch television, leaving the stove unattended. After 10 minutes, the AALS sends the following message on a text display device that is hung on the wall, just above the television set:

“Aren’t you forgetting something?” Raph doesn’t react and continues watching television. Two minutes later, a voice note plays on a tablet in the living room: “What do you usually do when you have a pot on the stove?” Raph moves to his bedroom to seek something. He then receives another voice message from a tablet on his bedside table, “You have to go and watch the stove in the kitchen”. Two more minutes later he is still in the bedroom, an information message plays on the same tablet: “For your safety, the stove is automatically turned off”.

Figure 4.3 – The use case scenario

4.4.2 Situation perspective

The situation perspective formalizes the concepts involved in the characterization of the current situation of users, places, applications, or any objects relevant to the interaction between users and applications. It will especially support the identification of situations where assistance is needed, hence the prevention of assistance misinvocations, more precisely misapplications. In fact, in an automation perspective, we don’t have any control on misfires of type A1 as explained in the previous section. The understanding of situations of interest involves the understanding of users, the environment state and events that are occurring. That’s why the situation perspective

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

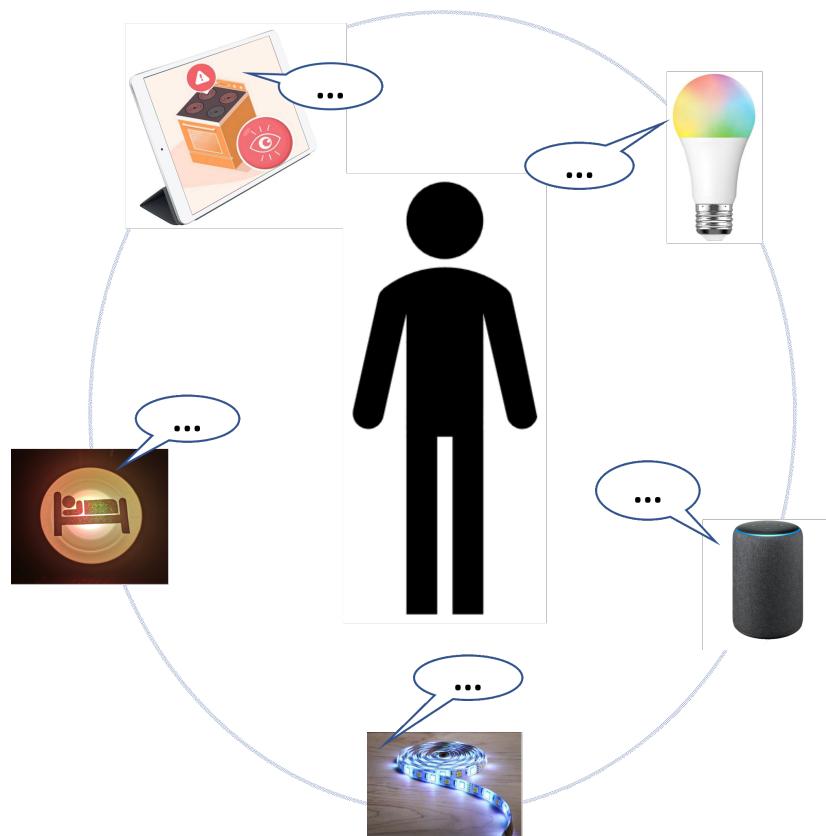


Figure 4.4 – A resident receiving various types of messages through different actuators in an AAL environment

focusses on users and circumstances in which they perform their activities.

4.4.2.1 User profile model

a) Model description

The user profile model aims to formalize the knowledge necessary to understand the users, hence their profiles. It therefore ensures the appropriateness of persons involved in the cognitive assistance process. Many works like Tekemetieu *et al.* [227] have reviewed information in the user profile that is mostly used in the literature for service delivery in AALSs. Most of them divide information of the user profile into different components that are grouped into two categories: a *static profile* containing

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

information that is static or that evolves slowly over time (weekly, monthly, etc.), and a *dynamic profile* for information that can evolve quite rapidly over time (seconds, minutes, hours, couple of days).

The user static profile includes personal identity (e.g., name, gender), impairments (e.g., memory lapses, failing-eyesight, hearing impairment) and preferences (e.g., communication modes, languages, colors). This information is part of the information used by a clinician to set up an *intervention plan*. In fact, one of the most important components of the static profile in a cognitive assistance perspective is the intervention plan that is usually produced by an occupational therapist after a user evaluation with an evaluation such as the IADL Profile presented in section 4.2.1 to specify the assistance process. The intervention plan defines the goals of the assistance for the user as well as strategies and interventions to be used to achieve them. It includes a main goal, cognitive approaches (like metacognition and compensation, as described in [228]) that will guide the choice of cognitive interventions. More specific goals are also included, and for each of them, a complex intervention to achieve it. A complex intervention is just a set of cognitive interventions of different types (e.g. Timer, Reminder, Checklist, Pacing [228]). The moment when a specific cognitive intervention should be given for a specific user is also formalized. This moment is either a moment relative to an activity (e.g., at the start of an activity) or the identification of a specific situation of interest (e.g., the stove has been left unattended, the user suffers from mental fatigue):

$$\text{cognitiveIntervention} \sqsubseteq \forall \text{startMoment} \bullet (\text{Moment} \sqcup \text{Situation})$$

The intervention plan is one of the essential features that makes the user profile ontology model different from and richer than those presented in other works like [76] mentioned in the background section above (section 4.2.4) and that offer a weak support to cognitive assistance. Clinical reasoning and the intervention plan can be used by the clinician to select the right assistance depending on situations where there is a need for assistance [141]. In the same vein, a CAM-based system will be able to use reasoning mechanisms on the intervention plan in the user profile to offer a relevant real-time cognitive assistance for each specific user when needed.

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

On the other hand, the dynamic profile includes information like user location (e.g., living room) and position with respect to a reference (e.g., in front of the stove), emotional state (e.g., angry, frustrated, neutral, satisfied) and physiological data collected by body sensors for example. Figure 4.5 depicts the main view of the user profile ontology model. It is extended by a more detailed view of the intervention plan described in Figure 4.6.

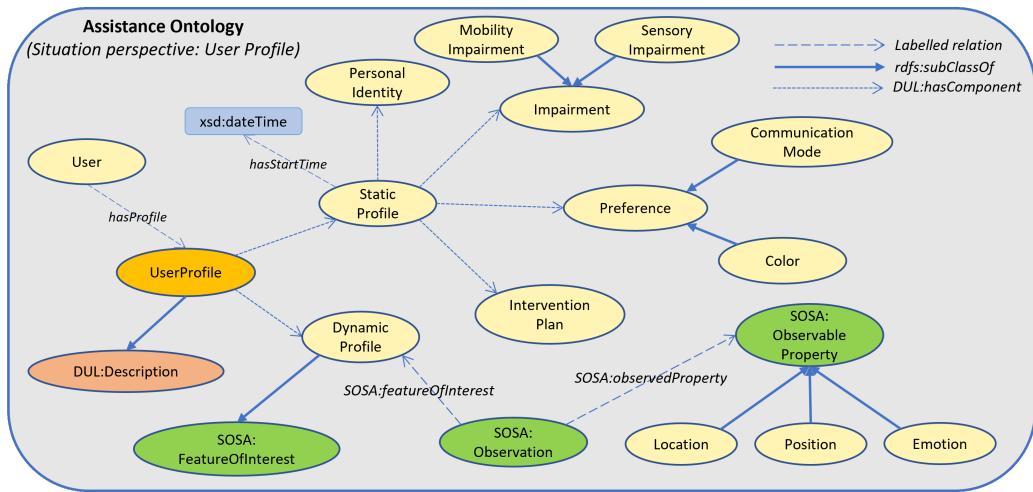


Figure 4.5 – The user profile model

b) Model instantiation

The intervention plan elaborated for Raph (see scenario in Figure 4.3) contains a specific goal for the cooking activity which are expected to be achieved by some cognitive interventions, including pacing to encourage taking breaks at fixed time intervals as soon as the activity starts and security reminders to monitor the stove if it has been left unattended for a while. Dynamic knowledge like user location (*in the kitchen*) and position (*in front of the stove*) are also represented.

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

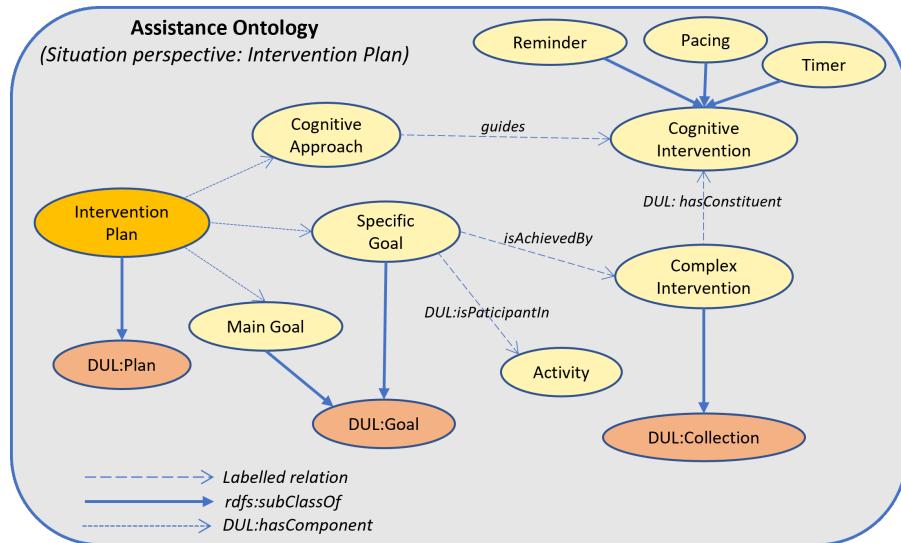


Figure 4.6 – The intervention plan model

Listing 4.1 – User profile modeling

```

<raph> a cam:User ; cam:hasprofile <raphProfile1> .
<raphProfile1> a cam:UserProfile ; DUL:hasComponent <raphStaticProfile1> ; DUL:hasComponent <raphDynamicProfile1> . <
    raphStaticProfile1> a cam:StaticProfile ; [...] DUL:hasComponent <memoryLaps1> ; DUL:hasComponent <mentalfatigue1>
    > ; DUL:hasComponent <ComModeNaturalSpeech> ; DUL:hasComponent <ComModeText> ; DUL:hasComponent <raphIntPlan1> .
<raphIntPlan1> a cam:InterventionPlan ; DUL:hasComponent <metacognition> ; DUL:hasComponent <mainGoalRaphIntPlan1> ;
    DUL:hasComponent <specGoalRaphIntPlan1> .
<specGoalRaphIntPlan1> a cam:SpecificGoal; rdfs:label "Raph will prepare a complete meal twice a week on his own and
    safely within the next 2 months." ; DUL:isParticipantIn <cooking> ; cam:isAchievedBy <cpxlIntPlan1> .
<cpxlIntPlan1> a cam:ComplexIntervention ; [...] DUL:hasConstituent <raphReminder1> ; DUL:hasConstituent <raphPacing1>
    .

<raphReminder1> a camReminder ; [...] rdfs:label "Using a reminder alarm for Raph to monitor the stove" ; cam:isGuidedBy
    <metacognition> ; cam:startMoment <stoveUnattended10> ; cam:frequency "2"^^xsd:int; cam:frequencyUnit <minute> .
<raphPacing1> a camPacing ; [...] rdfs:label "To encourage Raph to take a break every 15 minutes" ;
    cam:isGuidedBy <metacognition> ; cam:startMoment <onActivityStart> ; cam:frequency "15"^^xsd:int; cam:frequencyUnit <
        minute> .
<raphDynamicProfile1> a cam:DynamicProfile; [...].
<obsLoc1> a SOSA:Observation; [...] SOSA:featureOfInterest <raphDynamicProfile1> ; SOSA:observedProperty <userLocation>
    ; SOSA:hasSimpleResult <kitchen>; SOSA:hasResultTime "2020-02-18T11:11:00Z"^^xsd:dateTime.
<obsPos21> a SOSA:Observation; [...] SOSA:featureOfInterest <raphDynamicProfile1> ; SOSA:observedProperty <userPosition>
    ; SOSA:hasResultTime "2020-02-18T11:11:00Z"^^xsd:dateTime ; SOSA:hasResult [ a cam:Position ;
        cam:relativePosition <inFrontOf> ; cam:positionRelativeTo <kitchenStove1> ; ] .

```

4.4.2.2 Circumstance model

a) Model description

The second part of the situation perspective of the CAM is the circumstance model.

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

It formalizes the knowledge that contributes to understanding the current situation of the user. Its aims to ensure the appropriateness of circumstances before assistance is executed. The environment of users and objects involved in the performance of their activities are represented in this model. Kenfack Ngankam *et al.* [229] formalized an ontology describing the environment of a smart home, including rooms, appliances, and furniture. They will not be described in the current work and we refer the reader to [229] for further details instead. The focus here is on the observed events that help in the “understanding” of circumstances around the user while he/she is completing activities. Circumstances may be identified from virtual observations like the “*presence in*” or the “*absence from*” a room. Such high-level abstract observations are not directly observed, they are computed from raw data instead. Functions that aggregate and correlate low-level observations from physical sensors are represented as virtual sensors ($\text{VirtualSensor} \sqsubseteq \text{SOSA} : \text{Sensor}$). The circumstance model includes current activities, involved objects, low-level observations as well as virtual observations. One of the advantages of virtual device representation is the possibility of choosing were to implement some services like localization and situation recognition. They can be implemented at the ontology API⁵ level, at the automation platform (e.g., OpenHAB⁶), at an external API or even a combination of them. Externalizing some services prevents the ontology from reasoning over large amounts of raw sensor data that causes performance issues. Figure 4.7 shows an excerpt of the *circumstance model* ontology. The situation perspective of the CAM that fully characterizes a situation of interest when a specific user is performing an activity, is then divided into three parts: the user profile model (Figure 4.5), the intervention plan model (Figure 4.6) and the circumstance model (Figure 4.7).

b) Model instantiation

In our use case scenario, Raph is absent from the kitchen for 10 minutes and the system raises a safety situation about the stove that has been left unattended. The abstract observation about the absence of the user is issued from OpenHAB rules that use a timer to check movements around the stove while it is in use. Listing 4.2

5. The Application Programming Interface that directly accesses the ontology.

6. <https://www.openhab.org/> [Accessed August 2021]

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

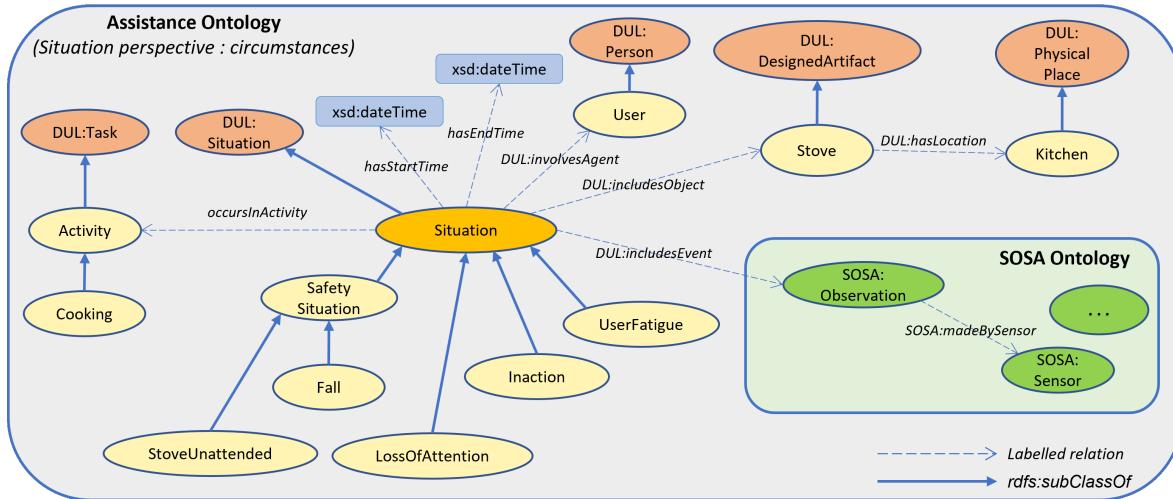


Figure 4.7 – The circumstance model

shows an example of raw data collected from an ultrasonic sensor (a) and a virtual observation (“*absence was observed around the stove for 10 minutes*”) inferred at a low level by the automation platform (b). They are pushed through MQTT⁷ to the ontology API that adds them to the model.

Listing 4.2 – Circumstance modeling



The instantiation of the “situation” entity in the circumstance model is made by

7. Message Queuing Telemetry Transport <https://mqtt.org/> [Accessed August 2021]

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

upper-level reasoning mechanisms on the ontology that identify situations of interest from raw and virtual observations. There are many ways of reasoning over the ontology including SWRL⁸ and SPARQL⁹. Listing 4.3 shows the SPARQL inference used to identify the situation of interest from a virtual observation (a) and a result of the query describing the situation (b).

Listing 4.3 – Situation identification



(a) SPARQL inference

```
CONSTRUCT {
<stoveUnattended10> cam:hasStartTime ?time ;
  DUL:includesEvent ?vAbsObs ;
  cam:occursInActivity <cooking> .
} WHERE {
?vAbsObs a cam:StoveAbsenceObservation ;
  SOSA:observedProperty <stoveAbsence10> ;
  SOSA:resultTime ?time ;
  BIND(xsd:boolean("true") AS ?trueValue) ;
  SOSA:hasSimpleResult ?trueValue ;
  BIND(xsd:dateTime("2020-02-18T11:00:00Z") AS ?baseTime)
;
  FILTER(?time >= ?baseTime) .
}
```

(b) Situation data modeling

```
<stoveUnattended10> a cam:Situation ;
cam:hasStartTime "2020-02-18T11:25:26Z"^^xsd:dateTime ;
DUL:includesEvent <stoveAbsence10/4587> ;
cam:occursInActivity cam:cooking .
```

More complex situations can be inferred the same way by combining multiple observations, including observations on elements of the user dynamic profile.

4.4.3 Assistance act perspective

When a need of assistance is identified, the reasoning process should select and provide the appropriate cues. The assistance act perspective aims to formalize the knowledge involved in the cognitive assistance execution. It will support the selection of adequate assistance acts and their execution through available and adequate actuators, hence preventing assistance misexecutions. We base the assistance act perspective of the CAM on locutionary and illocutionary acts, to characterize the content and the intention of assistance acts, the two most important aspects of assistance provision.

8. <https://www.w3.org/Submission/2004/SUBM-SWRL-20040521/> [Accessed August 2021]

9. <https://www.w3.org/TR/sparql11-query/> [Accessed August 2021]

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

4.4.3.1 Assistance act content and execution modelling

In cognitive rehabilitation practice, clinicians usually provide cognitive assistance verbally, as described in section 4.2.1 Because AAL environments offer various types of actuators through which assistive prompts can be delivered, assistance act contents i.e., locutionary acts, can be either verbal (textual and vocal) or non-verbal including light signals, jingles, and images.

Figure 4.4 in a previous section depicted some actuators in AAL environments and suggests that each actuation is a way of conveying a message to the user: playing a voice note on a smart speaker, lighting a smart bulb, lighting a smart lamp with a bed icon, displaying an image on a tablet, lighting a strip light.

a) Model description

The CAM separates AAL messages into two modalities: visual and audio. Visual messages include written texts, images, pictures, graphs, animations, movies, and light ($\text{WrittenText} \sqsubseteq \text{Visual}$, $\text{Light} \sqsubseteq \text{Visual}$, etc.). Audio messages include spoken texts (Natural speech or synthetic speech), sounds and music ($\text{SpokenText} \sqsubseteq \text{Audio}$, $\text{Sound} \sqsubseteq \text{Audio}$, $\text{NaturalSpeech} \sqsubseteq \text{SpokenText}$, etc.). This separation helps to associate users (their profiles) to their preferred communication modes and to link actuators to the different modalities they support; some constraints are introduced to this end (e.g., $\text{LocutionaryAct} \sqsubseteq \forall \text{ hasMode} \bullet \text{CommunicationMode}$; $\text{LightStrip} \sqsubseteq \forall \text{ supportsMedium} \bullet \text{lightMode}$; $\text{LEDDisplay} \sqsubseteq \forall \text{ supportsMedium} \bullet (\text{writtenTextMode} \sqcup \text{lightMode})$). For the execution of an assistance act, the actuation specifies the details, namely the parameters and the procedure the actuator will use to deliver the message. The procedure specifies the computational method that carries out the actuation on the actuator; it can be a direct command string or an API to do the job. Some actuators carry a piece of knowledge that makes them suitable for specific situations. Some Lights trip, LED Displays and lamps fall into this category as they can carry a fixed image or icon to be lightened when needed.

In Figure 4.4 above, there is a light strip, and a lamp on which we added a bed icon, to encourage residents to go to bed in case of night wandering [230]. Finally, a sequence of assistance acts that appear in a resident-home dialogue to handle a situation that happened is arranged chronologically into a reproducible assistance

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

workflow. Figure 4.8 describes the execution model of the assistance perspective in the CAM. Integrated with the actuation perspective of SOSA ontology, this execution model can give insights to AALSs engineers to choose the convenient actuators for assistance delivery.

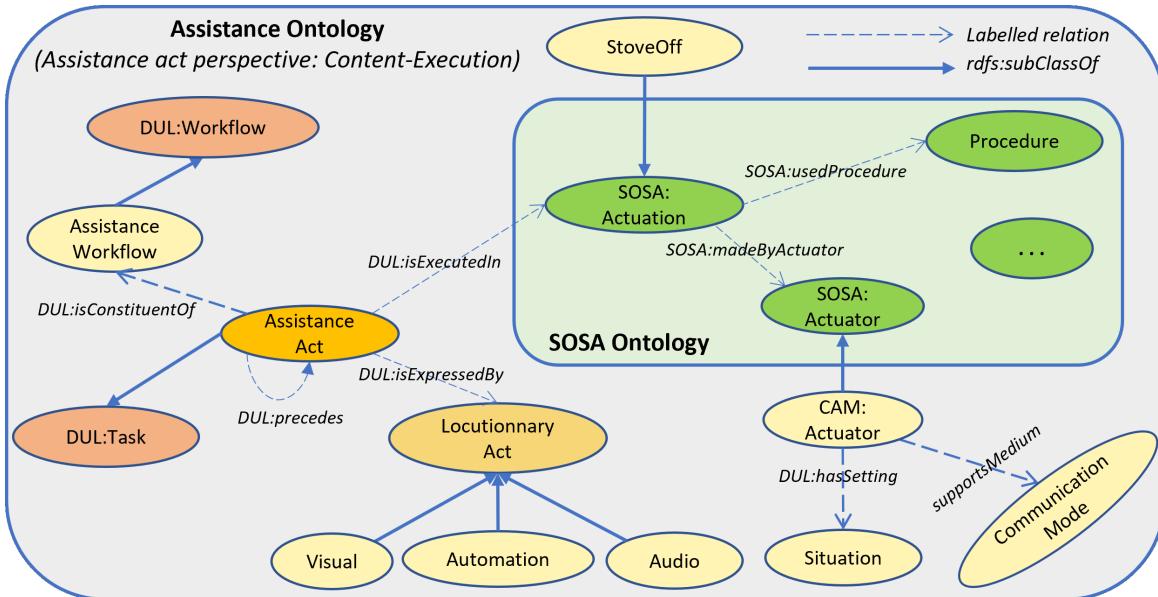


Figure 4.8 – Assistance act content-execution model

b) Model instantiation

A concrete modeling example is given in Listing 4.4 where a light assistance message (a) and a written text assistance message (b) are attached to their respective actuations that describe the way they are spread on actuators. It clearly shows that an assistance act is executed in an actuation that carries all the knowledge needed by an automation system to deliver the message in the AAL environment.

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

Listing 4.4 – Content execution modelling

<p>(a) Lighting a lamp</p> <pre> <assAct1001> a cam:AssistanceAct ; [...] DUL:isExecutedIn <actuation/hue/hueActuation3409> ; DUL:isExpressedBy <locAct/light50> DUL:isConstituentOf assWorkflow35 ; DUL:precedes <assAct1002> . <locAct/light50> a cam:Light ; [...] rdfs:label "Lighting with an intensity of 50 lux" ; cam:hasMode <lightMode> ; cam:numericValue "50"^^xsd:double ; cam:unit <lux> . <actuation/hue/hueActuation3409> a sosa:Actuation ; sosa:actuatableProperty <philips/hue/light> ; sosa:hasFeatureOfInterest <light> ; sosa:madeByActuator <actuator/philips/hue/ philipsHueBloom2501> ; sosa:usedProcedure <philips/hue/bloom/switchAPI> ; sosa:hasResult <locAct/light50> ; sosa:resultTime "2020-12-03T20:30:42Z"^^xsd:dateTime. <actuator/philips/hue/philipsHueBloom2501> a cam:Actuator ; rdfs:label "Philips Hue LivingColors Bloom with bed icon - Turn On/Off" ; sosa:actsOnProperty <philips/hue/light> ; DUL:hasSetting <nightWandering01> ; </pre>	<p>(b) Displaying a text on a tablet</p> <pre> <assAct502> a cam:AssistanceAct; [...] DUL:isExecutedIn <actuation/text/textActuation2021>; DUL:isExpressedBy <locAct/text1003>; DUL:isConstituentOf assWorkflow20; DUL:precedes <assAct503>. <locAct/text1003> a cam:WrittenText ; [...] rdfs:label "The stove has been left unattended." ; cam:hasMode <writtenTextMode> . <actuation/text/textActuation2021> a sosa:Actuation; sosa:actuatableProperty <apple/iPAD/display>; sosa:hasFeatureOfInterest <display>; sosa:madeByActuator <actuator/apple/iPad/iPadPro01>; sosa:usedProcedure <domus/cook/culinaryAssistantAPI>; sosa:hasResult <locAct/text1003>; sosa:resultTime "2020-11-06T09:26:22Z"^^xsd:dateTime. <actuator/apple/iPad/iPadPro01> a cam:Actuator; [...] rdfs:label "iPad Pro 1 of the living room"; sosa:actsOnProperty <apple/iPAD/display>; cam:supportsMedium <ImageMode>. </pre>
--	---

4.4.3.2 Assistance act intention modeling

It is not enough to actuate AAL devices to provide cognitive assistance. The actuation becomes an actual assistance act when the intention behind its content helps the resident to progress in a task.

We want to turn the actuation content described above (locutionary act) into assistive messages. An illocutionary act denotes the intention behind the locutionary act. This intention can be clear or not, depending on the illocutionary force. In the speech act theory, the intention behind a speech act is said to be explicit if an explicit illocutionary force indicator is used. This indicator is usually a performative verb that clearly denotes the performative used, like in “*I order you to go and watch the stove*” (explicit directive) or “*I promise to play your favourite song if you watch the stove*” (explicit commissive). However, in a cognitive rehabilitation context the use of performative verbs in verbal assistance is unusual since the objective is to help without frustrating the users. In addition, the use of performative verbs in

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

a speech situation is most often followed by a specific subject, e.g. *I promise to play your favourite song, I order you to switch the light off.* That's why instead of using performative verbs, we consider explicit any message that has a reference to a specific subject, either an object or the activity to perform. In this way, assistance act contents like "Aren't you forgetting something", "Are you sure?" and "What would you do?" are implicit because they are general messages not referring to any subject. On the contrary, assistance act contents like "What do you usually do when you have a pot on the stove?" or "You left the stove unattended" are characterized as explicit in the model since they mention some entities (pot and stove) referring to a specific activity (cooking), making the subject explicit. So, the CAM characterizes the intention behind assistance acts with the following:

- The **speech act type** (one of the five illocutionary acts described in section [4.2.3](#)).
- The **speech act clarity** (direct/indirect).
- The **message content clarity** (implicit/explicit).

We then describe how we turn speech acts into assistance acts to provide cognitive assistance as follows.

- **Representatives:** *To give information to the user.* Even though a descriptive statement can be used to implicitly give a directive, we use a representative in cognitive assistance to inform without necessarily waiting an immediate reaction from the user. That is why the information should be clear for the user i.e., direct, and explicit.
- **Directives:** *To request for action.* They are attempts by the system to get the user to do something. They may be 'very modest' attempts when the directive is not clear and don't mention the subject (indirect implicit), 'modest' attempts when the directive is not clear but mentions the subject (indirect explicit) or 'stronger' attempts when the directive is clear and contains references to the subject (direct explicit).
- **Commissives:** *To motivate the user to do something.* A commissive commits the speaker for future actions; it's the speaker's actions that are constrained. In the context of cognitive assistance, the AALS utters the messages to influence user's behaviours (actions or thinking). So, it doesn't make sense to constrain

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

the system for actions, instead we use commissives to try to constrain user behaviours. For this purpose, the system motivates the user by “promising a reward”, e.g., wellbeing or performance improvement. This use is indirect and always explicit as the subject should be clear.

- **Expressives:** *To generate a feeling in the assisted person.* For example, congratulating users on completion of a given task makes them feel confident and increases their performance. We will use expressives directly and either implicitly or explicitly.
- **Declarations:** *To inform the user about an action automatically performed by the system.* Most of the time, this will arrive when users didn’t manage to successfully perform actions on their own within a given period of time. Ex: Turning off the stove automatically, sending a SMS to alert a caregiver.

Table 4.4 summarizes our characterization of assistance acts with some example of verbal assistance contents.

Grading and ordering assistance acts

To provide a consistent dialogue with a progressive grading in assistance act contents, it is necessary to grade assistance acts to be able to determine the order in which they will be executed. The grade corresponds to the illocutionary force of the assistance act. To obtain it, we consider its characteristics as described above in Table 4.4.

- Considering the speech act type, Austin [165] classified them according to their illocutionary forces in the following decreasing order: declarations, directives, commissives, expressives, and representatives. However, the way we use commissives in a cognitive assistance perspective i.e., to motivate somebody to act (see Table 4.4), influences this order. In fact, we use commissives as indirect ways of giving directives. Therefore, indirect commissives and indirect directives will have the same illocutionary force and the clarity of message contents will therefore determine their order (see grades 4 and 5 in Table 4.5).
- The second characteristic we consider is to what extent the speech act is clear. Not surprisingly, a direct act is stronger than an indirect one.
- The last thing to consider is the clarity of message contents. Obviously, an explicit message is stronger than an implicit one.

In the light of the above, we can determine a complete order of assistance acts accord-

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

Table 4.4 – A speech act characterization of assistance acts

Speech act type	Goal/meaning in the context of cognitive assistance	Subject Clarity	Speech Act Clarity	Examples of assistance act contents (locutionary acts)
Representative	To inform	Explicit	Direct	- <i>Food is ready.</i>
Expressive	To generate a feeling on the assisted person (to encourage, to deplore)	Implicit	Direct	- <i>Well done!</i>
		Explicit		- <i>Wow! You diced the tomatoes very well.</i>
Commissive	To motivate the assisted person to do something because there is a reward	Explicit	Indirect	- <i>Wouldn't you be more relaxed after a short break?</i> - <i>You will perform better if you clean your workspace first.</i>
Directive	To request for action	Implicit	Indirect	- <i>Are you sure?</i>
				- <i>What would you do?</i>
		Direct	- <i>Let's go!</i>	- <i>Do it please!</i>
				- <i>You could look for the recipe in the cookbook.</i>
		Explicit	Direct	- <i>Watch the stove!</i>
				- <i>The stove has been left unattended.</i>
				- <i>Where could you look for meal suggestions?</i>
Declaration	To declare that the system takes action on behalf of the assisted person	Explicit	Direct	- <i>The stove is automatically turned off.</i> - <i>A SMS is sent to alert your caregiver.</i>

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

ing to their increasing illocutionary forces i.e., from the weakest (the least persuasive) to the strongest (the most persuasive) as described in Table 4.5:

Table 4.5 – Assistance act grades (increasing order) and situations of use

Grade	Illocutionary force	Situation of use
1	Representative direct explicit	No action expected from the user
2	Expressive direct implicit	
3	Expressive direct explicit	
4	Directive indirect implicit	
5	Directive direct implicit	
6	Commissive indirect explicit	Action expected from the user
7	Directive indirect explicit	
8	Directive direct explicit	
9	Declaration direct explicit	System intervention

In summary, the CAM offers nine (09) levels of illocutionary forces to an AALS to grade the content of assistance acts. The choice of grades will depend on the user profile, assistance expectations and even the maximum number of assistive messages to send for a single situation resolution (e.g., a maximum of three messages before the system intervention). As shown in Table 4.5, a system will choose between the first three grades when no action is expected from the user (e.g., to generate a positive feeling). If a user action is required, the choices will be between grades 4, 5, 6, 7 and 8. Grade 9 is not properly an assistance grade, it is rather the characterization of a direct intervention by the system when the user fails to resolve a situation. In all cases, the sequence of messages to send will be ordered according to their increasing illocutionary forces, weak messages first, followed by more persuasive messages. For example, a system will be able to give the same assistance as Le Dorze *et al.* [33] depicted in Figure 4.1a by selecting an assistance of grade 4 for the first message (“*Is there something that you could do?*”: Directive indirect implicit), of grade 7 for the

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

second (“*Is there another place you can call to find a phone number?*”: Directive indirect explicit) and finally of grade 8 for the third message (“*Did you consider calling 411 to find out the right phone number?*”: Directive direct explicit).

Non-verbal assistance and communication modes

The characteristics of assistance acts above are straightforward for any assistance that can be verbalized, namely written, and spoken texts. For non-verbal assistance, characterizing assistance acts is a bit tricky: how to grade an image or a light signal according to the eight grades of illocutionary forces presented? Even though each development team can decide how to annotate nonverbal cues, we propose some indications.

- Visual messages excluding written text.
 - *Speech act type*: a visual message content can be rich enough to be one of the five types of speech acts available.
 - *Speech act clarity*: it will be considered direct if the visual message contains any sign that is known to have a predetermined meaning, like the warning sign (e.g., Figure 4.4) where the image of the stove is augmented with the warning icon that clearly warns the resident). It is considered indirect otherwise.
 - *Subject clarity*: explicit if items involved in the current situation are displayed, e.g., the image of a stove, a video showing how to dice tomatoes, the image of a bed on a lamp. They can be considered implicit otherwise.
- Audio signals excluding spoken texts, e.g., sounds and music. They are more limited and less expressive than visual signs. Speech-based music is excluded here as it can be characterized as spoken texts.
 - *Speech act type*: it is more user-dependent and can be representative, expressive, commissive or directive. A sound for example can have a specific meaning for a user A and a different one for a user B.
 - *Speech act clarity*: as for the speech act type, it is also user-dependent for the same reasons. A specific siren can clearly warn a user about a situation. The same siren may not be so clear for another user.
 - *Subject clarity*: they can be considered all implicit since they don't give

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

any information on the subject.

It's worth mentioning that apart from the content of the assistance act, communication modes and devices used to give the assistance can influence the illocutionary force. For instance, displaying a text and playing a voice note of the same text don't have the same illocutionary force since it can vary in the audio according to many other factors like intonation and emphasis. Another example is the flickering of a lamp which is a different message from lighting a lamp. Taking communication modes and actuators into consideration in the characterization of the illocutionary force needs an extensive study which is out of the scope of the current work.

Content-intention modeling and instantiation

Figure 4.9 presents an excerpt of the assistance act content-execution model of the CAM. The speech-act-based characterization of assistance acts described above is formalized to enable systems to grade assistance act contents with respect to speech act types, speech acts clarity and message contents clarity. Listing 4.5 shows how the locutionary acts instantiated in Listing 4.4 are completed with the intention model to enable their grading in the context of cognitive assistance.

