



Observation et modélisation des processus exécutifs et de leur dégradation lors du vieillissement cognitif dans la réalisation des activités de la vie quotidienne. Étude pour la conception d'un système d'assistance.

Audrey Serna

► To cite this version:

Audrey Serna. Observation et modélisation des processus exécutifs et de leur dégradation lors du vieillissement cognitif dans la réalisation des activités de la vie quotidienne. Étude pour la conception d'un système d'assistance.. Interface homme-machine [cs.HC]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG; Université de Sherbrooke, 2008. Français. NNT: . tel-00452435

HAL Id: tel-00452435

<https://theses.hal.science/tel-00452435>

Submitted on 2 Feb 2010

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

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

INSTITUT POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

N° attribué par la bibliothèque

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

THESE EN COTUTELLE INTERNATIONALE

pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'Institut polytechnique de Grenoble
et
de l'Université de Sherbrooke**

Spécialité : Ingénierie de la cognition, de l'interaction, de l'apprentissage et de la création

préparée au laboratoire TIMC-IMAG UMR UJF/CNRS 5525

dans le cadre de l'**Ecole Doctorale** *Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement*

et au laboratoire DOMUS

présentée et soutenue publiquement

par

Audrey SERNA

Le 18 septembre 2008

OBSERVATION ET MODÉLISATION DES PROCESSUS EXÉCUTIFS ET DE LEUR DÉGRADATION LORS DU VIEILLISSEMENT COGNITIF DANS LA RÉALISATION DES ACTIVITÉS DE LA VIE QUOTIDIENNE

Étude pour la conception d'un système d'assistance

CO-DIRECTEURS DE THÈSE: Vincent RIALLE et Hélène PIGOT

JURY

M. Jacques DEMONGEOT

, Président

M. Éric RAUFASTE

, Rapporteur

M. Danniell MEMMI

, Rapporteur

M. Giovanni PEZZULO

, Rapporteur

M. Vincent RIALLE

, Directeur de thèse

Mme. Hélène PIGOT

, Co-encadrante

M. André MAYERS

, Examineur

Mme. Anne-Sophie RIGAUD

, Examineur

M. Alain FRANCO

, Examineur

REMERCIEMENTS

Le travail que représente une thèse n'est pas uniquement le fruit d'une réflexion et d'une recherche personnelle ; Il mûrit et évolue au fil des rencontres et des discussions. Un tel travail n'aurait jamais pu aboutir sans toutes les personnes que je tiens, aujourd'hui, à remercier très chaleureusement :

- Mes directeurs de thèse, Vincent RIALLE, Docteur ès sciences en éthique et biologie médicale, et Hélène PIGOT, Professeur en informatique et ergothérapeute, qui m'encadrent depuis mon master. Je voudrais les remercier pour leurs conseils, leurs encouragements et la confiance qu'ils m'ont accordée. Mener une thèse dans deux laboratoires de recherche, séparés par un océan, n'est pas toujours chose facile. Vincent et Hélène ont toujours fait preuve de disponibilité pour que l'on puisse travailler malgré la distance. Je les remercie aussi d'avoir toujours su trouver les paroles réconfortantes dans les moments de remise en question et de n'avoir jamais douté de la finalité de ce travail.
- Les membres du jury, pour m'avoir fait l'honneur d'évaluer mon travail. Merci au Professeur Jacques Demongeot d'avoir accepté de présider mon jury. Merci à mes rapporteurs, Docteur Giovanni Pezzulo, Professeur Eric Raufaste et Professeur Daniel Memmi, d'avoir accepté d'évaluer mon travail. Leurs judicieuses remarques m'ont permis d'approfondir la réflexion sur mon travail. Merci enfin au Professeur Alain Franco, Professeur André Mayers et Professeur Anne-Sophie Rigaud pour avoir accepté de faire partie du jury et pour l'intérêt qu'ils ont manifesté pour mon travail de recherche. Je remercie notamment André pour nos échanges concernant ACT-R et pour avoir présidé le jury de mon examen pré-doctoral.
- Toutes les personnes qui m'ont permis de réaliser le travail d'observation : les étudiants du laboratoire TIMC-IMAG et de la faculté de médecine qui se sont prêtés au jeu de l'expérimentation. Les personnes âgées du foyer logement Notre Dame à Grenoble, Le Verger à Corenc, de l'association L'âge d'Or à Grenoble et de l'hôpital Broca à Paris qui ont eu la gentillesse de bien vouloir me consacrer une après-midi pour participer à l'expérimentation.

-
- Je remercie aussi les directrices des deux foyers logement et le coordinateur de l'association L'âge d'or, qui m'ont permis d'exposer mon projet de recherche aux personnes âgées.
- L'équipe de gériatrie de l'hôpital Broca à Paris dirigée par le Professeur Anne-Sophie Rigaud, pour m'avoir accueillie et permis de réaliser mon étude dans l'enceinte de l'hôpital. Il est très difficile de trouver des personnes devant faire face à la maladie qui soient prêtes à participer à ce genre d'étude. Je tiens à remercier plus particulièrement Solenne Thèvenet qui m'a énormément aidé en recrutant des patients pour l'expérimentation.
 - Le Docteur Richard P. Cooper, de l'université Birkbeck à Londres, pour sa disponibilité et bien sûr pour avoir partagé son code (l'implémentation du questionnaire de conflit) sans aucune hésitation. Son aide m'a été très précieuse pour développer mon prototype.
 - Le Professeur Elisabeth Dutil et Carolina Bottari de l'Institut de Réadaptation de Montréal. Carolina a partagé avec moi son expérience sur les observations dans le quotidien des personnes en perte d'autonomie. Elisabeth a été très présente pour l'élaboration des outils d'analyse. Je les remercie toutes les deux pour leurs remarques et leur expertise d'ergothérapeute. Je regrette simplement que la collaboration préalablement établie n'ait pu fonctionner comme prévu.
 - Tous les membres de l'équipe AFIRM du laboratoire TIMC-IMAG et les collègues du troisième étage du bâtiment Jean Roger, pour leur soutien et leurs conseils. Et particulièrement merci à Anthony pour son aide précieuse lors de mes innombrables petits soucis de rédaction en LaTeX.
 - Tous les membres du laboratoire DOMUS à Sherbrooke : je n'ai jamais souffert de l'éloignement grâce à l'accueil particulièrement chaleureux de tous les membres (professeurs et étudiants) du labo.
 - Valérie Ayache, représentante du partenaire socio-économique dans notre projet région.

Je tiens aussi à remercier tout particulièrement ma famille et mes amis tout simplement pour leur présence à mes côtés et pour leur soutien. Mes parents et ma sœur qui sont encore et toujours présents pour moi. Will et Maya qui m'apportent bonheur et équilibre. Mathieu pour son aide et son jugement éclairé lors de mes nombreuses sollicitations pour les traductions en anglais. Eve pour son aide en statistiques. Et tous les gens que je ne cite pas mais qui sont dans mon cœur.

Enfin je tiens à remercier les différents organismes qui ont soutenu financièrement mon projet de recherche. La région Rhône-Alpes pour le financement de mon doctorat et d'une partie de mes missions au Canada, le programme de valorisation des thèses en cotutelle entre la France et Québec et le centre Jacques Cartier à Lyon pour le financement de mes missions.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	xiii
I PROBLÉMATIQUE DE LA THÈSE	1
CHAPITRE 1 — Contexte : La technologie au service des personnes en perte d'autonomie	3
1.1 Les personnes en perte d'autonomie cognitive	4
1.2 Les habitats intelligents	5
1.3 L'assistance cognitive	6
CHAPITRE 2 — Problématique et Méthodologie : Vers la modélisation des processus mentaux	9
2.1 Problématique de la thèse	9
2.1.1 Le besoin de modèles cognitifs pour les habitats intelligents	9

2.1.2	Les modèles cognitifs existants	11
2.1.3	Vue d'ensemble de l'objectif de la thèse	14
2.2	Objectifs et Méthodologie de la thèse	15
2.2.1	Les objectifs	15
2.2.2	La méthodologie	17

II OBSERVATION DES PROCESSUS EXÉCUTIFS ET DE LEUR DÉGRADATION DANS LA VIE QUOTIDIENNE 21

CHAPITRE 3 — État de l'art : Les difficultés dans les activités de la vie quotidienne 23

3.1	Les activités de la vie quotidienne	24
3.1.1	Définition	24
3.1.2	Tests neuropsychologiques et ergothérapie	24
3.2	Les outils d'évaluation des AVQ	26
3.2.1	Le Kitchen Task Assessment	26
3.2.2	Le Profil des AVQ	27
3.2.3	L'évaluation des déficits exécutifs dans la schizophrénie	29
3.3	Les erreurs dans les AVQ	30
3.3.1	Maladie d'Alzheimer : Les erreurs lors du KTA	30
3.3.2	Traumatisme crânien : Les erreurs lors du profil des AVQ	31
3.3.3	Schizophrénie : Les erreurs dans les AVQ	32
3.3.4	Syndrome de désorganisation de l'action	32
3.4	Résumé	33

CHAPITRE 4 — État de l'art : Les processus impliqués dans les AVQ, ou processus exécutifs 35

4.1	Les processus exécutifs	35
4.1.1	Définition	36
4.1.2	Concepts associés aux processus exécutifs	37
4.1.3	Atteintes des processus exécutifs	38
4.2	Les lobes frontaux : théories et modèles neuropsychologiques	39
4.2.1	Le modèle de Luria	39
4.2.2	Le modèle de Norman et Shallice	43
4.3	Résumé	49

CHAPITRE 5 — Protocole expérimental et outils d’analyse : Observation des processus exécutifs et de leur dégradation au cours de l’altération cognitive 51

5.1	Les tâches observées	52
5.2	Les échantillons de sujets	56
5.2.1	Les sujets jeunes	57
5.2.2	Les sujets âgés	57
5.2.3	Les sujets MCI-MA	58
5.3	Les outils pour l’analyse quantitative	59
5.3.1	Les critères d’acceptation	60
5.3.2	La cotation globale	61
5.3.3	Les niveaux d’assistance	62
5.3.4	Le type de difficultés rencontrées	64
5.4	Les outils pour l’analyse qualitative	66
5.4.1	L’observations des séquences vidéos et Grille d’analyse des actions atomiques	67
5.4.2	Le formalisme de description des arbres de réalisation des tâches	68

CHAPITRE 6 — Analyse des données : Qualification des processus exécutifs et de leur dégradation	85
6.1 L'analyse quantitative	85
6.1.1 Tâche 1	86
6.1.2 Tâche 2	92
6.1.3 Interprétation et conclusion de l'analyse quantitative	95
6.2 La classification des erreurs	97
6.2.1 Volonté	98
6.2.2 Planification de la tâche	99
6.2.3 Action intentionnelle	99
6.2.4 Réalisation effective	102
6.3 L'analyse qualitative	103
6.3.1 Étude de cas détaillée d'un sujet jeune : Sujet J-16	104
6.3.2 Étude de cas détaillée d'un sujet âgé : Sujet PA-02	106
6.3.3 Étude de cas détaillée des sujets MCI-MA	109
6.3.4 Synthèse et conclusion de l'analyse qualitative	116

III MODÉLISATION DES PROCESSUS EXÉCUTIFS OBSERVÉS

121

CHAPITRE 7 — État de l'art : La modélisation cognitive pour les processus exécutifs	123
7.1 Les concepts issus de l'intelligence artificielle	124
7.1.1 Les agents	124
7.1.2 La résolution de problèmes	125
7.1.3 La planification	126

7.2	L'implémentation du modèle de Norman et Shallice	127
7.2.1	L'implémentation du gestionnaire de conflit	127
7.2.2	L'implémentation du SAS	132
7.3	PEAT : un exemple de modèle informatique cognitif	136
7.4	Synthèse des modèles informatiques présentés	139
 CHAPITRE 8 — Modèle théorique : Spécifications des processus exécutifs d'après le modèle de Norman et Shallice		141
8.1	Sur le besoin de nouvelles spécifications	142
8.2	Dictionnaire des mécanismes	143
8.3	Spécifications théoriques du modèle	148
8.3.1	Architecture globale du modèle	148
8.3.2	Définition des espaces de stockage et des données manipulées par le modèle	153
8.3.3	Postulats et propositions définissant le modèle	158
 CHAPITRE 9 — Implémentation du modèle : Vers un prototype informatique du modèle		187
9.1	Architecture du système	187
9.1.1	Le package <i>buffers</i>	188
9.1.2	Le package <i>data</i>	190
9.1.3	Le package <i>taskModel</i>	191
9.1.4	Le package <i>cs</i>	191
9.1.5	Les packages <i>sas</i>	193
9.1.6	Le package <i>util</i>	198
9.1.7	Le package <i>modellLaunching</i>	199
9.2	Simulation et résultats obtenus	199

9.2.1	Modélisation de la tâche	199
9.2.2	Simulation	202
 IV PERSPECTIVES ET CONCLUSION		211
 CHAPITRE 10 — Discussion		213
10.1	Retour sur le travail réalisé	214
10.1.1	Discussion sur l’observation et l’analyse des processus exécutifs	214
10.1.2	Discussion sur la modélisation des processus exécutifs	217
10.2	Réflexions sur la modélisation cognitive pour les systèmes d’aide à la tâche et pour la gérontechnologie	231
 CHAPITRE 11 — Conclusion		237
 BIBLIOGRAPHIE		239
 ANNEXE A — FORMULAIRE D’ADHESION AU CCSTI ET FICHE D’ÉVALUATION DES SUJETS		249
 ANNEXE B — RECAPITULATIF DES ERREURS OBSERVÉES POUR LA TÂCHE 1		259
 ANNEXE C — RECAPITULATIF DES ERREURS OBSERVÉES POUR LA TÂCHE 2		263
 ANNEXE D — MODÉLISATION DE LA TÂCHE ET PARAMÈTRES DU MODÈLE		265
D.1	Modélisation de la tâche «Boire le contenu d’une bouteille»	265
D.1.1	Instructions et Stratégies utilisées dans le modèle de la tâche	265

D.1.2	Schémas utilisés dans le modèle de la tâche	266
D.1.3	Objets utilisés dans le modèle de la tâche	268
D.2	Paramètres du modèle	269
ANNEXE E — TRACE DU MODÈLE		271
E.1	Trace pour la première simulation	271
E.2	Trace pour la deuxième simulation	276

LISTE DES TABLEAUX

2.1	Tableau comparatif des moyennes des scores globaux (et écart type) obtenus au Kitchen Task Assessment par de vrais patients Alzheimer et par le modèle développé avec l'architecture cognitive ACT-R	12
3.1	Les différents types d'erreurs observées lors du KTA	31
3.2	Les différents types de difficultés rencontrées dans le profil des AVQ	31
3.3	Performances des sujets pendant la réalisation des tâches	32
3.4	Erreurs typiques du syndrome de désorganisation de l'action	34
5.1	Description des deux tâches constituant l'expérience	55
5.2	Caractéristiques des sujets de l'échantillon «Sujets jeunes»	57
5.3	Caractéristiques des sujets de l'échantillon «Sujets âgés»	58
5.4	Caractéristiques des sujets de l'échantillon «Sujets MCI-MA»	59
5.5	Échelle des cotations - Définition	61
5.6	Définition des degrés d'assistance de type confirmation	64
5.7	Définition des degrés d'assistance de type incitation	64
5.8	Définition des degrés d'assistance de type guidage	65
5.9	Définition des différents types d'erreurs	65
6.1	Résultats obtenus pour la tâche 1	87