Listing 4.5 – Assistance act content-intention modeling

(a)	
	(b)

```
<locAct/text1003> [...]
  cam:hasIllocutionaryAct <directiveIndirectExplicit> ;
  DUL:hasSetting <stoveUnattended10> ;
  DUL:expresses <raphReminder1> .
<directiveIndirectExplicit> a cam:IllocutionaryAct ;
  DUL:isClassifiedBy <illocActTypeDirective> ;
  DUL:hasRegion <speechActIndirect> ;
  DUL:hasRegion <subjectExplicit> .
```

```
<locAct/light50> [...]
  cam:hasIllocutionaryAct <directiveIndirectImplicit> ;
  DUL:hasSetting <nightWandering01> ;
  DUL:expresses <raphOrientation3> .
<directiveIndirectImplicit> a cam:IllocutionaryAct ;
  DUL:isClassifiedBy cam:illocActTypeDirective ;
  DUL:hasRegion <speechActIndirect> ;
  DUL:hasRegion cam:subjectImplicit .
```

4.4.3.3 Completing the picture: reasoning on assistance acts

Listing 4.4 and Listing 4.5 show the state of the knowledge base of a CAM-based AALS at a given point in time. However, some of the presented knowledge is inferred by reasoning mechanisms. In fact, the assistance act perspective of the CAM is built

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

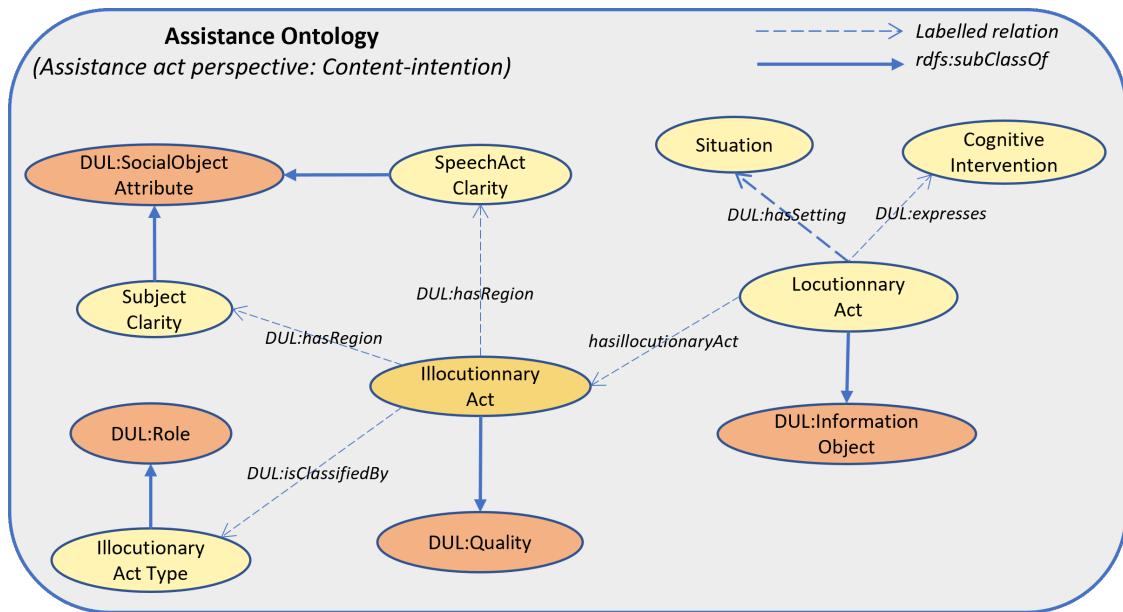


Figure 4.9 – Assistance act content-intention model

to enable a reasoning mechanism to choose the assistance act with the convenient grade and the actuator which can deliver it according to the current state of the overall system. Listing 4.6 shows a SPARQL Construct query that infers assistance acts based on the already existing knowledge stored in the ontology, which otherwise are possible via inferencing rules. To infer the assistance act and the necessary information to execute it, the query relies on knowledge like the current situation to handle, the user preferred modalities, the cognitive interventions in the profile, the assistance level needed and the user location. For the sake of simplicity, the query doesn't integrate the assistance act in an assistance workflow, though it is straightforward.

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

Listing 4.6 – A SPARQL query to infer the assistance act and the actuator for assistance delivery

<pre> CONSTRUCT { ?assAct DUL:isExecutedIn ?actuation ; DUL:isExpressedBy ? locutionaryAct . ?actuation SOSA:madeByActuator ?actuator ; sosa: usedProcedure ?procedureAPI ; sosa:hasResult ? locutionaryAct ; SOSA:resultTime ?time [...] . } WHERE { BIND(<assAct502> as ?assAct) . BIND(<stoveUnattended10> as ?situation) . BIND(<directiveIndirectExplicit> as ?illocAct) . BIND(NOW() as ?time) . ?locutionaryAct a cam:LocutionaryAct ; DUL:hasSetting ?situation ; DUL:expresses ?cogInterv ; cam:hasIllocutionaryAct ?illocAct ; cam:hasMode ?CommunicationMode . </pre>	<pre> ?actuator SOSA:isHostedby ?platform ; cam:supportsMedium ?CommunicationMode ; sosa:usedProcedure ?procedureAPI . OPTIONAL { ?actuator DUL:hasSetting ?situation } . ?platform DUL:hasLocation <[userLoc]> . FILTER EXISTS { BIND(<xraphStaticProfile1> as ?profile) . ?profile DUL:hasComponent ?CommunicationMode . } } </pre>
---	---

4.4.4 Evaluation perspective

The evaluation perspective of the CAM describes the knowledge necessary to check if the user behaves as intended. It therefore contributes to check misexecutions performed by the resident side, i.e., to verify that the resident executes the procedure correctly and completely. Perlocutionary acts in the evaluation perspective represent consequences or effects an assistance act has on physical actions, thoughts, or beliefs of assisted persons. For example, by warning users, the system can *help*, *scare*, or *alarm* them depending on how the message is delivered; by making a request it may *get them to do something*, by informing it may *inspire* or *convince*. The assistance evaluation is of two types:

- *Short-term evaluation* that evaluates the effect of each single assistance act in a one-time assistance process, normally a sequence of a very limited number of assistive messages (e.g., 03 messages). This evaluation enables the system to take more action (sending a more adapted assistance act) in case of failure or to stop the assistance in the other case.
- *Long-term evaluation* that evaluates the effect of assistance over a long period of time (weeks, months), to assess the progression of the whole rehabilitation process.

The evaluation perspective represents the possible effects on the thoughts or actions

4.4. THE COGNITIVE ASSISTANCE MODEL IN A NUTSHELL

of the user to directly support short-term evaluation, and indirectly long-term evaluation. It is an extension of the assistance act perspective. The perlocutionary effect of an assistance act has observable properties, e.g., absence, location, whose observation results provide information on the success or failure of the assistance. The evaluation perspective of the CAM is depicted in Figure 4.10. It enables the AALS to check

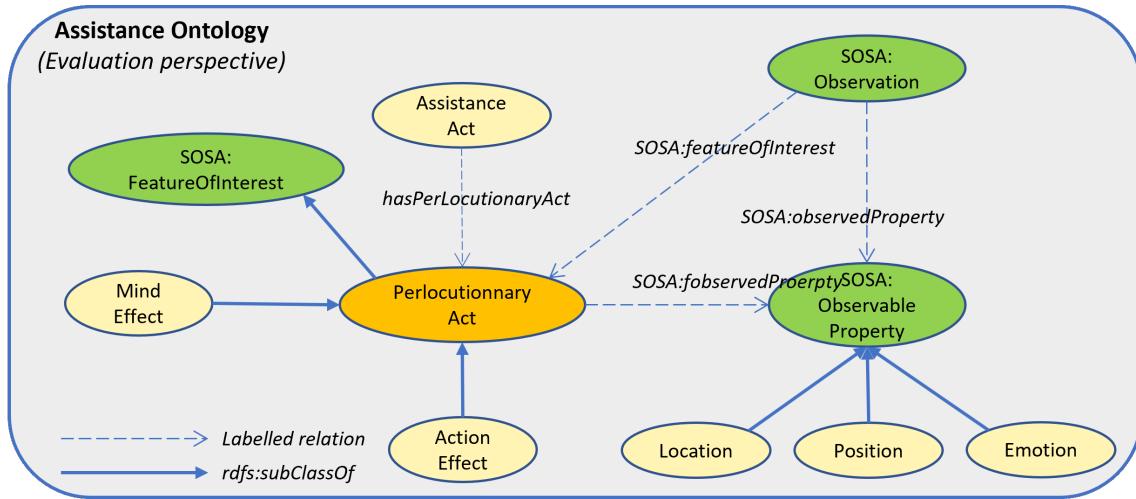


Figure 4.10 – The evaluation perspective

whether the expected observations took place a short time after the assistance act was triggered. Long-term evaluation can also be performed by relying on historicized data on expected and actual observations over time. When an assistance act is inferred, a perlocutionary act is created and attached to it in the head of the SPARQL construct of Listing 4.6 (not shown). For example, the assistance act `<assAct502>` represented in Listing 4.4 (b) describes a text-based assistive message displayed on a tablet in the living room where the user is located while the stove has been left unattended for 10 minutes. The aim of the message is to nudge the user to go and watch the stove. So, it is expected that he/she moves to the kitchen (location) and goes close to the stove (position). Listing 4.7 shows how the evaluation perspective of the CAM is instantiated to reflect this expectation.

4.5. DISCUSSION

Listing 4.7 – Evaluation modeling

```
<assAct502> [...]
  DUL:hasPerlocutionaryAct <actionPerloc1003> .
<actionPerloc1003> a cam:PerlocutionaryAct ;
  SOSA:observedProperty <userPosition> ;
  SOSA:observedProperty <userLocation> .
```

It is therefore easier for the reasoning mechanism to check if the ontology contains observations (on the observed properties) that occurred after the assistance act was delivered.

For long term evaluation based on historicized data, we have shown how data are structurally incorporated into the ontology over time. Each situation of assistance, each triggered assistance act and its evaluation (success/failure) are all recorded into the ontology. Data driven models like case-based reasoning (CBR) will therefore be able to benefit from them to improve the assistance and the rehabilitation process over time. To this end, a database can be coupled to the ontology in an Ontology-Based Data Access (OBDA) paradigm [231] to efficiently access the data.

4.5 Discussion

This work shows that clinical knowledge regarding real-time cognitive assistance and the speech act theory which consists in triggering behaviours with utterances, can be used to build a reusable model for prompt-based adaptive cognitive assistance in AALSs. The proposed ontology-based CAM describes a cognitive assistance compliant with some real-time cognitive assistance strategies described in the clinical literature [31, 32, 33, 130, 142, 143], for instance, the progressive delivery of graded assistance cues over time, to enable people with cognitive impairments to perform tasks to their fullest potential. The concept of cognitive assistance was divided into three perspectives and a sub-model was proposed for each: (1) the situation perspective formalized in Figure 4.5, Figure 4.6 and Figure 4.7 to enable the identification of situations where assistance is needed, (2) the assistance act perspective formalized in Figure 4.8 and Figure 4.9 to generate appropriate assistance acts of various illocution-

4.5. DISCUSSION

ary forces and convenient actuators to execute them, (3) the evaluation perspective depicted in Figure 4.10 to evaluate effects of assistance acts on residents' behaviours for further decision. In so doing, the CAM enables AALSs to maintain a dialogue with residents to encourage them to perform on their own during the progression of tasks at hand.

4.5.1 Contributions of the ontological model

The CAM formalizes some of clinicians' knowledge and enables them to personalize and adapt the cognitive assistance by configuring user profiles with user-specific information, including the intervention plan that guides the selection of assistance acts. Clinicians can specify grades of assistance acts applicable to a specific user in the profile. For example, a "directive implicit indirect" assistance act may be not applicable to a user who has impaired metacognitive abilities. In addition, user's physical abilities to perceive message types or to perform some actions, also represented in the user profile, can help an automated system choose convenient communication modes and actuators. Another strength of the CAM is that it provides a consistent method for describing assistance act characteristics and to grade them according to their illocutionary forces. Table 4.4 summarizes the characterization and helps derive nine (09) possible grades of illocutionary forces, from the least persuasive to the most persuasive one. As an AAL environment provides various actuators, we also gave some indications on the characterization of non-verbal assistance acts, including images, videos, light signals, and sounds. The number of possible grades is not too high as the assistance should be time-limited and it is not too low in order to offer enough variation in the amount of information to be given to users to progress the assistance. To avoid frustrating patients, clinicians usually give a limited number of assistive prompts for each situation to handle. Illocutionary forces are grouped into three categories with respect to situations of use (see Table 4.5). It helps to choose assistance levels according to the expected results (e.g., peace of mind, call to action) and to limit the confusion relative to the eight possible grades. We were able to characterize and grade all examples of verbal assistance messages we found in the literature.

4.5. DISCUSSION

The CAM formalizes ontological concepts for information sharing across IoT-enabled systems for automated cognitive rehabilitation. Rigorously aligned on the top-level ontology DUL and the standardized ontology SOSA, the CAM can be easily extended and detailed according to the needs of future applications. Examples of use were provided to show its applicability and usability.

When developing a formal ontology, the description language should be carefully chosen to represent relevant knowledge while enabling the reasoning needed to offer the intended services. The CAM aims to balance between the expressivity of the underlying knowledge representation language and the efficiency of reasoning mechanisms. We targeted *SHOIN(D)* as the most expressive language to use because it is equivalent to *OWL – DL* which is a recommendation of the W3C¹⁰. It is efficiently supported by the predominant modern reasoners on the market, including Racer, Pellet and Ontop. The CAM ontology reuses SOSA whose description language is *ALI(D)* and DUL which falls within *SHOIN(D)* language. The CAM didn't include other language constructors and its expressivity is therefore *SHOIN(D)*.

While the advantages of the ontology-based CAM are clear, many key challenges still need to be addressed for future assessments. Some actuators carry a piece of knowledge that can influence the illocutionary force of an assistance act. For instance, lighting a basic lamp doesn't have the same illocutionary force as lighting a lamp that embeds a bed icon (Figure 4.4). The latter is more informative as the bed icon refers to an explicit object or activity as illustrated with the night wandering system in a previous work [230]. Taking actuators into consideration in the characterization of the illocutionary force needs an extensive study which was out of the scope of the current work. On the other hand, the single CAM cannot model all the therapists' clinical reasoning. For example, it was not clearly shown how the illocutionary force is chosen according to the situation at hand. In other words, deciding the message grade to guide the selection of assistance acts was not covered in the model. In fact, this makes use of a more algorithmic part of the clinical reasoning. The model needs to be extended with therapists' clinical reasoning algorithms to dynamically plan the resident-system dialogue. Finally, the time allowed for the user to react after the reception of an assistance act, i.e., the time between the emission of two assistance

10. World Wide Web Consortium

4.5. DISCUSSION

acts, was not discussed.

4.5.2 Speech acts to assistance acts in ambient intelligence environments

One of the strengths of the proposed model is the support it offers for the prevention of infelicities to ensure the necessary conditions for the assistance to really take place. Therefore, it maximizes the relevance and helpfulness of the assistance. Key characteristics of speech acts were adapted to assistance acts to this end: *locutionary acts* for the content, *illocutionary acts* for the intention and *perlocutionary acts* to evaluate effects on users. In relying on the prevention of infelicities, especially misinvocations and misexecutions, the developed model tackles four shortcomings of the other works reported in section 4.2.4: *the assistance is provided when needed, the assistance level and modality are consistent with people’s disabilities, the effects of the assistance are evaluated and finally, gradual progression in the dialogue gives the chance to users to act on their own under the “watchful eye” of the system.*

It is important to recall that assistance acts translate cognitive assistance as described in clinical practice into an interaction between a person and an automated system in an AAL environment. The advantage is that unlike speech acts that rely only on the oral speech production, assistance acts leverage the various ubiquitous sensors and actuators available in the environment to offer multiple ways of understanding the context (including the resident’s behaviour) and many ways of providing the assistance during the interaction. Assistance acts can enable a kind of face-to-face dialogue described in [232] as an interaction that has the potential of combining non-verbal and paraverbal way of conveying information that carry semantic content complementary to oral speech. This is crucial in a rehabilitation perspective as people with disabilities can compensate some perception and acting channels (e.g., hearing, and oral speech) by using others (e.g., seeing and body gesture). For example, if the resident is in the living room and the system displays the image of a stove on a tablet (to make him/her think of a potential problem on the stove), and that he/she moves to the kitchen, this is a valid dialogue from an AAL system perspective. More generally, as highlighted by López-Cózar Callejas [100], “*AAL systems go beyond*

4.5. DISCUSSION

both the desktop metaphor and the traditional speech-only interfaces by incorporating several communication modalities, such as speech, gaze, gestures or facial expressions. Multimodal dialogue systems offer several advantages. Firstly, they can make use of automatic recognition techniques to sense the environment allowing the user to employ different input modalities, some of these technologies are automatic speech recognition, natural language processing, face location and tracking, gaze tracking, lipreading recognition, gesture recognition, and handwriting recognition". Therefore, sensor fusion will be a key challenge during the implementation phase of systems that will use the framework proposed in the current paper.

4.5.3 Implementation

Even though the proposed CAM is a significant step towards the availability of AALSs that provide an effective cognitive rehabilitation compliant assistance, there is still a considerable amount of work to be done to implement and deploy it into a really effective and useful system. The CAM ontology is already implemented on Protégé Editor¹¹ in OWL-DL format and is accessible through a Java API built with Apache Jena¹² and JOPA (Java OWL Persistence API) [233]. The appropriate cues and actuators to deliver them can be queried from the ontology API according to query parameters that depend on the current situation as exemplified in Listing 4.6.

The CAM is a shareable model that can be reused by any AALS aiming at providing cognitive assistance to people with TBI. For example, our interdisciplinary team is implementing it in COOK (Cognitive Orthosis for CoOKing) [49, 50], a cooking assistant for people with deficits due to TBI. COOK was designed with a user-centred design approach to ensure that it will meet users' needs in terms of usability and utility. COOK has three modules: a *safety module* that sends notifications when the stove is used unsafely, a *culinary assistance module* to provide instructions during meal preparation steps, and a *configuration module* to set up and customize the assistance. The CAM model is being used to improve the assistance in COOK, for example with the introduction of assistance grading to replace the existing static messages. We have started with the safety module for which simple non-visual sensors

11. <https://protege.stanford.edu/> [Accessed: august 2021]

12. <https://jena.apache.org> [Accessed: august 2021]

4.5. DISCUSSION

installed on the stove (infrared, amperemeter, smart plug, tablet) and in the environment (motion and contact sensors) are used to recognize three types of situations : (1) when the user goes out of the house while the stove is active, (2) when the user has left the stove unattended too long while the stove is active, (3) when an action is required on the stove to keep it safe (e.g., when the oven door is open, or when a burner is lit without a pot on it). Details on this use of the CAM to feed a cognitive assistant can be found in [234]

Consistent situation recognition is a key issue for the successful implementation of the CAM since the system strongly relies on the understanding of the current context, especially the user's behaviour. It can therefore be vulnerable to wrong inputs since failing to understand what is going on will lead to wrong assistance needs, then wrong parameters to query the ontology, and inappropriate cues. Systems that will implement the CAM could include modules that adequately identify the evolution of the resident during task completion. Those modules could combine the ontology and SWRL rules with advanced video detection and processing, multiple sensor fusion and feature extraction to derive a more accurate picture of what is happening. Combining behaviour trees [216] and deep learning like in [220] for situation recognition could also be interesting for those modules. Some insights on context modelling and reasoning techniques suitable for situation recognition according to sensors and the nature of data (visual, non-visual, audio, etc.) for the provision of services in AALSs can be found in [227].

4.5.4 Validation

When it comes to cooking, special attention must be paid to the safety risk of stove use. In USA, cooking was the leading cause of home fires and fire-related injuries for over five years (2014-2018) ¹³. The cognitive deficits exhibited by individuals with TBI increase the risks associated with meal preparation, including stove use. The first use of the CAM is being done on the safety module of COOK for which we are already able to reliably identify the three types of stove safety situations described above. The next version of COOK enriched with the CAM will be validated by experiments

13. National Fire Protection Association (NFPA): www.nfpa.org [Accessed: august 2021]

4.5. DISCUSSION

in a controlled environment (a laboratory) followed by other experiments in real-life. The three safety threat scenarios described above (“user left the apartment”, “stove unattended” and “action required on stove”) will be used to test how COOK initiates the AAL dialogue with the user to help him/her to cope with risk situations.

4.5.4.1 Laboratory experiments

Lab experiments will take place at the DOMUS Laboratory of the University of Sherbrooke¹⁴. DOMUS has a smart home located on the school campus to enable short-term studies in a simulated technology-rich environment. The smart home has a fully functional 4½ apartment (1 living room, 1 dining room, 1 bedroom, 1 kitchen and 1 bathroom) equipped with heterogeneous networks of sensors and actuators, and kitchen appliances including a stove equipped with COOK. During lab experiments, occupational therapists will be in charge of the configuration of users’ profiles (especially assistance levels) and the evaluation of users’ behaviours. Behaviours of users will trigger the three controlled scenarios above to test assistance grading and the understanding of the interactions both by users and the system. A preliminary validation has been already done by simulating various situations, resident’s profiles and behaviours to check the applicability and robustness of the CAM in this laboratory configuration [234].

4.5.4.2 Real-life experiments

The previous version of COOK (without the CAM) has been evaluated by occupational therapists with real users with TBI in real-life environments and the results show that it is a promising technology with a great potential to improve independence and increase safety in meal preparation for these users while decreasing caregiver burden [50, 226, 235]. An important phase in experiments consists in training the end-users (i.e., individuals with TBI in our case) in order to increase their potential of using the system and the benefits of the assistance provided. Our team is familiar with training individuals with cognitive impairments in the use of the technology to compensate for their impairments. For example, [236, 237] used a person-oriented

14. <https://www.usherbrooke.ca/domus/en/> [Accessed: august 2021]

4.6. CONCLUSION

training method inspired from Sohlberg and Mateer [238], and adapted to the learning of new technologies, to train persons with Alzheimer’s disease to use an electronic organiser that was designed to support their day-to-day activities. Moreover, Pinard *et al.* [50] used the same method to implement and maintain the previous version of COOK in the supervised residence of three persons with severe cognitive deficits due to TBI [239], once again used this method to implement COOK in a supervised residence with one person with severe cognitive deficits due to an acquired brain injury. Real-life experiments are planned to validate that the introduction of the CAM could ensure stove safety while enabling COOK to engage users to their fullest potential in addressing safety threats. A qualitative evaluation will be done to assess the usability and the appreciation of the technology in the perspective of individuals with TBI, occupational therapists and caregivers.

4.6 Conclusion

With the desire of people with moderate and severe TBI to stay at home and to continue to perform their activities to the best of their abilities, there is a strong desire in the occupational therapy community for cognitive assistance systems that are supported by evidence-based interventions emerging from cognitive rehabilitation practice and research. In this article we presented a cognitive assistance model to be used as the backbone of AALSs which would give assistance for the rehabilitation of people living with cognitive impairments. The proposed CAM was built to support CRT and evidence-based practices that have been found to be efficient by clinicians. The model unpacks the term “assistance act” so that cognitive interventions can be better operationalized, graded, compared, and triggered gradually for automated and user-specific assistance in AAL environments. Speech act theory was deeply analyzed and used to this end, especially the prevention of infelicities to ensure necessary conditions for assistance success, locutionary acts to specify assistance content, illocutionary acts to adapt the persuasive force of the assistance, and perlocutionary acts to measure the assistance effects on assisted persons for further decision making. The resulting model is usable and applicable for the intended purpose as shown with the various model instantiations provided throughout the paper. We exhibit some code

4.6. CONCLUSION

snippets to show concretely how the data are provided to the ontology and how the reasoning can be performed. While putting the model into action, we also gave some insights on a possible system architecture which includes an automation platform and a MQTT broker to exchange messages with the ontology API.

It is expected that this new cognitive assistance model will feed reasoning algorithms simulating therapists' clinical reasoning for the dynamic planning of a progressive resident-system dialogue based on assistance acts scheduling. The model has been shown to be usable and applicable in the improvement of the security module of COOK, a cooking assistant for people with TBI. Future work includes laboratory and real-life experiments to evaluate the model with clinicians and people living with TBI. Such an application will validate the potential of the CAM to enable cognitive assistance with graded assistance acts that are spread in due course through multimodal actuators distributed in the AAL environment in accordance with users' abilities. Situation recognition has been identified as a key issue in the successful implementation of the CAM. Even though SWRL rules can enable it to accurately identify some situations like in the COOK safety module, there are complex scenarios where context understanding will need more advanced techniques like those presented in a previous work [227]. Finally, sharing the CAM ontology could be a fruitful subject for future studies in the AALS field.

Chapitre 5

**Planification dynamique de
l’interaction système-résident pour
l’assistance cognitive dans un
environnement d’intelligence
ambiante**

Résumé

Au cours de la dernière décennie, les progrès réalisés dans les systèmes d'assistance à domicile (SAD) ont modifié la manière dont les services peuvent être fournis dans les maisons connectées. De nouvelles possibilités sont désormais offertes pour résoudre les problèmes d'interaction complexes entre la technologie et les utilisateurs ayant des besoins particuliers. Dans ce contexte, ce chapitre traite des interactions humain-machine pour l'assistance aux personnes ayant des déficits cognitifs dus au traumatisme craniocérébral (TCC). Une recherche interdisciplinaire combinant informatique et ergothérapie a été menée pour modéliser l'interaction entre un SAD et une personne victime de TCC résidant dans un environnement d'intelligence ambiante. L'assistance cognitive est modélisée comme un échange interactif où le SAD diffuse des signaux d'assistance qui ont pour but d'induire comme réponses chez la personne assistée, des comportements appropriés. Après la diffusion d'un message d'assistance, le SAD évalue la réaction de l'utilisateur et arrête l'interaction si la réaction prévue a été observée ou reprend en adaptant l'assistance. Pour ce faire, les données probantes de la réadaptation cognitive et les actes de langage sont utilisés pour modéliser le contenu de l'interaction, c'est-à-dire les signaux d'assistance et les réactions de l'utilisateur, tandis qu'une ontologie formalise la sémantique de ces connaissances dans un format exploitable par une machine intelligente. Un modèle comportemental basé sur des arbres de comportement, informé par le modèle ontologique, est ensuite utilisé pour permettre à l'assistant cognitif de planifier la séquence de messages d'assistance à fournir de manière adaptative en fonction des circonstances, de l'objectif d'assistance et du comportement de l'utilisateur. Pour montrer que le modèle d'interaction proposé peut aider un SAD à fournir une assistance adaptative aux personnes souffrant de troubles cognitifs, il est illus-

tré sur le module de sécurité d'un assistant culinaire conçu pour les personnes ayant un TCC.

Commentaires

Dans ce chapitre est intégralement présenté l'article intitulé *Modeling an Adaptive Resident-System interaction for cognitive assistance in Ambient Assisted Living, 10 pages*, présenté lors de la 09e édition de la conférence *Human-Agent Interaction (HAI2021)* qui a été organisée par *Nagoya University (Japan)* du 09 au 11 novembre 2021. L'article est publié dans *ACM Digital Library*. Les auteurs dans l'ordre sont Armel Ayimdji Tekemetieu, Hélène Pigot, Carolina Bottari, Mireille Gagnon-Roy et Sylvain Giroux.

Cet article montre également une opérationnalisation de l'ontologie de l'assistance cognitive construite au chapitre 4. En particulier, la gradation de l'assistance selon les grades du tableau 4.5 est mise en oeuvre et illustrée dans un exemple qui utilise les grades 4, 5, 7, 8 et 9. Les autres grades (1, 2, 3 et 6) peuvent être utilisés dans d'autres situations. Par exemple, les grades 2 et 3 pourront être utilisés pour encourager ou féliciter la personne TCC parce qu'elle a bien réalisé une tâche, comme le font les ergothérapeutes dans la pratique.

Dans la réalisation de cet article, j'ai (Armel Ayimdji Tekemetieu) contribué en tant que premier auteur à la conception du modèle de planification dynamique et sa formalisation avec les arbres de comportement. J'ai rédigé la première mouture de l'article et tous les auteurs ont contribué aux corrections.

Modeling an Adaptive Resident-System Interaction for Cognitive Assistance in Ambient Assisted Living

Armel Ayimdjì Tekemetieu

Département d'informatique, Université de Sherbrooke,
Sherbrooke, Québec, Canada J1K 2R1

Armel.Ayimdjì.Tekemetieu@Usherbrooke.ca

Hélène Pigot

Département d'informatique, Université de Sherbrooke,
Sherbrooke, Québec, Canada J1K 2R1
helene.pigot@usherbrooke.ca

Carolina Bottari

École de réadaptation, Université de Montréal,
Montréal, Québec, Canada H3N 1X7
carolina.bottari@umontreal.ca

Mireille Gagnon-Roy

École de réadaptation, Université de Montréal,
Montréal, Québec, Canada H3N 1X7
mireille.gagnon-roy@umontreal.ca

Sylvain Giroux

Département d'informatique, Université de Sherbrooke,
Sherbrooke, Québec, Canada J1K 2R1
sylvain.giroux@usherbrooke.ca

Keywords: Ambient intelligence; Speech acts; Ontology-based decision support; interactive information retrieval; Cognitive assistance; Traumatic Brain Injury

Abstract

In the last decade, advances in the field of ambient assisted living (AAL) have changed the way services can be provided in smart homes. New possibilities are now offered for addressing complex interaction problems between the technology and users with special needs. Within this context, this study addresses human-computer interactions for cognitive assistance to people

with Traumatic Brain Injury (TBI). An interdisciplinary research combining computer science and occupational therapy was conducted to model the interaction between an AAL system (AALS) and a person with cognitive impairments due to TBI residing in an AAL environment. Cognitive assistance is modelled as an interactive exchange where an AALS spreads assistance cues that should induce appropriate behaviours from an assisted person as responses. After an assistance cue is delivered, the AALS should evaluate the user reaction and, stop the interaction if the intended reaction is observed or resume by adapting the assistance. To do so, evidence-based cognitive rehabilitation and speech acts are used to model the interaction content i.e., assistive cues and user feedback, while an ontology formalizes the semantics of this knowledge in a computer readable format. A behavioural model based on behaviour trees informed by the ontological model is then used to enable the cognitive assistant to plan the sequence of cues to be delivered adaptively depending on the circumstances, the assistance goal and the user's behaviour. To show that the proposed interaction model can help an AALS to provide adaptive assistance to people with cognitive impairments, it is exemplified on a cooking safety assistant designed for people with TBI.

5.1. INTRODUCTION

5.1 Introduction

The last ten years have witnessed a significant development of Ambient intelligence, Ambient Assisted Living (AAL) and smart homes. They consist of using interconnected devices surrounding the user pervasively and invisibly in the environment to provide services that can dynamically adapt to the context and offer the user an intuitive interaction with everyday objects. An important direction in this development concerns systems for helping people with cognitive impairments and the provision of rehabilitation services [11, 17]. This widespread use of cognitive rehabilitation as a service can be explained by the evidence showing its effectiveness for individuals with cognitive impairments secondary to traumatic brain injury (TBI) and the increased incidence of cognitive impairments in an aging population [20, 240]. In fact, while TBI is a leading cause of disability worldwide [20, 24], as people age, declines in memory and executive functions often lead to difficulties and potential injuries when completing daily activities, including cooking [19, 240]. Without the use of assistive technologies, a caregiver is very often needed to provide cues or prompts to help them in the completion of activities. To reduce the cost of such an assistance and the potential burden on caregivers, a wide range of prompting technologies have been developed so far to deliver verbal and/or visual cues to help people initiate, correct, or complete activities independently [24, 32]. In the context of cognitive rehabilitation, aiming to keep people active by encouraging them to perform actions independently [19, 40], researchers should pay attention to the way the technology interacts with people, considering that conversations with people with cognitive impairments, especially people who have TBI, have been rated as less appropriate and more effortful than conversations involving people without brain injury [32, 37, 38, 40]. The aim of the current work is to model an interactive agent capable of providing an adapted cognitive assistance to people in smart homes. It intends to build on verbal assistance as promoted by the field of cognitive rehabilitation, where verbal assistance is seen as an interaction between a caregiver and a person with cognitive deficits (e.g., questions, bits of information provided, encouragement) aiming to support the person's thinking and compensate cognitive limitations [33, 37].

In the AAL field, some systems are specifically designed to provide cognitive as-

5.1. INTRODUCTION

sistance to people with TBI. An earlier system like TEACH-M [156] was developed to facilitate learning and memorization of multi-step activities for people with severe memory and executive function disorders resulting from TBI. More recent works include [46] which presents a voice-driven micro prompting device that asks yes/no questions to verify if a step in a task is completed before issuing the next prompt. Wang *et al.* [16] presents a culinary assistant that automatically deliver a cue (either visual or audio) at each step of the cooking task. Like some existing systems, the current work relies on ontologies that provide the knowledge required to deliver relevant assistance cues with respect to the current situation. The use of an ontology offers a human readable knowledge representation formalism that increases understandability and shareability among an interdisciplinary team of experts in the fields of cognitive rehabilitation and computer science collaborating on the development of the Cognitive Assistance Intelligent Agent (CAIA). Another key characteristic of ontologies is to offer reasoning mechanisms for inconsistency detection and service provision. The E-care@Home project [51] built a network of ontologies to recognize activities and offer domestic automation and health e-monitoring (anomaly detection and emergency). The Dem@Home system [85] used an ontology to capture ambient and wearable sensor observations and application domain specifics in order to recognize activities, highlight problematic situations and determine non-pharmaceutical interventions to monitor people living with dementia. Sweet-Home [45] used ontologies to capture sensors and actuators' raw data for situation recognition (e.g., "main door open"). Even though the objectives of the use of ontologies in the current cognitive assistance system is similar to the cited related works in the AAL field above, a key distinction with the ontology of the CAIA lies in the support of the full cognitive assistance cycle where assistance is provided gradually, evaluated, and resumed according to the user behaviour. In fact, a CAIA that is compliant with cognitive rehabilitation should deliver graded assistance cues, evaluate the user's reaction and, stop the interaction if the intended reaction has been observed or otherwise resume with another cue after adapting its content. More often, existing systems including those described above fail to fulfill these requirements. For example, grading assistance cues or evaluating the assistance provided is not always offered. These systems are overly directive in the sense that they deliver cues that directly give all the infor-

5.1. INTRODUCTION

mation needed to complete a task step, without giving the chance to users to think by themselves before assistance is given. The current work intends to fill this gap by combining ontologies and Behaviour Trees (BT) [200] to design a CAIA that leverages the capabilities of people with TBI by providing adaptive cues when needed, to just nudge them to perform task on their own as far as that is possible.

While understanding the domain knowledge is crucial in the design of the cognitive assistance to be able to provide relevant cues to users throughout their activities, it is necessary to model the behaviour of the system, how it identifies warning signals (i.e., situation where there is a need of assistance), how it decides to assist using one way among many others or how it determines the order in the sequence of assistance messages. To this end, this research models a dynamic decision-making process that will plan the sequence of assistance messages to deliver to the user. Reactivity is also a key point in the CAIA as it should react in real time in case of changes in the behaviours of users while they are performing activities. The computer game industry has explored powerful tools to model decision-making and reactivity in autonomous agents, especially Non-Player Characters (NPCs). One popular way is to use a hierarchy of Finite State Machines (FSM) to design a task switching structure. Shortcomings with respect to reusability, modularity, reactivity, and readability in agents with FSM led to BT, a mathematical model of plan execution that is very efficient in creating complex AI that are both modular and reactive [200, 214].

The rest of this paper starts with a brief background of verbal assistance for cognitive rehabilitation (section 5.2) and uses it as the theoretical backbone of the ontological modelling of cognitive assistance (section 5.3). The ability of BT to offer a good balance of supporting goal-oriented behaviours, modularity, and reactivity is then leveraged to design the ontology-based assistance interaction (section 5.4). The interactive agent is then implemented in the safety module of a cooking assistant and a preliminary validation of the model is presented (section 5.5). The work is finally summarized and directions for future works are provided in the conclusion (section 5.6).

5.2. VERBAL ASSISTANCE FOR COGNITIVE REHABILITATION

5.2 Verbal assistance for cognitive rehabilitation

Verbal assistance is a way to provide cognitive assistance by using speech. Cognitive rehabilitation has demonstrated the ability of verbal assistance to increase independence and active participation in task performance for people with functional deficits due to cognitive impairments [16, 31]. One important direction in the cognitive rehabilitation field is to understand the level of independence in everyday activities of people with cognitive impairments so that we have the necessary understanding of their functioning to then know how to develop the means to help them act on their own to the best of their abilities [130, 133]. When the user needs assistance, instead of directly giving the explicit solution to the problem, the assistance consists in starting with a more implicit cue that encourages the user to think on his/her own, with the intent of facilitating the user's ability to solve the problem. As the interaction evolves, if the person does not take the expected action, the assistance then moves towards more and more explicit cues. This graded assistance can be illustrated by the following two examples where three levels of assistance are explored. A user struggling to find bus schedules is helped with the following cues [33, 37]: “*Is there something that you could do?*”, “*Is there another place you can call to find a phone number?*”, “*Did you consider calling 411 to find out the correct phone number?*”. In another work, an 83-year-old woman with dementia is helped to find her personal effects with the following sequence of cues: “*What will help you remember what happened to your things?*”, “*Isn't there a notice somewhere that will tell you?*”, “*Isn't there a notice somewhere with a smiley face?*” [142].

Studies in the field of cognitive rehabilitation have led to the proposition of frameworks for verbal assistance provision. Some works, including Le Doze *et al.* [33, 37], identified types of verbal assistance that specify the goals of assistance cues. These assistance types include the following:

- *Stimulating thinking*, used to encourage the assisted person to think of a solution.
- *Challenging*, given to point out an error without mentioning it, to stimulate a revision from the person.
- *Calling to action*, provided to drive the person to the execution of the task.

5.2. VERBAL ASSISTANCE FOR COGNITIVE REHABILITATION

- *Restarting*, used to reengage or to revive the person's actions or thoughts when they seem to have come to an end, without being complete.
- *Giving the answer*, supplied to provide a directive and explicit additional piece of information related to the task.

Furthermore, verbal assistance content can be graded according to three hierarchical levels, from more general assistance to the most specific:

1. To **make the person think**. A very generic verbal assistance aiming to help the assisted person understand the problem he/she is facing.
2. To **give a solution path**. A more specific verbal assistance aiming to help the person find a solution to the problem by himself or herself.
3. To **give a solution**. A very specific verbal assistance that contains elements of the solution to the problem or that clearly shows the person how to solve the problem.

The assistance provider flows through the different levels of assistance according to the cognitive assistance cycle depicted in Figure 5.1. The start state can be any of the

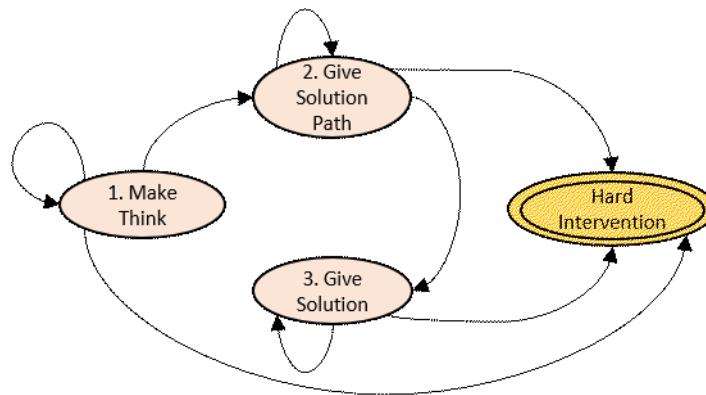


Figure 5.1 – The cognitive assistance cycle

three assistance levels described above, with respect to the user's specific cognitive impairments and abilities. The final state is the intervention of the caregiver (hard intervention) to solve the problematic situation. This occurs when the user is unable to solve the problematic situation after having received the most specific and direct

5.3. ONTOLOGICAL MODELLING OF COGNITIVE ASSISTANCE

assistance at the *give solution level*. In addition, if at any time there is an urgent safety issue, the caregiver intervenes to prevent damages or injury.

5.3 Ontological modelling of cognitive assistance

A smart home environment offers a ubiquitous environment that can move from providing verbal assistance to multimodal assistance with the potential of improving the interaction between the system and individuals with cognitive impairments. This section describes an ontological model developed to this end.

5.3.1 Ontological conceptualization: From speech acts to assistance acts

As a result of an interdisciplinary collaboration, cognitive assistance modelling for AALS is based on the one hand on clinical data from occupational therapists' interventions and on the other hand on the speech act theory developed by Austin [165]. The latter study shows how utterances influence the performance of actions. A speech act is made up of three components:

- a *locutionary act* that specifies the content of the message being sent.
- an *illocutionary act* specifying its meaning, the intention behind the message. Searle [167] classified illocutionary acts as follows: representatives (to describe how things are), commissives (to commit for future actions), expressives (to express feelings and attitudes), directives (to try to get people to do things) and declarations (to bring about changes).
- a *perlocutionary act*, the effect of the message on the hearer.

In the context of cognitive assistance, **assistance acts** were introduced as speech acts emitted during a human-computer interaction to foster autonomy [144]. An assistance act is made of a locutionary act (the message content) and the actuator that delivers the message, e.g., displaying a text on a LED display, lighting a lamp. The perlocutionary act is evaluated thanks to sensors dispatched in the AAL environment. The illocutionary act of the assistance act induces an *illocutionary force* that represents how encouraging, or how persuasive is the assistance content. It represents the grade

5.3. ONTOLOGICAL MODELLING OF COGNITIVE ASSISTANCE

of the assistance act. To characterize the illocutionary force of assistance messages, a combination of three elements is introduced: the *speech act*, the *speech act clarity* (is the speech act direct or indirect?) and the *clarity of the object of the message* (is the object of the message explicit or implicit?). This is exemplified in Table 5.1 where the notation *speechAct – speechActClarity – objectClarity* is used for the illocutionary act and the induced illocutionary force. The table presents examples of locutionary acts used to help persons with TBI to autonomously use a stove in accordance with some safety requirements: (1) to encourage the user to go and close the oven door that has been left open, and (2) to nudge a user suffering from mental fatigue to take a break while cooking. For each of the two situations, three columns present examples of locutionary acts (written texts) and their characteristics.

Table 5.1 – Characterization of assistance acts

Assistance Situation	(1) Oven door left open			(2) User suffers from fatigue		
Locutionary Act (Written Text)	What could you do now?	What could you do to ensure the safe use of the stove?	You should go and close the oven door	How are you doing?	What do you usually do when you are tired?	I think you should take a break
Illocutionary Act	directive-indirect-implicit	directive-indirect-explicit	directive-direct-explicit	directive-indirect-implicit	directive-indirect-explicit	directive-direct-explicit
Assistance Type	Stimulate thinking	Call to action	Give answer	Stimulate thinking	Call to action	Give answer
Assistance Level	Make the person Think	Give Solution Path	Give Solution	Make the person Think	Give Solution Path	Give Solution

This conceptual model of assistance message contents and intentions will enable the interactive agent to select graded assistance messages to deliver with respect to situations and specific needs of individuals.

5.3.2 Ontological formalization

For an interactive agent to access the knowledge model, an ontology is developed to formalize the knowledge on cognitive assistance and offer reasoning capabilities.

5.4. BEHAVIOUR TREES FOR THE COGNITIVE ASSISTANCE INTERACTION

The ontology for cognitive assistance is divided into three perspectives: A situation perspective to formalize warning signals (situation identification), an assistance act perspective to formalize the content of assistance acts, their meaning, and grading to enable the CAIA to determine the order in which assistance cues will be progressively provided throughout the task, and an evaluation perspective to formalize user reactions. Figure 5.2 shows an excerpt of the overall picture and Figure 5.3 the assistance act perspective of the ontology. Following the design principles of Noy and McGuiness ontology development methodology [189] that promote ontology reuse, the ontology is aligned on the top-level ontology DUL (Dolce Ultra-Lite) and SOSA (Sensor, Observation, Sample and Actuator) [183].

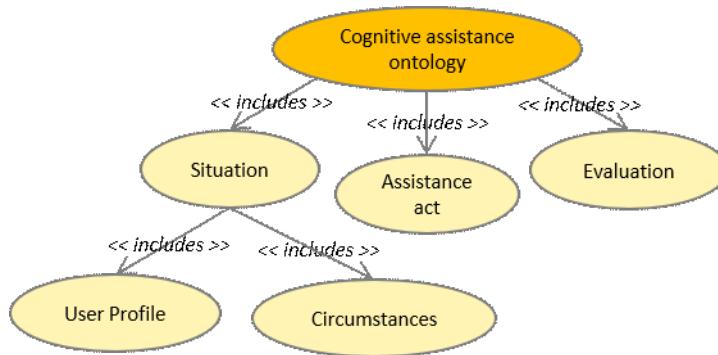


Figure 5.2 – Cognitive assistance ontology: Overall picture

5.4 Behaviour trees for the cognitive assistance interaction

5.4.1 Problem formulation: planning and acting under an indirect control

Generating the sequence of adapted prompts that could nudge the resident¹ of an AAL environment to perform tasks involves some deliberation functions described

1. In the rest of the paper, the resident is also referred to as the user.

5.4. BEHAVIOUR TREES FOR THE COGNITIVE ASSISTANCE INTERACTION

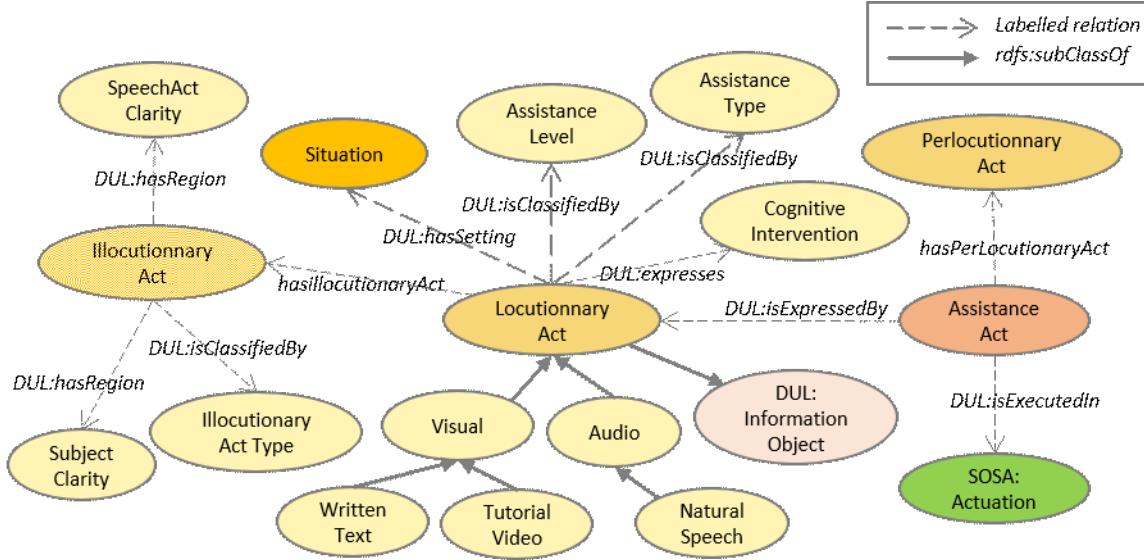


Figure 5.3 – Cognitive assistance ontology: Assistance act perspective

in [241]: sensing, planning, acting, and monitoring. Planning combines prediction and search to synthesize a trajectory of actions to achieve some purpose [241]. Unlike Robotics where actions are executed by a robot that achieves the goal, in cognitive assistance on the contrary, behaviours of persons cannot be constrained. The challenge is to determine the appropriate sequence of messages that has the potential to convince the resident to act as intended without the message being overly directive. So, the control on actions that will solve the problem is indirect. The main problem addressed in this paper regarding cognitive assistance planning is described as follows.

Problem: *Given a set of assistance acts, with their corresponding perlocutionary acts, an assistance goal, and a person with cognitive impairments, create a BT that strives to construct the sequence of assistance acts that nudges the person to act in order to satisfy the goal.*

The BT should be reactive to the assisted person's behaviour in the sense that if he/she acts as intended, progresses towards the goal or deviates from it, the appropriate action should be taken.

5.4. BEHAVIOUR TREES FOR THE COGNITIVE ASSISTANCE INTERACTION

5.4.2 Planning the delivery of assistance acts

Without any loss of generality, the following illustrates how the planning problem identified in the section above is solved on the cognitive assistance interaction with a user and the safety module of COOK (Cognitive Orthosis for CoOKing) [50, 81], a culinary assistant for people with severe TBI. COOK is installed on the stove in a smart home and is equipped with sensors (infrared, amperemeters, smart plug) to detect user proximity, pots on burners, burners and stove states, and a tablet to follow recipes and to display alerts. The safety module interacts with the user to help him cope with situations where there are safety issues. The three situations of assistance considered here are described as follows² :

- **Situation 1.** The user goes out of the house while the stove is on.
- **Situation 2.** The user has left the stove unattended for too long while the stove is on.
- **Situation 3.** An action is required on the stove to ensure its safe use (e.g., the oven door is open, a towel is on the stovetop while the stove is on, a burner is lit without a pot on it, etc.).

To plan the interaction with a person with TBI is a non-deterministic process. While the first cue delivered is based on the identification of a situation of interest (e.g., the user has forgotten to close the oven door), the next cues depend on how the user reacts after receiving the previous ones. By planning dynamically, the system adapts to unknown situations autonomously. The behaviour of the CAIA is summarized as follows:

- Monitors to check the need for assistance.
- Assists by determining and delivering the assistance act (content + actuator).
- Waits for the user response.
- Evaluates the user reaction and decides accordingly as follows:
 - Resumes the process by determining a new need of assistance if the user did not react as expected.
 - Stops the assistance if the user response is the one expected.
 - Intervenes itself directly if the limited number of assistance attempts is

2. In the rest of the paper, the three situations are referred to as situation 1, situation 2 and situation 3.

5.4. BEHAVIOUR TREES FOR THE COGNITIVE ASSISTANCE INTERACTION

reached or to prevent a security issue (e.g., turning the stove off). The following regular expression describes this behaviour:

$$Monitor(Assist\ Wait\ Evaluate) + (Stop|Intervene) \quad (5.1)$$

It is proposed to design the CAIA with an analogy to NPCs in games: as a friendly NPC that guides the player in a game, the CAIA will be the friendly agent that guides the user to carry out daily activities. It is important for an NPC to perform actions correctly, at the right times, and in a way that does not break the illusion of life [214]. Similarly, in a cognitive rehabilitation perspective, it is very important for the CAIA to provide the right assistance i.e., appropriate cues, at the right times i.e., when needed, and in a way that does not break the resident's natural interactions with everyday objects diffused unobtrusively in the environment. BTs offer an expressive tool to model the behavior and the control flow of such interactive autonomous agents.

Construction of the cooking safety cognitive assistance BT

The construction of the BT uses some classical BT nodes including “*Sequence*” (\rightarrow) which succeeds if all its children succeeds, and fails otherwise, and “*selector*” (?) that succeeds if one of its children succeeds and fails if they all fail. Another decorator node used is called “*Until Fail*” that runs its child as long as it does not fail and succeeds when the child task fails. A BT supports a tick-driven architecture that enables reactivity. When a node is “ticked”, it ticks its children from the left and so on until an execution node is reached (depth-first order). An execution node, either an action or a condition, immediately returns one of three possible statuses to its parent: “*Running*” if its execution is ongoing, “*Success*” if it has achieved its goal, or “*Failure*” otherwise. A shared memory called “*blackboard*” is used by all the nodes of the BT to share information.

The regular expression 5.1 exhibits the main execution nodes of the BT: *Monitor*, *Assist*, *Wait*, *Stop*, *Intervene*. The whole BT is divided into three parts. *Main BT* (Figure 5.4) continually checks if the stove is secure (*Monitor*), and controls the flow of the assistance, namely waiting for the user reaction after an assistance is given (*Wait*), continuing or stopping the assistance (*Stop*) and system hard intervention

5.4. BEHAVIOUR TREES FOR THE COGNITIVE ASSISTANCE INTERACTION

when needed (*Intervene*). The *Stop* action is not an action per se, it represents the absence of any action being executed in the BT. *Main BT* calls *Assist BT* (Figure 5.5), responsible for the remaining *Assist* action in the regular expression, a complex action that generates and delivers the appropriate assistance act. In *Main BT*, the

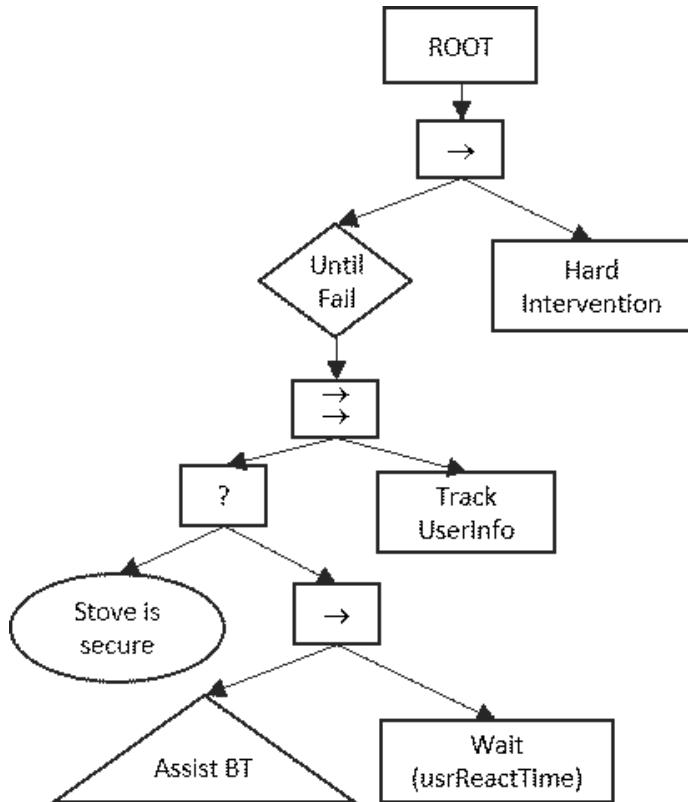


Figure 5.4 – Main BT

condition *Stove is secure* always succeeds when there is no breach of safety and fails if assistance is needed, in which case the sub-BT *Assist BT* is called to deliver the next assistance. The *Wait(time)* action just waits for the user reaction for a certain amount of time, returning a *Running* status while waiting and succeeding after the time has elapsed. While delivering the message or waiting, if the situation is solved, the ticks will reach the *Stove is secure* condition and succeed, making the assistance process stop and wait for the occurrence of another assistance need. The action *Track UserInfo* runs in parallel and updates some necessary information in the blackboard,

5.4. BEHAVIOUR TREES FOR THE COGNITIVE ASSISTANCE INTERACTION

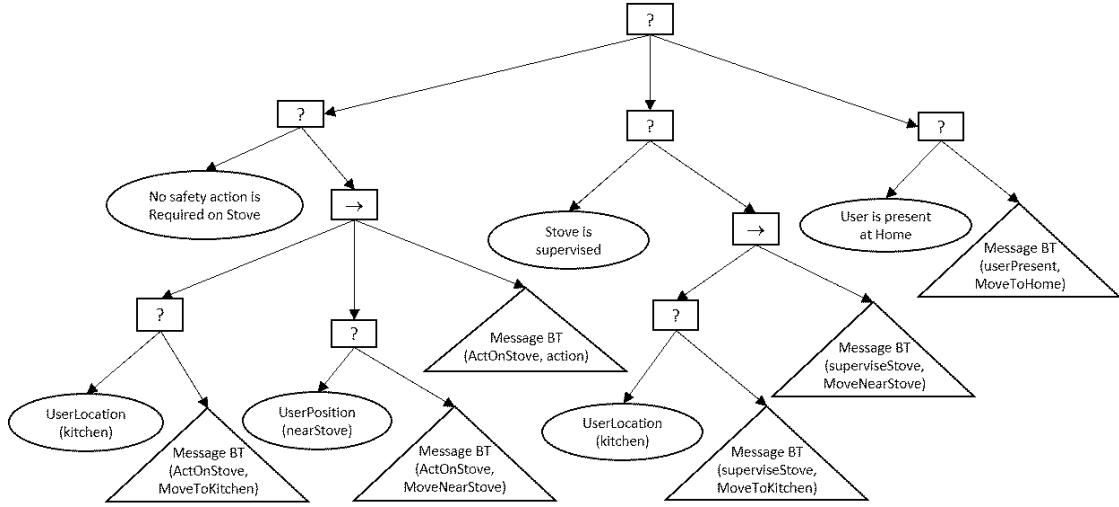


Figure 5.5 – Assist BT

like *user location* (a room), *position* (with respect to other objects, e.g., near the stove) and some equipment states (e.g., the stove is on). This information helps to choose the appropriate actuator closest to the user. The *parallel* node has a parallel policy “*Sequence*”, meaning that it succeeds only if all its children succeed and fails if one fails. The *Wait(time)* action also stops the assistance by returning a Failure status after a limited number of assistances have been tried without producing the expected result. This makes the *Parallel* node fail, the *Until Fail* succeed and brings the system to intervene with the *Hard Intervention* action.

The most important part in the Whole BT is *Assist BT*. It defines the switching structure between needs of assistance, assistance levels and assistance types. When providing verbal assistance, clinicians determine assistance types according to warning signals, namely factors leading to the need for assistance. Warning signals can include “Presence of safety and/or emotional issues”, “Lack of progress in the task”, “Requests for help”, “Off-task actions” [141]. For the cooking safety application and the three situations of assistance described above, assistance types are chosen here depending on the presence of safety issues, the inaction, or the progression of the user towards reaching the assistance goal related to each situation. For situation 1, the assistance goal is to keep the user in house when he/she is using the stove; for situation 2, to

5.4. BEHAVIOUR TREES FOR THE COGNITIVE ASSISTANCE INTERACTION

keep the stove supervised; for situation 3, to keep the stove free of any need for safety action.

Assistance goals are ordered in the BT from left to right in order of situation priorities (situation 3, situation 2, situation 1) since ticks explore the BT in a depth-first order.

Because of the indirect control described above, the CAIA should provide assistance while following up the progression of the user in the accomplishment of the task. An assistance goal is divided into assistance subgoals (if applicable), representing steps towards the main goal. The algorithm of reactive planning and acting using BT of Colledanchise *et al.* [216] is then used to generate *Assist BT*. This BT determines the steps the user should follow to reach the assistance goal. The only concrete action of this BT is a parameterized call to *Message BT* (Figure 5.6) that will generate the appropriate cue to nudge the user to follow the path towards the main goal. *Message BT* is responsible of choosing an assistance type and querying the ontology to get the appropriate message to be delivered. The *Assist* action is divided into four light actions, *Stimulate Thinking*, *Call to Action*, *Restart* and *Give Answer*, which correspond to the assistance types used in the cooking safety assistant as depicted in Figure 5.6. Each action is selected with respect to the assistance level and the progression of the user towards the goal. While assistance types are automatically determined by the CAIA, an important configuration in the user profile is the *assistance level flow* i.e., how the caregiver (agentified in the CAIA) flows in the assistance cycle of Figure 5.1. An occupational therapist will use a configuration system to set the assistance level flow according to the evaluation of the person with TBI, knowing that each person with TBI has unique needs. For example, there will be individuals who are not capable of “understanding” an assistance cue of level 1 assistance cue and the left-hand branch of *Message BT* will never trigger this level assistance cue.

Accessing the cognitive assistance ontology: Message retrieval

Delivering appropriate cues relies on how the ontology is queried. Figure 5.5 shows that Assist BT passes two parameters to Message BT, the main goal and the current subgoal to reach. This information flows to the four actions representing

5.5. IMPLEMENTATION AND PRELIMINARY VALIDATION

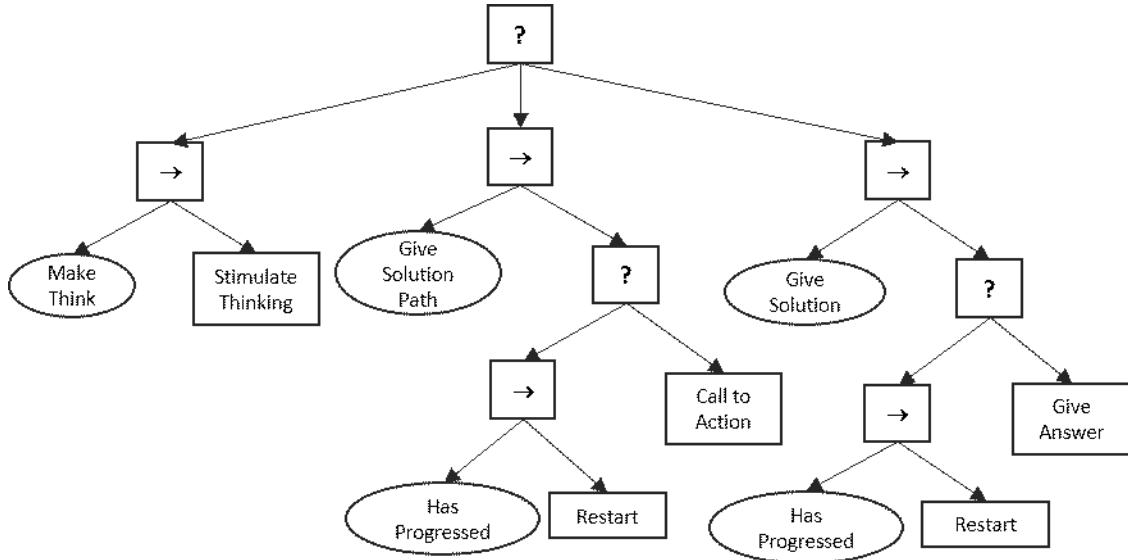


Figure 5.6 – Message BT

the assistance types to give more information to query the ontology, including the assistance level. Each action chooses the illocutionary force of the message to query from the ontology according to the current assistance level and assistance type, as illustrated in Table 5.2. Not all assistance types presented in section 5.2 can be provided at any assistance level (N.A. stands for “Not Available”).

5.5 Implementation and preliminary validation

5.5.1 Elliot: an interactive agent for cognitive assistance in AAL environments

To validate the feasibility of the proposed models (ontology and BTs), a CAIA called Elliot (the *angEl* that looks after the residents of an *iot* environment) is being implemented. It is an IoT system that provides interactive support for cognitive assistance. Figure 5.7 presents Elliot’s overall picture and how it integrates into a smart home architecture to deliver cues through various actuators, including the tablet connected to COOK (briefly described in section 5.4). The infrastructure is

5.5. IMPLEMENTATION AND PRELIMINARY VALIDATION

Table 5.2 – The illocutionary force of assistance acts with respect to assistance levels and assistance types

	Stimulate thinking	Challenge	Call to action	Restart	Give answer
Make the person Think	directive-indirect-implicit	directive-indirect-implicit	directive-direct-implicit	N.A.	N.A.
Give Solution Path	N.A.	directive-indirect-explicit	directive-indirect-explicit	directive-indirect-explicit	directive-indirect-explicit
Give Solution	N.A.	N.A.	N.A.	directive-indirect-explicit	directive-direct-explicit

the smart home of a Laboratory, where there is a stove equipped with COOK, and that constitutes a realistic environment to simulate Elliot. Sensor data including the stove state are published in real time to a Kafka³ based *data pipeline*. Elliot has a *Real time event processor* that continually consumes data from the pipeline with its Kafka client, and updates the BTs blackboard with relevant information like safety threats (detection of situation 1, situation 2 or situation 3). Situation recognition is implemented in COOK using *OpenHAB* rules. Elliot BTs continually run and monitor blackboard information to trigger the assistance when needed i.e., to query the ontology to select the appropriate assistance act (message and actuator) to deliver. The *Command generator* is a Kafka producer responsible of sending the assistance act (i.e., the message and the actuator) that will be executed by the automation platform (OpenHAB) after a translation in an OpenHAB command by the *Command Translator*. Java Behaviour Trees⁴ (JBT) is the API used to implements the BTs, the ontology is implemented on Protégé Editor (in OWL-DL) and is accessed through an API build with Apache Jena⁵ and JOPA (Java OWL Persistence API) [233].

3. <https://kafka.apache.org/intro> [Last visited: September 2021]

4. <https://sourceforge.net/projects/jbt/> [Last visited: September 2021]

5. <https://jena.apache.org> [Last visited: September 2021]

5.5. IMPLEMENTATION AND PRELIMINARY VALIDATION

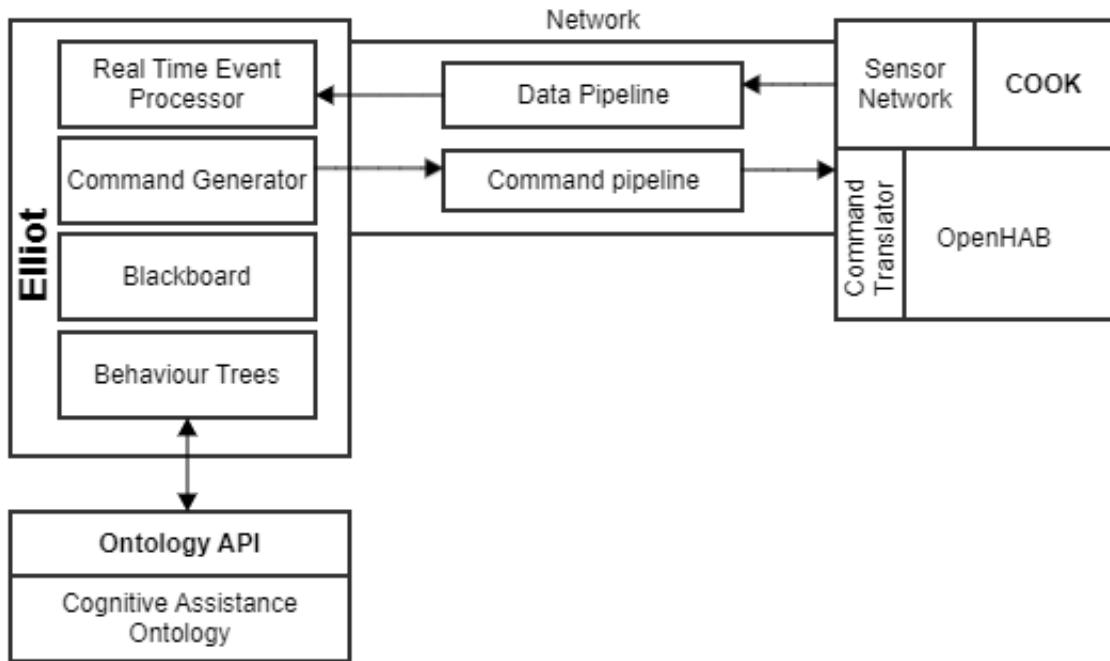


Figure 5.7 – Elliot architecture and integration

5.5.2 Simulation and results

Simulations were run on Elliot to check the ability of the BT to manage an interaction with a potential user and the ability of the ontology to provide a sequence of gradable assistance acts. To do so, an improper use of the stove is intentionally made to simulate the three safety security threats described in section 5.4. To trigger situation 1, it's enough to turn a burner on with a pot on top and leave the apartment. For situation 2, it is enough to put a burner on with a pot on top and leave the kitchen for 10 min, or to stay more than 90 cm away from the stove for the same duration. Situation 3 contains many types of safety threats for which two were simulated: the oven door is left open for 5 minutes, and a burner is lit and left uncovered (no pot) for 30 seconds. All the aforementioned values are parameterizable in COOK which also has OpenHAB rules to identify the chosen situations. Elliot's real time event processor continually receives the status of the rules (UNBROKEN, BROKEN) and

5.6. CONCLUSION

triggers the interaction with the user accordingly.

Different assistance level flows are simulated, including $(MT \rightarrow GSP \rightarrow GS)$, $(MT \rightarrow GSP \rightarrow GSP \rightarrow GS)$, $(GSP \rightarrow GSP \rightarrow GS)$, $(GSP \rightarrow GSP \rightarrow GS \rightarrow GS)$. This information is retrieved from the ontology through a SPARQL rule to initialize the BT Blackboard. The maximum number of cues to deliver (before the hard intervention is executed) depends on this flow, respectively 3, 4, 3, 4 for the previous examples.

The BT analyzes the current context and generates five parameters (*user location*, *user position*, *assistance level*, *assistance type*, *illocutionary force*) that are used by action nodes to retrieve assistance acts from the ontology with a SPARQL query. Table 5.3 shows some sequences of assistance messages (assistance plans) dynamically generated by the CAIA with respect to our scripted reactions after leaving the oven door open.

5.6 Conclusion

This work presents some of the first steps in the modelling of the assistance interaction between a smart home and a person with cognitive impairments by using ontologies and BTs. A CAIA built on this model is presented as a planner whose goal is to dynamically plan the sequence of assistance cues in a cognitive rehabilitation compliant way, by providing various levels of information. The ontology, which increases the configurability of the system by occupational therapists, also helps the BT make informed contextual decisions for assistance delivery. Speech acts are leveraged to define the illocutionary force of assistance cue contents and to be able to deliver them gradually according to the adjusted assistance levels and assistance types. The illustration is based on the assistance to users with TBI to adopt safe cooking behaviours, and cues are verbal. However, the ontological model also enables the characterization and grading of videos and audios the same way, and to enable them to be played by the BT on various devices. The system doesn't limit to cooking assistance nor in-home activities. It can be extended to any activities in any AAL environment where there is a need of delivering assistance cues to a person with cognitive deficits, especially those due to TBI. For example, the ontology enables to model wearable sensors and actuators, and the BTs to dynamically use their data to

5.6. CONCLUSION

Table 5.3 – Examples of assistance plans dynamically generated by the BT while querying the ontology

		Generated query parameters	Assistance acts retrieved (Message content / Actuator)	User reaction
Plan 1	msg1	(living room, sitting on couch, make think, stimulate thinking, directive-indirect-implicit)	<i>What could you do now? / LED Display above the television set</i>	None
	msg2	(living room, sitting on couch, give solution path, call to action, directive-indirect-explicit)	<i>What could you do to ensure the safe use of the stove? LED Display above the television set</i>	None
	msg3	(living room, sitting on couch, give solution, give answer, directive-direct-explicit)	<i>You should go and close the oven door / LED Display above the television set</i>	None
Intervention		(living room, sitting on couch, none, none, declaration-direct-explicit)	<i>For your safety, the stove has been automatically turned off / LED Display above the television set</i>	
Plan 2	msg1	(kitchen, near the water tap, make think, stimulate thinking, directive-indirect-implicit)	<i>Don't you have something to check? / COOK tablet</i>	Moves near the stove
	msg2	(kitchen, near the stove, give solution path, restart, directive-indirect-explicit)	<i>Now that you are near the stove, have you checked the oven? / COOK tablet</i>	Closes the oven door
Plan 3	msg1	(living room, sitting on couch, make think, stimulate thinking, directive-indirect-implicit)	<i>Are you forgetting anything? / LED Display above the television set</i>	None
	msg2	(living room, sitting on couch, give solution path, call to action, directive-indirect-explicit)	<i>What could you do to ensure the safe use of the stove? / LED Display above the television set</i>	Moves to the kitchen (but stay far from the stove)
	msg3	(kitchen, near the microwave oven, give solution, restart, directive-indirect-explicit)	<i>Now that you are in the kitchen, have you checked the oven? / COOK tablet</i>	Moves near the stove
	msg4	(kitchen, near the stove, give solution, restart, directive-direct-explicit)	<i>Now that you are near the stove, you should close the oven door / COOK tablet</i>	Closes the oven door

5.6. CONCLUSION

deliver assistance cues relevant to activities outside the home. In these cases, only the structure of *Assist BT* needs to be changed while its only action still being calls to *Message BT* which remains unchanged, *Main BT* as well.

Even though the preliminary results show the feasibility of the model, there is still a considerable amount of work to be done to deploy it into a really effective and useful system. To generate appropriate cues, the system strongly relies on the ability to successfully detect the needs for assistance and user behaviours. It is then potentially vulnerable to wrong inputs. For the chosen use case, localizing the user in rooms and his/her actions on the stove are inferred from simple sensor data. It is anticipated that it will be more difficult for other situations, like detecting a towel on the stovetop or following the progression of the user for the cooking assistant module, as it will be necessary to detect the use of many types of cooking tools and the way the resident uses them. For such applications, advanced video detection and processing, multiple sensor fusion and feature extraction will be needed to derive a more accurate picture of what is happening. In addition, the simulation doesn't validate the understanding, the interpretation, and the acceptation of cues by people with TBI nor the workload on them. This requires real-life experiments. However, the work built on verbal assistance that has demonstrated significant benefits and acceptation by both clinicians and people with cognitive deficits.

In the near future, the work of the interdisciplinary team will consist in continuing to populate the ontology with more knowledge on the cooking safety use case and to carry out experiments with real people with cognitive impairments due to TBI.

Chapitre 6

Implantation et validation

6.1. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ASSISTANCE : ELLIOT

Les chapitres précédents nous ont permis de mettre sur pied un modèle ontologique qui formalise les connaissances (Chapitre 4) et un modèle d'interaction système-résident (Chapitre 5) qui se nourrit de ces connaissances pour fournir l'assistance cognitive à la réalisation des AIVQ dans une maison connectée. Le dernier chapitre de notre thèse a pour objectif de valider ces modèles par une évaluation de leur capacité à permettre à un système d'automatiser une assistance sensible au contexte, adaptative et personnalisée pour des personnes ayant des déficits cognitifs dus au TCC. Les critères universels pour l'évaluation des systèmes d'intelligence ambiante sont difficiles à définir puisqu'il s'agit d'un domaine hautement multidisciplinaire ; on évalue généralement des aspects particuliers de chaque système, plutôt que d'évaluer le système dans son ensemble [100]. Notre recherche a allié technologie (intelligence artificielle) et santé (ergothérapie et réadaptation) pour modéliser un système qui fournit l'assistance cognitive dans une maison connectée en s'appuyant sur certaines des pratiques utilisées en réadaptation. La validation doit se faire au moins à deux niveaux : une évaluation du point de vue du développement de la technologie et une autre du point de vue de son utilisation en contexte clinique par les ergothérapeutes avec des personnes ayant un TCC. Avant l'évaluation des aspects cliniques d'un système s'appuyant sur les modèles développés, il est souhaitable que les aspects techniques du point de vue de l'intelligence artificielle soient évalués en laboratoire, pour s'assurer de l'utilisabilité, l'applicabilité et la robustesse des modèles entre autres. Ceci permettra de passer à l'évaluation clinique avec une technologie de qualité, limitant ainsi les coûts d'implantation dans un milieu clinique.