6.2	Réaction/adaptation face aux perturbations pour la tâche 1	88
6.3	Résultats obtenus pour la tâche 2	93
6.4	Réaction/adaptation face aux perturbations pour la tâche 2	94
6.5	Récapitulatif des arbres de réalisation	116
6.6	Relations entre type de contrôle et type de re-planification	117
6.7	Détail des mécanismes de passage en micro/macro re-planification	119
7.1	Postulats centraux du modèle du CS	131
8.1	Dictionnaire des mécanismes exécutifs	147
8.2	Comparaison de notre dictionnaire des mécanismes avec les différents modèles (théorique et informatique) des processus exécutifs	148
9.1	Résultats obtenus par les simulations de notre modèle	209
10.1	Réponse du système d'assistance cognitive au diagnostic établi par le modèle développé en ACT-R.	235
10.2	Réponse du système d'assistance cognitive au diagnostic établi par notre pro- totype.	235
B.1	Erreurs de type P pour la tâche 1	259
B.2	Erreurs de type A pour la tâche 1	260
B.3	Erreurs de type D pour la tâche 1	260
B.4	Erreurs de type B pour la tâche 1	261
B.5	Erreurs de type C pour la tâche 1	261
C.1	Erreurs de type P pour la tâche 2.	263
C.2	Erreurs de type B pour la tâche 2.	264
C.3	Erreurs de type C pour la tâche 2.	264

C.4 Erreurs de type D pour la tâche 2.	264
D.1 Valeurs des paramètres du gestionnaire de conflit	269
D.2 Valeurs des paramètres du système superviseur	269

LISTE DES FIGURES

3.1	Extrait de la séquence optimale d'action utilisée pour attribuer un score . . .	30
4.1	Schéma de l'activité de résolution de problème selon Luria	42
4.2	Interaction entre les modules du modèle de Norman et Shallice	44
4.3	Flux horizontaux simples ou simultanés	45
4.4	Flux vertical	46
4.5	Fractionnement du SAS en plusieurs processus de supervision	48
5.1	Échelle de cotation	61
5.2	Échelles des différents types d'assistance	63
5.3	Grille d'analyse des actions élémentaires	67
5.4	R1 : Décomposition des buts	69
5.5	Les différents nœuds disponibles dans le formalisme de description des tâches	70
5.6	R4 : Enchaînement des buts	73
5.7	R5 : Exemple de buffer de buts	74
5.8	R6 : Bris de séquence (respectivement suspension d'un but et arrêt d'un but)	75
5.9	R6 : Bris de séquence (parallélisme)	76
5.10	R7 : Régulation	77
5.11	R8.1 : Contrôle lié à une action; R8.2 : Contrôle lié à un sous-but	78

5.12	R8.3 : Contrôle lié à une erreur ou à un indice de l'environnement	78
5.13	R8.4 : Évaluation ; R8.5 : Contrôle lié à une action	79
5.14	R9.1 : Appel à un sous-arbre	80
5.15	R9.2 : Ajout d'une portion d'arbre	80
5.16	R10 : optimisation de la tâche principale	81
5.17	R11 : Erreur, séquençage, omission	82
5.18	R12 : Correction (respectivement à un niveau micro et macro)	84
5.19	R13 : Interactions avec l'environnement et l'examineur	84
6.1	Évolution et répartition de la cotation obtenue pour la tâche 1	88
6.2	Répartition des scores obtenus à la tâche 1	89
6.3	Nature des interventions pendant la tâche 1	90
6.4	Évolution du nombre d'interventions et du nombre d'erreurs pour la tâche 1	91
6.5	Évolution du temps d'exécution pour la tâche 1	92
6.6	Évolution des capacités de planification pour la tâche 1	92
6.7	Répartition des scores obtenus à la tâche 2	94
6.8	Nature des interventions pendant la tâche 2	95
6.9	SUJET J-16. Les mécanismes d'auto-correction	104
6.10	SUJET J-16. Changement de procédure, Parallélisme et ajustement face à une perturbation	106
6.11	SUJET PA-02. Ajustement par rapport à un événement non prévu	107
6.12	SUJET PA-02. Obtenir une information, élaboration des différentes stratégies	108
6.13	SUJET BR-01. Incitation pour s'ajuster face à la perturbation et guidage (g1) pour élaborer des stratégies	109
6.14	SUJET BR-01. Guidage pour élaborer, mettre en place et exécuter une nou- velle stratégie	110

6.15	SUJET BR-01. Attente de contrôle de l'examineur	111
6.16	SUJET BR-01. Assistance pour passer d'une étape à une autre	112
6.17	SUJET BR-03. Attente de contrôle/validation de l'examineur	112
6.18	SUJET BR-03. Assistance pour élaborer des stratégies et en sélectionner une qui soit réalisable	113
6.19	SUJET BR-03. Assistance pour évaluer, changer de procédure et finalement changer de stratégie	114
6.20	SUJET BR-03. Assistance pour trouver la bonne procédure	114
6.21	SUJET BR-08. Le sujet change beaucoup de fois de procédure mais ne pense pas à changer de stratégie	115
7.1	Modèle d'un agent basé sur des buts	124
7.2	Les différents composants du CS et leur relation avec le SAS	128
7.3	Hierarchie de schémas	129
7.4	Analogie entre le SAS et l'agent d'aide à la décision Domino	134
7.5	Modèle du SAS dans l'environnement de programmation cognitive COGENT	135
7.6	Modèle du cortex préfrontal proposé dans PEAT	136
7.7	Les processus exécutifs modélisés dans PEAT	137
8.1	Architecture globale de notre modèle selon la catégorisation de Lezak (volonté, planification, action intentionnelle et réalisation effective)	150
8.2	Comparaison de notre modèle avec le SAS de Shallice et Burgess et la spécifi- cation à partir de Domino	151
8.3	Architecture globale du modèle et données manipulées par le système	155
8.4	Détail du modèle : génération des intentions (volonté)	159
8.5	Détail du modèle : planification	160
8.6	Détail du modèle : action intentionnelle	163

8.7	Détail du modèle : réalisation effective	166
9.1	Détail des packages composant le système	189
9.2	Détail du diagramme de classe : l'organisation des espaces de stockage	190
9.3	Détail du diagramme de classe : l'organisation des données manipulées par le CS	192
9.4	Diagramme de séquence pour l'opération <i>traitement</i> de chaque module . . .	193
9.5	Décomposition de la tâche en buts / stratégies / schémas	201
9.6	Détail de la trace de la simulation du déroulement normal : génération de l'intention et des stratégies	203
9.7	Détail de la trace de la simulation du déroulement normal : passer au schéma planifié suivant	204
9.8	Détail de la trace de la simulation du déroulement normal : évaluation finale	205
9.9	Activation des schémas dans l'implémentation de Cooper et dans notre modèle pour le déroulement normal	206
9.10	Extrait du déroulement de la tâche dans l'implémentation de Cooper et dans notre modèle pour le déroulement normal	207
9.11	Détail de la trace de la simulation du déroulement avec situation non prévue : micro re-planification	208
9.12	Détail de la trace de la simulation du déroulement avec situation non prévue : passage de micro à macro re-planification	209

Première partie

PROBLÉMATIQUE DE LA THÈSE

CHAPITRE 1

Contexte : La technologie au service des personnes en perte d'autonomie

Les laboratoires DOMUS de l'Université de Sherbrooke au Québec (Canada) et l'équipe AFIRM, Acquisition, Fusion d'Informations et Réseaux pour la Médecine, du laboratoire TIMC-IMAG, Techniques de l'Ingénierie Médicale et de la Complexité, de Grenoble (France) s'intéressent conjointement à la problématique du maintien à domicile des personnes âgées, et/ou fragilisées par des troubles cognitifs. Les champs de recherche visant cet objectif sont larges. On peut compter parmi eux la télémédecine, la télésurveillance, la domotique, la robotique ou encore l'assistance cognitive. Ces thématiques sont souvent regroupées autour des concepts centraux : *Habitat Intelligent pour la Santé*, *Ambient Assisted Living*¹ ou encore *Gérontechnologie* (Couturier, 2006, Rialle *et al.*, 2007), dont l'objectif principal est l'augmentation de la sécurité d'une personne à son domicile, en perfectionnant l'adaptation de son environnement à ses handicaps ou incapacités au moyen de nouvelles technologies (Rialle, 2007a, Rialle et Ollivet, 2007, Pigot *et al.*, 2006).

En effet, la prise en charge des personnes fragilisées par une pathologie liée à l'âge est devenue un problème d'ordre socio-économique majeur (Comyn *et al.*, 2006, Rialle, 2007b). Les troubles inhérents au vieillissement cognitif, qu'il soit normal ou aggravé par la maladie d'Alzheimer ou par une maladie apparentée, ont pour conséquence une perte d'autonomie

¹Lancement de la nouvelle Initiative commune « Ambient Assisted Living » des États membres - article 169 du Traité Européen - sur le vieillissement et les technologies d'aide au maintien de l'autonomie.

dans le quotidien. Les habitats intelligents pour la santé (HIS) visent à pallier ces handicaps, en évitant aux malades leur placement en institution ou, tout du moins, en le retardant le plus possible.

Afin de mieux comprendre la problématique du sujet de recherche, ce chapitre introduit le contexte dans lequel il s'inscrit, à savoir les enjeux et les principales composantes des habitats intelligents.

1.1 Les personnes en perte d'autonomie cognitive

Dans la plupart des pays industrialisés, mais aussi dans les pays en voie de développement, l'espérance de vie et la proportion des personnes âgées de plus de 65 ans ne cessent d'augmenter. Des études statistiques prévoient qu'en 2030, plus de 60 pays compteront deux millions ou plus de personnes âgées de plus de 65 ans (Kinsella et Velkoff, 2001). Le déclin cognitif est le risque majeur pour cette couche de la population et plus de 60% des cas sont dus à une démence de type Alzheimer. Un rapport de la commission européenne paru en 2006 annonçait 18 millions de personnes touchées par des démences en 2002 dans le monde entier (Comyn *et al.*, 2006). Selon cette étude, la prévalence des maladies à l'origine des démences chez les plus de 65 ans devrait doubler tous les cinq ans. Un rapport sur la progression de la maladie d'Alzheimer, publié en 2005 par l'Institut national du vieillissement aux États-Unis², prévoit le chiffre de 4,5 million d'américains atteints d'une maladie d'Alzheimer ou apparentée. Ce rapport annonce lui aussi le doublement de la prévalence de la maladie par paliers de 5 ans à partir de 65 ans. De même, à l'échelle nationale, une enquête statistique de France Alzheimer prévoit près de 1,3 million de personnes atteintes d'Alzheimer en France d'ici 2020, soit une personne de plus de 65 ans sur quatre ³.

La démence de type Alzheimer est due à une détérioration sévère des fonctions exécutives et cognitives, provoquant entre autres des déficits attentionnels, des pertes mnésiques et de la confusion (Selmès et Derouesné, 2004). Les conséquences les plus lourdes pour le patient sont l'incapacité à réaliser des activités quotidiennes et la perte quasi totale d'autonomie (Reisberg *et al.*, 1982). La présence d'un aidant, proche ou professionnel, est requise pour planifier et organiser les activités quotidiennes (Rochon *et al.*, 2005). Lorsque cet encadrement ne suffit

²National Institute on Aging, par of the U.S. National Institutes of Health (<http://www.nia.nih.gov/Alzheimers>)

³Chiffres pris sur le site Internet de France Alzheimer (<http://www.francealzheimer.org>).

plus, le patient est placé en institution. Les personnes ayant subi des traumatismes crâniens ou les personnes atteintes de schizophrénie sont aussi touchées par ces problèmes de perte d'autonomie dans la réalisation d'AVQ (Stip et Rialle, 2005). Les recherches sur le maintien à domicile de ces personnes se sont transformées en une véritable préoccupation de santé publique. Ces préoccupations peuvent être largement étendues à toutes les populations ayant des difficultés à rester autonomes et en sécurité à leur domicile.

Les troubles tels que le syndrome démentiel de type Alzheimer, les traumatismes crâniens ou encore la schizophrénie détériorent les processus cognitifs et exécutifs, entraînant une perte d'autonomie des malades lors la réalisation des AVQ. Des études menées auprès du personnel médical et des aidants des populations concernées montrent que les patients souffrent en particulier de troubles de l'attention, de la planification et de l'initiation (Pigot *et al.*, 2005), les traumatisés crâniens et les malades Alzheimer peuvent être atteints de troubles de la mémoire, et les schizophrènes peuvent être sujets à des hallucinations. Pour ces trois catégories de maladies, les patients manquent de jugement et de recul par rapport à leur état et à leurs capacités. La vie quotidienne de ces malades étant constamment affectée par ces troubles, ceux-ci ont un besoin permanent d'assistance de la part d'un aidant.

1.2 Les habitats intelligents

L'un des enjeux des habitats intelligents est la conception d'un système cognitif environnemental d'assistance et de compensation des pertes cognitives inhérentes au vieillissement, aux démences apparentées à la maladie d'Alzheimer, à la schizophrénie ou aux séquelles d'un traumatisme crânien (Tang et Venables, 2000, Rialle *et al.*, 2002, Giroux *et al.*, 2002, Haigh et Yanco, 2002, Pigot *et al.*, 2003, Koch, 2006). Installé au domicile de la personne, un tel système a pour but d'augmenter sa sécurité, notamment par la reconnaissance automatique de situations à risques et d'améliorer son confort de vie par diverses aides aux tâches et activités de la vie quotidienne. Il a pour finalité d'être un complément, et en aucun cas un substitut, d'une présence humaine indispensable, responsable et vigilante vis-à-vis de l'état et du comportement de la personne en situation de handicap à son domicile (Rialle, 2007a).

La compensation d'incapacités de personnes atteintes de troubles cognitifs et le maintien dans le milieu communautaire de ces personnes sont des objectifs de notre société auquel l'essor sans précédent des nouvelles technologies de communication et de traitement de l'information

peut contribuer. Ces outils, de type «technologie cognitive», peuvent renforcer efficacement des dispositifs médico-sociaux existants et aider à leur nécessaire évolution. Par son objectif médico-social d'amélioration de la vie quotidienne et de la prise en charge des personnes atteintes de troubles cognitifs, ce projet global de compensation des pertes cognitives aidée par la technologie possède un important potentiel d'impact sur la santé des personnes concernées et sur celle de leurs aidants familiaux. Étant tourné vers une amélioration de la qualité de vie et de santé de personnes très dépendantes, et un allègement de charge de travail des aidants naturels ou professionnels, ce projet est également fortement lié au développement d'une économie de la santé fondée sur un meilleur usage du domicile.

En s'appuyant sur le paradigme d'informatique diffuse et distribuée (*ubiquitous computing*), il est possible de favoriser un tel projet en équipant l'appartement de capteurs, actionneurs, objets interactifs, écrans interactifs, etc. Ces dispositifs permettent non seulement d'obtenir des informations précises sur les activités de l'occupant, mais aussi de communiquer avec ce dernier (Stip et Rialle, 2005, Bauchet *et al.*, 2006, Bouchard *et al.*, 2006, Lussier-Desrochers *et al.*, 2007, Rahal *et al.*, 2007). L'informatique diffuse met l'accent sur l'objectif d'éliminer les interfaces complexes et peu pratiques pour les personnes âgées ou handicapées, au profit d'un environnement dit «intelligent» grâce à ses capacités d'interaction avec ces personnes. Deux grands ensembles de technologies structurent ces objectifs : (1) la télé-assistance, chargée de suivre l'état de santé de l'occupant et de s'assurer de sa sécurité, et (2) l'assistance cognitive, chargée de l'aide à la réalisation des AVQ. Ces deux ensembles doivent détecter les situations anormales ou à risque, puis le premier doit informer les aidants, le personnel médical et les professionnels du secours, alors que le second doit assister et guider l'occupant au travers de l'environnement interactif pour qu'il puisse effectuer ses activités de façon sécuritaire.

1.3 L'assistance cognitive

L'un des thèmes centraux de recherche dans ce projet général de maintien à domicile est celui de l'assistance cognitive. Les maladies telles que la démence de type Alzheimer, le traumatisme crânien ou encore la schizophrénie rendent les malades lourdement dépendant lors la réalisation d'activités de la vie quotidienne. Dans ces conditions, un système d'aide à la tâche pour des personnes atteintes de troubles cognitifs peut redonner à celles-ci quelques possibilités d'indépendance à leur domicile, avec l'accompagnement d'aidants et de professionnels.