Pour ce faire, nous allons développer et tester un prototype d'agent d'assistance cognitive basé sur les modèles développés. Le chapitre commence par une description du système cible, puis présente les outils de simulation. Le cadre de la simulation est ensuite décrit, la simulation effectuée et les résultats présentés.

6.1 Description du système d'assistance : Elliot

Nous allons implanter les modèles proposés dans cette thèse dans un agent autonome d'assistance dénommé Elliot (*the angel that looks after the residents of iot environments*). Nous ferons ensuite des simulations du fonctionnement d'Elliot dans

6.1. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ASSISTANCE : ELLIOT

un environnement d'intelligence ambiante. Ceci va permettre de vérifier qu'il est capable de planifier de manière adaptative la séquence de message d'assistance (gradiés) à délivrer en fonction du comportement du résident de la façon suivante : (i) recueillir les données du contexte pour identifier les besoins d'assistance, (ii) décider des messages à envoyer, (iii) utiliser les effecteurs de l'environnement pour délivrer les messages au bon endroit, (iv) évaluer les réactions du résident et adapter l'assistance en conséquence, soit en s'arrêtant si le problème a été résolu, soit en recommençant le cycle par l'envoi d'un nouveau message plus adapté, soit en intervenant directement par exemple pour prévenir une situation de danger. Ce processus a été précédemment décrit par l'expression régulière 2.1 rappelée ci-dessous par souci de convenance :

$$IdentifierBesoin(Assister\;Attendre\;Evaluer) + (Arreter|Intervenir)$$

Le schéma de la Figure 6.1 illustre ce fonctionnement en mettant en évidence le résident, les composantes du système et leurs rôles.

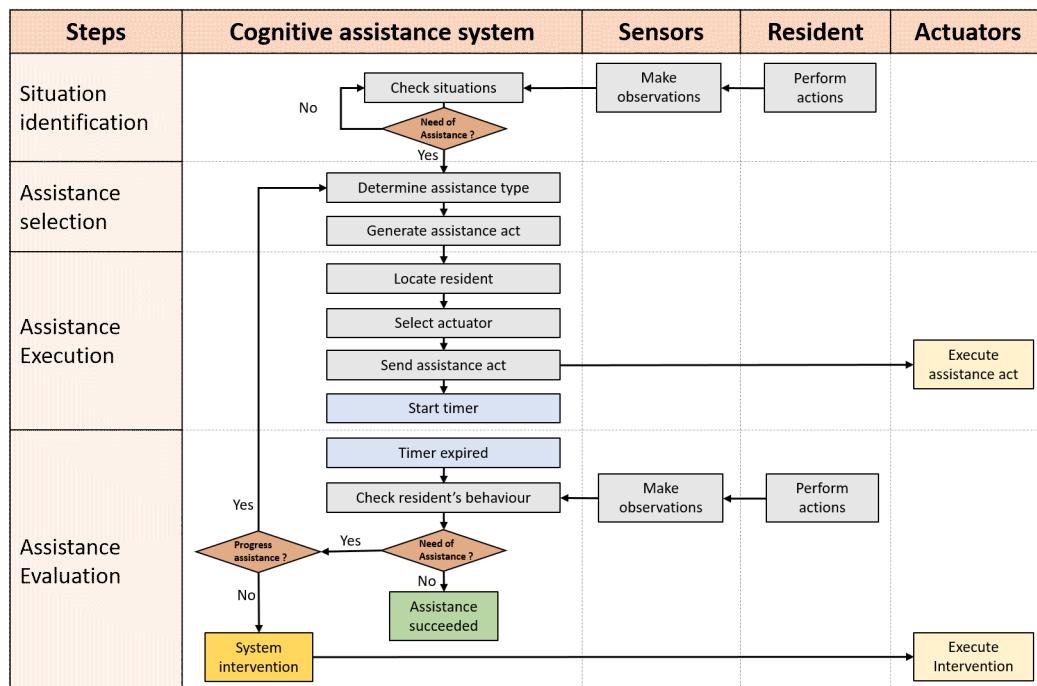


FIGURE 6.1 – Fonctionnement global du système Elliot

6.1. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ASSISTANCE : ELLIOT

Pour simuler un tel système, il est difficile de reproduire toutes les AIVQ, toutes les situations d'assistance et tous les comportements de résidents qui pourraient arriver en contexte réel. C'est pourquoi il faut restreindre notre cadre tout en nous assurant que sa portée reste assez large pour reproduire des situations pertinentes de la réalité.

6.1.1 Choix de l'activité de la vie quotidienne

Comme déjà mentionné en introduction de cette thèse, nous nous intéressons aux activités instrumentales de la vie quotidienne, parmi lesquelles figurent en bonne place la préparation de repas et la gestion de budget [19, 242]. Elles représentent un niveau d'exigences cognitives suffisant pour mettre au défi les personnes souffrant de déficits cognitifs à la suite d'un TCC. Elles font appel à de multiples aptitudes cognitives (attention, mémoire, planification, mémoire, autosurveillance, autorégulation, sensation, jugement) et ont une validité apparente suffisante pour refléter une tâche d'importance fonctionnelle et pertinente pour les personnes ayant subi un TCC [243]. La préparation de repas en particulier peut être décomposée en plusieurs sous-tâches (ce qui implique la gestion de plusieurs sous-objectifs) et solliciter les facultés mentales et les fonctions exécutives de la personne. De plus, une maison connectée est un environnement propice à l'assistance à la préparation de repas en ce sens qu'elle peut tirer parti de l'utilisation des électroménagers (cuisinières, mixeurs, etc.), des ustensiles et du mobilier (tiroirs, tables, etc.) par l'utilisateur pour suivre les étapes de la préparation et intervenir au besoin. Notre équipe interdisciplinaire développe la technologie COOK que les présents travaux comptent améliorer et favoriser l'intégration à domicile à long terme. Nous allons ainsi nous intéresser à la tâche de préparation de repas.

6.1.2 Choix des situations d'assistance

Lorsqu'il s'agit de cuisiner, on doit particulièrement porter attention au risque de sécurité que représente l'utilisation de la cuisinière. En effet, aux États-Unis par exemple, les feux de cuisson sont la principale cause des incendies des structures résidentielles et des blessures liées aux incendies . Les déficits cognitifs que présentent les personnes ayant subi un TCC augmentent les risques liés à la préparation de

6.1. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ASSISTANCE : ELLIOT

repas, notamment à l'utilisation de la cuisinière. C'est pourquoi notre simulation va concerner le module de sécurité de COOK que nous allons améliorer en implantant nos modèles. Le but est de permettre à COOK d'engager l'interaction avec le résident lorsqu'il y a un risque/bris de sécurité, pour l'amener à agir et régler le problème par lui-même au mieux de ses capacités.

Nous allons planter nos modèles dans COOK, puis simuler et assister les trois aspects de sécurité pris en charge pour le moment :

- **La supervision de la cuisinière par le résident pendant son utilisation.** Le résident doit superviser sa cuisson au niveau des ronds ou du four, c'est-à-dire se placer devant la cuisinière à intervalle de temps régulier (temps paramétrable). Cet aspect sera dénommé « **Situation 1** » dans la suite.
- **L'intervention manuelle au niveau de la cuisinière pendant son utilisation.** Des actions du résident sont parfois requises au niveau de la cuisinière. Actuellement les actions requises sont : déposer une casserole sur un rond lorsque ce dernier est allumé (pas de rond allumé vide), fermer la porte du four quelque temps après l'avoir ouvert (la porte du four ne doit pas rester longtemps ouverte), désactiver la cuisinière lorsqu'elle n'est pas utilisée depuis trop longtemps (temps paramétrable). Dans les prochaines versions de COOK, il est également envisagé entre autres de solliciter l'intervention du résident pour enlever des objets inflammables (gants, serviettes, etc.) qui seraient laissés au-dessus de la cuisinière et augmenteraient le risque d'incendie. Parmi ces interventions, **la fermeture de la porte du four** est choisie pour la simulation. C'est une situation assez représentative des autres. Elle sera dénommée « **Situation 2** » dans la suite.
- **La présence du résident dans son domicile pendant l'utilisation de la cuisinière.** La sortie du résident doit être restreinte en ce sens qu'il ne doit pas sortir de son domicile si le four ou des ronds sont en cours d'utilisation. Cet aspect sera dénommé « **Situation 3** » dans la suite.

6.1. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ASSISTANCE : ELLIOT

6.1.3 Plateforme de simulation

Les simulations qui ont été menées sont préliminaires à celles qui se dérouleront en grandeur nature dans l'appartement connecté au Laboratoire DOMUS de l'Université de Sherbrooke¹. Un simulateur des données de cet appartement a été développé à cet effet. L'appartement du DOMUS est situé sur le campus de l'Université de Sherbrooke et il permet d'effectuer des études à court terme dans un environnement simulé riche en technologie. Le laboratoire DOMUS possède un appartement de 4½ pièces totalement fonctionnel et équipé de réseaux hétérogènes (Ethernet, Wifi, Bluetooth, Zwave, Zigbee, lignes électriques, infrarouges, etc.), capteurs et effecteurs (Ubisense, détecteurs de mouvements, contacts électromagnétiques, tapis tactiles, débitmètres, microphones, haut-parleurs, lecteurs et Étiquettes RFID, ampoules, chemin lumineux, etc.), appareils de cuisine (cuisinière, four à micro-ondes, lave-vaisselle, etc.), mobilier d'appartement (table, chaises, armoires, lit, etc.) et objets de communication (écrans tactiles, PDA, téléphones cellulaires, panneaux d'affichage LED, etc.). L'infrastructure de l'appartement connecté du DOMUS repose sur la plateforme d'automatisation OpenHAB chargée d'intégrer et de faire communiquer les différentes entités physiques et logicielles.

La technologie COOK est déployée sur la cuisinière installée dans la cuisine de l'appartement. Cette cuisinière est dotée entre autres de :

- *Capteurs de proximité infrarouges* (avant, gauche et droite). Ils permettent de détecter quand le résident de l'appartement se trouve à proximité de la cuisinière.
- *Ampèremètres sur chacun des ronds*. Ils mesurent l'intensité du courant qui passe pour savoir l'état des ronds (éteint, intensité basse, moyenne ou haute).
- *Capteurs infrarouges* installés sur la hotte au-dessus de la cuisinière pour savoir si des ustensiles (casserole, poêle, etc.) sont posés sur les ronds.
- Prise de courant intelligente pour allumer et éteindre automatiquement la cuisinière.
- *Tablette tactile*. Elle permet d'interagir avec COOK (activer la cuisinière, planifier des recettes, sélectionner les recettes, démarrer la préparation de repas,

1. <https://www.usherbrooke.ca/domus/> [Consulté en juillet 2021]

6.1. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ASSISTANCE : ELLIOT

etc.) et recevoir les alertes de sécurité.

COOK utilise ces dispositifs, l'information collectée et des règles de sécurité pour détecter les trois catégories de situations de sécurité édictées dans la section précédente (supervision, intervention, présence) et diffuser des alertes de sécurité sur la tablette tactile.

Elliot l'agent d'assistance cognitive et le simulateur de l'appartement du laboratoire DOMUS constituent un environnement complet pour simuler des situations de bris de sécurité lors de la préparation de repas, et pour fournir l'assistance cognitive pour les résoudre. Ils sont amplement décrits d'un point de vue technique dans les sections suivantes.

6.1.4 Architecture et outils de développement

La technologie Elliot vise à améliorer la fourniture de l'assistance cognitive dans une maison connectée. Elle va permettre d'améliorer COOK en s'appuyant non seulement sur les capteurs et effecteurs installés au niveau de la cuisinière, mais aussi sur d'autres équipements et services de l'appartement pour avoir toutes les données nécessaires à la fourniture d'une assistance plus appropriée. Par exemple, Elliot compte tirer parti des autres services (reconnaissance d'activités, localisation du résident), et de l'ontologie qui connaît la structure et les équipements dans l'environnement, pour envoyer le bon message au bon endroit.

Afin de cerner la conception d'Elliot, son interaction avec l'ontologie de l'assistance cognitive, COOK et la plateforme d'automatisation OpenHAB, nous présentons une vue de haut niveau de l'architecture globale du système dans la Figure 6.2 dont les différentes composantes sont décrites dans les sections suivantes.

6.1.4.1 Technologie Elliot

Elliot reçoit les données du contexte (y compris celles de COOK) en temps réel via le *pipeline de données* de la maison connectée du laboratoire DOMUS, sélectionne celles qui l'intéresse, les analyse, interroge l'ontologie pour trouver le message et l'effecteur appropriés, puis génère une commande qu'il envoie à OpenHAB qui l'exécute pour délivrer le message dans l'environnement. Pour ce faire, Elliot comporte les

6.1. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ASSISTANCE : ELLIOT

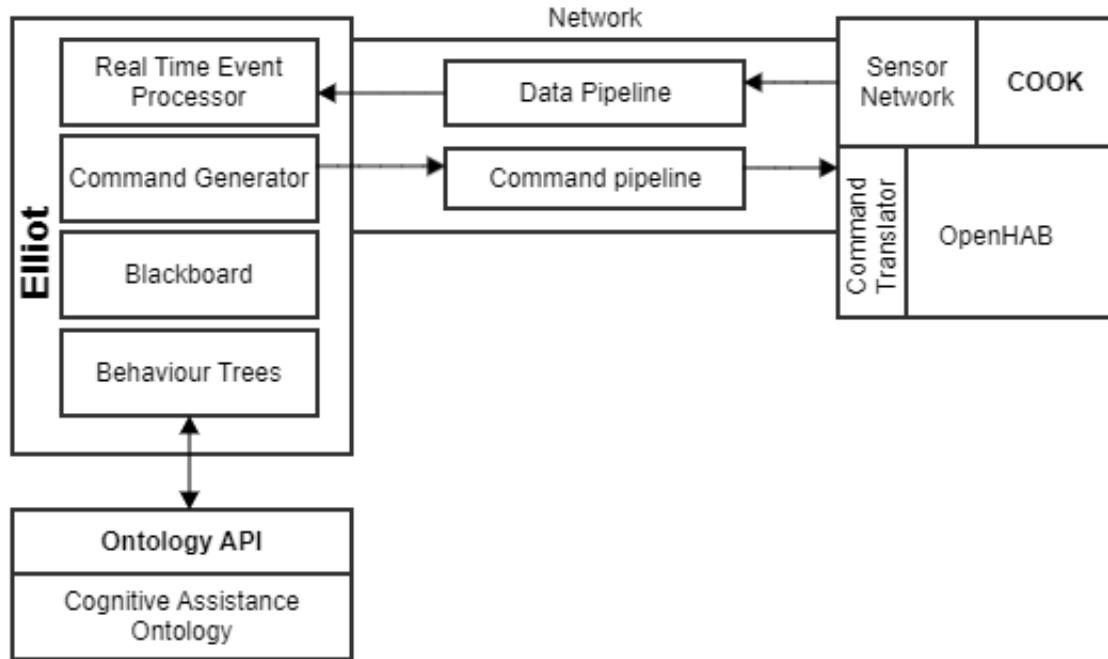


FIGURE 6.2 – Architecture logique Elliot

éléments décrits ci-après.

Processeur de données temps réel

Il est chargé de recevoir les données, les interpréter et stocker les informations pertinentes dans une mémoire partagée appelée *blackboard* rattachée aux AC. Par exemple, il reçoit continuellement l'état de la cuisinière (valeurs de ses différents capteurs) et l'état des règles de sécurité. Il est donc capable de savoir en temps réel si les règles sont respectées, en alerte ou violées. En cas de bris de sécurité, il renseigne cette information dans le *blackboard*. La présence du résident dans une pièce particulière est une information reçue de la même façon et le *blackboard* mis à jour chaque fois qu'elle change. Les données sont reçues dans des files d'attente (*Java Blocking Queue*) et sont traitées au fur et à mesure de leur arrivée, aucun message ne se perd. L'algorithme 6.1 illustre une partie du traitement des données de la cuisinière par le processeur temps réel d'Elliot.

6.1. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ASSISTANCE : ELLIOT

Algorithme 6.1 – Extrait de l'algorithme de traitement des données de la cuisinière

```
function stoveDataProcessing()
var messageEvent
var messageObject
while true
    messageEvent := messageQueue.take()
    messageObject := convertToMessageObject(messageEvent)
    if messageObject instance of SafetyRule
        var rule = (Rule)messageObject.get()
        var status = rule.getStatus()
        var priority = rule.getPriority()
        var currentPriority = blackboard.getCurrentRule().getPriority()
        if status = GUILTY and priority > currentPriority
            blackboard.setCurrentRule(rule)
    else if messageObject instance of SensorData
        var sensorData = (SensorData)messageObject.get()
        var sensor := sensorData.getSensor()
        var value := sensorData.getState()
        switch(sensor)
            case SENSOR_STOVE_POWER_SWITCH: handleStovePowerSwitch(value)
            case SENSOR_STOVE SONAR_FRONT: handleStoveSonarFront(value)
            ...
...
```

Blackboard

Le blackboard est une mémoire partagée où sont stockées les informations contextuelles pertinentes pour l'assistance. C'est une structure inhérente aux AC (voir section 3.3.5) leur permettant de prendre des décisions informées et de partager de l'information avec d'autres composantes applicatives. Le blackboard permet par exemple de déclencher la procédure d'assistance aussitôt que le processeur de données temps réel reçoit le signal d'une règle de sécurité violée et le stocke tel que présenté dans l'algorithme du Listing 6.1, ceci grâce à la réactivité offerte par les AC. Le blackboard améliore aussi les performances en ce sens qu'il sert de mémoire cache pour des informations calculées. Nous l'utilisons par exemple pour stocker des données du profil du résident (le flux dans les niveaux d'assistance par exemple), ce qui évite de réinterroger

6.1. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ASSISTANCE : ELLIOT

l'ontologie chaque fois que nécessaire. Ceci accélère la vitesse de traitement.

Arbres de comportement

Parce qu'ils prennent les décisions d'assistance et gèrent l'interaction avec le résident, les AC constituent le cœur d'Elliot. Les AC du modèle d'assistance cognitive implantés dans Elliot ont été présentés dans le chapitre précédent. Certains noeuds d'exécution de ces AC font des requêtes sur l'ontologie via son API (décrise dans la section suivante) pour sélectionner les messages appropriés à diffuser. Ils sont développés avec Java Behaviour Trees (JBT)², un framework Java pour construire et exécuter des AC. JBT a été utilisé pour le développement de plusieurs jeux vidéo célèbres parmi lesquels *Project Zomboid* [215]. JBT se compose de deux parties principales. D'une part *JBT Core*, qui implémente toutes les classes nécessaires pour créer et exécuter des AC. JBT Core permet à l'utilisateur de créer des AC en Java pur, puis de les exécuter. Cependant, pour faciliter le développement des AC, JBT Core inclut plusieurs outils qui automatisent le processus de création. En particulier, il peut générer le code source Java d'un AC à partir de sa description dans un fichier XML. De cette façon, le développeur n'a plus qu'à définir ses AC en XML et implémenter les actions et conditions de bas niveau que ses AC utiliseront. D'autre part, *JBT Editor* est une application qui offre une interface pour créer graphiquement des AC, puis les exporter au format XML que JBT Core peut ensuite utiliser pour générer la base de code java. La Figure 6.3 montre la construction de nos AC avec JBT Editor.

Générateur de commandes

Le générateur de commandes permet d'exécuter l'assistance. Une fois que le message et l'effecteur à utiliser sont connus, il faut délivrer le message dans l'environnement physique. C'est la plateforme d'automatisation OpenHAB qui est chargée d'actionner les effecteurs. Le générateur de commande est chargé de fabriquer la commande MQTT et de l'envoyer à OpenHAB via le réseau pour exécution (affichage d'un texte sur un panneau LED au salon, tutoriel vidéo sur la tablette de COOK, etc.). L'architecture de la maison connectée du DOMUS contient un composant « *Command Translator* » chargé de recevoir des commandes MQTT et de les faire exécuter sur

2. <https://sourceforge.net/projects/jbt/> [Consulté en juillet 2021]

6.1. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ASSISTANCE : ELLIOT

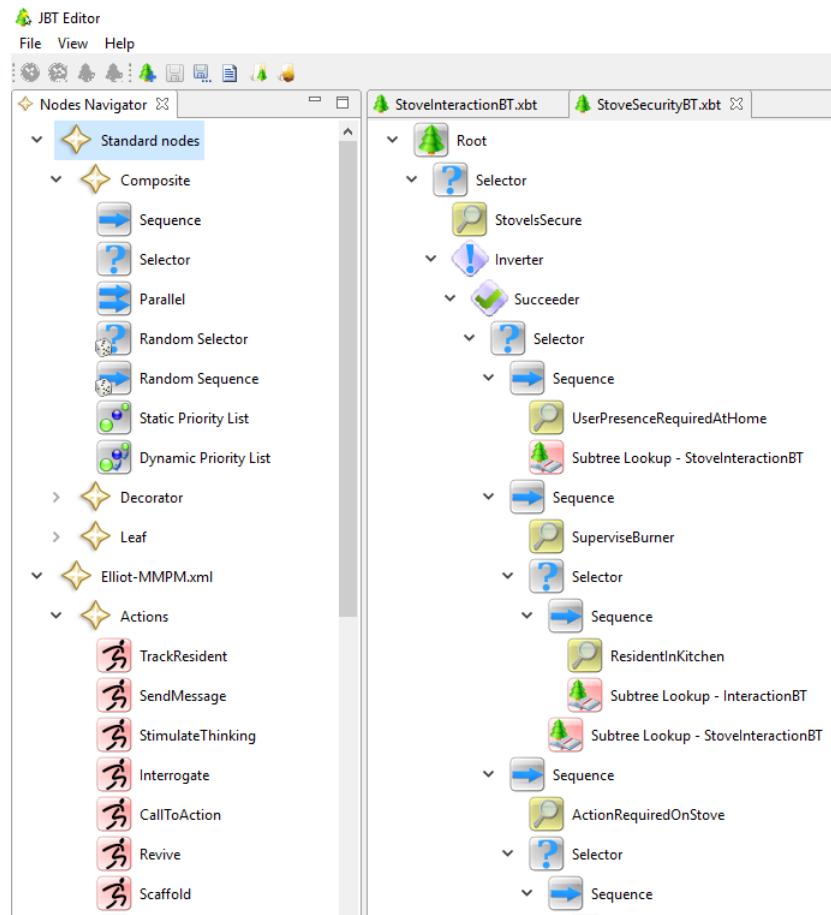


FIGURE 6.3 – Construction d'un AC sous JBT Editor

OpenHAB.

6.1.4.2 API de l'ontologie

À côté des AC, l'ontologie est l'autre pilier de l'assistance cognitive. Elle est développée sous l'éditeur d'ontologies *Protégé Editor* et mise à disposition via une API chargée d'y enregistrer les données et faire des requêtes pour d'autres applications dont Elliot.

6.1. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ASSISTANCE : ELLIOT

Protégé Editor

L'ontologie est développé sous Protégé Editor (voir Figure 6.4 et Figure 6.5) et enregistrée dans un fichier dont l'extension est *.owl*. Les traitements lui sont appliqués grâce au Framework Jena³.

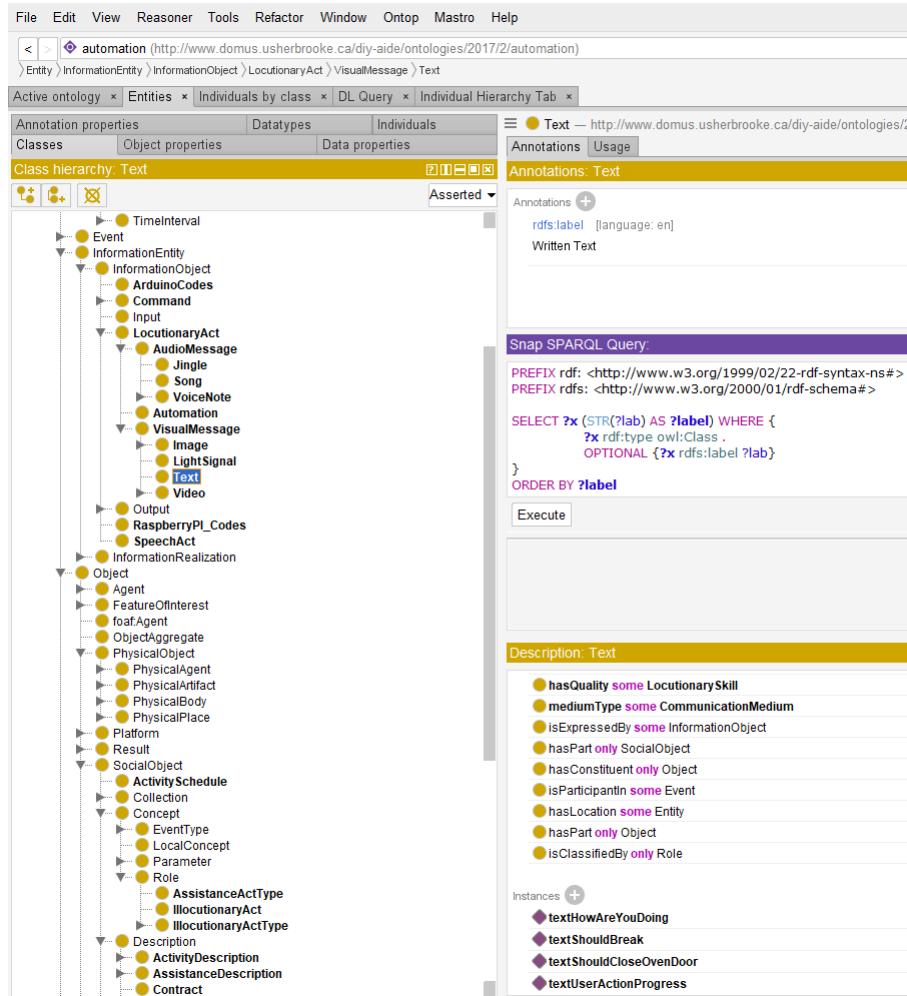


FIGURE 6.4 – Construction de l'ontologie de l'assistance cognitive sous Protégé Editor

Apache Jena

La fondation Apache présente Jena comme un Framework Java gratuit et open

3. <https://jena.apache.org/> [Consulté en juillet 2021]

6.1. DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ASSISTANCE : ELLIOT

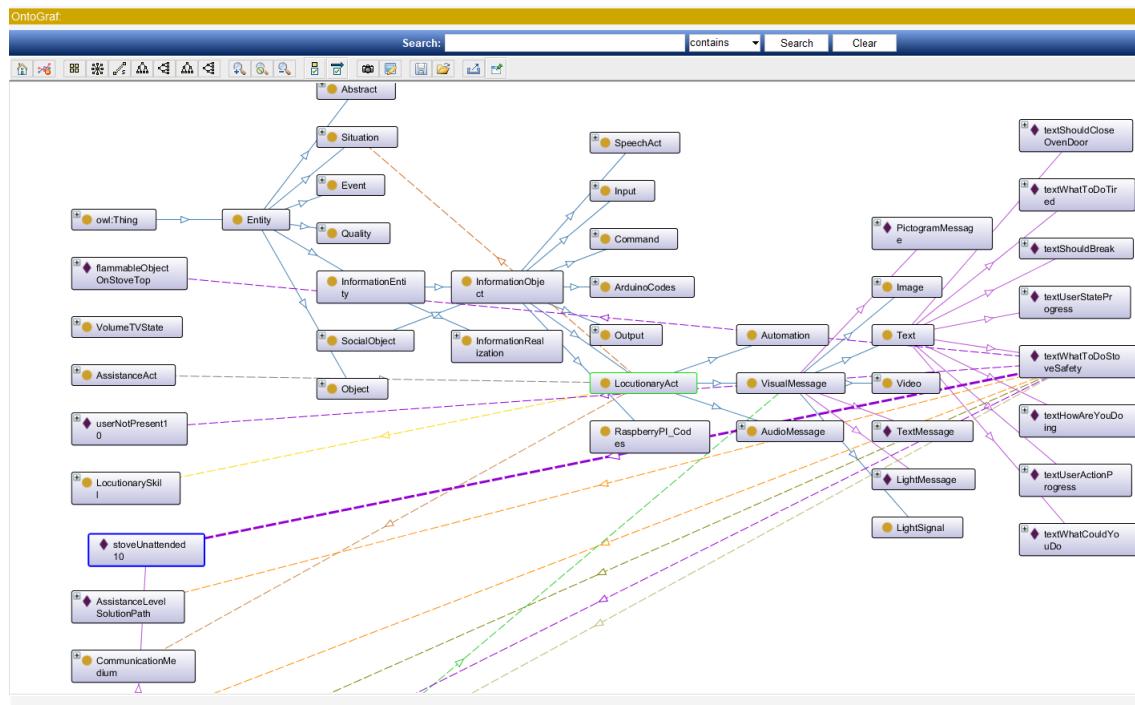


FIGURE 6.5 – Visualisation d'un extrait de l'ontologie avec le plugin Protege Ontograph

source pour la création d'applications web sémantique et données liées. Il est composé de différentes API interagissant pour manipuler des données RDF⁴ (Resource Description Framework) et OWL. Contrairement aux alternatives comme OWL API⁵ et RDF4J⁶, qui ne supportent pas nativement le langage de requête SPARQL pour le premier et le langage OWL pour le deuxième, Jena est un Framework complet. De plus, il comprend plusieurs moteurs d'inférence (y compris à base de règles) pour effectuer des raisonnements sur les ontologies OWL et RDF, et une variété de stratégies de stockage pour stocker les triples RDF en mémoire ou sur disque. Des moteurs d'inférence externes peuvent aussi lui être greffés. Par ailleurs, certains outils peuvent se placer au-dessus de Jena pour structurer et organiser le code d'accès à l'ontologie, c'est le cas de Java OWL Persistence API décrit ci-dessous.

4. <https://www.w3.org/RDF/> [Consulté en juillet 2021]

5. <http://owlapi.sourceforge.net/> [Consulté en juillet 2021]

6. <https://rdf4j.org/> [Consulté en juillet 2021]

6.2. OUTIL DE LA SIMULATION

Java OWL Persistence API

Java OWL Persistence API (JOPA) est une couche de persistance qui s'appuie sur le paradigme orienté objet pour accéder aux ontologies OWL [233]. Elle prend en charge la validation des assertions ontologiques selon une approche objet, la mise en cache, les transactions et l'optimisation de l'accès au stockage grâce à son composant *OntoDriver* qui lui permet d'utiliser des API bas niveaux comme Jena ou OWL API. Elle offre une implémentation prête à l'usage des opérations de base comme l'édition et l'interrogation des classes de l'ontologie. En ce sens, JOPA est aux ontologies OWL ce qu'est JPA (Java Persistence API) aux bases de données. Un avantage de JOPA est d'offrir un accès transparent et uniforme à l'ontologie. On pourrait donc changer l'API d'accès à l'ontologie (Jena dans notre cas) et la remplacer par une autre comme OWLAPI, et ne changer que quelques lignes dans la configuration de l'accès au stockage de l'ontologie. De même, si on veut passer d'un simple fichier *.owl* de l'ontologie à un déploiement sur un serveur triple store comme RDF4J, le changement de quelques lignes de configuration suffit. La Figure 6.6 montre l'architecture de l'API de l'ontologie dont les composantes ont été décrites ci-dessus.

Une fois Elliot déployé, on peut fixer le cadre des simulations et évaluer le système.

6.2 Outil de la simulation

La simulation du fonctionnement d'Elliot a été réalisée à l'aide des données générées automatiquement. Pour cela nous avons codé un générateur capable de produire les données des capteurs de la cuisinière (et donc émuler son utilisation) et les données du résident. Ainsi, il a été possible d'envoyer à Elliot des données le renseignant sur la mise en marche et l'arrêt de la cuisinière, des ronds et du four, sur les situations où les règles de sécurité étaient violées (comme les trois situations choisies pour la simulation et décrites plus haut), sur la localisation et la position du résident (dans le salon, dans la cuisine, à côté de la cuisinière, etc.), ses actions sur la cuisinière étant données par les données des capteurs de la cuisinière. Le générateur de données a été muni d'une interface graphique développée en JAVAFX⁷ pour donner plus de flexibilité dans son utilisation (voir Figure 6.7). Il suffit de choisir le type d'événe-

7. <https://openjfx.io/> [Consulté en août 2021]

6.2. OUTIL DE LA SIMULATION

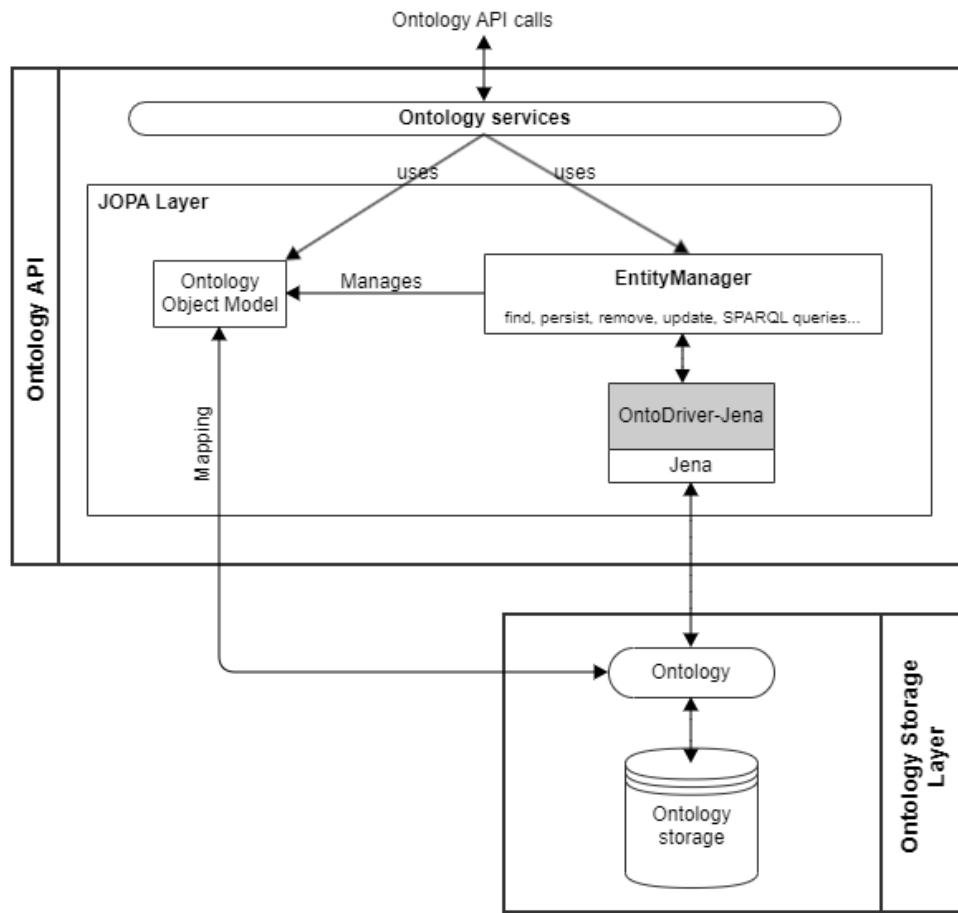


FIGURE 6.6 – Architecture de l'API de l'ontologie

ment, sélectionner sa source (le capteur pour un événement capteur, la règle pour une règle de sécurité ou la pièce de l'appartement pour la localisation du résident) et cliquer sur le bouton adéquat pour l'envoyer à Elliot. Chaque événement généré est ajouté dans la file d'attente correspondante du processeur de données temps réel, de façon transparente pour Elliot, comme s'il venait du pipeline de données de la maison connectée. Toutes les données de la cuisinière (états des capteurs et statuts des règles de sécurité) sont stockées dans la même file d'attente, les présences dans une autre file.