L'assistance cognitive doit pallier les troubles cognitifs de l'occupant, de manière à ce qu'il puisse réaliser le plus normalement possible l'ensemble des tâches de vie quotidienne. L'assistance doit se faire de façon non-intrusive en n'intervenant qu'en cas de besoin (Pigot *et al.*, 2005). Dans un premier temps, le système doit détecter l'activité en cours de réalisation. C'est par l'intermédiaire des données des capteurs et d'une analyse rigoureuse de ces données que le système est informé de ce que fait la personne. Cette phase de détection requiert une bonne représentation de l'activité et de son environnement, ainsi qu'une bonne connaissance des habitudes de vie de l'occupant (Bauchet et Mayers, 2005). Dans un deuxième temps, si un scénario anormal ou une situation à risque est détectée, le système doit apporter de l'aide à la personne. Étant donné les caractéristiques spécifiques à chaque personne et la différence des troubles liés au stade ou à la gravité de la maladie, les outils technologiques doivent personnaliser le soutien proposé. C'est par des indices de l'environnement, adaptés au handicap de la personne, que le système guidera la personne afin de réaliser son activité (Bauchet et Mayers, 2005, Vergnes *et al.*, 2005, Bauchet *et al.*, 2006). Par exemple, une personne souffrant de troubles de la planification souhaite se préparer un café. Ses actions étant désorganisées, la personne montre rapidement des signes de confusion. Le système devrait pouvoir lui venir en aide en éclairant de façon séquentielle, par une petite ampoule bien placée, les objets significatifs à chaque étape de la préparation du café : témoin lumineux sur le placard contenant le café, puis sur la cafetière, puis sur le placard contenant la tasse et le sucre (un tel jeu de lumière a été conçu et installé dans l'appartement-témoin de l'équipe Domus de l'Université de Sherbrooke).

CHAPITRE 2

Problématique et Méthodologie : Vers la modélisation des processus mentaux

2.1 Problématique de la thèse

2.1.1 Le besoin de modèles cognitifs pour les habitats intelligents

Si l'on souhaite dépasser un niveau élémentaire d'aide technique, l'élaboration d'un système d'assistance cognitive nécessite de solides connaissances sur la personne et sur ses difficultés dans la vie quotidienne. Pour proposer une aide adaptée, le système doit autant que possible connaître le stade de la maladie de la personne, les déficits cognitifs dont elle souffre ou encore le type d'erreurs qu'elle pourrait commettre. L'une des idées de base de cette recherche réside dans le fait que c'est en apportant des connaissances sur les processus mentaux que la modélisation cognitive pourra contribuer au développement des environnements intelligents. La modélisation cognitive permet en effet non seulement de documenter les mécanismes mobilisés pour la réalisation de tâches quotidiennes mais aussi de simuler les comportements observés chez les patients. Ces apports de la modélisation peuvent être mis à profit dans différentes étapes du processus d'assistance :

Tout d'abord, pour détecter une activité en cours de réalisation, le système d'assistance cognitive doit s'appuyer sur la représentation des activités connues. La diversité des troubles

cognitifs liés à la maladie d'Alzheimer ou aux traumatismes crâniens est à l'origine de comportements très différents pour la réalisation d'une même activité. Le système de reconnaissance d'activités peut difficilement stocker une liste exhaustive des comportements possibles liés à la nature et à la gravité d'une maladie. L'étude comportementale nécessaire à l'établissement d'une telle liste serait pour le moins incertaine et coûteuse. Simuler les comportements d'une personne cognitivement dépendante et fournir une base de connaissances sur les scénarios qu'elle peut exécuter, peut au contraire mieux définir la détection automatique d'activités. Un tel «modèle cognitif» peut aussi être utile à la détection d'un scénario de comportement «anormal». Avant d'intervenir, le système doit en effet décider si la tâche en cours présente un danger ou nécessite une intervention. La comparaison entre la situation en cours et les scénarios de comportements «anormaux» connus doit pouvoir accroître la justesse et la rapidité de décision du système.

Ensuite, la modélisation cognitive peut intervenir au niveau de la sélection de la nature d'aide à apporter à la personne. Grâce à ses fondements théoriques, le modèle est à même de fournir des informations précises sur la nature des troubles cognitifs de la personne. Les voies d'assistance proposées à la personne peuvent alors être adaptées avec un maximum de précision à son handicap. Par sa capacité de simulation, le modèle cognitif permet de simuler le comportement de la personne face à l'aide. Un système fondé sur un tel modèle peut alors être apte à décider du moyen le plus adapté et le plus efficace pour assister la personne handicapée.

Une étape incontournable vers un tel système est donc de comprendre les troubles dont souffrent les personnes dépendantes et leurs conséquences sur la réalisation d'AVQ. Or, à ce jour, les systèmes d'aide à la tâche ne possèdent pratiquement jamais de modèles «profonds» du comportement humain (Zhang *et al.*, 2004, Lo Presti *et al.*, 2004). Prenons l'exemple des orthèses¹ cognitives, dispositifs technologiques d'assistance dédiées à aider les personnes dans la réalisation de certaines AVQ. Elles offrent différents types d'assistance et utilisent divers supports technologiques, tels que les téléavertisseurs, NeuroPage (Hersh et Treadgold, 1994), les assistants personnels (plus connus sous le nom de PDA, *Personal Digital Assistant*) ou encore les téléphones cellulaires. Bien que certaines de ces orthèses cognitives soient sensibles au contexte («context awareness») dans lequel se déroule les AVQ, aucune ne contient de modèle cognitif (Lo Presti *et al.*, 2004, Giroux *et al.*, 2006). Dans ses travaux, Levinson (1997)

¹Orthèse : « Appareil visant à corriger une fonction déficiente, à compenser une incapacité ou à accroître le rendement physiologique d'un organe ou d'un membre », (Québec, Conseil consultatif sur les aides technologiques : <http://www.med.univ-rennes1.fr/sisrai/dico/1795.html>)

insiste sur le besoin d'inclure des modèles cognitifs dans les dispositifs d'assistance. PEAT (Levinson, 1997) est un agenda conçu pour les traumatisés crâniens. Il permet d'assister ces personnes dans la planification et l'exécution de tâches quotidiennes. Levinson suggère, sans toute fois l'avoir réaliser, d'inclure dans son dispositif un modèle informatique des processus mentaux impliqués dans la réalisation des AVQ. Ce modèle, dit-il, permettrait de simuler la dégradation des processus mentaux et fournirait un support adapté en fonction des processus altérés. À ce stade de ses travaux, seuls des éléments de planification propre à l'intelligence artificielle ont été implémentés dans PEAT.

→ *Premier constat : les modèles cognitifs, de par leur nature, peuvent améliorer l'efficacité des habitats intelligents. Leur utilité a été soulignée, mais pour l'instant, aucun modèle complet n'a été développé ni intégré dans les systèmes d'assistance.*

2.1.2 Les modèles cognitifs existants

Le terme «modélisation» est utilisé dans de nombreux domaines, tels que ceux de la physique, de l'informatique ou encore de la psychologie. Chaque spécialité lui associe des méthodes et des techniques propre, mais toutes s'accordent à le définir de façon générale comme le moyen d'établir une connaissance formelle décrivant un objet ou un phénomène réel et naturel (Cooper, 2002). En sciences cognitives, la modélisation offre la possibilité de développer des représentations computationnelles des processus cognitifs. Ces modèles sont ensuite utilisés pour simuler et prédire le comportement humain (Cooper, 2002). Par exemple, un modèle informatique de la mémoire à court terme doit être capable de générer les comportements dus à l'effet de récence, à savoir que les premiers et derniers éléments d'une liste sont mieux retenus que ceux du milieu.

Plusieurs courants s'affrontent en modélisation cognitive (Cooper, 2002). Les deux principaux sont le connexionisme (Hopfield, 1982, Abdi, 1993) et les architectures cognitives (Newell, 1990). Pour le premier, la cognition émerge de l'interaction de petites unités informatiques travaillant de façon parallèle et distribuée. Ce courant théorique rejette la manipulation de symboles pour expliquer le fonctionnement cognitif. Ainsi le réseau de neurones peut être vu comme une boîte noire : il est capable de reproduire un phénomène psychologique mais il ne peut l'expliquer (Cooper, 2002). Il est en outre très peu adapté à la modélisation de processus complexes interagissant. Or, l'un des objectifs de la modélisation pour les habitats intelligents est de mieux comprendre les troubles des malades et d'expliquer leurs dysfonctionnements.

Le courant connexionniste manque donc de transparence dans ses processus pour être un bon candidat au développement de modèles utiles à l'assistance cognitive. Le deuxième courant, réuni sous le nom d'architecture cognitive, propose des théories unifiées du fonctionnement de l'esprit humain.

Le terme d'architecture cognitive se réfère à l'ensemble des structures, outils, techniques et méthodes qui supportent la conception et la construction de modèles de la cognition humaine individuelle dans une situation particulière (Newell, 1990, Grant, 1996). Cette approche considère la cognition comme un ensemble de sous-systèmes fonctionnels qui interagissent ensemble. Contrairement aux réseaux de neurones, les architectures cognitives, telles que ACT-R (Anderson, 1993, Anderson et Lebiere, 1998), SOAR (Newell, 1990) ou EPIC (Meyer et Kieras, 1997a), manipulent des symboles par le biais de systèmes de production. EPIC se concentre sur la gestion et le partage de ressources entre les différents systèmes perceptuels et moteurs. SOAR et ACT-R possèdent une théorie générale de la cognition beaucoup plus complète. Grâce à l'introduction d'un système sub-symbolique dans le système de production, ACT-R permet de modéliser les erreurs humaines dans la réalisation de tâches cognitives de haut niveau.

ACT-R permet de développer des modèles basés sur les différents concepts de mémoire (mémoire déclarative, mémoire procédurale, etc.) et donc de simuler des erreurs d'omissions et de confusions d'objets. Un premier travail de recherche a été réalisé sur la modélisation de l'évolution de la maladie d'Alzheimer dans la réalisation d'une tâche de cuisine avec ACT-R (Serna *et al.*, 2007a, Serna *et al.*, 2007b). Le modèle permet de simuler la réalisation d'un test en ergothérapie pour les différents stades de maladie d'Alzheimer : le Kitchen Task Assessment (Baum et Edwards, 1993).

Stade de la maladie	Sujets réels	Simulation avec le modèle
Pas de démence (CDR 0)	-	0.01(0.099)
Démence questionnable (CDR 0.5)	1.75 (2.21)	1.69 (1.119)
Démence légère (CDR 1)	4.65 (3.73)	4.52 (1.723)
Démence modérée (CDR 2)	9.81(4.57)	9.87 (2.339)
Démence sévère (CDR 3)	13.88 (4.61)	13.84 (2.419)

Tableau 2.1 – Tableau comparatif des moyennes des scores globaux (et écart type) obtenus au Kitchen Task Assessment par de vrais patients Alzheimer et par le modèle développé avec l'architecture cognitive ACT-R

Bien que les résultats obtenus avec ce modèle soient très similaires à ceux obtenus par des sujets humains (cf. tableau 2.1), des limitations ont été mises à jour.

Premièrement, certains dysfonctionnements de mécanismes impliqués dans la réalisation d'activités quotidiennes ne peuvent pas être développés de façon satisfaisante. D'abord, les modèles développés avec ACT-R se concentrent sur la simulation des résultats obtenus à la résolution de problèmes mathématiques et logiques, ou obtenus à des tests neuropsychologiques (Anderson et Douglass, 2001). Mis à part les travaux de Salvucci sur la modélisation de la conduite automobile avec ACT-R (Salvucci, 2002), aucun modèle à notre connaissance ne s'intéresse à la simulation des AVQ. Ensuite, les travaux réalisés en modélisation cognitive se concentrent en général sur la modélisation d'une fonction cognitive précise. C'est le cas par exemple des mécanismes d'apprentissage ou de mémoire (Daily *et al.*, 2001, Horn *et al.*, 1992). ACT-R est d'ailleurs fondé sur différents mécanismes de mémoire. Hors, la réalisation des AVQ sollicite l'utilisation d'autres processus mentaux. C'est le cas, par exemple, des mécanismes de planification ou de contrôle de l'action. Ces mécanismes sont réunis sous l'appellation *processus exécutifs* dans la littérature en neuropsychologie. Les modèles informatisés des processus exécutifs sont quasi inexistantes pour simuler la réalisation d'AVQ (Cooper, 2002). Quelques tests neuropsychologiques évaluant certains processus exécutifs, comme le test de Stroop (Lovett, 2005), ont été développés avec ACT-R mais aucun ne précise le fonctionnement d'ensemble des processus exécutifs.

→ *Deuxième constat : les modèles cognitifs simulant des AVQ sont rares et actuellement, les architectures cognitives ne permettent pas de modéliser aisément les mécanismes impliqués dans les AVQ (processus exécutifs) et les erreurs associées.*

Deuxièmement, les évaluations en ergothérapie ne fournissent pas assez de détail quant à la description des scores obtenus par les sujets et des erreurs commises lors de la réalisation de la tâche. Différents outils de mesure et différentes échelles ont été mis au point pour évaluer la sévérité des dysfonctionnements cognitifs et exécutifs, tel que le Clinical Dementia Rating (Morris, 1993) qui permet de caractériser l'évolution de la démence en fonction des performances cognitives et fonctionnelles des patients. En général, ces mesures sont réalisées à partir de questionnaires et de tests neuropsychologiques. Ces tests fournissent des renseignements sur les déficiences du patient en termes de langage, mémoire, perception, raisonnement ou encore de planification (Wilson, 1987). Il a cependant été démontré que les résultats à ces tests n'étaient pas d'assez bons prédicteurs des performances des patients dans leur vie quotidienne (Baum et Edwards, 1993, Baguena *et al.*, 2006). Si les tests neuropsychologiques permettent de mesurer les capacités cognitives des patients, les évaluations en ergothérapie reflètent quant à elles les difficultés qu'ils éprouvent réellement dans la vie quotidienne. C'est le cas par exemple du Kitchen Task Assessment (Baum et Edwards, 1993) et du profil des

AVQ (Dutil *et al.*, 1996), qui tendent à mesurer le degré de dépendance des patients dans la réalisation de tâches quotidiennes. Dans ces deux tests, le score global est calculé en fonction de l'assistance fournie au sujet. Bien que ces études soient intéressantes, elles manquent cependant de détails dans la description des mécanismes altérés et des difficultés rencontrées par les sujets pendant la réalisation des tâches. Les scores et les descriptions des erreurs que fournissent les évaluations en ergothérapie sont insuffisants, et pas assez systématiques, pour réaliser une comparaison poussée des résultats obtenus par les sujets humains avec ceux obtenus par la simulation de modèles informatique. La validation et la cohérence des résultats obtenus par le modèle informatique sont donc difficilement vérifiables.

→ *Troisième constat : les observations réalisées sur les processus impliqués dans les AVQ manquent de précision et de qualification pour pouvoir développer et valider des modèles cognitifs cohérents.*

2.1.3 Vue d'ensemble de l'objectif de la thèse

Les trois constats énoncés ci-dessus mettent en avant le besoin de construire, à partir de données d'observations précises, un modèle théorique et informatique des processus mentaux mis en œuvre dans la réalisation d'AVQ, en vue de son intégration dans un système d'aide à la tâche. Ce modèle devra rendre compte des difficultés que rencontrent les personnes cognitivement déficientes.

Les processus impliqués dans le bon fonctionnement des AVQ, appelés *processus exécutifs*, sont responsables du comportement intentionnel des êtres humains (Lezak, 1995, Meulemans *et al.*, 2004). Ils rassemblent entre autres les mécanismes de génération d'intentions, d'élaboration de stratégies, de planification, de contrôle de l'action, d'auto-correction et de validation des actions par rapport aux intentions fixées. Ces fonctions sont affaiblies chez les personnes âgées et détériorées chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer ou d'une maladie apparentée (Buckner, 2004, Duke et Kaszniak, 2000), provoquant une perte d'autonomie dans le quotidien et un besoin d'assistance de proches ou de professionnels. Dans la suite de ce travail, nous appellerons «altération cognitive» les troubles liés au vieillissement normal et à la maladie d'Alzheimer, ces troubles étant généralement graduels et irréversibles.

Le modèle de la personne que l'on se propose de développer dans ce travail devra donc reproduire les processus exécutifs impliqués dans la réalisation des activités de la vie quotidienne ainsi que leurs dysfonctionnements dans l'altération cognitive. Une phase d'observation et de

qualification de ces processus devra d'abord être réalisée. Le modèle théorique sera ensuite implémenté informatiquement de façon à obtenir un modèle «computationnel», c'est-à-dire simulable sur un ordinateur, pour une activité de la vie quotidienne spécifique. Ce modèle pourra servir de base de connaissance dite «profonde», en opposition aux connaissances «de surface», d'un système complexe de détection d'erreurs cognitives. Comme introduit précédemment, un premier modèle simulant l'évolution de la maladie d'Alzheimer dans une tâche de cuisine a permis de montrer que les cadres de développement de modèles cognitifs existants reflètent peu les mécanismes mis en jeu dans la réalisation d'AVQ. Un des enjeux majeurs de cette recherche est de s'appuyer sur des bases neuropsychologiques pour développer un modèle computationnel des processus exécutifs.

Ce travail de recherche se situe donc aux confluent de la réadaptation médicale et de la modélisation informatique. La réadaptation médicale s'appuie sur les théories de l'ergothérapie et de la neuropsychologie, qui décrivent et explicitent l'altération de l'autonomie dans les AVQ due à des troubles cognitifs et exécutifs. L'informatique offre les moyens d'une représentation formelle et systématique des activités et de l'environnement dans lequel celles-ci s'inscrivent, et d'une implémentation des modèles d'altération cognitive, pour la réalisation d'un outil opérationnel de soutien, de prévention des risques et de compensation des handicaps cognitifs. À ce titre, ce travail recoupe le domaine des sciences cognitives et de l'intelligence artificielle.

2.2 Objectifs et Méthodologie de la thèse

2.2.1 Les objectifs

En neuropsychologie, les modèles des lobes frontaux offrent des cadres théoriques complets sur le fonctionnement du comportement intentionnel et sur les processus exécutifs. Le premier modèle établi, et largement reconnu dans la littérature neuropsychologique, est celui de Luria (Luria, 1966, Luria, 1973). Il offre une idée générale de l'implication des lobes frontaux dans l'action volontaire, mais il reste cependant trop vague pour pouvoir être implémenté de façon informatique. Partant de la théorie de Luria, Norman et Shallice (Norman et Shallice, 1980, Norman et Shallice, 1986, Shallice et Burgess, 1996) proposent un modèle du contrôle attentionnel de l'action fonctionnant sur la base de deux modules complémentaires dont un

système attentionnel superviseur contrôlant les mécanismes exécutifs². Bien que les deux modules aient fait l'objet depuis peu de tentatives d'implémentation informatique (Cooper et Shallice, 2000, Cooper *et al.*, 2005, Cooper, 2007, Glasspool, 2000, Cooper, 2002), le modèle de Norman et Shallice n'est toujours pas assez précis pour une implémentation complète. L'un de nos objectifs sera donc de détailler le modèle en lui ajoutant des spécifications. Nous nous concentrerons sur une partie précise du modèle de Norman et Shallice. Un concept clé de la théorie de Luria, que l'on retrouve aussi chez Norman et Shallice, est l'absence d'auto-contrôle des patients atteints d'une lésion frontale (malades dits «frontaux»). Ces derniers sont incapables de reconnaître leurs erreurs et de réajuster leur comportement afin d'arriver au but initial. En effet, les lobes frontaux jouent un rôle majeur dans le *contrôle partiel*, l'*autocorrection*, et l'*acceptation* ou le *rejet de l'action*. Cet aspect du comportement intentionnel, que nous appellerons «contrôle exécutif», est particulièrement intéressant dans le cadre du système d'assistance cognitive, puisqu'il touche directement l'exécution de l'action. C'est précisément dans la phase de contrôle exécutif que le système pourra détecter les éventuels problèmes et réagir de manière appropriée.

Dans leurs théories, Luria et Norman et Shallice esquissent l'idée générale de fonctionnement des mécanismes de contrôle exécutif mais, ne les détaillent pas suffisamment pour pouvoir les implémenter directement dans un langage informatique. Une première étape sera donc d'étudier ces mécanismes et d'élaborer le cadre théorique en vue d'une informatisation. À cet effet, et conformément à la démarche scientifique, il est indispensable d'observer des personnes en train d'exécuter des tâches, qu'elles fassent ou non des erreurs, puis de modéliser à partir de ces observations. Un maximum de mécanismes de contrôle exécutif (correction d'éventuelles erreurs, ajustement face à une situation imprévue, inhibition des stimuli non pertinents à la tâche en cours, etc.) et des troubles associés (absence de corrections, incapacité à changer de stratégies, etc.) devra être observé pour construire un modèle suffisamment complet et cohérent.

D'une manière plus précise, le projet de recherche consiste à observer les capacités de *régulation de l'action*, de *correction* et d'*adaptation* de la personne face à des situations non prévues puis à les modéliser par un modèle théorique et computationnel. La démarche complète consiste donc à observer, qualifier, modéliser et implémenter :

- les mécanismes de contrôle exécutif lors de la réalisation d'une activité de la vie quotidienne ;

²Ces modèles sont présentés plus en détail dans l'état de l'art, au chapitre suivant.

- les dysfonctionnements de ces mécanismes dans l'exécution de l'activité lors de l'altération cognitive due au vieillissement et à une maladie de type Alzheimer.

L'objectif d'ensemble de la thèse peut ainsi être divisé en deux objectifs complémentaires :

→ *Le premier objectif consiste à observer et analyser les mécanismes exécutifs, en particulier ceux de contrôle exécutif, mis en jeu dans la réalisation des activités de la vie quotidienne et d'identifier comment ils sont perturbés dans l'altération cognitive (vieillesse cognitive normale ou liée à une maladie de type Alzheimer).*

Une approche inspirée de l'ergothérapie permettra de guider ce recueil d'observations. Nous choisirons d'observer une tâche quotidienne complexe (qui requière la participation des processus exécutifs).

→ *Le deuxième objectif consiste à élaborer un modèle théorique, ayant pour fondement les travaux de Norman et Shallice, et computationnel, cohérent avec les comportements observés lors de la dégradation des processus exécutifs.*

Nous nous fixons l'objectif de développer un prototype du modèle théorique (c'est-à-dire une partie du modèle) centré sur les processus de contrôle. La simulation de ce prototype se fera sur une tâche quotidienne simple. Nous choisirons une des tâches simulées dans les implémentations du gestionnaire des conflits par Cooper (Cooper, 2007). Ces simulations permettront d'amorcer une première phase de validation du modèle théorique ainsi que de l'ensemble de la démarche.

2.2.2 La méthodologie

La méthodologie appliquée dans cette recherche suit les deux objectifs énoncés ci-dessus et se décompose en deux grandes parties, chacune se décomposant en deux étapes (soit au total quatre étapes). Dans la première partie du travail, nous avons observé et qualifié les mécanismes exécutifs et leur dégradation au cours de l'altération cognitive. En terme de méthodologie, nous avons mis en place une expérimentation qui a permis la récolte de données que nous avons ensuite analysées de façon à qualifier les mécanismes observés. Dans la deuxième partie, nous avons modélisé de façon théorique puis computationnelle ces mécanismes. Pour cela, nous avons intégré les résultats obtenus dans la première partie du travail dans le modèle de Norman et Shallice puis nous avons développé un prototype informatique testé sur une tâche simple.

Étape 1 - Recueil d'observations :

Pour observer les mécanismes exécutifs impliqués dans les AVQ, nous avons mis en place une expérimentation. Cette expérimentation, ainsi que l'ensemble du projet, a été soumis et accepté par le comité d'éthique de l'Université de Sherbrooke. Dans cette étude, nous avons demandé aux sujets de réaliser deux tâches quotidiennes. Sans les prévenir, mais en leur laissant toujours la possibilité de terminer la tâche avec succès, nous avons introduit des perturbations dans chaque tâche de façon à créer des situations imprévues. Trois groupes de sujets ont été observés : (1) des adultes jeunes, afin d'étudier les mécanismes exécutifs impliqués dans la réalisation de la tâche ; (2) des personnes âgées autonomes, afin d'étudier le processus normal de dégradation des mécanismes exécutifs lié au vieillissement ; et (3) des personnes diagnostiquées MCI (Mild Cognitive Impairment) ou MA (maladie d'Alzheimer), afin d'étudier la dégradation des mécanismes exécutifs liée à la maladie.

Au cours de cette étape, des outils spécifiques ont été élaborés pour permettre l'analyse des données de la deuxième étape. A la façon des tests en ergothérapie (Baum et Edwards, 1993, Dutil *et al.*, 1996), une cotation a été élaborée pour évaluer les performances des sujets. En outre, une graduation précise des interventions de l'examineur a été définie de façon à ce que les interventions soient entièrement distinguées de l'observation des processus exécutifs. Enfin, une grille d'analyse, validée par des ergothérapeutes, et un rigoureux formalisme de description ont été élaborés pour permettre de découper et d'analyser les actions des sujets en terme de processus exécutifs, et de construire les arbres de séquence propre à chaque sujet.

Étape 2 - Analyse des données d'observation :

Pour catégoriser les mécanismes observés, nous avons procédé à une analyse quantitative et qualitative. Dans l'analyse quantitative, des données telles que le score obtenu, le temps d'exécution, le nombre d'erreurs ou encore le nombre d'interventions de l'examineur ont été analysées statistiquement. Les erreurs commises par les sujets ont été catégorisées en terme de processus exécutifs. Dans un deuxième temps, une analyse beaucoup plus fine cas par cas a été réalisée, que nous avons appelée «analyse qualitative». Réalisée uniquement sur la première tâche et sur un nombre restreint de sujets, cette analyse qualitative nous a permis de véritablement jeter les bases du modèle théorique. En s'aidant de la grille d'analyse, les actions des sujets ont été découpées et analysées en terme de processus exécutifs. Ce premier découpage a conclu à la construction d'un arbre de séquence pour chaque sujet. Les arbres ainsi construits permettent une lecture des actions des sujets en terme de re-planification, c'est-à-dire de lien entre buts et sous-but, et de réponses aux questions : «comment les sujets

se déplacent dans leur plan ?» «Est-ce qu'ils remontent d'un sous-but père ou de plusieurs ?» etc.

Étape 3 - Conception du modèle théorique :

Un dictionnaire des mécanismes exécutifs a été construit à partir des analyses des données réalisées dans la deuxième étape. Ce dictionnaire rassemble les différents processus observés, les opérations réalisables et les différentes erreurs associées. Il constitue une synthèse de ce qui a été observé durant l'expérimentation et des définitions existantes dans la littérature en neuropsychologie. Ce dictionnaire est ensuite pris comme point de départ de l'ajout de nouvelles spécifications du système attentionnel superviseur du modèle de Norman et Shallice. En utilisant les spécifications de Shallice et Burgess (1996), la proposition de Glasspool et Cooper (Glasspool, 2000, Cooper, 2002), mais aussi de notion en intelligence artificielle et en neuropsychologie, un modèle théorique plus précis a été élaboré.

Étape 4 - Implémentation informatique :

L'implémentation du modèle théorique, réalisée en java³, nous a permis d'obtenir un prototype. Après avoir re-codé le gestionnaire des conflits, développé en C par Cooper (Cooper, 2007), nous avons intégré nos propres modules. Nous avons ensuite modélisé une tâche simple pour simuler sa réalisation par le prototype. Les résultats de cette simulation ont permis d'ajuster certains paramètres du système et de valider l'architecture globale du modèle théorique (en particulier la communication entre les deux modules composant le modèle de Norman et Shallice).

³langage orienté objet qui permet la programmation de haut niveau (<http://java.sun.com/>)

Deuxième partie

OBSERVATION DES PROCESSUS EXÉCUTIFS ET DE LEUR DÉGRADATION DANS LA VIE QUOTIDIENNE

CHAPITRE 3

État de l'art : Les difficultés dans les activités de la vie quotidienne

Cette partie correspond au premier objectif fixé dans la problématique de thèse, à savoir : observer et analyser les mécanismes exécutifs et leur dégradation dans les activités de la vie quotidienne (AVQ). Ce chapitre et le suivant présentent l'état de l'art de l'étude des mécanismes mis en jeu dans les AVQ en ergothérapie et en neuropsychologie. Les deux chapitres suivants présentent l'expérimentation mise en place et l'analyse des résultats obtenus.

Les évaluations en ergothérapie permettent de mettre en évidence les difficultés des malades ou personnes handicapées et d'évaluer leur degré de dépendance dans le quotidien. Pour répondre à notre premier objectif, une expérimentation fondée sur ces évaluations a été mise en place. Nous présentons dans ce chapitre les différents tests existant pour évaluer les performances des personnes dans la réalisation des AVQ. Ces tests sont accompagnés, pour la plupart, d'une certaine systématisation des erreurs que peuvent commettre les personnes pendant la réalisation des tâches.

3.1 Les activités de la vie quotidienne

3.1.1 Définition

L'occupation humaine peut être divisée en trois catégories : les soins personnels, les loisirs et le travail. L'expression *activité de la vie quotidienne* se réfère aux activités que doit réaliser une personne pour répondre à ses besoins personnels (Katz *et al.*, 1963). Les AVQ regroupent les soins personnels (se laver, s'habiller, se nourrir, etc.), l'entretien de la maison (préparer son repas, faire le ménage, faire sa lessive, etc.) et les activités communautaires (utiliser les transports et faire preuve de mobilité, utiliser des services, gérer son temps et ses finances, etc.). Chacune de ces sous-catégories est liée à l'environnement de la personne : l'environnement personnel, l'environnement domiciliaire et enfin l'environnement communautaire (Dutil *et al.*, 1996). Les activités des deux dernières sous-catégories sont regroupées sous le concept d'*activités instrumentales de la vie quotidienne* (AIVQ), en anglais Instrumental Activities of Daily living (IADL) (Lawton et Brody, 1969). Ces activités concernent toutes les tâches d'entretien d'une maison et des habitants qui y vivent (préparer un repas, faire les courses, nettoyer, utiliser le téléphone, prendre des médicaments, gérer un budget, etc.).

En général, les activités concernant les soins personnels sont les plus simples. Les activités d'entretien de la maison et de la vie en communauté, ou AIVQ, demandent des capacités physiques et cognitives plus importantes. Elles requièrent en général des capacités de planification pour gérer son temps et être capable d'exécuter plusieurs tâches en parallèle (Pigot *et al.*, 2006). Ce sont les AVQ complexes qui sont les plus touchées par les maladies de type Alzheimer ou traumatisme crânien, car ce sont elles qui requièrent particulièrement des capacités de planification et d'organisation. Les malades ont un besoin particulier d'aide pour se souvenir des tâches à effectuer et du mode opératoire pour de leur réalisation (Pigot *et al.*, 2005).