L'avantage d'avoir commencé l'évaluation des modèles par des données générées

6.2. OUTIL DE LA SIMULATION

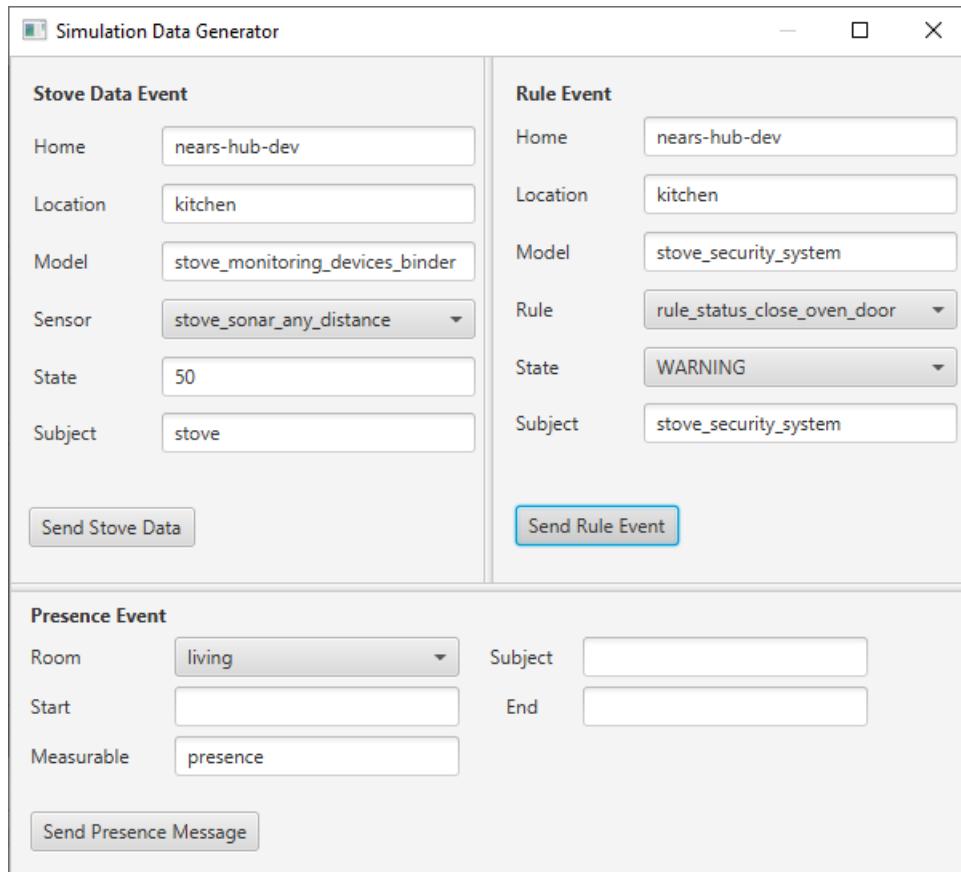


FIGURE 6.7 – Interface du générateur des données de simulation

automatiquement a été double.

- D'une part il a été possible d'évaluer et d'améliorer continuellement le code d'Elliot et d'ajuster les AC sans avoir à faire des arrangements dans la configuration du laboratoire DOMUS. Étant donné les dizaines de simulations effectuées pour le « tuning » d'Elliot, le temps mis pour développer le générateur a été largement inférieur au temps qu'aurait pris l'émulation des mêmes situations dans l'environnement réel du laboratoire.
- D'autre part, ceci a permis que la configuration de l'appartement du laboratoire et le développement des modules complémentaires nécessaires (par exemple le détecteur de présence et l'API d'envoi des messages sur les effecteurs) soient faits en parallèle de façon à être prêt pour les simulations avec des utilisateurs

6.2. OUTIL DE LA SIMULATION

humains le moment venu. Le générateur de données donne donc la possibilité de simuler des situations pour lesquelles l'installation du laboratoire n'est pas prête. Par exemple, nous pouvons créer des caméras virtuelles, puis une règle de reconnaissance d'objets qui identifie des objets inflammables au-dessus de la cuisinière (gants, serviettes, etc.) et déclenche automatiquement ces situations afin qu'Elliot engage l'interaction d'assistance.

La simulation s'est déroulée sur un ordinateur fixe HP Z210 Workstation doté d'un processeur Intel Core i5-2400 cadencé à 3.10 GHz, de 16 Go de RAM et équipé du système d'exploitation Windows 10 professionnel. L'ontologie a été déployée sur un serveur RDF4J sur cette même machine, comme le montre la Figure 6.8.

The screenshot shows the rdf4j / workbench interface. At the top, it displays the server information: RDF4J Server: http://localhost:8080/rdf4j-server, Repository: Ontology for cognitive assistance (test), and User (optional): - none -. The main title is "Explore (domus:LocutionaryAct)(1-73 of 73)". The left sidebar has a "Explore" section with links to Summary, Namespaces, Contexts, Types, Explore, Query, Saved Queries, and Export. Below that is a "Modify" section with SPARQL Update, Add, Remove, and Clear options. The bottom of the sidebar has a "System" section with Information. The main content area shows the results for the "domus:LocutionaryAct" resource. It includes fields for Resource (domus:LocutionaryAct), Results per page (100), and Results offset (Previous 100, Next 100). A checkbox for Show data types & language tags is checked. The results are divided into Super Classes and Sub Classes. Super Classes listed include DUL1:InformationObject, rdfs:Resource, _node1fegatnrcx1702, _node1fegatnrcx1703, _node1fegatnrcx1704, and _node1fegatnrcx1705. Sub Classes listed include domus:AudioMessage, domus:Automation, domus:Graph, domus:Image, domus:Jingle, domus:LightSignal, domus:Movie, domus:NaturalSpeech, domus:Photo, domus:Song, and domus:SyntheticSpeech.

FIGURE 6.8 – Ontologie déployée sur RDF4J

6.3. SIMULATION

6.3 Simulation

6.3.1 Objectif de la simulation

L'objectif de la simulation est de montrer qu'Elliot (basé sur les modèles développés) est capable d'identifier les trois besoins d'assistance choisis (situation1, situation 2 et situation 3 ; cf. section 6.1.2) provenant de COOK, et de générer dynamiquement une séquence de messages d'assistance gradés en fonction de l'évolution du résident dans la résolution du problème. Afin d'évaluer individuellement les deux modèles développés pour la fourniture de l'assistance, à savoir l'ontologie et les AC, la contribution de chacun d'eux dans la production des résultats est aussi décrite.

Puisqu'on ne peut pas simuler toutes les situations possibles, certains paramètres de simulation ont été fixés de façon à avoir une portée assez large pour couvrir des situations que l'on pourrait avoir dans la réalité.

6.3.2 Paramètres de la simulation

Les paramètres pris en compte pour la simulation sont le flot des niveaux d'assistance et le comportement du résident.

6.3.2.1 Flot des niveaux d'assistance

Le flot des niveaux d'assistance est la façon dont l'assistant cognitif parcourt les trois niveaux d'assistance « *Encourager la réflexion* » (codé *Make Think* et abrégé MT), « *Donner une piste de solution* » (codé *Give Solution Path* et abrégé GSP), et « *Donner la solution* » (codée *Give Solution* et abrégé GS). Ce flot est une séquence de niveaux d'assistance paramétrée par l'ergothérapeute. Par exemple, la séquence MT → GSP → GS signifie que l'assistant va commencer par donner une assistance qui encourage le résident à réfléchir par lui-même pour résoudre son problème (MT), si ça ne marche pas il lui donne une piste de solution (GSP) et enfin, la solution explicite (GS). Ce flot des niveaux d'assistance induit le nombre maximal de messages à envoyer pour résoudre une situation donnée. Pour la séquence précédente, trois messages au maximum seront envoyés. Pour la séquence MT → GSP → GSP → GS, il s'agit de quatre messages au maximum. La séquence n'est pas entièrement parcourue si

6.3. SIMULATION

le résident résout le problème, parce que l'assistance prend fin à ce moment-là. On peut imaginer plusieurs flots des niveaux d'assistance, en tenant compte de certaines restrictions. Il faut toujours terminer l'assistance en donnant la solution (GS), le parcours de la pyramide des niveaux d'assistance (voir Figure 2.1) se fait toujours en descendant (MT, puis GSP, puis GS), et on ne saute pas de niveaux (on ne peut pas passer directement d'un MT à un GS) : Le Tableau 6.1 montre quelques flots simulables.

TABLEAU 6.1 – Flots des niveaux d'assistance simulables

Flot	Séquence
Flot 1	MT → GSP → GS
Flot 2	GSP → GS → GS
Flot 3	GSP → GSP → GS
Flot 4	MT → MT → GSP → GS
Flot 5	MT → GSP → GS → GS
Flot 6	MT → GSP → GSP → GS

Lorsqu'Elliot est lancé, la liste des résidents est extraite de l'ontologie et affichée dans la fenêtre d'accueil (Figure 6.9). Pour configurer le flot d'assistance, il faut sélectionner le résident pour lequel on veut effectuer la simulation dans la liste des résidents, accéder à la fenêtre d'édition du résident (Figure 6.10), puis à la fenêtre d'édition du flot des niveaux d'assistance dans laquelle il suffit de configurer une séquence de niveaux d'assistance et la valider pour remplacer le flot courant (Figure 6.11).

6.3.2.2 Comportement du résident

La planification des messages est dynamique et dépend du comportement du résident. On peut imaginer divers comportements, par exemple ceux du Tableau 6.2.

6.3. SIMULATION

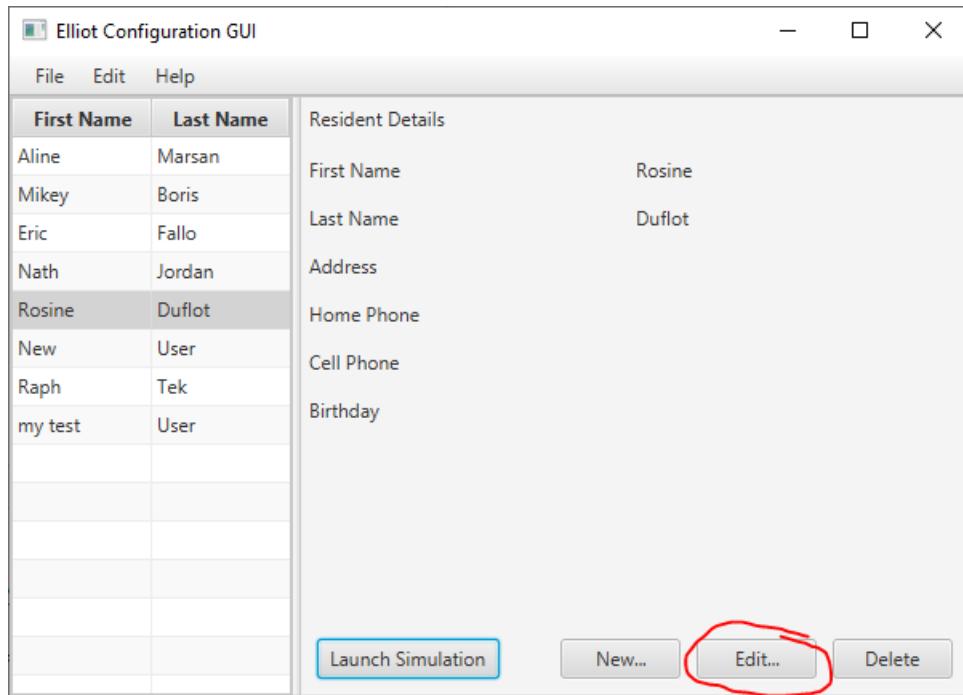


FIGURE 6.9 – Interface d'accueil Elliot

6.3.3 Déroulement de la simulation

L'objectif de la simulation est considéré par rapport aux trois situations d'assistance, aux six flots des niveaux d'assistance et aux quatre comportements du résident. Ce qui veut dire qu'il y a $3 \times 6 \times 4 = 72$ combinaisons de paramètres de simulation possibles. Comme la position initiale du résident est aussi importante (car elle permet de juger de sa progression dans la résolution du problème de sécurité) et que l'appartement simulé contient 5 pièces, le nombre de possibilités augmente à $72 \times 5 = 360$. Et puisque chaque combinaison doit être simulée plusieurs fois pour assurer la stabilité et l'idempotence de l'assistance par rapport à la gradation des messages c'est-à-dire que chaque message doit avoir le même grade (même force illocutoire) pour la même situation, le nombre total de simulations augmente en conséquence. Il n'a pas été possible de réaliser autant de simulations, les résultats ci-dessous rendent compte des résultats de quelques-unes, chacune ayant été répétée deux fois. Par exemple, nous présentons seulement les comportements *Stubborn*, permettant de voir le système fournir l'as-

6.3. SIMULATION

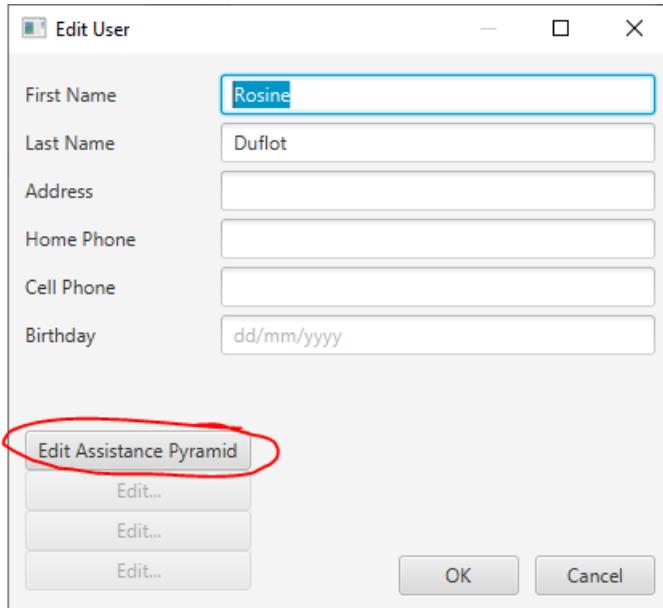


FIGURE 6.10 – Édition du profil du résident

sistance jusqu’au bout, et *Feinter* permettant de voir plusieurs variantes du système en ce qui concerne l’interaction. De même que seuls les flots de niveaux d’assistance *Flot1*, *Flot4*, *Flot5* sont présentés.

Elliot est démarré et tourne continuellement pendant toute la durée de la simulation qui est lancée à partir de la fenêtre de la Figure 6.12. Des logs dans la fenêtre de sortie de l’environnement de développement IntelliJ sont utilisés pour suivre le fonctionnement d’Elliot (données reçues et générées) et rendre compte des résultats.

6.3.4 Situation 1 : supervision de la cuisinière

Lorsque cette situation est déclenchée, l’objectif de l’assistant est de générer une suite de messages pour amener le résident à aller à la cuisine s’il n’y est pas encore et se tenir devant la cuisinière. Premièrement, les données d’un fonctionnement normal sont générées pour s’assurer que le système ne délivre aucune assistance. Chaque activation (*Tick*) de l’AC montre que la cuisinière est utilisée de façon sécuritaire et qu’aucun message d’assistance n’est généré (Figure 6.13).

6.3. SIMULATION

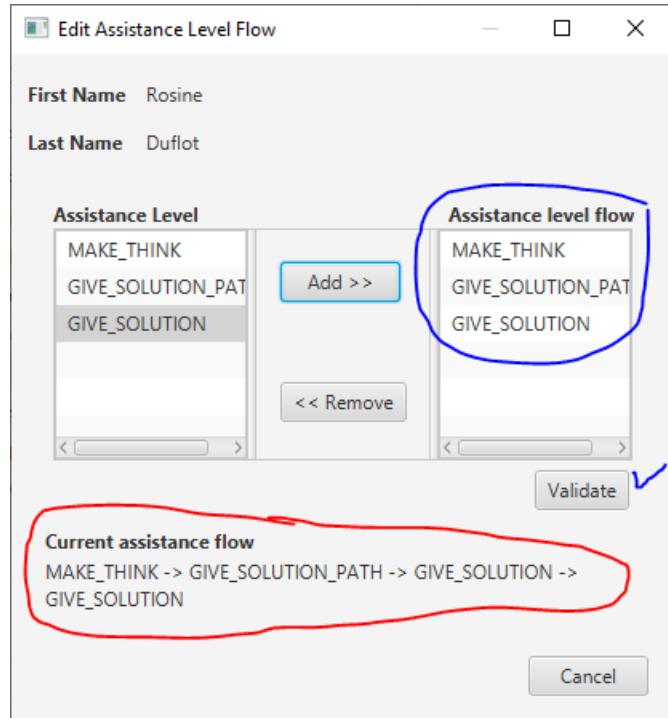


FIGURE 6.11 – Édition du flot des niveaux d’assistance

TABLEAU 6.2 – Quelques comportements simulables

Nom	Description
Stubborn	Le résident est peu coopératif. Il ne réagit adéquatement à aucune assistance. Il reste inactif ou bien il exécute des actions qui n’ont rien à voir avec le but de l’assistance
Coop	Le résident est coopératif, il réagit toujours adéquatement au deuxième message
Feinter	Le résident semble coopératif, mais ne va pas toujours au bout de ce qui est attendu
Tic-tac	Le résident est ultra coopératif. Il réagit toujours comme attendu

6.3. SIMULATION

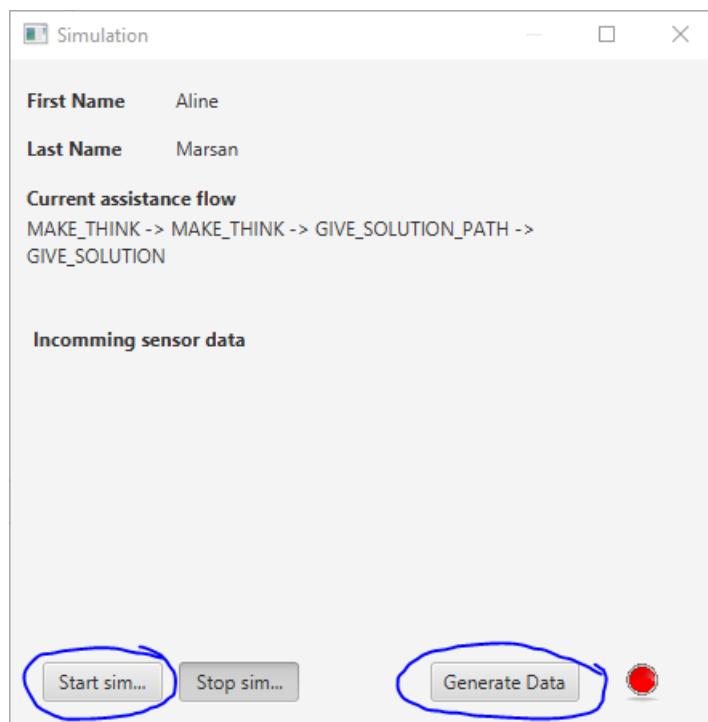


FIGURE 6.12 – Fenêtre de démarrage de la simulation

6.3. SIMULATION

ElliotGUI X

Security rule : SSEMessage@home='null', location='kitchen', model='stove_security_system', sensor='rule_status_close_oven_door', sentAt=1630070123968, state=UNVIOLATED, subject='stove_security_system'
Security rule : SSEMessage@home='null', location='kitchen', model='stove_security_system', sensor='rule_status_user_present_burner_rearright', sentAt=1630076123977, state=UNVIOLATED, subject='stove_security_system'
Security rule : SSEMessage@home='null', location='kitchen', model='stove_security_system', sensor='rule_status_supervise_burner_medium_high_rearleft', sentAt=1630076123985, state=UNVIOLATED, subject='stove_security_system'
Security rule : SSEMessage@home='null', location='kitchen', model='stove_security_system', sensor='rule_status_user_present_burner_medium_high_rearleft', sentAt=1630076124040, state=UNVIOLATED, subject='stove_security_system'
Security rule : SSEMessage@home='null', location='kitchen', model='stove_security_system', sensor='rule_status_user_present_burner_frontleft', sentAt=1630076124021, state=UNVIOLATED, subject='stove_security_system'

BT Ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.StoveIsSecure ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.StoveIsSecure : The stove is secure
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.StoveIsSecure spawned
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.TrackUserInfo spawned

BT Ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.StoveIsSecure ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.StoveIsSecure : The stove is secure
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.StoveIsSecure : The stove is secure
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.TrackUserInfo spawned

Security rule : SSEMessage@home='null', location='kitchen', model='stove_security_system', sensor='rule_status_supervise_burner_rearleft', sentAt=1629842934571, state=UNVIOLATED, subject='stove_security_system'
Security rule : SSEMessage@home='null', location='kitchen', model='stove_security_system', sensor='rule_status_supervise_burner_rearleft', sentAt=1629843114895, state=UNVIOLATED, subject='stove_security_system'

FIGURE 6.13 – Fonctionnement normal de la cuisinière

6.3. SIMULATION

Ensuite on simule le fait que le résident a laissé la cuisinière sans surveillance, c'est-à-dire qu'il ne s'en est pas approché depuis un moment, en envoyant un statut *WARNING* pour l'une des règles de surveillance de la cuisinière. Il y a plusieurs règles OpenHAB qui surveillent chacun des ronds de la cuisinière et le four. En fonction du (des) rond(s) et/ou du four qui est (sont) utilisé(s) et de l'absence de surveillance, le statut *WARNING* est envoyé par la (les) règle(s) correspondante(s). Quelle que soit la règle qui envoie ce statut, le traitement est le même vu que l'objectif est le même, à savoir venir surveiller la cuisinière. Aussitôt que l'AC détecte que la cuisinière n'est plus sécuritaire (Figure 6.14), il génère une pile des buts à atteindre pour régler le problème, en fonction de la position de l'utilisateur (qui ici est au salon) : [superviseBurners, MoveToStove, MoveToKitchen]. Au fond de cette pile se trouve le but global (surveiller les ronds) c'est-à-dire l'objectif à atteindre, et ses sous-buts sont empilés au-dessus (*se rendre à la cuisine*, puis *aller à côté de la cuisinière*). Le contenu initial de la pile aurait été [superviseBurners, MoveToStove] si le résident s'était trouvé dans la cuisine. Ceci permet de les dépiler au fur et à mesure que le résident progresse et de savoir que le but est atteint lorsque la pile est vide.

6.3. SIMULATION



The screenshot shows a window titled "Elliot Gui" with a log area containing the following text:

```

ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.StoveIsSecure : The stove is secure
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.StoveIsSecure spawned
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.TrackerInfo spawned
PresenceMessage{room='LivingRoom', subject='presence', start='2021-09-02 15:09:57', end='null', measurable='presence'}; Queue size : 0
Security rule : SSEMessage{home='nears-hub-dev', location='kitchen', model='stove_security_system', sensor='rule_status_burners_low_frontleft', sentAt=1630609920, state=WARNIN
BT Ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.StoveIsSecure ticked
#####
Security goals : [superviseBurners, MoveToStove, MoveToKitchen]
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.StovesSecure ... The stove is not secure #####
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.ActionRequiredOnStove spawned
BT Ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.ActionRequiredOnStove FAILURE
Security rule : SSEMessage{home='nears-hub-dev', location='kitchen', model='stove_security_system', sensor='rule_status_burners_low_frontleft', sentAt=1630609920, state=WARNIN
PresenceMessage{room='LivingRoom', subject='presence', start='2021-09-02 15:09:57', end='null', measurable='presence'}; Queue size : 0
BT Ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.StoveSupervisionRequired ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.StoveSupervisionRequired SUCCESS
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.ResidentInKitchen spawned
BT Ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.ResidentInKitchen ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.MakeThink spawned
Security rule : SSEMessage{home='nears-hub-dev', location='kitchen', model='stove_security_system', sensor='rule_status_burners_low_frontleft', sentAt=1630609920, state=WARNIN
PresenceMessage{room='LivingRoom', subject='presence', start='2021-09-02 15:09:57', end='null', measurable='presence'}; Queue size : 0
BT Ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.MakeThink ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.MakeThink SUCCESS
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.SimulateThinking spawned
Querying the ontology for the appropriate message...

```

At the bottom of the log window, there are several buttons: Find, Run, Problems, Profiler, TODO, Terminal, and Build.

FIGURE 6.14 – Le rond avant droit est resté sans surveillance

6.3. SIMULATION

On commence par considérer un résident de type *Stubborn*, dont le profil est configuré pour le *Flot1* ($MT \rightarrow GSP \rightarrow GS$). L'AC génère des paramètres pour demander à l'ontologie le bon message à envoyer et l'effecteur approprié. La Figure 6.15 montre que ces paramètres sont l'acte illocutoire (c'est-à-dire le niveau d'information dans le message), le type de l'assistance, l'intervention cognitive, la position du résident permettant de choisir l'effecteur (le panneau d'affichage au salon), la langue de communication (les messages de l'ontologie sont multilingues, anglais et français pour le moment), le niveau d'assistance et la situation courante (le signal d'alerte). L'ontologie répond en envoyant une liste d'actes d'assistance remplissant les critères, parmi lesquels un est choisi au hasard vu qu'ils sont tous appropriés (Figure 6.15). On prend cependant soin de garder une trace des messages dans une séquence pour ne pas envoyer les mêmes messages si on doit rester au même niveau de force illocutoire pour les prochains messages de la séquence. Ceci permet d'avoir de la variabilité dans les messages. L'algorithme 6.2 montre la requête qui est instanciée et exécutée à partir des paramètres.

Elliot Gui < 

Querying the ontology for the appropriate message...

ONTOLOGY QUERY PARAM JSON Object :

```
{
  "illocAct": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#directiveIndirectImplicit",
  "assistanceType": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#assistanceTypeStimulateThinking",
  "cognitiveIntervention": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#remindert1",
  "userLocation": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#livingRoom",
  "language": "en",
  "assistanceLevel": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#assistanceLevelThinking",
  "situation": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#genericSituationUserAction"
}
```

Query :

```
cz.evot.kbss.joja.nodel.QueryImpl@6f97dd6
```

ASSISTANCE LIST RESULT OBJECT: {`success':true, "value": [{"actuator": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#livingRoomLEDDisplay", "language": "en", "id": "http://ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.StimulateThinking.ticked"}}

The message is ready to be sent

BT Ticked

```
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.StimulateThinking.ticked
```

ASSISTANCE ACT DELIVERED :

```
{
  {"id": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#textWhatCouldYouDo",
   "message": "\'What could you do now\' @en",
   "assistanceLevel": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#assistanceLevelThinking",
   "language": "en",
   "actuator": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#livingRoomLEDDisplay",
   "sentAt": 163660927
}
```

ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.StimulateThinking MESSAGE SENT!

ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.StimulateThinking SUCCESS

Security rule : SSEMessage@home='nears-hub-dev', location='Kitchen', model='stove_security_system', sensor='rule_status_supervise_burners_low_frontleft', sentAt=163660920, state=WARNINg, subject

Q Find ▶ Run ⚙ Problems ⚙ Profiler ⚙ TODO ⚙ Terminal ↵ Build

FIGURE 6.15 – Paramètres générés par l'AC pour interroger l'ontologie et réponse reçue

6.3. SIMULATION

Algorithme 6.2 – Requête SPARQL pour sélectionner le message et l'effecteur

```
SELECT ?locutionaryAct ?title ?actuator
WHERE {
?locutionaryAct a ?typeLocutionaryAct ;
    ?dcHasTitle ?title ;
    ?dulHasSetting ?situation ;
    ?dulExpresses ?cognitiveIntervention ;
    ?hasIllocutionaryAct ?illocAct ;
    ?hasAssistanceLevel ?assistanceLevel ;
    ?hasAssistanceType ?assistanceType .
OPTIONAL {
{ ?actuator a ?typeActuator ;
    ?sosaIsHostedby ?platform .
?platform ?dulHasLocation ?userLocation .
}
UNION
{ ?actuator a ?typeActuator ;
    ?dulHasLocation ?userLocation .
}
}
FILTER ( lang(?title) = ?language )
}
```

Une fois le message envoyé, la réaction du résident est attendue (Figure 6.16). L'attente est de 10 secondes pour notre simulation. Dans la version définitive, ce temps sera configuré en fonction des types d'alertes et du résident.

6.3. SIMULATION



```

Elliot Gui < X >

{
  "id": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#textWhatCouldYouDo",
  "message": "I \"What could you do now?\"(en",
  "assistantLevel": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#assistantLevelThinking",
  "language": "en",
  "actuator": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#livingRoomLEDDisplay",
  "sentAt": 1630009927
}

ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.StimulateThinking MESSAGE SENT!
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.StimulateThinking SUCCESS
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.Wait spawned #####stove_security-system#####
Security rule : SSEMessage@home='nears-hub-dev', location='Kitchen', model='stove_security-system', sensor='rule_status_supervise_burners_low_frontleft', sentAt=1630009920, state=WARNIN,
PresenceMessage@room='livingRoom', subject='presence', start='2021-09-02 15:09:57', end='null', measurable='presence'; Queue size : 0
BT Ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.Wait ticked
Waiting time for user reaction to expire...
BT Ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.Wait ticked
Waiting time for user reaction to expire...
PresenceMessage@room='livingRoom', subject='presence', start='2021-09-02 15:09:57', end='null', measurable='presence'; Queue size : 0
Security rule : SSEMessage@home='nears-hub-dev', location='Kitchen', model='stove_security-system', sensor='rule_status_supervise_burners_low_frontleft', sentAt=1630009920, state=WARNIN,
BT Ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.Wait ticked
Waiting time for user reaction to expire...

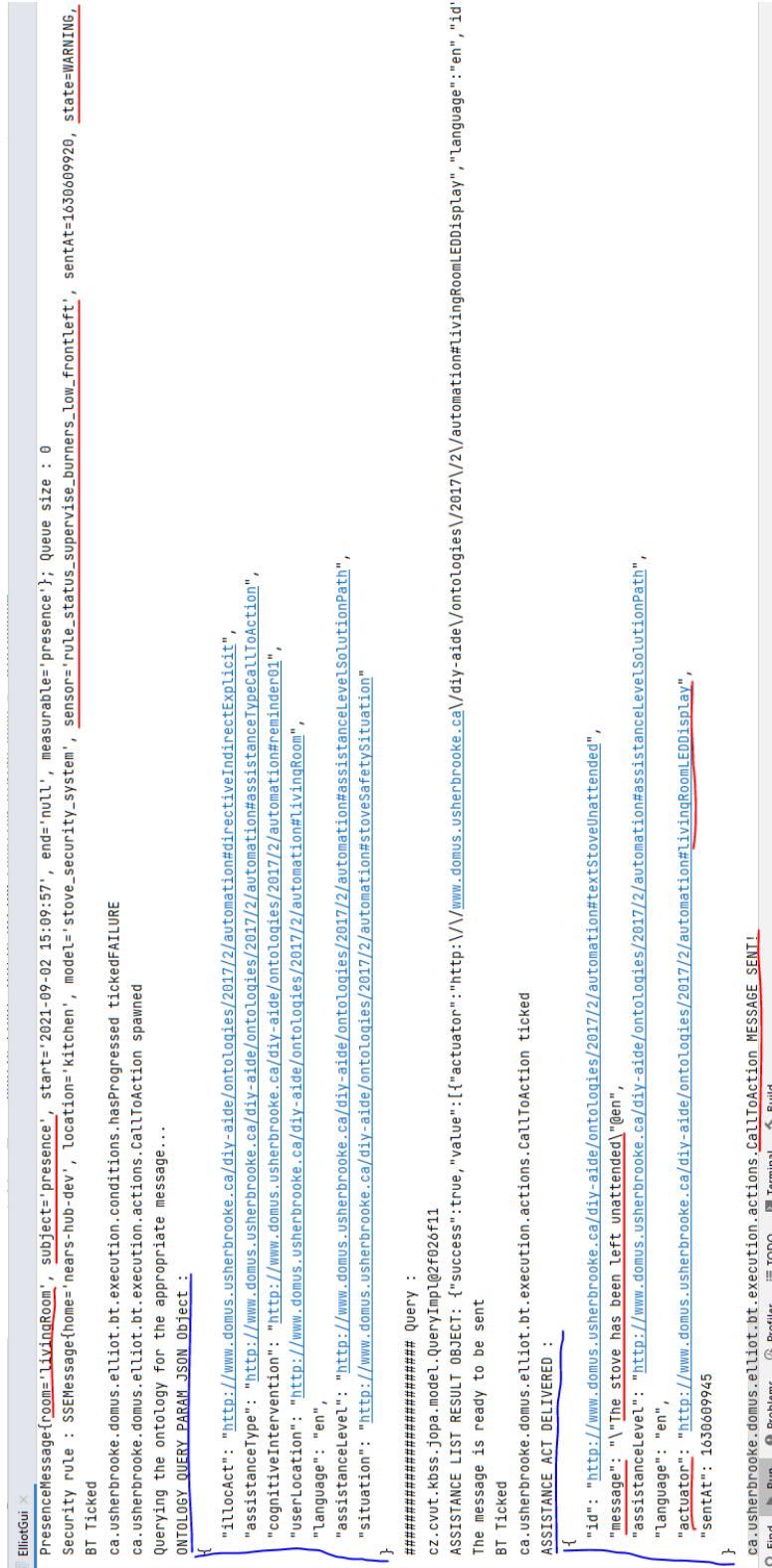
```

FIGURE 6.16 – Attente de la réaction du résident

6.3. SIMULATION

À la fin de l'attente, on constate que l'alerte est toujours présente et le résident n'a pas bougé du salon ; de nouveaux paramètres sont générés et l'ontologie renvoie le deuxième message sur le même effecteur (Figure 6.17). Pour cette simulation un seul effecteur a été configuré pour chaque pièce de l'appartement simulé.

6.3. SIMULATION



The screenshot shows a log entry in the Elliot GUI. The log entry details the sending of a message to a stove. The message is a PresenceMessage with a room of 'livingRoom', subject of 'presence', start time of '2021-09-02 15:09:57', end time of 'null', measurable status of 'presence', queue size of 0, sensor rule of 'rule_status_supervise_burners_low_frontleft', and a sentAt timestamp of '163669920'. The message was sent via the security system, specifically through the 'stove_security_system' model, using the 'BT Ticked' security rule. The message content is a JSON object containing an 'illocAct' (directive), 'assistanceType' (executive), 'cognitiveIntervention' (http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#assistantTypeExecutiveAction), 'userLocation' (http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#remInderg1), 'language' ('en'), 'assistanceLevel' (http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#assistanceLevelRoom), and 'situation' (http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#stovesafetySituatio). The log also shows a query to the ontology for the appropriate message and the creation of an ontology query parameter JSON object. The log concludes with a success message from the 'c2_cvut_kbss_joao_model_QueryImpl02f026f11' object, indicating the message was sent to the actuator at 'http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#livingRoomLEDDisplay' with language 'en' and id '163669945'. The message was delivered to the stove, which has been left unattended.

```

ElliotGui X
PresenceMessage{room='livingRoom', subject='presence', start='2021-09-02 15:09:57', end='null', measurable='presence'}; queue size : 0
Security rule : SSEMessage@home='nears-hub-dev', location='kitchen', model='stove_security_system', sensor='rule_status_supervise_burners_low_frontleft', sentAt=163669920, state=WARNIN,
BT Ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.conditions.hasProgressed tickedFAILURE
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.CallToAction spawned
Querying the ontology for the appropriate message...
ONTLOGY QUERY PARAM JSON Object :
{
    "illocAct": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#directiveDirectiveExplicit",
    "assistanceType": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#assistantTypeExecutiveAction",
    "cognitiveIntervention": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#assistantTypeExecutiveAction",
    "userLocation": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#remInderg1",
    "language": "en",
    "assistanceLevel": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#assistanceLevelRoom",
    "situation": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#stovesafetySituatio"
}

#####
Query :
c2_cvut_kbss_joao_model_QueryImpl02f026f11
ASSISTANCE LIST RESULT OBJECT: {"success":true,"value":[{"actuator":"http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#livingRoomLEDDisplay","language":"en","id":163669945}]}
The message is ready to be sent
BT Ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.CallToAction ticked
ASSISTANCE ACT DELIVERED :
{
    "id": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#textStoveUnattended",
    "message": "\nThe stove has been left unattended"@"en",
    "assistanceLevel": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#assistantLevelSolutionPath",
    "language": "en",
    "actuator": "http://www.domus.usherbrooke.ca/diy-aide/ontologies/2017/2/automation#livingRoomLEDDisplay",
    "sentAt": 163669945
}
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.CallToAction MESSAGE SENT

```

FIGURE 6.17 – Envoi du deuxième message

6.3. SIMULATION

À nouveau, la réaction du résident est attendue. On se rend compte qu'au lieu d'aller à la cuisine comme attendu, il se rend plutôt dans la salle à manger, on lui envoie le troisième message sur le panneau d'affichage de la salle à manger avant d'attendre à nouveau sa réaction (Figure 6.18).