3.1.2 Tests neuropsychologiques et ergothérapie

Différents outils de mesure et différentes échelles ont été mis au point pour évaluer la sévérité des maladies atteignant les fonctions cognitives et exécutives. Pour la maladie d'Alzheimer, par exemple, l'échelle de Reisberg (Reisberg *et al.*, 1982) ou encore le Clinical Dementia Rating (CDR) (Berg, 1988) permettent de caractériser l'évolution de la démence en fonc-

tion des performances cognitives et fonctionnelles. En général, ces tests sont réalisés sur la base de questionnaires et de tests neuropsychologiques. Les questionnaires réalisés auprès des aides-soignants ou des patients eux-même visent à évaluer l'autonomie de ces derniers. Cependant il a été démontré que les patients surestiment souvent leurs capacités (Edwards, 1990). Les tests neuropsychologiques, quant à eux, s'intéressent à l'évaluation de capacités cognitives spécifiques. En général, ces tests fournissent des renseignements sur les déficiences du patient, en termes de langage, de mémoire, de perception, de raisonnement, de planification, d'émotions et de contrôle de soi (Wilson, 1987). Par exemple, le test de la tour de Londres (Shallice, 1982) permet de mesurer les capacités de planification des sujets à travers une série de problèmes de différents niveaux de complexité. Le test de Stroop (Stroop, 1935) se concentre sur les capacités d'attention et d'inhibition. D'une manière générale, les tests neuropsychologiques permettent d'obtenir des schémas comportementaux (*patterns*) et aident à établir des diagnostics sur les déficiences cognitives du patient. Cependant, aucune relation n'est pour l'instant connue entre ces tests et les performances du patient dans la réalisation des activités de tous les jours. Les résultats à ces tests ne sont donc pas de bons prédicteurs des performances du patient en situation écologique (Baum et Edwards, 1993). En effet, la performance des patients à leur domicile dépend aussi de leurs habitudes de vie et de la façon dont ils compensent leurs pertes cognitives.

Partageant un autre point de vue, l'ergothérapie est une discipline paramédicale située au confluent des sciences médicales, des sciences humaines et sociales et de la technologie. Elle vise à aider les personnes en situation de handicap physique et/ou cognitif dans leur réadaptation et leur réinsertion sociale et professionnelle. La personne doit apprendre à surmonter et compenser son handicap pour pouvoir reprendre ses activités de vie quotidienne (CAOT, 1991). L'ergothérapeute lui fournit alors l'aide appropriée et suit son évolution lors de son retour à domicile après un séjour en institution médicalisée ou spécialisée. L'objectif des ergothérapeutes est de favoriser l'autonomie de la personne dans sa vie quotidienne, que ce soit au domicile, dans ses loisirs ou au travail. L'évaluation du niveau d'indépendance des patients dans les AVQ est donc primordiale. L'ergothérapeute détermine si une personne est capable d'utiliser ses capacités de raisonnement et de mémorisation pour faciliter l'exécution des tâches de la vie quotidienne. Il est important d'avoir une évaluation qui répertorie les performances des personnes selon le stade ou la gravité de la maladie. Des instruments de mesure ont été développés pour permettre l'analyse détaillée et objective des performances des patients dans les AVQ (Dutil *et al.*, 1996). Le Kitchen Task Assessment (Baum et Edwards, 1993) ou encore Le Profil des AVQ (Dutil *et al.*, 1996) font partie de ces outils d'évaluation.

3.2 Les outils d'évaluation des AVQ

3.2.1 Le Kitchen Task Assessment

Le Kitchen Task Assessment (KTA) a été développé par Baum et Edwards pour fournir une évaluation standardisée des performances d'une activité instrumentale élémentaire. Le Kitchen Task Assessment : a) évalue les processus cognitifs qui affectent la réalisation d'une tâche et détermine le niveau d'assistance cognitive nécessaire pour réussir la tâche ; b) peut être réalisé soit en milieu hospitalier, soit chez le malade étant donné qu'il s'agit d'un test de courte durée ; c) permet au clinicien d'observer et de traduire les performances du malade en «stratégies», que l'aide-soignant peut ensuite utiliser pour organiser cognitivement les autres activités de vie quotidienne ; d) génère un score pour mesurer les changements au cours du temps en termes de progression ou d'amélioration (Baum et Edwards, 1993).

Le KTA a été utilisé pour tester les capacités d'une personne atteinte de démence de type Alzheimer. Le KTA teste l'accomplissement d'une tâche de cuisine spécifique : la réalisation d'une recette de gâteau de type pudding issue d'un paquet commercial. La tâche consiste à mesurer les ingrédients et les mélanger, puis à faire chauffer le mélange, et enfin le répartir dans quatre petits plats. La personne qui fait passer le test doit fournir l'assistance nécessaire au sujet pour que l'expérience se déroule avec succès.

Les performances du sujet sont évaluées selon différents critères (Baum et Edwards, 1993) :

- Initiation : le sujet peut-il initier la tâche ?
- Organisation : le sujet peut-il réunir tous les ingrédients nécessaires ?
- Réalisation de toutes les étapes : le sujet peut-il réaliser toutes les étapes nécessaires à l'accomplissement de la tâche ?
- Séquençage : le sujet peut-il organiser séquentiellement les étapes pour que la tâche puisse être effectuée ?
- Jugement et sécurité : le sujet est-il en sécurité quand il réalise la tâche ?
- Complétion : le sujet s'aperçoit-il de la fin de la tâche ?

Pour chaque critère, le niveau d'assistance du superviseur du test est évalué en attribuant une note de 0 à 3 :

- 0 pour le sujet complètement indépendant,
- 1 pour le sujet qui nécessite une aide verbale,
- 2 pour le sujet qui nécessite une assistance physique,

- 3 pour le sujet totalement incapable.

La note est attribuée indépendamment du nombre d'indices donnés par l'examineur. Ainsi, même si le sujet a besoin de plusieurs aides verbales mais une seule aide physique pour un certain critère, c'est l'aide physique qui sera retenue. Le test sera donc échelonné entre 0 et 18, le score le plus élevé correspondant aux performances les plus dégradées.

Le Kitchen Task Assessment permet au clinicien d'obtenir des informations objectives qu'il pourra ensuite utiliser pour entraîner l'aide soignant à assister des personnes atteintes de démences de type Alzheimer dans les tâches de vie quotidienne. Le Kitchen Task Assessment a été testé sur 106 sujets âgés de 71 et 75 ans et atteints de la maladie d'Alzheimer. Chaque sujet a subi un diagnostic utilisant le CDR, Clinical Dementia Rating (Berg, 1988), pour évaluer le stade de la maladie. Les résultats montrent une corrélation entre le stade de la maladie et le résultat du Kitchen Task Assessment. Les principaux scores obtenus lors de l'étude indiquent qu'une démence légère, avec un CDR de 1, nécessite une aide verbale pour l'accomplissement d'une tâche alors que les démences modérée et grave, avec un CDR de 2 ou 3, nécessitent une assistance physique (Baum et Edwards, 1993).

En conclusion, le Kitchen Task Assessment permet de savoir si une personne atteinte de démence de type Alzheimer peut accomplir seule une tâche complexe de vie quotidienne et dans le cas contraire de connaître le niveau d'assistance cognitive nécessaire à l'accomplissement de cette tâche.

3.2.2 Le Profil des AVQ

Le profil des AVQ (Dutil *et al.*, 1996) a été mis au point par des chercheurs de l'Institut de Réadaptation de Montréal. Il s'agit d'un instrument de mesure qui permet, lors de la réalisation d'AVQ, d'évaluer les performances et les compétences de personnes ayant subi un traumatisme cranio-encéphalique. L'évaluation est effectuée par une mise en situation, de préférence dans le milieu de vie du sujet, et par un questionnaire administré sous forme d'entretien semi-structuré sur un ensemble de 26 tâches. Les tâches sont reliées à l'environnement personnel, domiciliaire et communautaire du sujet, comme suit :

- Environnement personnel
 - Hygiène : (1) faire sa toilette, (2) prendre soin de son apparence, (3) s'acquitter de l'hygiène excrétrice

- Habillage : mettre/enlever (4) ses vêtements et chaussures d'intérieur, (5) ses vêtements et chaussures d'extérieur, (6) accessoires/aides techniques
- Alimentation : (7) prendre un repas
- Santé : (8) respecter sa diète/prendre sa médication, (9) assurer sa sécurité en situation d'urgence
- Environnement domiciliaire
 - Repas : (10) préparer un repas léger, (11) préparer un repas chaud
 - Entretien : (12) faire l'entretien quotidien, (13) faire le ménage hebdomadaire, (14) faire les petits travaux d'entretien à l'extérieur, (15) entretenir les vêtements
- Environnement communautaire
 - Déplacements : (16) se déplacer à l'extérieur, (17) utiliser le transport en commun régulier, (18) conduire une voiture
 - Utilisation des services : (19) faire ses courses, (20) manger au restaurant, (21) téléphoner pour une information
 - Gestion des finances : (22) payer un compte par chèque, (23) utiliser un guichet automatique, (24) faire un budget
 - Structuration temporelle : (25) respecter un rendez-vous, (26) respecter son horaire

Les tâches 8, 9, 18, 25 et 26 ne sont évaluées qu'avec le questionnaire. Celui-ci permet de connaître les habitudes de vie de la personne antérieures au traumatisme, et les changements occasionnés par le traumatisme. Dans la mise en situation, les tâches sont observées selon les quatre opérations suivantes, inspirées par le modèle de Luria (Luria, 1973, Luria, 1978) : formuler un but (capacité de connaître ses besoins et de s'engager dans une tâche), planifier (capacité d'élaborer des stratégies et d'ordonner tous les éléments de la tâche), réguler l'exécution de la tâche (capacité d'exécuter une tâche, de la modifier au besoin et de s'adapter aux objectifs et aux conditions de la tâche) et s'assurer de la qualité de l'exécution (capacité de vérifier les résultats en fonction du but déterminé et de se corriger lorsque nécessaire).

Contrairement au KTA, lors de la mise en situation, l'évaluateur doit éviter de décrire les étapes de la tâche et doit donner le moins possible de consignes au sujet afin de pouvoir observer toutes ses capacités, notamment celles de planification. Le système de cotation rend compte du degré d'indépendance du sujet dans la réalisation des différentes tâches en fonction des différentes opérations. Une note est attribuée pour chaque opération. Le score final de la tâche est attribué en prenant la cote la plus basse obtenue dans l'évaluation des opérations.

- 3 : Indépendance sans difficulté
- 2 : Indépendance avec difficulté
- 1 : Assistance verbale (1v) ou physique (1p)
- 0 : Dépendance
- 8 : Non évalué - intrinsèque
- 9 : Non évalué - extrinsèque

Les résultats de l'évaluation sont donc de nature quantitative, avec une cote pour chaque tâche, et qualitative, avec les observations de l'examineur.

3.2.3 L'évaluation des déficits exécutifs dans la schizophrénie

Un outil d'évaluation a été développé pour mesurer le dysfonctionnement exécutif chez les patients schizophrènes dans la réalisation d'activités de la vie quotidienne (Semkovska *et al.*, 2004). Les capacités de planification et d'organisation des personnes sont évaluées de façon écologique au cours de la réalisation d'une activité composée d'un nombre fini de sous-buts (choisir un menu, acheter les ingrédients et préparer un repas).

La personne doit réaliser dans l'ordre : (1) composer un menu (un hors d'œuvre, une entrée et un dessert) réalisable en une heure parmi un choix de 12 recettes (4 hors d'œuvre, 4 entrées et 4 desserts) ; (2) acheter à l'épicerie les 8 ingrédients manquants pour pouvoir réaliser le menu ; (3) préparer le repas pour deux personnes dans une cuisine équipée située dans l'hôpital où a lieu l'évaluation. Avant de commencer l'évaluation, l'examineur explique à la personne qu'elle doit réaliser les tâches comme si elle était seule. Contrairement aux deux évaluations précédemment présentées, l'examineur n'intervient pas pendant la réalisation des tâches pour fournir une aide au sujet.

Le comportement de la personne est ensuite décomposé en une séquence d'actions qui est comparée à une séquence optimale de comportement établie au préalable (cf. figure 3.1). La séquence optimale est décomposée en macro et micro séquences. La comparaison permet de détecter les erreurs d'omission, de répétition et d'inversion que peuvent commettre les personnes. Le score final est obtenu par un calcul en fonction des erreurs commises pour chaque tâche.

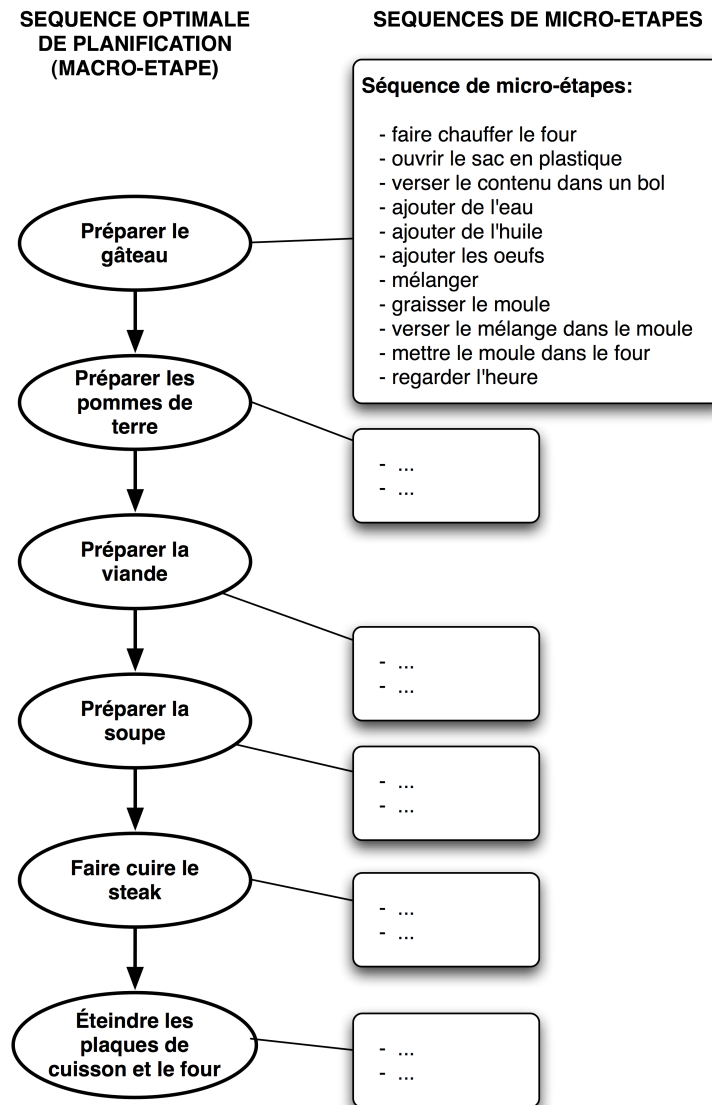


Figure 3.1 – Extrait de la séquence optimale d'action utilisée pour attribuer un score (Semkowska *et al.*, 2004)

3.3 Les erreurs dans les AVQ

3.3.1 Maladie d'Alzheimer : Les erreurs lors du KTA

Le but premier du Kitchen Task Assessment est de définir le niveau d'assistance dont à besoin le sujet et non de dresser une liste exhaustive des erreurs susceptibles d'être commises

par les patients Alzheimer. Toutefois, le guide d'administration du KTA donne des exemples d'erreurs pour chaque critère d'évaluation de la tâche (cf. tableau 3.1).