6.3. SIMULATION

```

ElliotGui ×
ONTOLGY QUERY PARAM JSON object :
{
  "illucAct": "http://www.domus.usherbrooke.ca/div-aide/ontologies/2017/2/automation#directiveDirectExplicit",
  "assistanceType": "http://www.domus.usherbrooke.ca/div-aide/ontologies/2017/2/automation#assistanceTypeGiveAnswer",
  "cognitiveIntervention": "http://www.domus.usherbrooke.ca/div-aide/ontologies/2017/2/automation#assistanceTypeRemindOrFix",
  "userLocation": "http://www.domus.usherbrooke.ca/div-aide/ontologies/2017/2/automation#diningRoom",
  "language": "en",
  "assistanceLevel": "http://www.domus.usherbrooke.ca/div-aide/ontologies/2017/2/automation#assistanceLevelSolution",
  "situation": "http://www.domus.usherbrooke.ca/div-aide/ontologies/2017/2/automation#superviseBurners"
}

#####
Query :
cz.evtu.koss.jopas.model.QueryImpl@31a1776
ASSISTANCE LIST RESULT OBJECT: {<success>:true, <value>:[{<actuator>:"http://www.domus.usherbrooke.ca/div-aide/ontologies/2017/2/automation#diningRoomLEDdisplay", <language>:"en", <id>
The message is ready to be sent
Security rule : SSEMessage@home='nears-hub-dev' , location='kitchen' , model='stove_security_system' , sensor='rule_status.supervise.burners_low_frontleft' , sentAt=1630009920 , state=WARNING
PresenceMessage@room='diningroom' , subject='presence' , start='2021-09-02 15:09:77' , end='null' , measurable='presence' }]; Queue size : 0
BT Ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.GiveAnswer_ticked

ASSISTANCE ACT DELIVERED :
{
  "id": "http://www.domus.usherbrooke.ca/div-aide/ontologies/2017/2/automation#textShouldSuperviseBurners",
  "message": "you should supervise the burners of the stove.\r\n",
  "assistanceLevel": "http://www.domus.usherbrooke.ca/div-aide/ontologies/2017/2/automation#assistanceLevelSolution",
  "language": "en",
  "actuator": "http://www.domus.usherbrooke.ca/div-aide/ontologies/2017/2/automation#diningRoomLEDdisplay",
  "sentAt": 1630009964
}

ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.GiveAnswer_MESSAGE_SENT
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.Wait_spanned #####
BT Ticked
ca.usherbrooke.domus.elliot.bt.execution.actions.Wait_ticked
Waiting time for user reaction to expire.
Q Find ▶ Run ⌘ Problems ⌘ Profile ⌘ Todo ⌘ Terminal ⌘ Build

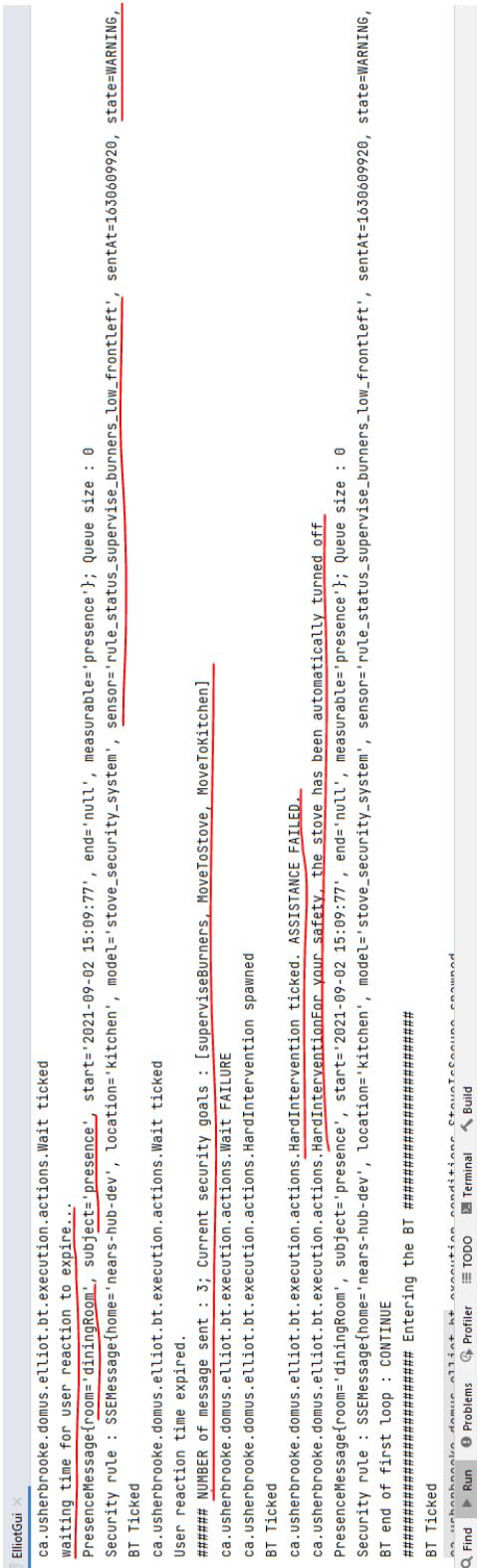
```

FIGURE 6.18 – Envoi du troisième message

6.3. SIMULATION

La Figure 6.19 montre que lorsque le temps d'attente a expiré, le résident n'a pas réagi et est resté dans la salle à manger. Le flot des actes d'assistance ayant limité le nombre de messages maximal à trois, Elliot intervient pour arrêter la cuisinière et informe le résident.

6.3. SIMULATION



The screenshot shows a terminal-like window within the Elliot GUI interface. The window displays a simulation log with the following content:

```

ElliotGui >
ca.usenbrooke.donus.elliot.bt.execution.actions.Wait ticked
waiting time for user reaction to expire...
PresenceMessage{room='diningRoom', subject='presence', start='2021-09-02 15:09:77', end='null', measurable='presence'}, queue size : 0
Security rule : SSEMessage{home='nears-hub-dev', location='kitchen', model='stove_security_system', sensor='rule_status_supervise_burners_low_frontleft', sentAt=1630609920, state=WARNING,
BT Tickled
ca.usenbrooke.donus.elliot.bt.execution.actions.Wait ticked
User reaction time expired.
##### NUMBER of message sent : 3; Current security goals : [superviseBurners, MoveToStove, MoveToKitchen]
ca.usenbrooke.donus.elliot.bt.execution.actions.Wait FAILURE
ca.usenbrooke.donus.elliot.bt.execution.actions.HardIntervention spawned
BT Tickled
ca.usenbrooke.donus.elliot.bt.execution.actions.HardIntervention ticked. ASSISTANCE FAILED.
ca.usenbrooke.donus.elliot.bt.execution.actions.HardInterventionForYourSafety. the stove has been automatically turned off
PresenceMessage{room='diningRoom', subject='presence', start='2021-09-02 15:09:77', end='null', measurable='presence'}, queue size : 0
Security rule : SSEMessage{home='nears-hub-dev', location='kitchen', model='stove_security_system', sensor='rule_status_supervise_burners_low_frontleft', sentAt=1630609920, state=WARNING,
BT end of first loop : CONTINUE
##### ##### # Entering the BT #####
BT Tickled

```

The bottom of the window shows standard Eclipse-style navigation buttons: Find, Run, Problems, Profiler, TODO, Terminal, Build.

FIGURE 6.19 – Intervention du système autonome de sécurité

6.3. SIMULATION

Le Tableau 6.3 présente quelques résultats de simulation. *Plan 1-1* dans ce tableau correspond à la simulation décrite de la Figure 6.14 à la Figure 6.19. Chaque plan (une séquence de messages d’assistance) est numéroté *Plan X-Y*, où *X* est le numéro du plan et *Y* la *Y^e* simulation effectuée avec exactement les même conditions (même signal d’alerte et même réaction de l’utilisateur). Le plan a été exécuté deux fois, et la deuxième fois (*Plan 1-2*) les deux premiers messages ont été différents, mais de même niveau. Dans tous les tableaux qui suivent, les paramètres de l’ontologie sont représentés par le 7-uplet (acte illocutoire, type d’acte d’assistance, intervention cognitive, localisation du résident, langue, niveau d’assistance, situation). La simulation n’a concerné que la langue anglaise (en) et l’assistance cognitive de type « *rappel* » (*remider01* dans l’ontologie), vu que tous les messages de sécurité sont des rappels.

6.3.5 Situation 2 : fermeture de la porte du four

Lorsque cette situation est déclenchée, l’objectif de l’assistant est de générer une suite de messages pour amener le résident à aller à la cuisine s’il n’y est pas encore, se tenir devant la cuisinière et fermer la porte du four. Les captures d’écran précédentes ont montré l’allure des sorties d’Elliot. Afin de ne pas alourdir le texte pour la suite, les captures d’écran ne sont plus présentées, seuls les tableaux rendant compte des résultats le sont.

Comme dans le cas précédent, les données d’un fonctionnement normal sont générées pour s’assurer que le système ne délivre aucune assistance. Ensuite, le signal d’alerte est déclenché. La pile initiale des buts générés par l’AC est [ActionRequiredOnStove, CloseOvenDoor, MoveToStove, MoveToKitchen] si le résident n’est pas à la cuisine, [ActionRequiredOnStove, CloseOvenDoor, MoveToStove] s’il y est, mais n’est pas devant la cuisinière, et [ActionRequiredOnStove, CloseOvenDoor] s’il est devant le four. Le Tableau 6.5 et le Tableau 6.6 montrent quelques résultats en fonction du flot d’assistance *Flot5* et des comportements *Stubborn* et *Feinter*.

6.3. SIMULATION

TABLEAU 6.3 – Quelques résultats de simulation (Flot1 + résident Stubborn)

		Paramètres générés par l'AC pour interroger l'ontologie	Actes d'assistance renvoyés par l'ontologie (Message / Effecteur)	Réaction utilisateur
Plan 1-1	msg1	(directive-indirect-implicit, stimulate thinking, reminder01, living room, en, make think, genericSituationUserAction)	<i>What could you do now ? / LED Display in the living room</i>	Aucune
	msg2	(directive-indirect-explicit, call to action, reminder01, living room, en, give solution path, stoveSafetySituation)	<i>The stove has been left unattended / LED Display in the living room</i>	Va dans la salle à manger
	msg3	(directive-direct-explicit, give answer, reminder01, dining room, en, give solution, supervise burners)	<i>You should supervise the burners of the stove / LED Display in the dining room</i>	Aucune
Intervention	(declaration-direct-explicit, give answer, reminder01, dining room, en, give solution, hard intervention)		<i>For your safety, the stove has been automatically turned off / LED Display in the dining room</i>	
Plan 1-2	msg1	(directive-indirect-implicit, stimulate thinking, reminder01, living room, en, make think, genericSituationUserAction)	<i>Don't you have something to check ? / LED Display in the living room</i>	Aucune
	msg2	(directive-indirect-explicit, call to action, reminder01, living room, en, give solution path, stoveSafetySituation)	<i>What could you do to ensure the stove's safety ? / LED Display in the living room</i>	Va dans la salle à manger
	msg3	(directive-direct-explicit, give answer, reminder01, dining room, en, give solution, supervise burners)	<i>You should supervise the burners of the stove / LED Display in the dining room</i>	Aucune
Intervention	(declaration-direct-explicit, give answer, reminder01, dining room, en, give solution, hard intervention)		<i>For your safety, the stove has been automatically turned off / LED Display in the dining room</i>	

6.3. SIMULATION

Tableau 6.3 (suite)

		Paramètres générés par l'AC pour interroger l'ontologie	Actes d'assistance renvoyés par l'ontologie (Message / Effecteur)	Réaction utilisateur
Plan 2-1	msg1	(directive-indirect-implicit, stimulate thinking, reminder01, kitchen, en, make think, generic-SituationUserAction)	<i>Are you forgetting anything ? / COOK tablet</i>	Aucune
	msg2	(directive-indirect-explicit, call to action, reminder01, kitchen, en, give solution path, stoveSafetySituation)	<i>The stove has been left unattended / COOK tablet</i>	Aucune
	msg3	(directive-direct-explicit, give answer, reminder01, kitchen, en, give solution, supervise burners)	<i>You should supervise the burners of the stove / COOK tablet</i>	Aucune
	Intervention	(declaration-direct-explicit, give answer, reminder01, dining room, en, give solution, hard intervention)	<i>For your safety, the stove has been automatically turned off / COOK tablet</i>	Aucune

6.3. SIMULATION

TABLEAU 6.4 – Quelques résultats de simulation (Flot4 + résident Feinter)

		Paramètres générés par l'AC pour interroger l'ontologie	Actes d'assistance renvoyés par l'ontologie (Message / Effecteur)	Réaction utilisateur
Plan 1-1	msg1	(directive-indirect-implicit, stimulate thinking, reminder01, bedroom, en, make think, genericSituationUserAction)	<i>Are you forgetting anything ? / Tablet in the bedroom</i>	Aucune
	msg2	(directive-indirect-implicit, stimulate thinking, reminder01, kitchen, en, make think, genericSituationUserAction)	<i>What could you do now ? / Tablet in the bedroom</i>	Moves to the kitchen
	msg3	(directive-indirect-explicit, restart, reminder01, kitchen, en, give solution path, stoveSafetySituation)	<i>Now that you are in the kitchen, have you checked the burners ? / COOK Tablet</i>	Aucune
	msg4	(directive-direct-explicit, give answer, reminder01, kitchen, en, give solution, supervise burners)	<i>You should supervise the burners of the stove / COOK Tablet</i>	Aucune
	Intervention	(declaration-direct-explicit, give answer, reminder01, dining room, en, give solution, hard intervention)	<i>For your safety, the stove has been automatically turned off / LED Display in the dining room</i>	
Plan 2-1	msg1	(directive-indirect-implicit, stimulate thinking, reminder01, living room, en, make think, genericSituationUserAction)	<i>Don't you have something to check ? / LED Display in the living room</i>	Aucune
	msg2	(directive-indirect-implicit, stimulate thinking, reminder01, living room, en, make think, genericSituationUserAction)	<i>Are you forgetting anything ? / LED Display in the living room</i>	Moves to the kitchen
	msg3	(directive-direct-explicit, restart, reminder01, kitchen, en, give solution path, stoveSafetySituation)	<i>Now that you are in the kitchen, have you checked the burners ? / COOK tablet</i>	Moves to the stove
Plan 2-2	msg1	(directive-indirect-implicit, stimulate thinking, reminder01, living room, en, make think, genericSituationUserAction)	<i>Are you forgetting anything ? / LED Display in the living room</i>	Moves to the kitchen
	msg2	(directive-indirect-implicit, stimulate thinking, reminder01, kitchen, en, make think, genericSituationUserAction)	<i>What could you do now ? / COOK tablet</i>	Moves to the stove

6.3. SIMULATION

TABLEAU 6.5 – Quelques résultats de simulation (Flot5 + résident Stubborn)

		Paramètres générés par l'AC pour interroger l'ontologie	Actes d'assistance renvoyés par l'ontologie (Message / Effecteur)	Réaction utilisateur
Plan 1-1	msg1	(directive-indirect-implicit, stimulate thinking, reminder01, living room, en, make think, genericSituationUserAction)	<i>Don't you have something to check ? / LED Display in the living room</i>	Aucune
	msg2	(directive-indirect-explicit, call to action, reminder01, living room, en, give solution path, stoveSafetySituation)	<i>What could you do to ensure the stove's safety ? / LED Display in the living room</i>	Aucune
	msg3	(directive-direct-explicit, give answer, reminder01, living room, en, give solution, close oven door)	<i>You should close the oven door / LED Display in the living room</i>	Aucune
	msg4	(directive-direct-explicit, give answer, reminder01, living room, en, give solution, close oven door)	<i>Could you close the oven door, please ? / LED Display in the living room</i>	Aucune
	Intervention	(declaration-direct-explicit, give answer, reminder01, living room, en, give solution, hard intervention)	<i>For your safety, the stove has been automatically turned off / LED Display in the dining room</i>	

6.3. SIMULATION

TABLEAU 6.6 – Résultat de simulation (Flot5 + résident Feinter)

		Paramètres générés par l'AC pour interroger l'ontologie	Actes d'assistance renvoyés par l'ontologie (Message / Effecteur)	Réaction utilisateur
Plan 1-2	msg1	(directive-indirect-implicit, stimulate thinking, reminder01, bedroom, en, make think, genericSituationUserAction)	<i>Don't you have something to check ? / Tablet in the bedroom</i>	Va à la cuisine
	msg2	(directive-indirect-explicit, restart, reminder01, kitchen, en, give solution path, stoveSafety-Situation)	<i>Now that you are in the kitchen, have you checked the oven ? / COOK Tablet</i>	Va à côté de la cuisinière
	msg3	(directive-direct-explicit, restart, reminder01, kitchen, en, give solution, closeOvenDoor)	<i>Now that you are near the stove, you should close the oven door / COOK tablet</i>	Ferme la porte du four
Plan 2-1	msg1	(directive-indirect-implicit, stimulate thinking, reminder01, dining room, en, make think, genericSituationUserAction)	<i>What could you do now ? / LED Display in the living room</i>	Va à la cuisine
	msg2	(directive-indirect-explicit, restart, reminder01, kitchen, en, give solution path, stoveSafety-Situation)	<i>Now that you are in the kitchen, have you checked the oven ? / COOK tablet</i>	Aucune
	msg3	(directive-direct-explicit, give answer, reminder01, kitchen, en, give solution, closeOvenDoor)	<i>You should close the oven door / COOK tablet</i>	Va à côté de la cuisinière
	msg4	(directive-direct-explicit, give answer, reminder01, kitchen, en, give solution, closeOvenDoor)	<i>Now that you are near the stove, could you close the oven door, please ? / COOK tablet</i>	Ferme la porte du four
Plan 2-2	msg1	(directive-indirect-implicit, stimulate thinking, reminder01, dining room, en, make think, genericSituationUserAction)	<i>Are you forgetting anything ? / LED Display in the living room</i>	Va à la cuisine
	msg2	(directive-indirect-explicit, restart, reminder01, kitchen, en, give solution path, stoveSafety-Situation)	<i>Now that you are in the kitchen, have you checked the oven ? / COOK tablet</i>	Aucune

6.3. SIMULATION

Tableau 6.6 (suite)

msg3	(directive-direct-explicit, give answer, reminder01, kitchen, en, give solution, closeOvenDoor)	<i>Could you close the oven door, please ? / COOK tablet</i>	Va à côté de la cuisinière
msg4	(directive-direct-explicit, give answer, reminder01, kitchen, en, give solution, closeOvenDoor)	<i>Now that you are near the stove, you should close the oven door / COOK tablet</i>	Ferme la porte du four

6.3.6 Situation 3 : présence du résident dans son domicile

Cette situation est la moins complexe en termes de possibilités. En effet, étant donné que le résident se trouve à l'extérieur du domicile, il faut lui envoyer des messages gradés sur un appareil porté (téléphone portable par exemple). Le reste est quasiment similaire aux résultats précédents. La Tableau 6.7 montre un exemple de résultat.

6.3.7 Performances

L'évaluation des performances des modèles proposés dans cette thèse peut se faire via l'évaluation des performances d'Elliot quant à l'efficacité de l'AC et celle de l'ontologie. Les métriques sont les suivantes :

- Temps de prise de décision de l'AC. Noté T_{bt} et représentant le temps d'analyse des données et de génération des paramètres pour interroger l'ontologie, c'est la contribution de l'AC dans le temps global de traitement.
- Temps de réponse de l'ontologie. Noté T_{ont} et représentant le temps entre l'envoi de la requête par l'AC et la réception de l'acte d'assistance afférent, c'est la contribution de l'ontologie dans le temps global de traitement.

Les calculs ont été faits sur toute la durée de la simulation (Plus de 100 simulations dont 30 différentes) et les résultats sont présentés dans le Tableau 6.8. Toutes les valeurs sont en millisecondes (ms).

6.3. SIMULATION

TABLEAU 6.7 – Résultat de simulation (Flot3 + résident Stubborn)

		Paramètres générés par l'AC pour interroger l'ontologie	Actes d'assistance renvoyés par l'ontologie (Message / Effecteur)	Réaction utilisateur
Plan 1-1	msg1	(directive-indirect-explicit, call to action, reminder01, outside, en, give solution path, presence required)	<i>The stove is in use / smartphone</i>	Aucune
	msg2	(directive-direct-explicit, give answer, reminder01, outside, en, give solution, presence required)	<i>Could you go back home, please ? / Smartphone</i>	Aucune
	msg3	(directive-direct-explicit, give answer, reminder01, outside, en, give solution, presence required)	<i>You should go to watch your stove ! / Smartphone</i>	Aucune
	Intervention	(declaration-direct-explicit, give answer, reminder01, outside, en, give solution, hard intervention)	<i>For your safety, the stove has been automatically turned off / smart phone</i>	

TABLEAU 6.8 – Temps d'exécution AC et ontologie

Métriques	Temps maximum	Temps minimum	Temps moyen
T_{bt}	7003 ms	3001 ms	5113 ms
T_{ont}	211 ms	8 ms	51 ms

6.4. DISCUSSION ET CONCLUSION

6.4 Discussion et conclusion

Les résultats présentés dans les sections précédentes montrent le potentiel d'Elliot à fournir une assistance adaptative par rapport au comportement du résident de la maison connectée. Tandis que l'AC se charge de prendre les décisions d'assistance et de gérer l'interaction avec l'utilisateur, l'ontologie se charge de lui fournir les messages appropriés à délivrer et les effecteurs pour le faire. L'AC prend ses décisions en 5 secondes en moyenne, tandis que l'ontologie réagit presque instantanément avec un temps de réponse moyen de 51 ms. Du point de vue de l'assistance cognitive, ces performances sont excellentes. En effet, il est important de préciser que les temps d'exécution présentés dans le Tableau 6.8 ne doivent pas être confondus au temps entre deux messages consécutifs d'assistance. Il s'agit plutôt du temps que prennent nos modèles et les algorithmes pour prendre leur décision, indépendamment du temps de réaction qui doit être accordé au résident. Ainsi, après identification du signal d'alerte, la technologie prend environ cinq secondes pour décider du premier message à envoyer, puis laisse le temps de réaction s'écouler (qui peut être de 5 minutes, 10 minutes, etc.), avant de prendre 5 autres secondes pour décider du prochain message à délivrer, puis laisser à nouveau un temps de réaction au résident, et ainsi de suite. Comme mentionné précédemment, le temps de réaction utilisé pour la simulation a été de 10 secondes. Dans la réalité, ce temps dépendra du profil du résident et de la situation. Il pourra être configuré par l'ergothérapeute et/ou appris par le système au fil du temps. Par ailleurs, le temps pris par le système pour générer le bon message peut être soustrait du temps de réaction qu'on laissera au résident entre deux messages, donnant ainsi l'illusion d'un système qui répond en 0 milliseconde à partir du deuxième message. Bien que montrant ces résultats très encourageants, la simulation d'Elliot comporte quelques limites. La première est l'usage des données générées automatiquement en lieu et place des données réelles de l'appartement. Les données générées automatiquement sont directement insérées dans la file d'attente du processeur de données temps réel. De même, le client Kafka du processeur de données temps réel d'Elliot se connecte au pipeline des données du DOMUS, reçoit les données et les insère dans la même file de traitement des messages que les données simulées. Les données réelles sont donc traitées exactement de la même façon que sont traitées les

6.4. DISCUSSION ET CONCLUSION

données simulées. Par conséquent, tous les raisonnements restent valides, ainsi que les résultats présentés ci-dessus. Les tests réels au laboratoire n'ont pas été menés parce qu'il n'est pas encore possible d'envoyer les messages sur les effecteurs, l'API étant en cours de développement. Pour les tests réels, d'autres métriques pourront être intéressantes pour évaluer l'efficacité du système.

- Le temps global de traitement d'une demande d'assistance, qui représente le temps entre le déclenchement d'une alerte au niveau de la cuisinière et l'affichage du premier message d'assistance sur un effecteur dans l'environnement.
- Le temps entre le déclenchement d'une alerte au niveau de la cuisinière et la réception de cet événement par Elliot. Il représente le temps de latence du réseau, c'est la contribution du réseau dans le temps global.
- Le temps d'envoi de l'acte d'assistance, qui représente le temps entre la réception de l'acte d'assistance par l'AC (envoyé par l'ontologie) et l'affichage sur un effecteur. Lui aussi représente un temps de latence du réseau.

Une autre limite de la simulation est la variabilité des messages. Le nombre de messages dans l'ontologie est d'un, deux ou trois par niveau de force illocutoire et situation d'alerte, comme le montrent nos résultats. Nous nous sommes appuyés en grande partie sur les messages issus de quelques publications scientifiques en science de la réadaptation auxquels nous en avons ajouté quelques-uns. Les tests en milieu réel nécessiteront que l'ontologie soit enrichie par les experts du domaine clinique.

Au-delà des limites mentionnées ci-dessus, Elliot est un système qui montre que le modèle ontologique et celui des AC peuvent être implémentés. Ils ont le potentiel d'offrir une assistance cognitive graduelle basée sur des messages offrant le minimum d'information requis par le résident pour évoluer dans sa tâche. Le niveau de maturité actuel d'Elliot a été démontré dans ce chapitre par la présentation de son implémentation et la simulation qui a été faite. Pour passer aux expérimentations avec des résidents TCC réels, Elliot ne nécessitera que quelques configurations ne s'attaquant pas à sa structure conceptuelle.

Conclusion

La présente thèse aborde la problématique de l'automatisation de l'assistance cognitive à la réalisation des activités instrumentales de la vie quotidienne dans les maisons connectées. La clientèle cible est la population des personnes ayant des déficits cognitifs à la suite d'un traumatisme craniocérébral (TCC). Il s'agit de tirer parti de l'intelligence ambiante, rendue possible par l'exploitation des données générées par l'Internet des objets, pour suivre l'activité du résident d'une maison connectée et lui délivrer des messages d'assistance adaptés lorsqu'il éprouve des difficultés à évoluer dans sa tâche. Le but de cette thèse est de construire des modèles théoriques qui vont permettre d'implémenter des systèmes d'assistance cognitive dans des environnements d'intelligence ambiante, en particulier les maisons connectées. Il s'agit de mettre sur pied des modèles de représentation des connaissances et des mécanismes de raisonnement et d'interaction entre un résident et une maison connectée aux fins d'assistance cognitive. Plus spécifiquement, la thèse propose la construction d'un dialogue système-résident adaptatif qui remplace les messages statiques des systèmes existants par des messages dynamiques dont les contenus sont gradés par rapport aux situations et au profil du résident. De telle sorte que des systèmes d'assistance cognitive de la prochaine génération puissent les implémenter pour proposer un dialogue d'assistance cognitive adaptatif pour des personnes ayant des déficits cognitifs dus au TCC. La simulation permettant d'évaluer l'utilisabilité et l'efficacité des modèles proposés s'est déroulée avec des données simulant la maison connectée du Laboratoire DOMUS de l'Université de Sherbrooke, au travers de leur implémentation dans le module de sécurité d'un assistant culinaire dédié aux personnes victimes de TCC.

Pour aborder la problématique de cette thèse, nous avons opté pour une approche interdisciplinaire alliant informatique et sciences de la réadaptation pour concevoir

CONCLUSION

et implémenter des interventions cognitives personnalisables et sensibles au contexte du déroulement des activités instrumentales de la vie quotidienne dans les maisons connectées. L'approche se décline en cinq étapes. La première est une exploration de la littérature pour évaluer les tendances en termes de techniques de modélisation des données contextuelles et de raisonnement pour la fourniture de l'assistance dans les systèmes d'intelligence ambiante. Elle nous permet d'identifier les ontologies comme formalisme approprié pour formaliser les connaissances nécessaires à l'automatisation de l'assistance cognitive. La deuxième étape consiste en l'acquisition des connaissances nécessaires en réadaptation cognitive pour notre modélisation. Il s'agit de nous approprier certaines caractéristiques des personnes ayant des déficits cognitifs dus au TCC, des principes de réadaptation, et des interventions explorées dans l'offre de l'assistance verbale. Cette phase permet aussi d'identifier les actes de langage et les « Behaviour Trees » comme modèles complémentaires aux ontologies pour la formalisation de l'interaction système-résident aux fins d'assistance cognitive. La troisième étape de notre démarche s'intéresse à la construction de notre premier modèle, à savoir une ontologie qui s'appuie sur les actes de langage pour formaliser l'assistance cognitive en intégrant des concepts tels que les signaux d'alerte, la gradation et l'évaluation de l'assistance. La quatrième étape consiste à mettre sur pied un modèle dynamique d'interaction système-résident qui permet à un agent intelligent de prendre les décisions d'assistance et s'appuyer sur les connaissances statiques de l'ontologie pour délivrer des messages appropriés sur des effecteurs de l'environnement. La cinquième et dernière étape consiste en l'implémentation et la validation de la faisabilité des modèles construits à l'aide d'une simulation dans la maison connectée d'un laboratoire.

Contributions

La présente thèse vise à pallier certains des problèmes relevés dans les systèmes d'assistance existants en ce qui concerne le déclenchement de l'assistance, le choix des assistances à délivrer et des effecteurs pour le faire, et l'évaluation de cette assistance. Cela est fait en mettant sur pied des modèles pour l'assistance cognitive dans les maisons connectées. Il est souhaitable que ces modèles soient réutilisés dans des systèmes

CONCLUSION

d'intelligence ambiante appliqués à l'assistance cognitive pour améliorer le quotidien des personnes ayant subi un TCC lorsqu'ils accomplissent leurs tâches quotidiennes.

La première contribution est une réponse à la question « *Quels modèles contextuels pour quels services dans les environnements d'intelligence ambiante ?* ». Il s'agit d'une sorte de guide, issu d'une analyse rigoureuse de la littérature, qui renseigne sur les éléments à prendre en compte dans le choix des modèles contextuels à utiliser en fonction des services que l'on souhaite implémenter dans les systèmes d'intelligence ambiante dédiés aux personnes ayant des incapacités. L'idée que nous soutenons est que les modèles de représentation des données du contexte et les mécanismes de raisonnement doivent être choisis en fonction des services offerts dans ces systèmes. L'étude permet également d'intégrer la nature et le type des données manipulées comme critère de choix. Le résultat de ce travail donne des clés aux chercheurs et ingénieurs pour faire des choix éclairés des modèles contextuels et de raisonnement à mettre en place pour offrir des services adaptatifs et personnalisés dans des systèmes d'intelligence ambiante. Cette contribution a fait l'objet d'un chapitre du livre *Internet of Things - Cases and studies* de l'éditeur *Springer* publié en juillet 2021.

La deuxième contribution se situe dans le domaine de l'ingénierie des connaissances et propose un modèle ontologique qui formalise les connaissances nécessaires pour automatiser l'assistance cognitive dans une maison connectée. Elle tire parti de la première contribution pour choisir les ontologies comme étant appropriées pour cette modélisation. L'idée soutenue ici est qu'une modélisation à partir des actes de langages et des ontologies permet d'offrir une assistance adaptative et personnalisée. Pour soutenir une assistance dynamique et adaptative en fonction du comportement de la personne, l'ontologie comporte trois perspectives. La première est la perspective *Situation* qui englobe les connaissances qui caractérisent une situation d'assistance et décrit entre autres les profils des personnes ayant des déficits cognitifs et qui auront besoin d'assistance, certaines interventions basées sur l'assistance verbale en réadaptation cognitive et le contexte d'accomplissement des activités. La deuxième est la perspective *Acte d'assistance* qui formalise les messages d'assistance et leur gradation. La troisième est la perspective *Evaluation* qui décrit le comportement de la personne après avoir reçu l'assistance. Le résultat est un modèle capable de fournir les connaissances pour identifier les situations où il y a un besoin d'assistance, pour

CONCLUSION

délivrer des messages d’assistance appropriés, et pour évaluer leur succès ou échec auprès de la personne assistée. Cette contribution soumise, puis révisée en fonction des commentaires des relecteurs de la revue *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* de l’éditeur *Springer*, est en considération pour publication dans ladite revue.

La troisième et dernière contribution est un modèle dynamique de prise de décision et d’interaction système-résident pour l’assistance cognitive dans les maisons connectées. Ce travail complète la modélisation statique de l’ontologie par une modélisation dynamique qui permet d’implémenter un agent intelligent capable de prendre les décisions d’assistance et de gérer l’interaction avec la personne assistée. Nous soutenons ici l’idée selon laquelle une modélisation basée sur des « behaviour trees » donne à l’agent d’assistance les capacités de perception, de délibération et la réactivité nécessaire pour savoir à quel moment assister, utiliser l’ontologie pour choisir les messages à délivrer et les effecteurs appropriés, et aussi évaluer les réactions des utilisateurs pour s’adapter en conséquence. Cette contribution a été publiée dans *ACM Digital Library* et a été présentée lors de la neuvième édition de la conférence *Human-Agent Interaction (HAI2021)* organisée par *Nagoya University (Japan)* du 09 au 11 novembre 2021.

Critique du travail

Les éléments principaux qui permettent d’évaluer nos travaux sont d’une part la satisfaction des objectifs assignés à cette thèse et d’autre part la déclinaison de ses insuffisances.

Retour sur les objectifs

À la suite de la revue de la littérature sur les systèmes s’appuyant sur l’Internet des objets et l’intelligence ambiante pour fournir des services, en particulier les systèmes dédiés à l’assistance aux personnes ayant subi un TCC en particulier, il est apparu un besoin d’avoir des systèmes qui assistent au bon moment, donnent l’assistance minimale qui aide la personne à avancer dans sa tâche, et évaluent l’assistance délivrée. C’est ainsi que quatre objectifs spécifiques ont été formulés dans le but de combler ce

CONCLUSION

besoin :

1. Identifier les modèles de représentation du contexte et les raisonnements appropriés, pour la modélisation des connaissances nécessaires à la fourniture de l'assistance cognitive dans des environnements d'intelligence ambiante ;
2. Construire le modèle formel de connaissances sur lequel va reposer l'interaction système-résident dans le contexte de l'assistance cognitive ;
3. Modéliser le raisonnement clinique utilisé dans l'interaction d'assistance et planifier l'assistance cognitive sous forme d'interaction système-résident contextualisée, qui s'adapte à l'évolution du résident lors de la réalisation de son activité ;
4. Effectuer une validation préliminaire des modèles développés par une simulation dans le module de sécurité d'un assistant culinaire qui aide les personnes ayant un TCC dans la préparation sécuritaire de leurs repas.

Ces objectifs ont été atteints en partie ou en totalité comme le témoignent les articles scientifiques publiés, acceptés ou soumis qui en rendent compte. L'objectif 1 a été atteint en totalité, d'une part grâce au travail mené dans le chapitre 1 qui a permis de sélectionner les ontologies, et d'autre part par le travail dans le chapitre 2 et le chapitre 3 qui ont permis d'ajouter les actes de langage et les « behaviour trees » à nos outils méthodologiques pour la formalisation de l'assistance cognitive dans les maisons connectées. L'objectif 2 lui aussi a été totalement atteint et l'ontologie a été conçue et implémentée en OWL. Elle contient les connaissances pouvant permettre à un agent intelligent de savoir quand assister, de choisir les messages à délivrer selon différents grades (des plus vagues aux plus explicites) et d'évaluer l'assistance. L'objectif 3 n'a pas été totalement atteint, car bien que généralisable, le modèle dynamique comporte des insuffisances liées à son illustration dans un nombre limité de situations d'assistance. L'objectif 4 lui aussi a été partiellement atteint, malgré la simulation prometteuse qui a été faite avec des données générées automatiquement. Ces insuffisances sont détaillées dans la section suivante.

Limites du travail

Bien qu'apportant des contributions certaines dans le domaine des systèmes automatisés d'assistance pour personnes ayant des déficits cognitifs, le présent travail

CONCLUSION

de thèse comporte des insuffisances dont nous en avons identifié quelques-unes.

Même si les personnes ayant des déficits cognitifs partagent certains types de comportements, les modèles d'assistance cognitive proposés sont basés principalement sur les données probantes de la réadaptation des personnes ayant des déficits cognitifs dus au TCC. Leur généralisation à une autre clientèle nécessitera des études complémentaires.

De façon globale, les modèles développés dans cette thèse reposent sur une bonne compréhension du contexte ambiant. Bien que le modèle ontologique formalise le contexte de déroulement des activités et les situations particulières pouvant survenir (situations où il y a un besoin d'assistance), il ne fait pas la reconnaissance des situations en elles-mêmes (reconnaissance d'activité, de posture, d'utilisation d'objets, etc.). Les systèmes implémentant nos modèles doivent donc prévoir en complément des modules devant identifier de façon adéquate l'évolution du résident dans sa tâche. Dans notre simulation, nous avons tenu pour acquis qu'un module existant permet de renseigner Elliot, notre agent d'assistance, sur trois situations simples où il y a un bris de sécurité de la cuisinière et sur les déplacements de l'utilisateur dans l'appartement. Ce module existe effectivement dans COOK. Cependant pour des situations plus complexes, comme détecter une serviette posée au-dessus de la cuisinière par exemple, des méthodes plus sophistiquées comme la vision par ordinateur seront nécessaires.

Le modèle d'interaction du chapitre 5 basé sur l'ontologie et les arbres de comportements a été illustré sur l'assistance dans trois scénarios de bris de sécurité lors de l'utilisation d'une cuisinière connectée. Même si le principe de construction de l'arbre de comportement a été décrit et est reproductible dans d'autres situations, nous n'avons pas pu donner un algorithme formel qui généralise sa construction.

Concernant la validation de ce travail, nos simulations ne permettent de valider que la faisabilité des modèles dans l'implémentation des systèmes visés. Bien que les modèles soient construits à partir des connaissances en sciences de la réadaptation et les données probantes, la validation de leur capacité à fournir de l'assistance cognitive aux personnes ayant subi un TCC reste à faire. Cela nécessite que les séquences de messages et leurs contenus soient validés par les ergothérapeutes et que des expérimentations soient faites en situation réelle avec des personnes vivant avec déficits cognitifs dus au TCC.

CONCLUSION

Travaux futurs de recherche

Les travaux immédiats devant suivre le travail présenté dans cette thèse sont la finalisation de l'intégration d'Elliot avec le module de sécurité de COOK, et son expérimentation dans l'infrastructure du laboratoire DOMUS avec des participants humains n'ayant pas de déficits cognitifs.

Une validation en contexte réel avec des personnes ayant des déficits cognitifs du TCC sera nécessaire pour évaluer l'utilisabilité des systèmes basés sur nos modèles, c'est-à-dire leur capacité à fournir une assistance cognitive adaptative basée sur des messages gradés qui sont délivrés en temps opportun au travers des effecteurs disséminés dans l'environnement, en fonction des profils des résidents et de leur évolution lors de l'accomplissement de leurs tâches quotidiennes. Cependant, un travail préalable devra être fait par les ergothérapeutes pour bonifier la configuration du profil utilisateur et l'assistance offerte par le système. Il faudra aussi documenter l'intérêt et l'acceptabilité de cette assistance technologique, tant par les personnes ayant subi un TCC que leurs proches.

Perspectives

Le travail de recherche abordé dans cette thèse suscite des perspectives potentielles non seulement pour l'assistance cognitive dans une maison connectée, mais aussi en dehors, dans d'autres domaines où l'assistance sous forme d'interaction humain-machine adaptée aux besoins des utilisateurs est essentielle. Quelques-unes sont présentées ci-après.

Perspectives en interdisciplinarité/transdisciplinarité

La collaboration croisée entre plusieurs disciplines a été une pierre angulaire de ce travail de thèse qui a non seulement intégré la réadaptation cognitive et l'informatique, mais aussi la philosophie avec les ontologies qui ont représenté les connaissances qui reflètent la réalité clinique, et la linguistique avec les actes de langage qui ont modélisé le contenu du dialogue d'assistance entre le résident et le système. Au cours de ce travail mutuellement enrichissant, grâce à l'informatique, les ergothérapeutes ont exploré des façons de concevoir et généraliser l'assistance cognitive tout en conservant

CONCLUSION

une approche personnalisée à chaque personne avec TCC. Quant aux informaticiens, ils ont appris grâce à l’ergothérapie, à comprendre les difficultés des personnes ayant des troubles cognitifs dans l’accomplissement de leurs tâches, et à développer des modèles qui tiennent compte de leur réalité dans la mesure du possible. D’autres systèmes comportant des interactions entre l’humain et la machine s’enrichiraient à explorer ce genre d’association et de coordination originales de plusieurs disciplines. Ils bénéficieraient ainsi d’une approche intégrée de résolution des problèmes et d’élaboration de modèles à partir des perspectives multiples et variées plaçant le besoin réel de l’humain au centre de la construction de la technologie.

Perspectives dans la maison connectée

Case-based reasoning. Bien que fonctionnel et permettant de planifier des séquences adaptatives de messages d’assistance à délivrer au résident TCC d’une maison connectée, Elliot peut encore être amélioré. En effet, il pourrait tirer parti de la connaissance accumulée au fil du temps sur les assistances délivrées, afin de choisir des assistances plus appropriées pour le résident au fur et à mesure que le système est utilisé. Par exemple, pour chaque situation, Elliot a le choix entre plusieurs actes d’assistance de même force illocutoire (ceci pour qu’il y ait de la variabilité dans les messages, cf. section 6.3.4). Pour l’instant, ce choix n’est pas guidé. On pourrait adjoindre du case-based reasoning [244, 245] à la prise de décision des arbres de comportement, pour permettre à Elliot de sélectionner les actes d’assistances qui fonctionnent le mieux pour le résident dans certaines situations selon l’expérience accumulée. Pour ce faire, chaque situation d’assistance, chaque acte d’assistance et son évaluation (échec/succès) devront être sauvegardés pour qu’on puisse plus tard les comparer aux nouvelles situations. Il faudra cependant faire attention à la gestion des données historisées qui pourront poser des problèmes de performance si elles sont sauvegardées dans l’ontologie dans un fichier au format OWL qui risque d’avoir une taille importante et jouer négativement sur l’efficacité du raisonnement. Au moins deux solutions peuvent être proposées. L’une d’elle serait d’intégrer un mécanisme comme Ontology-Based Data Access (OBDA) [231] pour avoir la possibilité de sauvegarder certaines données dans l’ontologie (données des profils utilisateurs par exemple) et d’autres dans une base de données relationnelle (données des capteurs par exemple)

CONCLUSION

tout en ayant la possibilité d'appliquer les raisonnements ontologiques efficaces sur l'ensemble des connaissances, comme si elles étaient toutes physiquement stockées au même endroit. Une autre option serait l'utilisation d'un triple store performant, comme Allegograph, Stardog, GraphDB ou autre pour stocker toute l'ontologie.

Système de recommandation. Par ailleurs, puisque les déficits cognitifs peuvent évoluer dans le temps (diminuer ou au contraire empirer), les processus d'assistance configurés peuvent devenir inadaptés. Dans la version actuelle d'Elliot, les niveaux d'assistance sont configurés par l'ergothérapeute dans le profil du résident. En cours d'utilisation du système, l'ergothérapeute peut les réajuster si par exemple il constate que les messages d'un certain niveau d'assistance ne fonctionnent pas avec le résident et que le flot des niveaux d'assistance n'est pas approprié. Ce processus, bien que valide, nécessite une charge et un engagement humain importants. Une approche basée sur l'exploitation des données d'utilisation du système apparaît alors comme particulièrement pertinente. L'ajout d'un système de recommandation pour faire des suggestions de configuration à l'ergothérapeute serait très utile pour améliorer continuellement le système et l'adapter davantage au résident. Ce système pourrait bâtir des profils de séquences de messages et recommander par exemple un nouveau flot des niveaux d'assistance en remplacement de celui en cours, en s'appuyant sur les assistances qui fonctionnent bien, c'est-à-dire celles qui ont suscité un comportement approprié de la part du résident TCC. Un tel système pourra également tirer parti des données de plusieurs maisons connectées afin de recommander des flots d'assistance à configurer pour le résident d'une maison en fonction des flots d'assistance configurés pour les résidents des autres maisons et qui ont des profils similaires. Comme dans le cas du case-based reasoning, compte tenu de la nécessité de gérer des données en quantité importante, ici aussi il faudra utiliser un mécanisme performant de stockage et de raisonnement sur l'ontologie tel que OBDA ou un triple store approprié.

Perspectives pour les agents conversationnels et le traitement automatique du langage

Qu'il s'agisse d'un assistant culinaire qui aide par exemple le résident à suivre une recette de cuisine, ou de certains autres types d'assistants, l'intégration d'un agent

CONCLUSION

conversationnel animé (ACA) pourrait rendre les interactions entre l'Homme et la machine plus naturelles et rassurantes en enrichissant à la fois les retours verbaux et non verbaux de l'assistant. On peut penser que l'ontologie de l'assistance pourrait donner la capacité à un ACA d'exprimer des émotions et des attitudes sociales durant son interaction avec l'humain. En particulier, les niveaux de gradation de l'assistance (bâtis à partir des actes de langage) et les profils utilisateurs, tous formalisés dans l'ontologie pourraient nourrir un ACA avec des éléments permettant de faire des choix appropriés quant à l'intonation de la voix, le niveau d'information véhiculé, les expressions corporelles (hochement de tête, etc.) et les expressions du visage (sourire, empathie, etc.) entre autres.

En outre, la technologie Elliot implémentée dans cette thèse fonctionne sans retour explicite du résident pour adapter l'interaction, contrairement à un retour explicite comme le seraient une commande vocale ou l'appui sur un bouton. Cette façon de faire était nécessaire pour l'assistance cognitive (cf. section 2.2.4). Pour certains types d'assistance, il est souhaitable que l'utilisateur fasse des retours ou des demandes explicites via la voix ou la saisie d'un texte. On peut prendre l'exemple d'un agent conversationnel pour un site de vente en ligne dont le rôle est d'assister les utilisateurs face aux difficultés qu'ils rencontrent. On peut penser qu'une ontologie de l'assistance intégrant des caractéristiques des actes de langage pourrait permettre de mieux cerner les sujets abordés et les discours des clients, et de générer des messages aux tonalités appropriées ainsi que des conversations bien structurées et adaptées aux divers profils utilisateurs. En effet, on pourrait par exemple extraire les mots clés des énoncés des utilisateurs et faire des correspondances ou approximations avec les concepts définis dans l'ontologie pour mieux comprendre ces énoncés, et construire toujours à partir de l'ontologie des réponses adaptées et personnalisées, et des bonnes stratégies de dialogue proposant une expérience relationnelle avec le système.

Perspectives pour d'autres types d'assistants automatisés et la vision par ordinateur

Bien qu'étant appliqués à l'assistance cognitive dans cette thèse, on pourrait envisager l'implémentation des modèles théoriques développés (ontologie et AC) dans d'autres types d'assistants où l'on souhaite donner une assistance interactive avec

CONCLUSION

différentes gradations dans l'information délivrée. Considérons l'**aide à la conduite automobile** (ADAS, de l'anglais : Advanced Driver-Assistance System), qui est un système de sécurité active d'information ou d'assistance au conducteur. L'ADAS peut fournir l'assistance par des énoncés vocaux ou l'affichage sur le tableau de bord entre autres. Cependant, doit-il être très directif, explicite, ou beaucoup moins ? Quelle tonalité, quel degré de politesse, et quelle quantité d'information doit-il donner au conducteur pour l'assister sans l'agacer, le stresser, ou le frustrer ? Il ressort de certains sondages que plusieurs conducteurs avouent désactiver les assistants ou ne pas vouloir en retrouver dans leur prochain véhicule. Comme le remarque d'ailleurs Kristin Kolodge, directrice exécutive de la recherche sur l'interaction entre le conducteur et l'automobile chez J.D. Power : « *la technologie ne doit pas imiter ces parents qui harcèlent et surprotègent leurs enfants ; personne ne veut se faire dire à tout bout de champ que sa conduite n'est pas bonne* »⁸. Envoyer des messages appropriés et bien gradés permettrait d'accroître la sécurité, l'efficacité et l'acceptabilité de tels systèmes. On pourrait modéliser entre autres la connaissance sur le profil du conducteur (personnalité, expérimenté/apprenti, etc.), la situation courante (zone de limitation de vitesse, approche d'un panneau d'arrêt, conducteur stressé/calme, itinéraire connu/inconnu, etc.) et les effecteurs disponibles dans l'ontologie, tandis que l'AC serait utilisé pour décider des interactions entre le véhicule et le conducteur. On se retrouverait alors dans un environnement d'intelligence ambiante avec des capteurs de types variés et des effecteurs multimodaux, comme dans une maison connectée, et où les modèles de cette thèse seraient réutilisables ou adaptables.

Par ailleurs, contrairement à la maison connectée où les capteurs visuels (caméras) n'ont pas été utilisés pour des raisons liées à la vie privée, les caméras constituent l'un des moyens principaux de collecte d'information pour un ADAS, qu'il s'agisse de l'analyse du visage du conducteur ou de l'environnement externe du véhicule. Non seulement l'ontologie de l'assistance pourrait être utilisée pour déterminer l'assistance appropriée (selon le profil du conducteur) une fois que les données visuelles ont permis de caractériser la situation d'assistance, mais aussi elle pourrait permettre d'améliorer la **vision par ordinateur**. En s'interfaisant avec les algorithmes de re-

8. <https://www.guideautoweb.com/articles/52236/etude-les-aides-a-la-conduite-sont-trop-agagantes-pour-plusieurs> [consulté en décembre 2021]

CONCLUSION

connaissance d'objets simples, l'ontologie peut améliorer la reconnaissance d'objets et scènes complexes grâce à sa description plus précise des objets, ses liens sémantiques, et sa capacité inférentielle. Ces derniers pourraient permettre de réduire le *gap sémantique* entre les données qui sont extraites des informations visuelles par les algorithmes d'analyse d'images, et leur interprétation dans une scène réelle, augmentant par ce fait même les taux de précision des algorithmes de reconnaissance. En retour, la vision par ordinateur pourrait aussi enrichir l'ingénierie des connaissances par la reconnaissance d'objets non encore décrits dans l'ontologie, donnant ainsi la matière première pour l'enrichissement de la représentation de l'environnement dans l'ontologie.

L'assistance aux utilisateurs et l'interaction humain-machine sont des domaines riches en applications et encore en pleine phase d'exploration. Sans avoir la prétention d'être exhaustives, les perspectives présentées dans cette thèse donnent un aperçu de l'étendue du travail qu'il reste à faire. Aussi, elles suggèrent que l'intégration des modèles issus de l'ingénierie des connaissances avec des systèmes basés sur les données statistiques et l'apprentissage automatique (systèmes de recommandation, case-based reasoning, vision par ordinateur, traitement automatique du langage, etc.) peut contribuer à construire des systèmes intelligents que le monde n'a jamais vus jusqu'à lors. Une perspective très exaltante pour un chercheur en devenir. Allons-y !

Bibliographie

- [1] L. Coetzee and J. Eksteen, “The internet of things - Promise for the future ? An introduction,” *IST-Africa Conference Proceedings*, pp. 1–9, 2011.
- [2] E. Fleisch, “What is the Internet of Things ? An Economic Perspective,” tech. rep., ETH Zurich, University of St. Gallen, Zurich, 2010.
- [3] Y. Lee, J. Lee, and Y. Hwang, “Relating motivation to information and communication technology acceptance : Self-determination theory perspective,” *Computers in Human Behavior*, vol. 51, no. Part A, pp. 418–428, 2015.
- [4] G. Banavar and A. Bernstein, “Software Infrastructure and Design Challenges for Ubiquitous Computing Applications,” *Communications of the ACM*, vol. 45, no. 12, 2002.
- [5] M. Weiser, “The computer of the 21st Century,” *Scientific American*, vol. 265, no. 3, 1991.
- [6] A. Dimitrievski, E. Zdravevski, P. Lameski, and V. Trajkovik, “A survey of Ambient Assisted Living systems : Challenges and opportunities,” *Proceedings of 2016 IEEE 12th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP)*, no. September, pp. 49–53, 2016.
- [7] F. Sadri, “Ambient intelligence : A Survey,” *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 43, no. 4, pp. 1–36, 2011.
- [8] F. K. Aldrich, “Smart Homes : Past, Present and Future,” in *Inside the Smart Home* (R. Harper, ed.), pp. 17–39, Springer London, 2003.

BIBLIOGRAPHIE

- [9] M. R. Alam, M. B. I. Reaz, and M. A. M. Ali, “A review of smart homes - Past, present, and future,” *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C : Applications and Reviews*, vol. 42, no. 6, pp. 1190–1203, 2012.
- [10] A. M. Cook and J. M. Polgar, *Assistive Technologies : Principles and Practice*. Riverport Lane, St. Louis, Missouri : Elsevier Mosby, 4 ed., 2008.
- [11] S. Shahrestani, *Internet of things and smart environments : Assistive technologies for disability, dementia, and aging*. Springer International Publishing, 2017.
- [12] C. N. Xenakidis, A. M. Hadjiantonis, and G. M. Milis, *Assistive Technologies for People with Dementia*. Hershey : IGI Global, 2015.
- [13] B. Dumas, D. Lalanne, and S. Oviatt, “Multimodal Interfaces : A Survey of Principles, Models and Frameworks,” in *Human Machine Interaction*, vol. 5440, ch. 1, pp. 3–26, 2009.
- [14] M. Perry, A. Dowdall, L. Lines, and K. Hone, “Multimodal and ubiquitous computing systems : Supporting independent-living older users,” *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 8, no. 3, pp. 258–270, 2004.
- [15] A. Zaguia, M. Dulva Hina, C. Tadj, and A. Ramdane-Cherif, “Using Multimodal Fusion in Accessing Web Services,” *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, vol. 1, no. 2, pp. 121–137, 2010.
- [16] J. Wang, H. P. Mahajan, P. E. Toto, M. P. McCue, and D. Ding, “The feasibility of an automatic prompting system in assisting people with traumatic brain injury in cooking tasks,” *Disability and Rehabilitation : Assistive Technology*, vol. 14, no. 8, pp. 817–825, 2019.
- [17] S. Blackman, C. Matlo, C. Bobrovitskiy, A. Waldoch, M. L. Fang, P. Jackson, A. Mihailidis, L. Nygård, A. Astell, and A. Sixsmith, “Ambient Assisted Living Technologies for Aging Well : A Scoping Review,” *Journal of Intelligent Systems*, vol. 25, pp. 55–69, jan 2016.

BIBLIOGRAPHIE

- [18] C. Girard, A. B. Charbonneau, and Frédéric F. Payeur, “Le bilan démographique du Québec, Édition 2014,” tech. rep., Institut de la statistique du Québec, 2014.
- [19] H. H. Dodge, T. Kadokawa, T. Hayakawa, M. Yamakawa, A. Sekikawa, and H. Ueshima, “Cognitive impairment as a strong predictor of incident disability in specific ADL-IADL tasks among community-dwelling elders : The Azuchi study,” *Gerontologist*, vol. 45, no. 2, pp. 222–230, 2005.
- [20] A. I. Maas, D. K. Menon, P. D. David Adelson, N. Andelic, and M. J. e. a. Bell, “Traumatic brain injury : Integrated approaches to improve prevention, clinical care, and research,” *The Lancet Neurology*, vol. 16, no. 12, pp. 987–1048, 2017.
- [21] G. Bray, D. Strachan, M. Tomlinson, A. Bienek, and C. Pelletier, “Mapping Connections : an understanding of neurological conditions in Canada.,” tech. rep., Public Health Agency of Canada, 2014.
- [22] L. Wilson, W. Stewart, K. Dams-O’Connor, R. Diaz-Arrastia, L. Horton, D. K. Menon, and S. Polinder, “The chronic and evolving neurological consequences of traumatic brain injury,” *The Lancet Neurology*, vol. 16, no. 10, pp. 813–825, 2017.
- [23] K. D. Cicerone, C. Dahlberg, K. Kalmar, D. M. Langenbahn, J. F. Malec, T. F. Bergquist, T. Felicetti, J. T. Giacino, J. P. Harley, D. E. Harrington, J. Herzog, S. Kneipp, L. Laatsch, and P. A. Morse, “Evidence-based cognitive rehabilitation : Recommendations for clinical practice,” *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 81, no. 12, pp. 1596–1615, 2000.
- [24] A. A. Hyder, C. A. Wunderlich, P. Puvanachandra, G. Gururaj, and O. C. Kobusingye, “The impact of traumatic brain injuries : A global perspective,” *NeuroRehabilitation*, vol. 22, no. 5, pp. 341–353, 2007.
- [25] R. J. Seiler, “Assistive Technology for Individuals with Cognitive Impairments,” tech. rep., Center on Disabilities and Human Development, University of Idaho, Moscow, Idaho, 2007.

BIBLIOGRAPHIE

- [26] M. McCue, J. Hodgins, E. LoPresti, and A. Bargteil, “Telerehabilitation in employment/community supports using video-based activity recognition,” *Telmedicine and e-Health*, vol. 14, no. 1, p. 58, 2008.
- [27] R. D. Hill, L. Backman, and A. S. Neely, *Cognitive rehabilitation in old age*. Oxford University Press, 2000.
- [28] G. Gillen, *Cognitive and Perceptual Rehabilitation*. Elsevier, 2009.
- [29] N. Stocchetti and E. R. Zanier, “Chronic impact of traumatic brain injury on outcome and quality of life : a narrative review,” *Critical care*, no. 20, 2016.
- [30] S. Andrieu and A. Grand, “Place de l’aidant informel dans la consommation médicamenteuse de patients atteints de la maladie d’Alzheimer,” *Gérontologie et société*, vol. 25, no. 103, pp. 187–193, 2002.
- [31] J. C. Rogers, M. B. Holm, L. D. Burgio, E. Granieri, C. Hsu, J. M. Hardin, and B. J. McDowell, “Improving morning care routines of nursing home residents with dementia.,” *Journal of the American Geriatrics Society*, vol. 47, pp. 1049–57, sep 1999.
- [32] A. M. Seelye, M. Schmitter-Edgecombe, B. Das, and D. J. Cook, “Application of cognitive rehabilitation theory to the development of smart prompting technologies,” *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 5, pp. 29–44, 2012.
- [33] G. Le Dorze, J. Villeneuve, A. Zumbansen, M. Masson-Trottier, and C. Bottari, “Verbal Assistance within the Context of an IADL Evaluation,” *Open Journal of Therapy and Rehabilitation*, vol. 02, pp. 182–198, oct 2014.
- [34] A. Fisher, M. Bellon, S. Lawn, and S. Lennon, “Brain injury, behaviour support, and family involvement : putting the pieces together and looking forward,” *Disability and Rehabilitation*, vol. 42, no. 9, pp. 1305–1315, 2020.
- [35] C. A. Marshall, E. Nalder, H. Colquhoun, E. Lenton, M. Hansen, D. R. Dawson, K. Zabjek, and C. Bottari, “Interventions to address burden among family caregivers of persons aging with TBI : A scoping review,” *Brain Injury*, vol. 33, no. 3, pp. 255–265, 2019.

BIBLIOGRAPHIE

- [36] N. Carbonell, “Ambient multimodality : Towards advancing computer accessibility and assisted living,” *Universal Access in the Information Society*, vol. 5, no. 1, pp. 96–104, 2006.
- [37] C. A. Coelho, “Management of discourse deficits following traumatic brain injury : Progress, caveats, and needs,” *Seminars in Speech and Language*, vol. 28, no. 2, pp. 122–135, 2007.
- [38] P. Sim, E. Power, and L. Togher, “Describing conversations between individuals with traumatic brain injury (TBI) and communication partners following communication partner training : Using exchange structure analysis,” *Brain Injury*, vol. 27, no. 6, pp. 717–742, 2013.
- [39] A. Mihailidis and G. R. Fernie, “Context-aware assistive devices for older adults with dementia,” *Gerontechnology*, vol. 2, no. 2, pp. 173–189, 2002.
- [40] T. S. Vogelpohl, C. K. Beck, P. Heacock, and S. O. Mercer, “"I can do it!" Dressing : promoting independence through individualized strategies.,” *Journal of Gerontological Nursing*, vol. 22, pp. 39–42, nov 1996.
- [41] Y. J. Chang, H. Y. Hsu, W. C. Chang, S. M. Peng, Y. R. Chen, and T. Y. Wang, “Context-aware Task Prompting : Sustaining of Supported Employment for People with Severe Mental Illness,” in *2009 WRI International Conference on Communications and Mobile Computing, CMC 2009*, vol. 3, pp. 127–131, 2009.
- [42] C. Bottari, *Perception of experts on criteria for the assessment of the dysexecutive syndrome in everyday activities*. M.sc., Université de Montréal, 2007.
- [43] A. Serna, H. Pigot, J. Bauchet, S. Giroux, V. Rialle, D. L-Desrochers, and M. Mokhtari, “Recommandations ergonomiques pour la conception de systèmes d’assistance cognitive dans les habitats intelligents,” *Proceedings of the Ergonomie et Informatique Avancee Conference (Ergo'IA)*, p. 3, 2010.
- [44] M. Gagnon-Roy, N. Bier, G. Le Dorze, S. Boulé-Riley, G. Paquette, M. Couture, and C. Bottari, “The search for the cognitive equivalents of canes, walkers, and

BIBLIOGRAPHIE

- wheelchairs to support individuals with traumatic brain injury : A Descriptive Multiple-Case Study. (Submitted June 2021)," *Australian Occupational Therapy Journal.*, 2021.
- [45] P. Chahuara, F. Portet, and M. Vacher, "Context-aware decision making under uncertainty for voice-based control of smart home," *Expert Systems with Applications*, vol. 75, pp. 63–79, 2017.
 - [46] B. O'Neill, C. Best, L. O'Neill, S. D. Ramos, and A. Gillespie, "Efficacy of a Micro-Prompting Technology in Reducing Support Needed by People With Severe Acquired Brain Injury in Activities of Daily Living : A Randomized Control Trial," *The Journal of head trauma rehabilitation*, vol. 33, no. 5, pp. E33–E41, 2018.
 - [47] K. Tsui and H. Yanco, "Prompting Devices : A Survey of Memory Aids for Task Sequencing," in *QoLT International Symposium : Intelligent Systems for Better Living.*, (Arlington, VA, USA), 2010.
 - [48] M. M. Sohlberg and C. A. Mateer, *Cognitive Rehabilitation. An Integrative Neuropsychological Approach*, vol. 106. Guilford Press, 2002.
 - [49] S. Giroux, N. Bier, H. Pigot, B. Bouchard, A. Bouzouane, M. Levasseur, M. Couture, C. Bottari, B. Swaine, P.-Y. Therriault, K. Bouchard, F. Le Morellec, S. Pinard, S. Azzi, M. Olivares, T. Zayani, G. Le Dorze, P. De Loor, A. Thépaut, and B. Le Pévédic, "Cognitive Assistance to Meal Preparation : Design, Implementation, and Assessment in a Living Lab," *AAAI Spring Workshop Symposium, Ambient Intelligence for Health and Cognitive Enhancement*, pp. 14–16, 2015.
 - [50] S. Pinard, C. Bottari, C. Laliberté, H. Pigot, M. Olivares, M. Couture, S. Giroux, and N. Bier, "Design and usability evaluation of COOK, an assistive technology for meal preparation for persons with severe TBI," *Disability and Rehabilitation : Assistive Technology*, pp. 1–15, dec 2019.
 - [51] M. Alirezaie, J. Renoux, U. Köckemann, A. Kristoffersson, L. Karlsson, E. Blomqvist, N. Tsiftes, T. Voigt, and A. Loutfi, "An ontology-based context-

BIBLIOGRAPHIE

- aware system for smart homes : E-care@home,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 7, pp. 1–24, 2017.
- [52] M. Baldauf, S. Dustdar, and F. Rosenberg, “A survey on context-aware systems,” *Int. J. Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, vol. 2, no. 4, pp. 263–277, 2007.
- [53] P. Rashidi and A. Mihailidis, “A survey on ambient-assisted living tools for older adults,” *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 17, no. 3, pp. 579–590, 2013.
- [54] A. Forkan, I. Khalil, and Z. Tari, “CoCaMAAL : A cloud-oriented context-aware middleware in ambient assisted living,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 35, pp. 114–127, 2014.
- [55] O. Aritoni and V. Negru, “Sensors Data-Stream Processing Middleware Based on Multi-Agent Model,” *Scalable Computing : Practice and Experience*, vol. 11, no. 1, pp. 19–32, 2010.
- [56] A. K. Dey, *Providing Architectural Support for Building Context-Aware Applications*. PhD thesis, Georgia Institute of Technology, 2000.
- [57] R. Klimek, “Exploration of Human Activities Using Message Streaming Brokers and Automated Logical Reasoning for Ambient-Assisted Services,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 27127–27155, 2018.
- [58] C. Bettini, O. Brdiczka, K. Henricksen, A. Ranganathan, and D. Riboni, “A survey of context modelling and reasoning techniques,” *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 6, pp. 161–180, apr 2010.
- [59] A. El murabet, A. Abtoy, A. Touhafi, and A. Tahiri, “Ambient Assisted living system’s models and architectures : A survey of the state of the art,” *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 2018.
- [60] X. Li, M. Eckert, J.-F. Martinez, and G. Rubio, “Context Aware Middleware Architectures : Survey and Challenges.,” *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 15, pp. 20570–607, aug 2015.

BIBLIOGRAPHIE

- [61] C. Perera, A. Zaslavsky, P. Christen, and D. Georgakopoulos, “Context Aware Computing for the Internet of Things : A Survey,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 1, pp. 414–454, 2014.
- [62] L. M. Camarinha-Matos, F. Ferrada, A. I. Oliveira, J. Rosas, and J. Monteiro, “Care services provision in ambient assisted living,” *Irbm*, vol. 35, no. 6, pp. 286–298, 2014.
- [63] L. Chen and C. Nugent, “Situation aware cognitive assistance in smart homes,” *Journal of Mobile Multimedia*, vol. 6, no. 3, pp. 263–280, 2010.
- [64] D. J. Cook, M. Youngblood, I. Edwin O. Heierman, K. Gopalratnam, A. L. Sira Rao, and F. Khawaja, “MavHome : an agent-based smart home,” in *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom 2003).*, (Fort Worth, TX, USA), pp. 521–524, IEEE, 2003.
- [65] M. De Brouwer, F. Ongenae, P. Bonte, and F. De Turck, “Towards a cascading reasoning framework to support responsive ambient-intelligent healthcare interventions,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 10, 2018.
- [66] M. Wojciechowski, “End User Context Modeling in Ambient Assisted Living,” *International Journal of Advanced Pervasive and Ubiquitous Computing*, vol. 1, no. 3, pp. 61–80, 2010.
- [67] J. B. Mocholí, P. Sala, and J. C. Naranjo, “Ontology for Modeling Interaction in Ambient Assisted Living Environments,” in *XII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2010*, vol. 29, 2010.
- [68] N. Ayari, A. Chibani, Y. Amirat, and E. Matson, “A semantic approach for enhancing assistive services in ubiquitous robotics,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 75, pp. 17–27, 2016.
- [69] M. Eldib, F. Deboeverie, W. Philips, and H. Aghajan, “Behavior analysis for elderly care using a network of low-resolution visual sensors,” *Journal of Electronic Imaging*, vol. 25, no. 4, p. 041003, 2016.

BIBLIOGRAPHIE

- [70] H. Kenfack Ngankam, H. Pigot, D. Lorrain, I. Viens, and S. Giroux, “Context awareness architecture for ambient-assisted living applications : Case study of nighttime wandering,” *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, vol. 7, pp. 1–13, 2020.
- [71] R. C. Chen, Y. H. Huang, C. T. Bau, and S. M. Chen, “A recommendation system based on domain ontology and SWRL for anti-diabetic drugs selection,” *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 4, pp. 3995–4006, 2012.
- [72] D. Riaño, F. Real, J. A. López-Vallverdú, F. Campana, S. Ercolani, P. Mecocci, R. Annicchiarico, and C. Caltagirone, “An ontology-based personalization of health-care knowledge to support clinical decisions for chronically ill patients,” *Journal of Biomedical Informatics*, vol. 45, no. 3, pp. 429–446, 2012.
- [73] S. Zhang, P. McCullagh, C. Nugent, H. Zheng, and N. Black, “An ontological framework for activity monitoring and reminder reasoning in an assisted environment,” *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 4, no. 2, pp. 157–168, 2013.
- [74] C. Jacquet, A. Mohamed, M. Mateos, B. Jean-bart, P. Bretault, and I. Schnepf, “An Ambient Assisted Living Framework Supporting Personalization Based on Ontologies,” *AMBIENT 2012 : The Second International Conference on Ambient Computing, Applications, Services and Technologies*, no. c, pp. 12–18, 2012.
- [75] G. Meditskos, E. Kontopoulos, S. Vrochidis, and I. Kompatsiaris, “Convernness : Ontology-driven conversational awareness and context understanding in multimodal dialogue systems,” *Expert Systems*, no. November 2018, pp. 1–23, 2019.
- [76] K. L. Skillen, L. Chen, C. D. Nugent, M. P. Donnelly, W. Burns, and I. Solheim, “Ontological user modelling and semantic rule-based reasoning for personalisation of Help-On-Demand services in pervasive environments,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 34, pp. 97–109, 2014.
- [77] F. Zhou, J. Jiao, S. Chen, and D. Zhang, “A case-driven ambient intelligence system for elderly in-home assistance applications,” *IEEE Transactions on Sys-*

BIBLIOGRAPHIE

- tems, Man and Cybernetics Part C : Applications and Reviews*, vol. 41, no. 2, pp. 179–189, 2011.
- [78] N. Costa, P. Domingues, F. Fdez-Riverola, and A. Pereira, “A mobile virtual butler to bridge the gap between users and ambient assisted living : A smart home case study,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 14, no. 8, pp. 14302–14329, 2014.
 - [79] O. Adjali, M. Hina, S. Dourlens, and A. Ramdane-Cherif, “Multimodal Fusion, Fission and Virtual Reality Simulation for an Ambient Robotic Intelligence,” *Procedia Computer Science*, vol. 52, pp. 218–225, 2015.
 - [80] B. Yuan and J. Herbert, “Context-aware hybrid reasoning framework for pervasive healthcare,” *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 18, pp. 865–881, apr 2014.
 - [81] M. Olivares, S. Giroux, P. De Loor, A. Thépaut, H. Pigot, S. Pinard, C. Bottari, G. Le Dorze, and N. Bier, “An ontology model for a context-aware preventive assistance system : reducing exposition of individuals with Traumatic Brain Injury to dangerous situations during meal preparation,” *2nd IET International Conference on Technologies for Active and Assisted Living (TechAAL 2016)*, p. 8, 2016.
 - [82] M. Humayun Kabir, M. Robiul Hoque, and S. H. Yang, “Development of a smart home context-aware application : A machine learning based approach,” *International Journal of Smart Home*, vol. 9, no. 1, pp. 217–226, 2015.
 - [83] V. Ghasemi and A. A. Pouyan, “Modeling Users’ Data Traces in Multi-Resident Ambient Assisted Living Environments,” *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 10, no. 1, p. 1289, 2017.
 - [84] J. R. Padilla-López, A. A. Chaaraoui, F. Gu, and F. Flórez-Revuelta, “Visual privacy by context : Proposal and evaluation of a level-based visualisation scheme,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 15, no. 6, pp. 12959–12982, 2015.
 - [85] S. Andreadis, T. G. Stavropoulos, G. Meditskos, and I. Kompatsiaris,

BIBLIOGRAPHIE

- “Dem@Home : Ambient intelligence for clinical support of people living with dementia,” in *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 1588, pp. 27–36, 2016.
- [86] F. Bergeron, S. Giroux, K. Bouchard, and S. Gaboury, “RFID based activities of daily living recognition,” in *IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence Computing, Advanced Trusted Computed, Scalable Computing Communications, Cloud Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCom/IOP/SCI)*, pp. 1–5, IEEE, aug 2017.
 - [87] R. Zgheib, A. D. Nicola, M. L. Villani, E. Conchon, and R. Bastide, “A flexible architecture for cognitive sensing of activities in ambient assisted living,” *Proceedings - 2017 IEEE 26th International Conference on Enabling Technologies : Infrastructure for Collaborative Enterprises, WETICE 2017*, pp. 284–289, 2017.
 - [88] M. H. M. Noor, Z. Salcic, and K. I. Wang, “Ontology-based sensor fusion activity recognition,” *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, pp. 1–15, 2018.
 - [89] M. Bennasar, B. A. Price, A. Stuart, D. Gooch, C. McCormick, L. Clare, A. Ben-naceur, J. Cohen, A. K. Bandara, M. Levine, and B. Nuseibeh, “Knowledge-based architecture for recognising activities of older people,” *Procedia Computer Science*, vol. 159, pp. 590–599, 2019.
 - [90] Z. Tan, L. Xu, W. Zhong, X. Guo, and G. Wang, “Online activity recognition and daily habit modeling for solitary elderly through indoor position-based stigmergy,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 76, no. October, pp. 214–225, 2018.
 - [91] A. R. M. Forkan, I. Khalil, Z. Tari, S. Foufou, and A. Bouras, “A context-aware approach for long-term behavioural change detection and abnormality prediction in ambient assisted living,” *Pattern Recognition*, vol. 48, no. 3, pp. 628–641, 2015.
 - [92] R. Hervás, J. Bravo, and J. Fontechá, “An assistive navigation system based on augmented reality and context awareness for people with mild cognitive

BIBLIOGRAPHIE

- impairments,” *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 18, no. 1, pp. 368–374, 2014.
- [93] M. Bhatt, J. Suchan, and C. Schultz, “Cognitive interpretation of everyday activities - Toward perceptual narrative based visuo-spatial scene interpretation,” *OpenAccess Series in Informatics*, vol. 32, pp. 24–29, 2013.
- [94] S. K. Das, D. J. Cook, A. Bhattacharya, E. O. Heierman Iii, and T.-Y. Lin, “The role of prediction algorithms in the mavhome smart home architecture,” *IEEE Wireless Communications*, pp. 77–84, 2002.
- [95] V. Psyché, B. Daniel, and J. Bourdeau, “Adaptive learning spaces with context-awareness,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Coy Andre, , Y. Hayashi, Maiga, and Chang, eds.), vol. 11528 LNCS, (Cham), pp. 7–13, Springer International Publishing, 2019.
- [96] M. Bazire and P. Brézillon, “Understanding context before using it,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Dey Anind, , B. Kokinov, David, Leake, Roy, and Turner, eds.), vol. 3554 LNAI, (Berlin), pp. 29–40, Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [97] N. Ryan and J. Pascoe, “Enhanced reality fieldwork : the context-aware archaeological assistant,” *applications in archaeology*, pp. 1–9, 1998.
- [98] A. R. M. Forkan, I. Khalil, A. Ibaida, and Z. Tari, “BDCaM : Big Data for Context-Aware Monitoring—A Personalized Knowledge Discovery Framework for Assisted Healthcare,” *IEEE Transactions on Cloud Computing*, vol. 5, no. 4, pp. 628–641, 2015.
- [99] S. A. Zerawa, K. Pollhammer, and T. Turek, “Simplifying routine tasks using contactless smartcards : RFID-based applications for elderly people,” in *IEEE AFRICON Conference*, no. September, pp. 1–6, IEEE, 2011.