Critère d'évaluation	Exemples d'erreurs associées
Initiation	Le sujet ne commence pas la tâche
Organisation	Le sujet n'utilise pas les ustensiles de façon appropriée (par exemple, il utilise le verre mesureur pour faire chauffer le mélange)
Exécution de toutes les étapes	Le sujet oublie de réaliser une étape (par exemple, il n'allume pas la plaque de cuisson)
Séquençage	Le sujet ne réalise pas les étapes dans le bon ordre (par exemple, il verse le mélange avant de l'avoir fait chauffer, ou il allume la plaque de cuisson avant de commencer)
Jugement et sécurité	Le sujet manipule la casserole chaude d'une façon non sécuritaire
Complétion	Le sujet ne s'aperçoit pas que la tâche est terminée (par exemple, il continue à gratter la casserole alors qu'elle est vide ou il bouge continuellement les moules sur le comptoir)

Tableau 3.1 – Les différents types d'erreurs observées lors du KTA

3.3.2 Traumatisme crânien : Les erreurs lors du profil des AVQ

Comme pour le KTA, les erreurs observées lors du profil des AVQ n'ont pas été systématisées. On peut néanmoins dégager quatre grandes catégories d'erreurs qui correspondent aux différentes opérations évaluées par l'examineur. Les différents types d'erreurs sont résumés dans le tableau 3.2.

Opération	Difficultés rencontrées pour
Formuler un but	Prendre une décision Envisager différentes alternatives à une même tâche
Planifier la tâche	Identifier les étapes nécessaires pour faire la tâche Organiser ces étapes de façon séquentielle
Réguler la performance	Exécuter toutes les étapes selon le plan d'action S'adapter aux changements lors de la réalisation de la tâche Faire les corrections nécessaires
S'assurer de la qualité de la performance	Vérifier la fin de la tâche

Tableau 3.2 – Les différents types de difficultés rencontrées dans le profil des AVQ

3.3.3 Schizophrénie : Les erreurs dans les AVQ

Les patients schizophrènes observés au cours de l'évaluation présentée précédemment (cf. section 3.2.3) commettent principalement des erreurs d'omission, de répétition et de planification. Lorsqu'on les compare avec les sujets-contrôle de l'étude, ils font plus d'erreurs d'omission lorsqu'ils choisissent le menu, plus d'erreurs de séquençage et de répétition pendant les courses et plus d'erreurs de planification, de répétition et d'omission pendant la tâche de cuisine.

Les résultats montrent donc que les patients schizophrènes ont plus de mal à réaliser l'activité de cuisine que les sujets-contrôle. Le nombre élevé d'erreurs de macro-planification révèle notamment un problème organisationnel (cf. figure 3.3).

Variables	Patients schizophrènes M(E.T.)	Sujets contrôle M(E.T.)	<i>t</i>
<i>Choisir le menu</i>			
Erreurs de séquençage	1.00 (0.83)	0.81 (0.68)	0.895
Répétitions	0.37 (0.69)	0.04 (0.19)	2.425
Omissions	5.59 (4.38)	1.52 (1.09)	4.692 * * *
<i>Faire les courses</i>			
Erreurs de séquençage	2.52 (2.03)	1.30 (1.10)	2.837 *
Répétitions	3.89 (2.65)	1.26 (1.29)	4.636 * * *
Omissions	0.59 (0.84)	0.48 (0.75)	1.137
<i>Préparer le repas</i>			
Erreurs de séquençage	5.81(2.68)	2.96 (1.32)	4.971 * * *
Répétitions	8.41 (7.21)	1.41 (1.50)	4.937 * * *
Omissions	1.81 (2.19)	0.56 (0.70)	2.781 **
Macro-étapes	10.63 (6.10)	4.48 (1.91)	4.996 * * *
Temps entre premier et dernier plat (min)	27.65 (16.44)	9.59 (6.12)	5.348 * * *
* $p < 0.01$			
* * $p < 0.001$			
* * * $p < 0.001$			

Tableau 3.3 – Performances des sujets pendant la réalisation des tâches (Semkovska *et al.*, 2004)

3.3.4 Syndrome de désorganisation de l'action

Dans leurs travaux, Schwartz *et al.* (1991, 1998) s'intéressent aux erreurs que commettent, dans leur quotidien, les personnes atteintes de lésions du lobe frontal. Ils définissent le *syn-*

drome de désorganisation de l'action comme une désorganisation des actions intentionnelles, avec des erreurs fréquentes. Ils observent que les patients commettent des erreurs même lors de la réalisation d'activités de la vie quotidienne simples qui s'exécutent de manière automatique. Dans leur protocole expérimental, ils demandent aux sujets de réaliser différentes tâches («préparer des tartines», «emballer un cadeau», «préparer une boîte à lunch») sous diverses conditions (présence de distracteurs, ajout d'une seconde tâche «préparer une lettre pour la poster»). À partir de l'observation de ces activités, ces auteurs ont établi une catégorisation des erreurs reconnue et utilisée dans différents travaux. C'est le cas, notamment, dans les travaux de Forde et Humphreys (Forde et Humphreys, 2002) qui l'utilisent pour évaluer les performances des patients pour diverses activités quotidiennes («préparer une tasse de thé», «emballer un cadeau», «préparer une lettre», etc.). Cette catégorisation des erreurs est aussi utilisée pour l'implémentation du modèle de Norman et Shallice (que nous détaillons dans la section 7.2).

Le tableau 3.4 résume la taxonomie des erreurs du syndrome de désorganisation de l'action.

3.4 Résumé

Si les tests neuropsychologiques permettent de mesurer les capacités cognitives des malades, les évaluations écologiques en ergothérapie reflètent les difficultés qu'éprouvent les personnes dans leur vie quotidienne. Ces tests permettent de mesurer leur degré de dépendance dans la réalisation des AVQ. Les erreurs que commettent les personnes sont catégorisées en fonction des critères d'évaluation du test. Chaque test étudie certains types d'erreurs ou de problèmes. Par exemple, le syndrome de désorganisation de l'action s'intéresse aux problèmes rencontrés pendant l'exécution de la tâche alors que le profil des AVQ met en évidence des erreurs sur un plan de plus haut niveau en observant les mécanismes de génération d'intentions, de planification, ou autre.

Toutes ces évaluations sont fondées sur des connaissances en neuropsychologie. Le chapitre suivant va expliquer quels sont les mécanismes mis en jeu dans la réalisation des AVQ et comment leur perturbation entraîne des erreurs telles que celles qui viennent d'être présentées.

Catégorie d'erreur	Description	Exemple
Omission	Le sujet oublie une étape	Le sujet échoue dans l'utilisation d'un timbre sur une enveloppe
Séquence	Anticipation - Omission : Le sujet effectue une action avant une autre qui, du coup, n'est pas effectuée	Le sujet ferme le bouchon du thermos avant de l'avoir rempli
	Inversement : Le sujet intervertit l'ordre de deux actions	Le sujet remue un bol d'eau chaude puis verse la poudre
	Persévération : Le sujet répète de façon non intentionnelle une action	Le sujet fait deux sandwiches
Substitution d'un objet	Le sujet réalise une action avec un objet non approprié à cette action	Le sujet remue le café avec une fourchette au lieu d'une cuillère
Action supplémentaire	Le sujet exécute une action qui n'est pas utile à la réalisation de la tâche	Le sujet coupe la boîte d'un cadeau
Substitution d'un geste	Le sujet utilise le bon objet mais pas le bon geste pour une action	Le sujet met la crème avec la cuillère dans le café (au lieu de la verser)
Désorientation spatiale pour la saisie d'un objet	Le sujet saisit ou utilise mal un objet par rapport à sa main ou à un autre objet	Le sujet prend les ciseaux du mauvais côté
Mauvaise estimation spatiale	La relation spatiale que le sujet a de plusieurs objets est incorrecte	Le sujet découpe une trop petite feuille de papier cadeau par rapport à l'objet à emballer
Omission d'un objet	Le sujet réalise l'action sans utiliser l'objet adéquat	Le sujet étale de la confiture avec le doigt
Qualité	Le sujet utilise une quantité inappropriée ou inexacte	Le sujet remplit le thermos jusqu'à ce que le liquide déborde

Tableau 3.4 – Erreurs typiques du syndrome de désorganisation de l'action (Schwartz *et al.*, 1998)

CHAPITRE 4

État de l'art : Les processus impliqués dans les AVQ, ou processus exécutifs

Les recherches sur le rôle et l'importance des lobes frontaux ont débuté au début du XX^e siècle grâce à l'étude du cas de Phineas Gage (Harlow, 1968, Damasio, 1995). Suite à une explosion, cet homme est blessé par une barre de fer qui lui transperce la région frontale du crâne. Contre toute attente, il survit et se remet rapidement de ses blessures. Aucune fonction vitale ne semble être touchée, pourtant son entourage observe un profond changement de personnalité. En effet, son comportement est fortement affecté : changements d'humeur, manque de respect, désinhibition, etc.

Ce cas marque le début des recherches sur l'impact des lésions frontales sur le comportement humain. Des études cliniques et expérimentales en neuropsychologie et en psychologie cognitive ont permis d'établir des modèles solides de fonctionnement des lobes frontaux, notamment les modèles de Luria (Luria, 1966, Luria, 1973), de Norman et Shallice (Norman et Shallice, 1980, Norman et Shallice, 1986) ou encore de Baddley (Baddeley, 1990).

4.1 Les processus exécutifs

Le concept de *processus exécutifs* est né de la psychologie cognitive, avant d'être repris et enrichi par la neuropsychologie. Ils ont souvent été synonyme de fonctions frontales, bien

que de récentes recherches aient démontré l'existence de troubles des processus exécutifs, ou *syndrome dysexécutif*, lors de lésions non frontales (Meulemans *et al.*, 2004, Perry et Hodges, 1999).

4.1.1 Définition

On appelle *processus exécutifs* les capacités qui permettent à une personne d'avoir un comportement indépendant, intentionnel, et intéressé. Les processus exécutifs rassemblent tous les processus cognitifs de haut niveau mis en jeu pour réaliser une tâche nouvelle ou complexe (Meulemans *et al.*, 2004). Ils utilisent des mécanismes dit de *contrôle exécutif* tels que l'inhibition, l'initiative, la génération d'hypothèses, la flexibilité cognitive, le jugement et la prise de décision ou encore l'exploitation de feedback (Meulemans *et al.*, 2004). Selon Lezak, les processus exécutifs peuvent être classées en quatre groupes conceptuellement distincts : la volonté, la planification, l'action intentionnelle et la réalisation effective (Lezak, 1995).

4.1.1.1 La volonté

Pour avoir un comportement intentionnel, la première étape est de former des intentions et d'émettre des buts. Ce processus implique la conscience de soi et de son environnement, la motivation nécessaire et la capacité à initier une activité.

4.1.1.2 La planification

La planification correspond à l'identification des éléments importants, à l'organisation des étapes nécessaires à la réalisation d'une intention et à l'atteinte d'un but fixé préalablement. Ce concept de planification englobe la capacité à élaborer différentes stratégies, à les évaluer et à en choisir une, puis à organiser les idées de façon séquentielle et hiérarchique afin d'établir une structure qui donnera la direction à suivre pour réaliser le plan. Ce processus implique une attention soutenue, des fonctions mnésiques intactes et une capacité à former des intentions.

4.1.1.3 L'action intentionnelle

L'étape qui permet de passer d'une intention ou d'un plan à une action requiert de pouvoir initier, maintenir, changer et arrêter des séquences de comportement de façon ordonnée et

intégrée. Comme Shallice (1982), Lezak fait une distinction entre les tâches familières et routinières, et les situations nouvelles qui demandent une implication plus importante des mécanismes de programmation de l'activité. Les tâches connues, qui n'ont pas besoin de la composante de planification, sont donc moins vulnérables aux lésions frontales.

4.1.1.4 La réalisation effective

Cette composante des processus exécutifs est aussi appelé *auto-contrôle* ou *contrôle partiel* dans la théorie de Luria (Luria, 1966). Elle correspond à la surveillance et au contrôle de l'action. La personne doit être capable de s'adapter à des situations imprévues et de s'auto-corriger en régulant l'exécution de l'action. L'auto-contrôle comprend aussi la confrontation des résultats obtenus avec les données initiales. Certains patients atteints de lésions cérébrales ne perçoivent pas leurs erreurs. D'autres identifient leurs erreurs mais ne font rien pour les corriger.

4.1.2 Concepts associés aux processus exécutifs

Certains mécanismes ou concepts sont associés aux processus exécutifs. Pour la suite de notre travail, nous détaillerons deux d'entre eux : l'inhibition et les scripts.

4.1.2.1 L'inhibition

Le concept de processus inhibiteur est fréquemment utilisé dans la littérature neuropsychologique. L'inhibition est définie de manière générale comme un mécanisme fondamental de suppression de représentations ou de processus préalablement activés (Meulemans *et al.*, 2004, Harnishfeger, 1995). L'inhibition est un concept très important des processus exécutifs. C'est par ce procédé que l'homme est capable d'initier de nouvelles actions sans se laisser aller aux stimuli accessoires de l'environnement, ou au contraire à passer outre les réponses habituelles pour s'adapter à l'environnement. On retrouve ce concept dans la plupart des théories frontales, notamment dans la troisième unité du modèle de Luria, ou encore dans le système attentionnel superviseur (SAS) du modèle de Norman et Shallice. Luria souligne, dans ses observations auprès de patients frontaux, la présence de persévérations et de stéréotypies, expliquées par une difficulté à inhiber des routines d'actions devenues automatiques.

On notera qu'en psychologie, on appelle *distracteur*, une information ou un stimulus présent

dans le champ cognitif qui ne correspond pas aux caractéristiques à traiter, et qui a pour effet de détourner notre attention de la cible (Cadet, 1998). L'inhibition du distracteur joue un rôle dans l'ordonnancement de divers aspects du comportement orienté par un but ou par une planification. En contre parti, elle demande un coût attentionnel élevé, en particulier pour inhiber des automatismes.

4.1.2.2 Les scripts

Un autre concept que l'on retrouve souvent lorsqu'on parle de processus exécutifs est le concept de script. Les scripts, que l'on retrouve aussi en intelligence artificielle, sont apparus avec les notions de résolution de problème. Il semblerait que les personnes disposent des «schémas» ou des «scripts» qui décrivent, de façon plus ou moins complète, une situation particulière, dépendant du niveau d'expertise de la personne. Schank et Abelson (1977) font partie des premiers chercheurs à introduire la notion de *script* pour définir des séquences d'actions organisées, connues et standardisées. Un script peut être défini comme une représentation mentale ou un schéma qui sous-tend une activité fréquemment entreprise, comme, par exemple «aller au restaurant». Un script fournit des informations sur la situation, les acteurs ou les objets en cause, le but à atteindre, les objectifs nécessaires à la solution, l'organisation séquentielle des actions et les sous-buts à atteindre (Le Gall *et al.*, 1993, Van der Linden *et al.*, 1999). Les scripts sont souvent utilisés dans les modèles neuropsychologiques des lobes frontaux, notamment dans celui de Norman et Shallice (Norman et Shallice, 1986, Norman et Shallice, 1980), celui de Grafman (Grafman, 1995) ou encore celui de Schwartz (Schwartz *et al.*, 1991, Schwartz *et al.*, 1998).

4.1.3 Atteintes des processus exécutifs

A la différence d'une atteinte des fonctions cognitives, qui ciblent un processus en particulier (la perception, la mémoire, l'apprentissage ou encore le langage), une atteinte des fonctions exécutives perturbe le comportement dans sa globalité. La personne devient incapable de répondre à ses besoins, de travailler de façon efficace ou d'effectuer des activités de la vie quotidienne de façon indépendante. Les problèmes majeurs d'une détérioration des processus exécutifs sont les suivants : (a) troubles de l'initiation d'activités, (b) perte de motivation, (c) problèmes de planification, et (d) mauvais contrôle de l'exécution.

Les processus exécutifs ont tendance à se détériorer avec l'âge. L'hypothèse exécutive du vieillissement cognitif considère le déficit des processus exécutifs, notamment celui du contrôle exécutif, comme une caractéristique principale du vieillissement normal et permet d'expliquer les autres principales altérations cognitives (Isingrini, 2004). Le dysfonctionnement exécutif a une influence directe sur la mémoire car il détériore les processus stratégiques et contrôlés d'encodage et de récupération de l'information (Buckner, 2004). Des études ont montré que la détérioration des processus exécutifs (planification perturbée, manque d'inhibition, réponses contextuellement inappropriées, réduction de la flexibilité cognitive ou encore faiblesse de résolution de problème) est accentuée chez les patients souffrant de la maladie d'Alzheimer (Perry et Hodges, 1999, Duke et Kaszniak, 2000, Buckner, 2004). Enfin, on observe aussi une atteinte des processus exécutifs dans la schizophrénie et les traumatismes crâniens (Lezak, 1995, Dutil *et al.*, 1996, Semkowska *et al.*, 2004).

4.2 Les lobes frontaux : théories et modèles neuropsychologiques

Les modèles neuropsychologiques des lobes frontaux sont à l'origine des concepts de processus exécutifs présentés précédemment. Certains neuropsychologues ont développé leur propre modèle de fonctionnement du comportement intentionnel. Nous présentons les deux modèles les plus connus : celui de Luria et celui de Norman et Shallice.

4.2.1 Le modèle de Luria

Alexander Romanovich Luria (1966 ; 1973 ; 1978) s'intéresse tout particulièrement aux principes de l'organisation fonctionnelle du cerveau humain. Il définit l'activité mentale comme étant articulée autour de trois principales unités fonctionnelles du cerveau : une unité pour la *régulation des états internes*, une unité pour *l'obtention, le traitement et l'emmagasinement des informations* provenant du monde extérieur, et enfin une unité pour *la planification, la régulation et la vérification de l'activité mentale*. Toutes les formes d'activité consciente nécessitent la participation conjointe de ces trois unités fonctionnelles, chacune d'elles apportant sa propre contribution. C'est la troisième unité fonctionnelle, concernant les régions frontales du cortex, qui joue un rôle fondamental dans l'organisation de l'activité consciente

et intentionnelle.

L'une des fonctions principales des régions frontales est celle du contrôle de la plupart des formes complexes d'activités de l'homme guidées par un but. Dans son comportement conscient, l'être humain crée des intentions, élabore des plans et des programmes complexes, et les exécute en contrôlant leur déroulement. Il vérifie ensuite la validité de son action en comparant les effets de cette action avec le plan initial, corrige les éventuelles erreurs et met fin à l'action, ou la renouvelle si le but initial n'est pas atteint. Des données cliniques et des études expérimentales ont permis de répertorier les troubles provoqués par les lésions frontales et d'expliquer de mieux en mieux les mécanismes mis à contribution (Godefroy *et al.*, 2004).

Le maintien du tonus cortical optimal permet d'établir des plans et des intentions dominant les stimuli non appropriés ou distracteurs ; il fait des lobes frontaux un appareil élaborant des plans et des intentions stables, et capable de contrôler le comportement conscient du sujet. Les intentions forment un système de liaisons dominant qui inhibe l'effet de tous les stimuli accessoires. C'est ainsi que l'activité acquiert un caractère organisé, sélectif et répondant à la tâche fixée. Une réduction de l'activité corticale suffit pour que la dominance des associations essentielles devienne instable. Les associations accessoires, dues à l'influence des stimuli extérieurs ou à celle des traces du passé, acquièrent une force égale à celles sélectionnées par l'intention. Tout programme sélectif devient alors impossible. Lors d'atteintes légères des parties frontales, on observe des réactions d'orientation vers des stimuli inappropriés et déconnectés des intentions. A un stade plus avancé, les lésions frontales provoquent un état d'apathie : le patient devient complètement passif et n'exprime plus aucun désir.

Après avoir formulé le but de l'action et organisé cette action en fonction de ses diverses données, le sujet élabore le schéma général d'exécution de la tâche dont il va ensuite contrôler la réalisation. Les lésions frontales provoquent la désintégration des programmes complexes de l'activité, qui sont remplacés par des formes de comportement plus élémentaires ou par des stéréotypes inertes bien établis. Les déficits n'apparaissent que lorsque l'action doit se conformer à un projet préalable, quand cette action a un caractère multiple et nécessite le choix d'une solution adéquate parmi plusieurs possibilités (Luria, 1966). On observe alors une perte de sélectivité, des poussées incontrôlées de persévérations et des actes impulsifs. Dans ses travaux (1966), Luria décrit l'exécution de programmes complexes comme une série d'actions consécutives. Le sujet doit retenir la tâche ou l'instruction verbale, assimiler le schéma moteur d'ensemble et fractionner son action en une série de sous-programmes consé-

cutifs, confronter chaque chaînon avec le programme initial et enfin corriger les erreurs qui surviennent pendant l'exécution. Si le programme consiste en un groupe de sous programmes qui se relaient, le sujet doit inhiber l'inertie secondaire à chaque acte pris isolément tout en s'orientant vers le chaînon suivant. Les lésions frontales perturbent la souplesse des enchaînements. Le programme est rapidement dégradé par la persévération d'éléments isolés ou fait place à un programme simplifié. Des transferts d'un programme à un autre peuvent également avoir lieu. Si les sujets ne possèdent pas de réponse toute prête, l'élaboration des programmes est soumise à une démarche heuristique. Le sujet analyse la situation et dégage les maillons qui ont le plus de chance d'aboutir à la solution. Ceux qui n'y correspondent pas sont inhibés et leur probabilité d'apparaître diminue. La recherche devient centrée et s'appuie sur des signes heuristiques. En présence de lésions frontales, la recherche devient chaotique. Le sujet ne s'oriente pas par des hypothèses définies. Il ne dégage pas les éléments riches en information et tombe sous l'influence de facteurs accessoires.

Enfin, c'est dans les parties antérieures du cortex que s'effectue le contrôle de la réalisation des programmes complexes, établis antérieurement dans la phase de planification. Les effets de l'action sont comparés au plan initial par un processus continu qui prend fin lorsque l'action coïncide avec les attentes du plan. Pendant cette phase de contrôle partiel, le sujet peut rectifier ou ajuster son programme et s'adapter à des situations imprévues ou nouvelles. La perte du sens critique envers les erreurs et l'absence de correction sont pour Luria parmi les plus importantes manifestations des lésions frontales. En effet, les patients frontaux ne sont plus capables de confronter leur projet initial avec la réalisation. Lorsque ces patients exécutent un programme et qu'ils tombent sous l'influence d'un stéréotype inerte, ils ne sont pas conscients de leurs propres erreurs.

En résumé, le comportement intentionnel peut être vu comme une résolution de problème, fragmentée en plusieurs étapes (figure 4.1) comme suit :

- **Analyse des données** : le sujet formule le but de l'action, fait une investigation préliminaire des conditions de départ de la tâche ou du problème à résoudre. Il identifie les éléments essentiels au problème et organise l'action en fonction de ses diverses données.
- **Elaboration d'un plan** : (1) Une fois que la solution potentielle la plus adaptée a été sélectionnée et les autres rejetées, le sujet élabore le schéma général de réalisation de la tâche. (2) Le sujet définit les opérations à effectuer et l'ordre dans lequel elles devront être réalisées.
- **Exécution** : le sujet applique la séquence d'opération appropriées.
- **Contrôle partiel** : au cours de la réalisation, un processus continu de contrôle permet

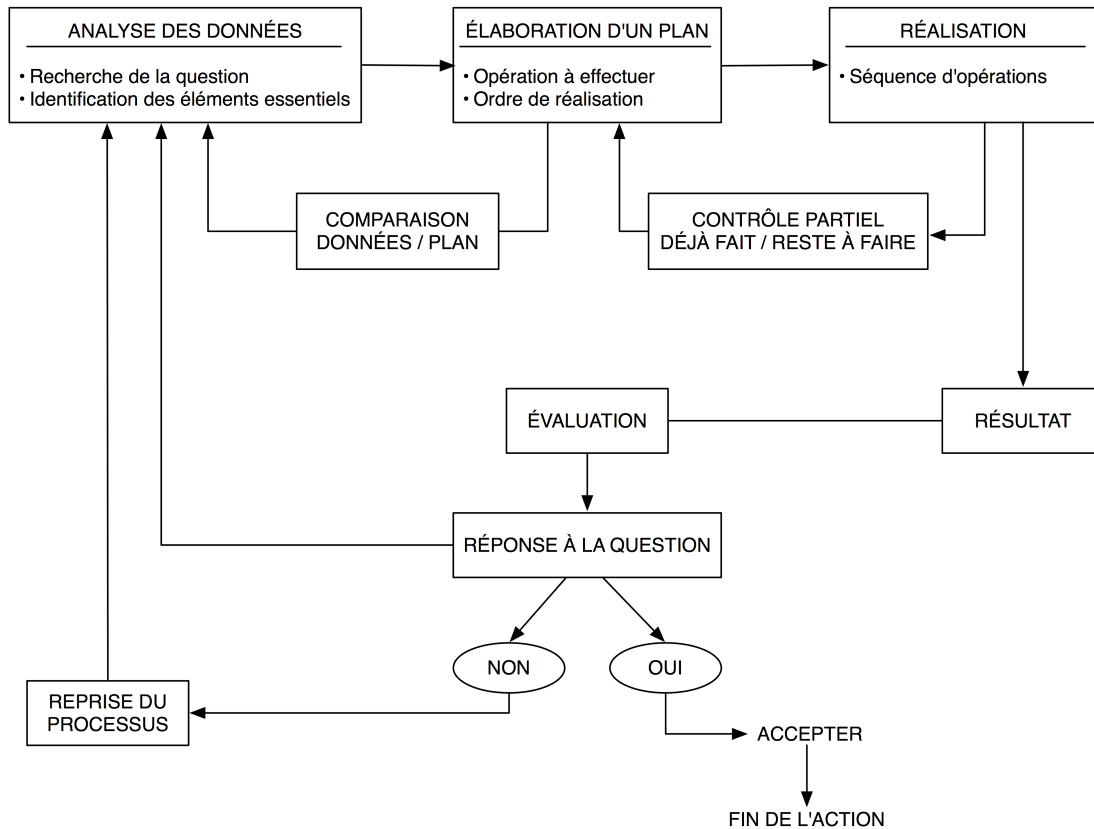


Figure 4.1 – Schéma de l'activité de résolution de problème selon Luria (Van der Linden *et al.*, 1999)

de comparer la réalisation au plan établi. Le sujet peut alors ajuster son programme en fonction d'éventuelles erreurs ou de situations imprévues.

- **Terminaison/Reprise du processus** : une fois que la solution a été identifiée, le sujet doit évaluer ses résultats en les confrontant aux intentions initiales. Si le but est atteint, le sujet met fin à l'action, sinon il recommence le processus avec une nouvelle stratégie.

Les lésions des lobes frontaux ont pour conséquence la perturbation du comportement intentionnel dans sa totalité :

- Troubles d'analyse des données : le sujet ne formule plus de désir ou de but. Il n'identifie plus les éléments importants pour la résolution du problème.
- Troubles de la phase de planification : le sujet n'élabore pas de stratégies efficaces ou a du mal à choisir la meilleure. Il a du mal à esquisser le schéma général de l'action ou à choisir

les opérations adéquates.

- Troubles de l'exécution : le sujet remplace les opérations du plans par des stéréotypes inertes ou des éléments isolés. Il se laisse aller à des stimuli non pertinents pour la résolution du problème.
- Troubles de l'évaluation des résultats : le sujet n'a pas conscience de ses propres erreurs et ne les corrige pas. Il ne confronte pas ses résultats avec les données initiales et termine l'action même si elle n'atteint pas les objectifs fixés.

4.2.2 Le modèle de Norman et Shallice

En se basant sur les recherches de Luria et en s'inspirant des travaux en intelligence artificielle, concernant notamment l'architecture cognitive SOAR de Newell (Newell, 1990), Norman et Shallice ont mis au point un modèle de contrôle attentionnel de l'action (Norman et Shallice, 1980, Norman et Shallice, 1986).

Avant de travailler ensemble, Norman s'intéressait aux erreurs commises dans les activités de la vie quotidienne et Shallice à la conscience et aux patients atteints d'un syndrome frontal. Dans leurs travaux en commun, ils s'intéressent au rôle de l'attention dans le contrôle de l'activité. Selon eux, la plupart des activités humaines se déroulent le plus souvent de façon routinière et automatique. Cependant, lorsque une situation devient plus complexe, un processus de contrôle attentionnel volontaire intervient. Ils suggèrent alors deux niveaux de contrôle : un mécanisme de gestion de conflit, ou *contention scheduling*, qui permet de sélectionner un *schéma d'action*, et un mécanisme de supervision attentionnelle, ou *supervisory attentional system*, qui influence la sélection d'un schéma lorsque nécessaire. La figure 4.2 illustre les relations entre les différents modules.

Nous ne présentons ici que la théorie psychologique de ce modèle. Plus loin, nous détaillerons son implémentation computationnelle et entrerons dans les spécifications et les détails du fonctionnement de chacun de ses modules.

4.2.2.1 L'organisation en schémas d'action

Le *schéma d'action* est l'unité mnésique fondamentale du modèle de Norman et Shallice. Les séquences d'actions sont contrôlées par des schémas organisés soit en séquences hiérarchiques, avec des schémas de haut niveau et d'autres de bas niveau, soit en séquences parallèles indé-

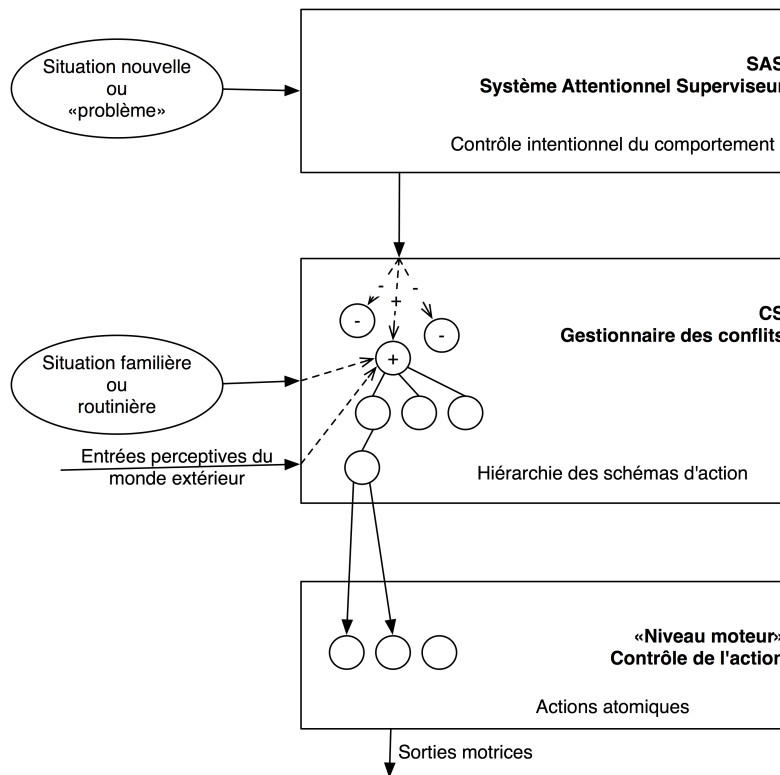


Figure 4.2 – Interaction entre les modules du modèle de Norman et Shallice

pendantes. N'importe quelle séquence d'actions qui a été correctement apprise est représentée par un ensemble de schémas stockés en mémoire. Le *schéma source* permet d'activer le plus haut niveau de contrôle.

Les schémas peuvent avoir différents états : dormant, activé ou sélectionné. Les schémas dormants sont des schémas qui n'interviennent pas dans l'activité en cours. Lorsque des schémas deviennent actifs, une valeur d'activation leur est associée. Chaque schéma a donc un niveau d'activation propre résultant de l'équilibrage entre l'excitation et l'inhibition dont il est l'objet. La valeur d'activation est déterminée en fonction de l'influence de différents facteurs tels que le schéma source (lors de l'initialisation), les autres schémas actifs (par la hiérarchie des schémas), la motivation ou encore les informations perceptives. On entre alors en phase de sélection, de compétition et de négociation entre les schémas. Un schéma est sélectionné lorsque son niveau d'activation dépasse un seuil d'activation critique (sélection). Il peut arriver que plusieurs schémas soient susceptibles d'être activés en même temps (compétition). Cependant, pour des raisons de partage de ressources, un seul schéma peut-être activé à la

fois (négociation).