BIBLIOGRAPHIE

- [100] R. López-Cózar and Z. Callejas, “Multimodal Dialogue for Ambient Intelligence and Smart Environments,” in *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*, pp. 559–579, 2010.
- [101] E. Zdravevski, P. Lameski, V. Trajkovik, A. Kulakov, I. Chorbev, R. Goleva, N. Pombo, and N. Garcia, “Improving Activity Recognition Accuracy in Ambient-Assisted Living Systems by Automated Feature Engineering,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 5262–5280, 2017.
- [102] G. Stucki, “International classification of functioning, disability, and health (ICF) : A promising framework and classification for rehabilitation medicine,” in *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 84, pp. 733–740, oct 2005.
- [103] T. G. Stavropoulos, E. Kontopoulos, N. Bassiliades, J. Argyriou, A. Bikakis, D. Vrakas, and I. Vlahavas, “Rule-based approaches for energy savings in an ambient intelligence environment,” *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 19, pp. 1–23, may 2015.
- [104] G. Okeyo, L. Chen, H. Wang, and R. Sterritt, “Dynamic sensor data segmentation for real-time knowledge-driven activity recognition,” *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 10, no. PART B, pp. 155–172, 2014.
- [105] R. Velik, “A brain-inspired multimodal data mining approach for human activity recognition in elderly homes,” *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, vol. 6, no. 4, pp. 447–468, 2014.
- [106] F. E. Martínez-Pérez, J. Á. González-Fraga, J. C. Cuevas-Tello, and M. D. Rodríguez, “Activity inference for ambient intelligence through handling artifacts in a healthcare environment,” *Sensors*, vol. 12, no. 1, pp. 1072–1099, 2012.
- [107] M. El Amine Elforaici, I. Chaaraoui, W. Bouachir, Y. Ouakrim, and N. Mezghani, “Posture recognition using an rgb-d camera : exploring 3d body modeling and deep learning approaches,” *IEEE Life Sciences Conference (LSC)*, pp. 69–72, 2018.

BIBLIOGRAPHIE

- [108] A. Manzi, P. Dario, and F. Cavallo, “A human activity recognition system based on dynamic clustering of skeleton data,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 5, 2017.
- [109] J. F. Allen, “Maintaining Knowledge about Temporal Intervals,” *Communications of the ACM*, vol. 26, pp. 832–843, nov 1983.
- [110] J. R. Hobbs and C. Little, “Time Ontology in OWL. W3C Candidate Recommendation,” 2020.
- [111] N. Díaz-Rodríguez, O. L. Cadahía, M. P. Cuéllar, J. Lilius, and M. D. Calvo-Flores, “Handling real-world context awareness, uncertainty and vagueness in real-time human activity tracking and recognition with a fuzzy ontology-based hybrid method,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 14, no. 10, pp. 18131–18171, 2014.
- [112] B. Chikhaoui, S. Wang, and H. Pigot, “A frequent pattern mining approach for ADLS recognition in smart environments,” in *IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications, AINA*, pp. 248–255, 2011.
- [113] F. Bergeron, K. Bouchard, S. Gaboury, and S. Giroux, “Tracking objects within a smart home,” *Expert Systems with Applications*, vol. 113, pp. 428–442, dec 2018.
- [114] B. Abdulrazak, B. Chikhaoui, C. Gouin-Vallerand, and B. Fraikin, “A standard ontology for smart spaces,” *International Journal of Web and Grid Services*, vol. 6, no. 3, pp. 244–268, 2010.
- [115] C. Gouin-Vallerand, B. Abdulrazak, S. Giroux, and A. K. Dey, “A context-aware service provision system for smart environments based on the user interaction modalities,” *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, vol. 5, pp. 47–64, jan 2013.
- [116] D. Preuveneers, Y. Berbers, and W. Joosen, “SAMURAI : A batch and streaming context architecture for large-scale intelligent applications and environ-

BIBLIOGRAPHIE

- ments,” *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, vol. 8, no. 1, pp. 63–78, 2016.
- [117] W. Allègre, T. Burger, J. Y. Antoine, P. Berruet, and J. P. Departe, “A Non-Intrusive Context-Aware System for Ambient Assisted Living in Smart Home,” *Health and Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 129–138, 2013.
- [118] A. Lotfi, C. Langensiepen, S. M. Mahmoud, and M. J. Akhlaghinia, “Smart homes for the elderly dementia sufferers : Identification and prediction of abnormal behaviour,” *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 3, no. 3, pp. 205–218, 2012.
- [119] E. Castillejo, A. Almeida, D. López-de Ipiña, and L. Chen, “Modeling Users, Context and Devices for Ambient Assisted Living Environments.,” *Sensors (14248220)*, vol. 14, pp. 5354–5391, mar 2014.
- [120] N. D. Rodríguez, M. P. Cuéllar, J. Lilius, and M. D. Calvo-Flores, “A survey on ontologies for human behavior recognition,” *ACM Computing Surveys*, vol. 46, no. 4, pp. 1–33, 2014.
- [121] M. J. O’Connor, G. Hernandez, and A. Das, “A Rule-Based Method for Specifying and Querying Temporal Abstractions BT - Artificial Intelligence in Medicine,” (Berlin, Heidelberg), pp. 255–259, Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [122] F. Weichert, C. Mertens, L. Walczak, G. Kern-Isbner, and M. Wagner, “A novel approach for connecting temporal-ontologies with blood flow simulations,” *Journal of Biomedical Informatics*, vol. 46, no. 3, pp. 470–479, 2013.
- [123] A. Panuccio, M. Bicego, and V. Murino, “A Hidden Markov Model-Based Approach to Sequential Data Clustering,” *Journal of Neural Engineering*, vol. 15, no. 3, pp. 734–743, 2018.
- [124] S. S. Dikmen, J. E. Machamer, J. M. Powell, and N. R. Temkin, “Outcome 3 to 5 years after moderate to severe traumatic brain injury,” *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 84, no. 10, pp. 1449–1457, 2003.

BIBLIOGRAPHIE

- [125] L. Himanen, R. Portin, H. Isoniemi, H. Helenius, T. Kurki, and O. Tenovuo, “Longitudinal cognitive changes in traumatic brain injury : A 30-year follow-up study,” *Neurology*, vol. 66, no. 2, pp. 187–192, 2006.
- [126] K. Matchett, *Cognitive Rehabilitation Therapy for Traumatic Brain Injury*. National Academies Press, 2015.
- [127] J. A. Middleton, “Acquired brain injury,” *Psychiatry*, vol. 4, no. 7, pp. 61–64, 2005.
- [128] J. P. Toglia, S. A. Rodger, and H. J. Polatajko, “Anatomy of cognitive strategies : A therapist’s primer for enabling occupational performance,” *Canadian Journal of Occupational Therapy*, vol. 79, no. 4, pp. 225–236, 2012.
- [129] B. K. Merritt, “Validity of using the Assessment of Motor and Process Skills to determine the need for assistance,” *American Journal of Occupational Therapy*, vol. 65, no. 6, pp. 643–650, 2011.
- [130] C. Bottari, C. Dassa, C. M. Rainville, and É. Dutil, “The IADL Profile : Development, content validity, intra- and interrater agreement,” *Canadian Journal of Occupational Therapy*, vol. 77, no. 2, pp. 90–100, 2010.
- [131] C. Bottari, C. Dassa, C. Rainville, and Élisabeth Dutil, “The factorial validity and internal consistency of the instrumental activities of daily living profile in individuals with a traumatic brain injury,” *Neuropsychological Rehabilitation*, vol. 19, no. 2, pp. 177–207, 2009. PMID : 18720231.
- [132] C. Bottari, C. Dassa, C. Rainville, and É. Dutil, “A Generalizability Study of the Instrumental Activities of Daily Living Profile,” *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 91, no. 5, pp. 734–742, 2010.
- [133] L. F. d. S. Talmelli, A. C. M. Gratão, L. Kusumota, and R. A. P. Rodrigues, “Functional independence level and cognitive deficit in elderly individuals with Alzheimer’s disease,” *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, vol. 44, no. 4, pp. 933–939, 2010.

BIBLIOGRAPHIE

- [134] C. Coelho, M. Ylvisaker, and L. S. Turkstra, “Nonstandardized assessment approaches for individuals with traumatic brain injuries,” *Seminars in Speech and Language*, vol. 26, no. 4, pp. 223–241, 2005.
- [135] P. Burke, J. Bain, D. Robinson, and J. Dunleavey, “Acute red ear in children : controlled trial of non-antibiotic treatment in general practice.,” *BMJ (Clinical research ed.)*, vol. 303, no. 6802, pp. 558–562, 1991.
- [136] L. Fasotti, F. Kovacs, P. A. Eling, and W. H. Brouwer, “Time pressure management as a compensatory strategy training after closed head injury,” *Neuropsychological Rehabilitation*, vol. 10, no. 1, pp. 47–65, 2000.
- [137] J. Duncan, H. Emslie, P. Williams, R. Johnson, and C. Freer, “Intelligence and the Frontal Lobe : The Organization of Goal-Directed Behavior,” *Cognitive Psychology*, vol. 30, no. 3, pp. 257–303, 1996.
- [138] B. Levine, I. H. Robertson, L. Clare, G. Carter, J. Hong, B. A. Wilson, J. Duncan, and D. T. Stuss, “Rehabilitation of executive functioning : An experimental-clinical validation of Goal Management Training,” *Journal of the International Neuropsychological Society*, vol. 6, no. 3, pp. 299–312, 2000.
- [139] A. Barman, A. Chatterjee, and R. Bhide, “Cognitive impairment and rehabilitation strategies after traumatic brain injury,” *Indian Journal of Psychological Medicine*, vol. 38, no. 3, pp. 172–181, 2016.
- [140] C. Bottari, G. Iliopoulos, P. L. W. Shun, and D. R. Dawson, “The clinical reasoning that guides therapists in interpreting errors in real-world performance,” *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, vol. 29, no. 6, pp. E18–E30, 2014.
- [141] M. Gagnon-Roy, N. Bier, S. Boulé-Riley, H. Keurentjes, P. Lam Wai Shun, G. Le Dorze, and C. Bottari, “Providing Verbal Assistance When Assessing Individuals Living with a Traumatic Brain Injury,” *Canadian Journal of Occupational Therapy*, p. 000841742110342, aug 2021.

BIBLIOGRAPHIE

- [142] C. J. Camp, M. J. Bird, and K. E. Cherry, “Retrieval Strategies as a Rehabilitation Aid for Cognitive Loss in Pathological Aging,” in *Cognitive rehabilitation in old age* (R. D. Hill, L. Bäckman, and A. S. Neely, eds.), 2000.
- [143] C. Greber, J. Ziviani, and S. Rodger, “The four quadrant model of facilitated learning : A clinically based action research project,” *Australian Occupational Therapy Journal*, vol. 54, no. 2, pp. 149–152, 2007.
- [144] J. Bauchet, H. Pigot, S. Giroux, D. Lussier-Desrochers, Y. Lachapelle, and M. Mokhtari, “Designing judicious interactions for cognitive assistance,” in *11th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, pp. 11–18, 2009.
- [145] C. Bottari and É. Dutil, “Guide de l’utilisateur du Profil des activités instrumentales,” tech. rep., Université de Montréal, Montréal, Québec, 2020.
- [146] N. D. Anderson, G. Winocur, and H. Palmer, “Principles of cognitive rehabilitation,” in *Handbook of Clinical Neuropsychology* (J. Gurd, U. Kischka, and J. Marshall, eds.), ch. 4, pp. 50–96, Oxford University Press, 2nd editio ed., 2010.
- [147] L. N. Gitlin, “Conducting Research on Home Environments : Lessons Learned and New Directions,” *The Gerontologist*, vol. 43, no. 5, pp. 628–637, 2003.
- [148] I. Kollak, *Safe at home with assistive technology*. Springer International Publishing, 1 ed., 2017.
- [149] P. P. Vitaliano, J. Yi, P. E. Phillips, D. Echeverria, H. Young, and I. C. Siegler, “Psychophysiological mediators of caregiver stress and differential cognitive decline,” *Psychology and Aging*, vol. 20, no. 3, pp. 402–411, 2005.
- [150] K. Madara Marasinghe, “Assistive technologies in reducing caregiver burden among informal caregivers of older adults : A systematic review,” *Disability and Rehabilitation : Assistive Technology*, vol. 11, no. 5, pp. 353–360, 2016.

BIBLIOGRAPHIE

- [151] E. Aarts and J. Encarnaçāo, “Into ambient intelligence,” in *True Visions : The Emergence of Ambient Intelligence* (E. Aarts and J. Encarnaçāo, eds.), pp. 1–16, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
- [152] A. K. Dey and G. D. Abowd, “Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness,” *Computing Systems*, vol. 40, no. 3, pp. 304–307, 1999.
- [153] K. Brooks, “The Context Quintet : Narrative Elements Applied to Context Awareness,” in *International Conference on Human Computer Interaction (HCI 2003)*, (Mahwah), Erlbaum Associates, Inc, 2003.
- [154] S. T. Peek, E. J. Wouters, J. van Hoof, K. G. Luijkx, H. R. Boeije, and H. J. Vrijhoef, “Factors influencing acceptance of technology for aging in place : A systematic review,” *International Journal of Medical Informatics*, vol. 83, no. 4, pp. 235–248, 2014.
- [155] G. Dewsbury and J. Linskell, “Smart home technology for safety and functional independence : The UK experience,” *NeuroRehabilitation*, vol. 28, pp. 249–260, 2011.
- [156] L. A. Ehlhardt, M. M. Sohlberg, A. Glang, and R. Albin, “TEACH-M : A pilot study evaluating an instructional sequence for persons with impaired memory and executive functions,” *Brain Injury*, vol. 19, no. 8, pp. 569–583, 2005.
- [157] J. Jasiewicz, W. Kearns, J. Craighead, J. L. Fozard, S. Scott, and J. McCarthy, “Smart rehabilitation for the 21st century : The Tampa Smart Home for veterans with traumatic brain injury,” *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 48, no. 8, 2011.
- [158] J. Gómez, G. Montoro, P. A. Haya, X. Alamán, S. Alves, and M. Martínez, “Adaptive manuals as assistive technology to support and train people with acquired brain injury in their daily life activities,” *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 17, no. 6, pp. 1117–1126, 2013.
- [159] L. Jarvis, T. Wallace, J. Morris, and K. Caves, “Smart Home Stress Assist : A

BIBLIOGRAPHIE

- Real-Time Intervention for PTSD,” *Journal on Technology and Persons with Disabilities*, vol. 8, pp. 40–52, 2020.
- [160] G. A. Abowd, A. Bobick, I. Essa, E. Mynatt, and W. Rogers, “The Aware Home : Developing Technologies for Successful Aging,” *National Conference on Artificial Intelligence*, no. January, pp. 1–7, 2002.
- [161] H. Si, S. J. Kim, N. Kawanishi, and H. Morikawa, “A context-aware reminding system for daily activities of dementia patients,” in *27th International Conference on Distributed Computing Systems*, pp. 50–55, 2007.
- [162] C. Consel, L. Dupuy, and H. Sauzéon, “Homeassist : An assisted living platform for aging in place based on an interdisciplinary approach,” in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 590, pp. 129–140, 2018.
- [163] L. Dupuy, C. Consel, and H. Sauzeon, “Une assistance numérique pour les personnes âgées : le projet DomAssist,” 2016.
- [164] B. Johansson and L. Ronnback, “Evaluation of the Mental Fatigue Scale and its relation to Cognitive and Emotional Functioning after Traumatic Brain Injury or Stroke,” *International Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, vol. 02, no. 01, pp. 1–7, 2014.
- [165] J. L. Austin, *How to do things with words*. London : Oxford University Press, 1962.
- [166] J. R. Searle, *Speech Acts an essay in the philosophy of Language*. New York, USA : Cambridge University Press, 1969.
- [167] J. Searle, “A classification of illocutionary acts,” *Language in Society*, vol. 5, no. 1, pp. 1–23, 1976.
- [168] J. Searle, *Studies in the Theory of Speech Acts*. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 1979.
- [169] F. Bellifemine, G. Caire, and D. Greenwood, *Developing Multi-Agent Systems with JADE*. Wiley, 2007.

BIBLIOGRAPHIE

- [170] D. Griol, J. M. Molina, and Z. Callejas, “Modeling the user state for context-aware spoken interaction in ambient assisted living,” *Applied Intelligence*, vol. 40, no. 4, pp. 749–771, 2014.
- [171] S. G. Lee and P. Sathikh, “a Framework for Effective Human-To- Machine Communication for Artificial Interactive Systems,” in *International Conference on Engineering Design, Iced13*, no. August, (Seoul, Korea), pp. 1–9, 2013.
- [172] R. Arp, B. Smith, and A. D. Spear, *Building Ontologies With Basic Formal Ontology*. London, England : The MIT Press, 2015.
- [173] M. Fernandez, A. Gomez-Perez, and N. Juristo, “METHONTOLOGY : From Ontological Art Towards Ontological Engineering,” *Proceedings of the Ontological Engineering AAAI-97 Spring Symposium Series*, vol. SS-97-06, pp. 115–122, 1997.
- [174] N. Guarino, D. Oberle, and S. Staab, “What is an Ontology ?,” in *Handbook on Ontologies, 2nd Edition* (S. Staab and R. Studer, eds.), pp. 1–17, Springer Dordrecht Heidelberg, 2009.
- [175] R. Studer, V. R. Benjamins, and D. Fensel, “Knowledge Engineering : Principles and methods,” *Data and Knowledge Engineering*, vol. 25, no. 1-2, pp. 161–197, 1998.
- [176] D. Fensel, *Ontologies : A silver bullet for knowledge management and electronic commerce*. Heidelberg(DE) : Springer, 2nd ed., 2004.
- [177] F. Fürst, *Contribution a l'ingenierie des ontologies, une méthode et un outil d'opérationnalisation*. PhD thesis, École Polytechnique de l’Université de Nantes (EPUN), 2004.
- [178] N. Guarino, “Semantic Matching : Formal Ontological Distinctions for Information Organization, Extraction, and Integration,” in *Information Extraction : A Multidisciplinary Approach to an Emerging Information Technology*, pp. 139–170, Berlin : Springer-Verlag, 1997.

BIBLIOGRAPHIE

- [179] G. Van Heijst, A. Schreiber, and B. Wielinga, “Using Explicit Ontologies in Knowledge Based Systems Development,” *International Journal of Human computer studies*, vol. 46, pp. 183—292, 1997.
- [180] A. Gangemi, N. Guarino, C. Masolo, A. Oltramari, and L. Schneider, “Sweetening Ontologies with DOLCE,” in *Knowledge Engineering and Knowledge Management : Ontologies and the Semantic Web* (A. Gómez-Pérez and V. R. Benjamins, eds.), (Berlin, Heidelberg), pp. 166–181, Springer Berlin Heidelberg, 2002.
- [181] Q. Ni, I. P. De La Cruz, and A. B. G. Hernando, “A foundational ontology-based model for human activity representation in smart homes,” *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, vol. 8, no. 1, pp. 47–61, 2016.
- [182] M. Compton, P. Barnaghi, L. Bermudez, R. García-Castro, O. Corcho, S. Cox, J. Graybeal, M. Hauswirth, C. Henson, A. Herzog, V. Huang, K. Janowicz, W. D. Kelsey, D. Le Phuoc, L. Lefort, M. Leggieri, H. Neuhaus, A. Nikolov, K. Page, A. Passant, A. Sheth, and K. Taylor, “The SSN ontology of the W3C semantic sensor network incubator group,” *Web Semantics : Science, Services and Agents on the World Wide Web*, vol. 17, pp. 25–32, 2012.
- [183] K. Janowicz, A. Haller, S. J. Cox, D. Le Phuoc, and M. Lefrançois, “SOSA : A lightweight ontology for sensors, observations, samples, and actuators,” *Journal of Web Semantics*, vol. 56, pp. 1–10, 2019.
- [184] F. Baader and W. Nutt, “Basic Description logics,” in *The description logic handbook : Theory, implementation and applications* (F. Baader, D. Calvanese, D. McGuinness, D. Nardi, and P. Patel-Schneider, eds.), Cambridge, UK : Cambridge University Press, 2003.
- [185] C. Bousquet, G. Lagier, A. Lillo-Le Louët, C. Le Beller, A. Venot, and M.-C. Jaulent, “Appraisal of the MedDRA Conceptual Structure for Describing and Grouping Adverse Drug Reactions,” Tech. Rep. 1, 2005.
- [186] R. Hoehndorf, P. N. Schofield, and G. V. Gkoutos, “The role of ontologies

BIBLIOGRAPHIE

- in biological and biomedical research : a functional perspective,” *Briefings in Bioinformatics*, vol. 16, pp. 1069–1080, nov 2015.
- [187] E. S. Alatrish, D. Tošić, and N. Milenković, “Building ontologies for different natural languages,” *Computer Science and Information Systems*, vol. 11, no. 2, pp. 623–644, 2014.
- [188] J. A. Bateman, J. Hois, R. Ross, and T. Tenbrink, “A linguistic ontology of space for natural language processing,” *Artificial Intelligence*, vol. 174, pp. 1027–1071, 2010.
- [189] N. F. Noy and D. L. McGuinness, “Ontology Development 101 : A Guide to Creating Your First Ontology,” tech. rep., Stanford Knowledge Systems Laboratory, Stanford, 2001.
- [190] M. Uschold and M. King, “Towards a Methodology for Building Ontologies,” *Methodology*, vol. 80, no. July, pp. 275–280, 1995.
- [191] M. Gruninger and M. S. Fox, “Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies,” *Ijcai*, vol. 95, pp. 1–10, 1995.
- [192] F. Baader, S. Brandt, and C. Lutz, “Pushing the EL Envelope,” in *19th Joint Int. Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI 2005)*, 2005.
- [193] A. Artale, D. Calvanese, R. Kontchakov, and M. Zakharyaschev, “The DL-Lite Family and Relations,” *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 36, no. v, pp. 1–69, 2009.
- [194] C. J. Mattheus, K. Baclawski, M. M. Kokar, and J. J. Letkowski, “Using SWRL and OWL to capture domain knowledge for a situation awareness application applied to a supply logistics scenario,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 3791 LNCS, pp. 130–144, 2005.
- [195] J. Euzenat and P. Shvaiko, *Ontology Matching*. London : Springer, 2nd ed., 2013.

BIBLIOGRAPHIE

- [196] F. Ingrand and M. Ghallab, “Deliberation for autonomous robots : A survey,” *Artificial Intelligence*, vol. 247, pp. 10–44, 2015.
- [197] F. Wagner, R. Schmuki, T. Wagner, and P. Wolstenholme, *Modeling software with finite state machines : A practical approach*. CRC Press, 2006.
- [198] M. Rojc and I. Mlakar, “Finite-state machine based distributed framework DATA for intelligent ambience systems,” *CIMMACS’09 : Proceedings of the 8th WSEAS International on Computational intelligence, man-machine systems and cybernetics*, pp. 80–85, 2009.
- [199] C. Langensiepen, A. Lotfi, and S. Puteh, “Activities recognition and worker profiling in the intelligent office environment using a fuzzy finite state machine,” *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp. 873–880, 2014.
- [200] M. Colledanchise and P. Ögren, *Behavior Trees in Robotics and AI : An Introduction*. Chapman & Hall/CRC, 2017.
- [201] I. Millington, *Artificial Intelligence for Games*. CRC Press, second ed., 2009.
- [202] R. A. Brooks, “A Robust Layered Control System For A Mobile Robot,” *IEEE Journal on Robotics and Automation*, vol. 2, no. 1, pp. 14–23, 1986.
- [203] J. Connell, “Creature Design with the Subsumption Architecture.,” *Ijcai*, pp. 1124–1126, 1987.
- [204] E. Amir and P. Maynard-Zhang, “Logic-based subsumption architecture,” *Artificial Intelligence*, vol. 153, no. 1-2, pp. 167–237, 2004.
- [205] N. J. Nilsson, “Teleo-reactive programs for agent control,” *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 1, pp. 139–158, 1993.
- [206] K. Rajan, F. Py, C. McGann, and J. Ryan, “Onboard adaptive control of AUVs using automated planning and execution,” *International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology (UUST)*, pp. 1–13, 2009.

BIBLIOGRAPHIE

- [207] S. Marinovic, K. Twidle, and N. Dulay, “Teleo-Reactive workflows for pervasive healthcare,” *2010 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, PERCOM Workshops 2010*, pp. 316–321, 2010.
- [208] P. Sánchez, B. Álvarez, E. Antolinos, D. Fernández, and A. Iborra, “A teleo-reactive node for implementing internet of things systems,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 4, 2018.
- [209] A. So, W. So, and Z. Nagy, *The Applied Artificial Intelligence Workshop*. Packt Publishing, 2020.
- [210] J. M. Lopez-Gude, A. Moreno-Fernandez-De-Leceta, A. Martinez-Garcia, and M. Graña, “Lynx : Automatic Elderly Behavior Prediction in Home Telecare,” *BioMed Research International*, vol. 2015, 2015.
- [211] T. Maekawa, Y. Kishino, Y. Sakurai, and T. Suyama, “Activity recognition with hand-worn magnetic sensors,” *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 17, no. 6, pp. 1085–1094, 2013.
- [212] M. G. Lopez, K. Hasegawa, and M. Imai, “Adaptive behavior generation for conversational robot in human-robot negotiation environment,” in *HAI 2017 - Proceedings of the 5th International Conference on Human Agent Interaction*, (Bielefeld, Germany), pp. 151–159, 2017.
- [213] A. J. Champandard and P. Dunstan, “The Behavior Tree Starter Kit,” in *Game AI Pro :Collected Wisdom of Game AI Professionals* (S. Rabin, ed.), pp. 73–91, CRC Press, 2013.
- [214] D. Isla, “Handling Complexity in the Halo 2 AI,” in *Game Developers Conference*, 2005.
- [215] C. Simpson, “Behavior trees for AI : How they work,” Gamasutra, 2014.
- [216] M. Colledanchise, D. Almeida, and P. Ögren, “Towards blended reactive planning and acting using behavior trees,” *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 2019-May, pp. 8839–8845, 2019.

BIBLIOGRAPHIE

- [217] E. Safronov, M. Colledanchise, and L. Natale, “Task planning with belief behavior trees,” *arXiv*, pp. 6870–6877, 2020.
- [218] S. Sitanskiy, L. Sebastia, and E. Onaindia, “Behaviour recognition of planning agents using behaviour trees,” in *Procedia Computer Science*, vol. 176, pp. 878–887, Elsevier B.V., jan 2020.
- [219] Y. Francillette, B. Bouchard, S. Gaboury, and K. Bouchard, “Modeling Human Activities Using Behavior Trees in Smart Homes,” in *ACM PErvasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA)*, (Corfu, Greece), 2018.
- [220] Y. Francillette, B. Bouchard, K. Bouchard, and S. Gaboury, “Modeling, learning, and simulating human activities of daily living with behavior trees,” *Knowledge and Information Systems*, vol. 62, no. 10, pp. 3881–3910, 2020.
- [221] M. K. Hassan, A. I. El Desouky, S. M. Elghamrawy, and A. M. Sarhan, “Intelligent hybrid remote patient-monitoring model with cloud-based framework for knowledge discovery,” *Computers and Electrical Engineering*, vol. 70, pp. 1034–1048, 2018.
- [222] M. Nihei and M. G. Fujie, “Proposal for a New Development Methodology for Assistive Technology Based on a Psychological Model of Elderly People,” in *Assistive Technologies* (F. A. A. Cheein, ed.), Rijeka, Croatia : InTech, mar 2012.
- [223] S. Langrial, “Developing assistive interventions : Promises and challenges,” in *Assistive Technologies for Physical and Cognitive Disabilities* (L. B. Theng, ed.), pp. 136–151, Hershey PA, USA : IGI Global, dec 2014.
- [224] C. Abras, D. Maloney-Krichmar, and J. Preece, “User-centered design,” in *Bainbridge, W. Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, Thousand Oaks : Sage Publications, 2004.
- [225] C. Bottari, É. Dutil, C. Auger, and J. Lamoureux, “Structural validity and internal consistency of an ecological observation-based assessment, the Activi-

BIBLIOGRAPHIE

- ties of Daily Living (ADL) Profile," *Australian Occupational Therapy Journal*, vol. 67, pp. 407–416, 2020.
- [226] S. Zarshenas, M. Gagnon-Roy, M. Couture, N. Bier, S. Giroux, E. Nalder, H. Pigot, D. Dawson, F. Poncet, G. LeDorze, and C. Bottari, "Potential of using an assistive technology to address meal preparation difficulties following acquired brain injury : clients' and caregivers' perspectives," *Disability and Rehabilitation : Assistive Technology*, pp. 1–9, feb 2021.
- [227] A. A. Tekemetieu, C. Haidon, F. Bergeron, H. K. Ngankam, H. Pigot, C. Gouin-Vallerand, and S. Giroux, "Context Modelling in Ambient Assisted Living : Trends and Lessons," in *Internet of Things : Cases and Studies* (F. P. García Márquez and B. Lev, eds.), ch. 10, pp. 189–225, Springer, Cham, 2021.
- [228] E. Haskins, K. Cicerone, K. Dams-O'Connor, R. Eberle, D. Langenbahn, and A. Shapiro-Rosenbaum, *Cognitive Rehabilitation Manual ; Translating Evidence-Based Recommendations into Practice*. Reston, Virginia, USA : ACRM Publishing, 2012.
- [229] H. Kenfack Ngankam, *Modèle sémantique d'intelligence ambiante pour le développement « Do-It-Yourself » d'habitats intelligents*. PhD thesis, Université de Sherbrooke, 2019.
- [230] R. Radziszewski, H. K. Ngankam, V. Grégoire, D. Lorrain, H. Pigot, and S. Giroux, "Designing calm and non-intrusive ambient assisted living system for monitoring nighttime wanderings," *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, vol. 13, no. 2, pp. 211–234, 2017.
- [231] M. Rodríguez-Muro, R. Kontchakov, and M. Zakharyaschev, "Ontology-Based Data Access : Ontop of Databases," in *The Semantic Web - ISWC* (H. Alani, L. Kagal, A. Fokoue, P. Groth, C. Biemann, J. X. Parreira, L. Aroyo, N. Noy, C. Welty, and K. Janowicz, eds.), vol. 8218 of *Lecture Notes in Computer Science*, (Berlin, Heidelberg), pp. 558–573, Springer Berlin Heidelberg, 2013.

BIBLIOGRAPHIE

- [232] E. Merdivan, D. Singh, S. Hanke, and A. Holzinger, “Dialogue Systems for Intelligent Human Computer Interactions,” *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, vol. 343, pp. 57–71, 2019.
- [233] M. Ledvinka and P. Křemen, “JOPA : Accessing ontologies in an object-oriented way,” *ICEIS 2015 - 17th International Conference on Enterprise Information Systems, Proceedings*, vol. 2, pp. 212–221, 2015.
- [234] A. A. Tekemetieu, H. Pigot, C. Bottari, M. Gagnon-Roy, and S. Giroux, “Modeling an adaptive resident-system interaction for cognitive assistance in ambient assisted living,” in *HAI '21 : International Conference on Human-Agent Interaction, Virtual Event, Japan, November 9 - 11, 2021* (K. Ogawa, T. Yonezawa, G. M. Lucas, H. Osawa, W. Johal, and M. Shiomi, eds.), pp. 183–192, ACM, 2021.
- [235] M. Gagnon-Roy, N. Bier, M. Couture, S. Giroux, H. Pigot, S. Zarshenas, and C. Bottari, “Facilitators and obstacles to the use of a cognitive orthosis for meal preparation within the homes of adults with a moderate to severe traumatic brain injury : Informal caregivers and health-care professionals’ perspectives,” *Assistive Technology*, vol. 0, no. 0, 2020.
- [236] H. Imbeault, N. Bier, H. Pigot, L. Gagnon, N. Marcotte, T. Fulop, and S. Giroux, “Electronic organiser and Alzheimer’s disease : Fact or fiction ?,” *Neuropsychological Rehabilitation*, vol. 24, no. 1, pp. 71–100, 2014.
- [237] H. Imbeault, L. Gagnon, H. Pigot, S. Giroux, N. Marcotte, P. Cribier-Delande, J. Duval, C. Bocti, G. Lacombe, T. Fülop, and N. Bier, “Impact of AP@LZ in the daily life of three persons with Alzheimer’s disease : long-term use and further exploration of its effectiveness,” *Neuropsychological Rehabilitation*, vol. 28, no. 5, pp. 755–778, 2016.
- [238] M. M. Sohlberg and C. A. Mateer, “Training use of compensatory memory books : A three stage behavioral approach,” *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, vol. 11, no. 6, pp. 871–891, 1989.

BIBLIOGRAPHIE

- [239] S. Zarshenas, M. Couture, N. Bier, S. Giroux, E. Nalder, C. Lemsky, H. Pigot, D. R. Dawson, N. Gosselin, G. Le Dorze, M. Gagnon-Roy, C. Hendryckx, and C. Bottari, “Implementation of an assistive technology for cognition within a supported residence for adults with acquired brain injury : A Mixed-Methods Single Case Study (In press),” *Disability and Rehabilitation- Assistive technology*, 2021.
- [240] K. D. Cicerone, Y. Goldin, K. Ganci, A. Rosenbaum, J. V. Wethe, D. M. Langenbahn, J. F. Malec, T. F. Bergquist, K. Kingsley, D. Nagele, L. Trexler, M. Fraas, Y. Bogdanova, and J. P. Harley, “Evidence-Based Cognitive Rehabilitation : Systematic Review of the Literature From 2009 Through 2014,” *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 100, no. 8, pp. 1515–1533, 2019.
- [241] F. Ingrand and M. Ghallab, “Deliberation for autonomous robots : A survey,” *Artificial Intelligence*, vol. 247, pp. 10–44, 2017.
- [242] C. Bottari, N. Gosselin, M. Guillemette, J. Lamoureux, and A. Ptito, “Independence in managing one’s finances after traumatic brain injury,” *Brain Injury*, vol. 25, no. 13-14, pp. 1306–1317, 2011.
- [243] E. J. Van Etten, A. Weakley, M. Schmitter-Edgecombe, and D. Cook, “Subjective Cognitive Complaints and Objective Memory Performance Influence Prompt Preference for Instrumental Activities of Daily Living,” *Archives of Clinical Neuropsychology*, vol. 14, no. 3, pp. 169–176, 2016.
- [244] A. Aamodt and E. Plaza, “Case-based reasoning : Foundational issues, methodological variations, and system approaches,” *Artificial Intelligence Communications*, vol. 7, no. 1, pp. 39–59, 1994.
- [245] R. L. De Mántaras, D. Mcsherry, D. Bridge, D. Leake, B. Smyth, S. Craw, B. Faltings, M. L. Maher, M. T. Cox, K. Forbus, M. Keane, A. Aamodt, and I. Watson, “Retrieval, reuse, revision and retention in case-based reasoning,” *The Knowledge Engineering Review*, vol. 20, no. 3, pp. 215–240, 2005.