L'organisation des schémas d'action est soumise à un système de flux horizontaux tandis que la gestion des schémas est soumise à un système de flux verticaux.

Le *flux horizontal* est la représentation en schémas d'action de la séquence d'actions. Une séquence d'actions simple et familière peut être représentée par un ensemble de schémas d'action, activés par l'apparition d'un élément perceptif, et ayant pour conséquence la sélection du mouvement du corps approprié à l'action.

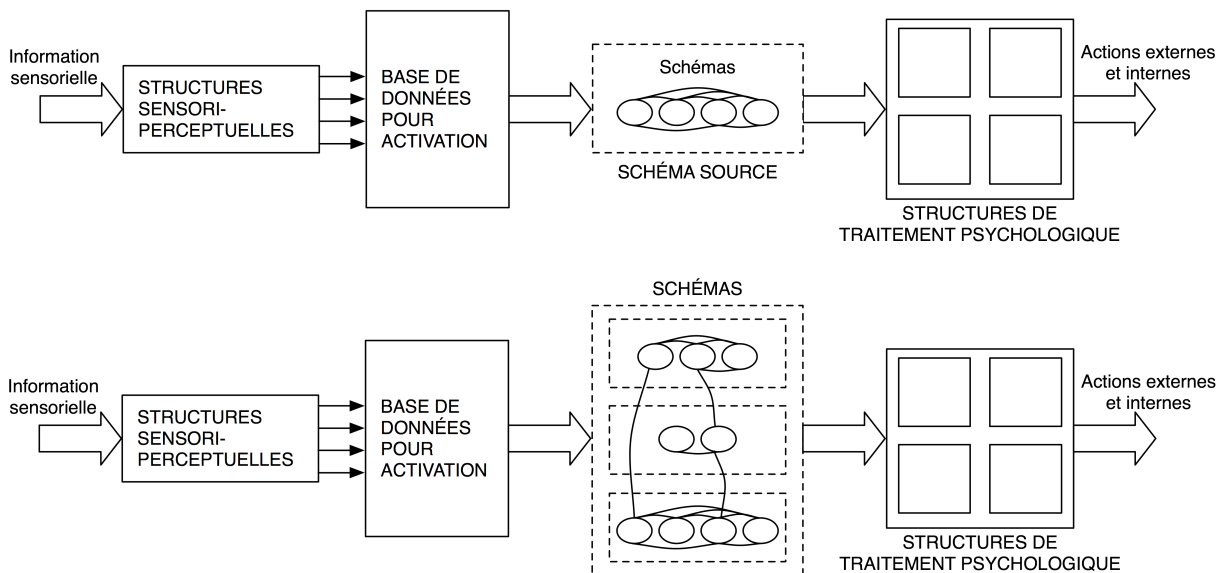


Figure 4.3 – Flux horizontaux simples ou simultanés (Norman et Shallice, 1980)

La figure 4.3 (en haut) montre un flux horizontal pour une séquence d'action très simple : ce genre de séquence est caractérisé par un flux linéaire d'information entre les différentes structures de traitement psychologique et les schémas de connaissance impliqués. La sélection des schémas est déterminée les conditions d'activation de chaque schéma.

La figure 4.3 (en bas) représente les différentes séquences d'actions possibles à un moment donné, chacune représentée par sa propre structure de flux horizontal. Les lignes qui connectent les schémas entre eux permettent de représenter les interactions entre les différents flux horizontaux. Si des schémas utilisent les mêmes ressources (par exemple, la même structure de mémoire ou un groupe particulier de muscles), une résolution de conflits est nécessaire.

Chaque schéma composant un flux horizontal possède, comme tout schéma, sa propre valeur d'activation. Celle-ci est déterminée par trois facteurs : les influences des flux verticaux, les influences du gestionnaire des conflits et les influences des conditions d'activation. Les conditions d'activation déterminent le timing approprié pour commencer l'exécution des schémas. Le gestionnaire des conflits combine les différentes influences pour déterminer le schéma candidat le plus approprié (sélection).

Enfin, les flux verticaux permettent d'orienter le processus de sélection vers un schéma particulier. Ils agissent sur les valeurs d'activation des schémas de façon à augmenter leur chance d'être sélectionnés par le gestionnaire des conflits (cf. figure 4.4). Différents flux, ou facteurs, sont utilisés :

Les ressources attentionnelles : Le flux vertical le plus important est celui du contrôle attentionnel, rôle joué par le mécanisme de supervision attentionnelle. Il permet de suivre et de contrôler l'ensemble de l'activité en agissant sur les valeurs d'activation des schémas sources pertinents. Il s'agit d'un contrôle indirect de l'action, puisque le contrôle se fait sur les valeurs d'activation et pas directement sur la sélection du schéma.

La motivation : Ce flux vertical agit sur les buts à long terme en activant des schémas sources (les mécanismes de mémoire sont eux-mêmes représentés par des structures de flux horizontaux).

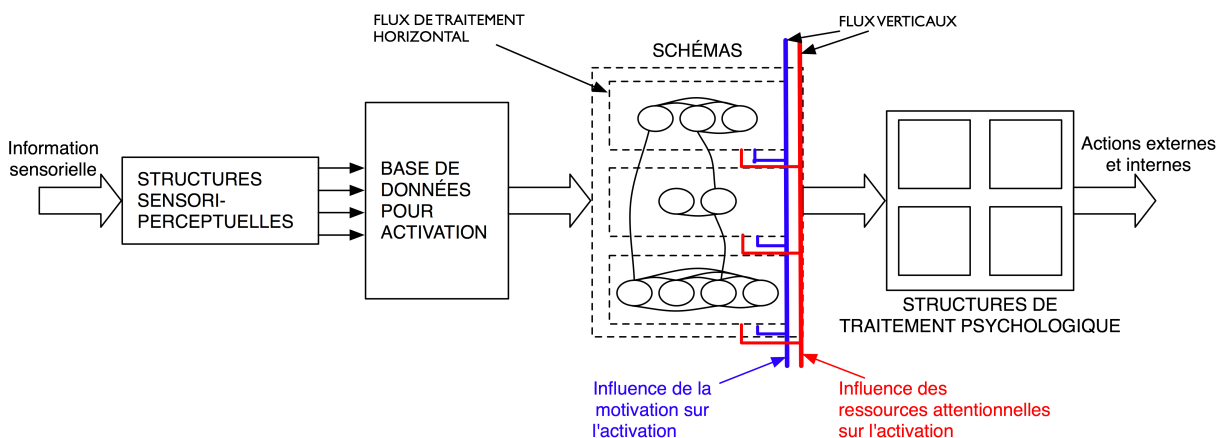


Figure 4.4 – Flux vertical (Norman et Shallice, 1980)

4.2.2.2 Le gestionnaire des conflits (*contention scheduling*)

Des actions réalisables à un instant donné peuvent soit entrer en conflit les unes avec les autres, soit être réalisées conjointement par une action coopérative. Le gestionnaire des conflits (CS) permet de résoudre les situations de conflit entre différents schémas actifs en sélectionnant le schéma le plus approprié aux objectifs de la tâche en cours.

La sélection de l'ordre des actions à réaliser se fait donc par le CS dans lequel les schémas interagissent les uns avec les autres par inhibition ou excitation des valeurs d'activation. Les valeurs d'activation initiales des schémas sont déterminées par leur schéma source. Lorsqu'un schéma source est sélectionné, tous les schémas qui le composent sont activés, devenant à leur tour schéma source et activant leurs schémas composants. D'autres facteurs jouent sur les valeurs d'activation des schémas, notamment les *conditions de déclenchement*. Ce facteur joue sur la valeur d'activation des schémas pour leur permettre d'être sélectionnés au bon moment, selon les événements de l'environnement. Les conditions de déclenchements permettent de spécifier les conditions exactes pour lesquelles la sélection de chaque schéma est possible. La sélection d'un schéma se fait lorsque l'activation de celui-ci dépasse la valeur d'un seuil.

Nous avons présenté les mécanismes d'activation, de gestion de conflits et de sélection des schémas tels qu'ils sont décrits dans la version de base de la théorie de Norman et Shallice. De récents travaux sur l'informatisation du modèle de Norman et Shallice, que nous présentons dans la section 7.2, ont permis de détailler et de spécifier les mécanismes composant le CS (Cooper et Shallice, 2000, Cooper *et al.*, 2005).

4.2.2.3 Le système attentionnel superviseur (*supervisory attentional system*)

Les situations nouvelles ou complexes requièrent des capacités d'élaboration de stratégies et de planification. Le système attentionnel superviseur (SAS) a pour rôle d'intervenir lorsque les procédures de routines sont insuffisantes. Norman et Shallice décrivent cinq situations dans lesquelles le SAS intervient :

- Les situations nécessitant un processus de planification ou de prise de décision.
- Les situations impliquant la corrections d'erreurs.
- Les situations dans lesquelles les réponses ne sont pas bien apprises ou qui contiennent de nouvelles séquences d'actions.
- Les situations techniquement difficiles ou dangereuses.
- Les situations qui exigent de contrecarrer une réponse habituelle forte ou de résister à la

tentation.

Le SAS exerce son contrôle sur le gestionnaire des conflits (CS) en ajoutant de l'activation ou de l'inhibition supplémentaire aux schémas. De cette façon, un schéma faiblement activé initialement pourra prendre le dessus sur les autres schémas en recevant plus d'activation. Le SAS peut aussi construire et implémenter un nouveau schéma temporaire qui contrôlera les schémas de plus bas niveau du CS, de façon à fournir une procédure pour gérer efficacement les situations nouvelles. Le SAS peut être vu comme un système de contrôle des processus de haut-niveau qui modulent les systèmes de plus bas-niveau, et dont le siège serait le cortex préfrontal. En ce sens, la définition du SAS se rapproche de celle de la troisième unité du modèle de Luria (unité de planification, régulation et vérification de l'activité mentale).

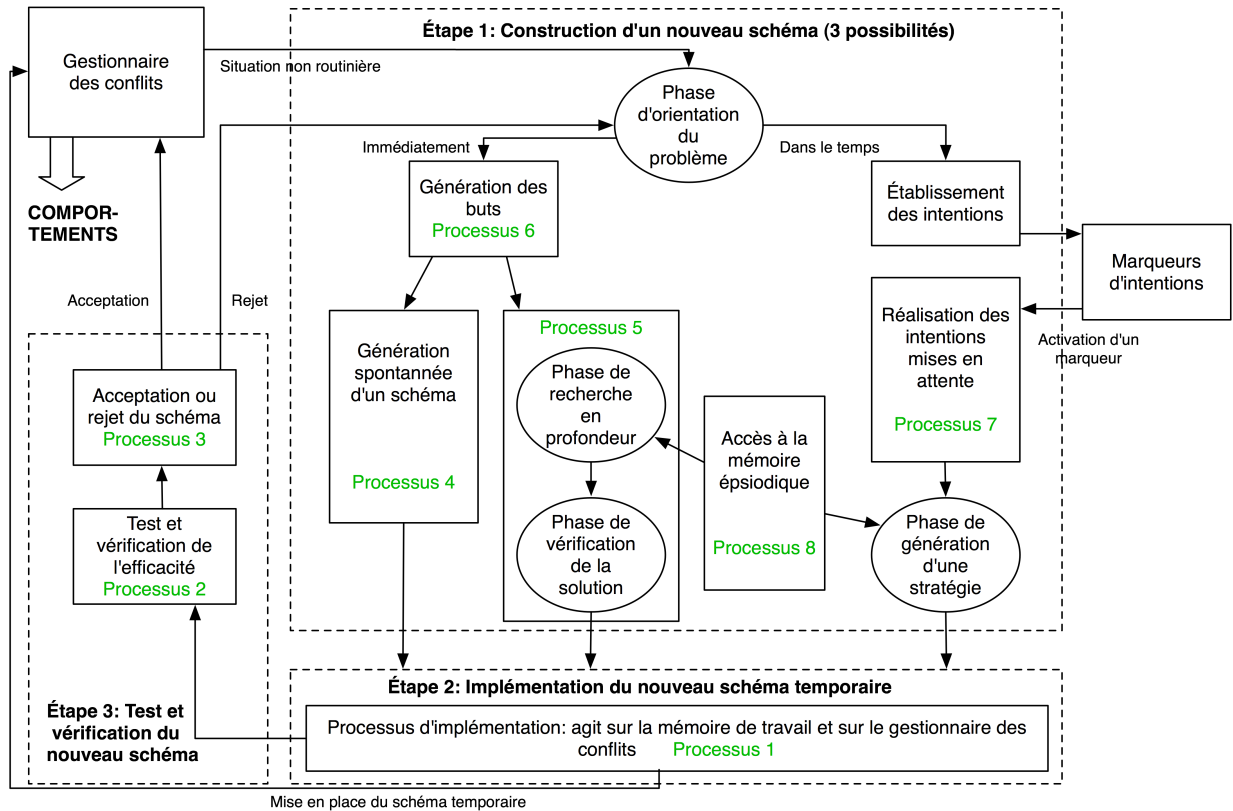


Figure 4.5 – Fractionnement du SAS en plusieurs processus de supervision (Shallice et Burgess, 1996)

Dans la version initiale de la théorie de Norman et Shallice, le fonctionnement du SAS est très peu spécifié. Il faut attendre les travaux de Shallice et Burgess pour en avoir une vision plus détaillée. Ces derniers proposent un fractionnement du SAS en plusieurs processus de

supervision, schématisé (figure 4.5) (Shallice et Burgess, 1991, Shallice et Burgess, 1996) de la façon suivante :

- Étape 1 : **Génération de stratégies**, ou construction d'un nouveau schéma temporaire. C'est au cours de cette étape que les buts sont fixés, puis que les schémas candidats à l'atteinte de ce but sont générés (*processus 6*). La génération de stratégies peut être spontanée (*processus 4*) ou correspondre à un processus de «résolution de problèmes» (*processus 5*). La résolution de problèmes implique une phase d'orientation du problème, une phase de recherche en profondeur de la solution et une phase de vérification de la solution. Dans le cas où la résolution du problèmes est décalée dans le temps, deux processus permettent d'assister la génération de stratégies : d'une part, le *processus 7*, qui permet la formation et la réalisation d'intentions de façon à préparer la stratégie et le plan d'actions, d'autre part, le *processus 8*, qui permet l'accès à la mémoire épisodique pour s'aider des expériences passées.
- Étape 2 : **Exécution**, ou implémentation du schéma temporaire. Un processus (*processus 1*) est chargé d'implémenter le schéma temporaire. Cette étape correspond à l'activation séquentielle de schémas existants dans le gestionnaire des conflits correspondant aux actions qui composent le nouveau schéma. Ce processus requiert la mémoire de travail pour maintenir le schéma temporaire actif.
- Étape 3 : **Suivi**, ou contrôle de l'exécution du schéma. La situation et le schéma temporaire étant tous les deux nouveaux, un contrôle doit avoir lieu pour s'assurer de l'efficacité du schéma (*processus 2*). Le schéma temporaire peut être amené à être rejeté ou modifié si il est jugé non efficace (*processus 3*).

4.3 Résumé

Les théories neuropsychologiques des lobes frontaux, introduites par Luria (1966), identifient les processus exécutifs comme responsables du comportement intentionnel orienté par un but. Les processus exécutifs peuvent être séparés en groupes conceptuellement distincts : la volonté (génération des intentions), la planification (élaboration et choix d'une stratégie, construction du plan), l'action intentionnelle (initiation, maintien, changement et arrêt des séquences d'actions du plan) et enfin la réalisation effective (ajustement, auto-correction et régulation de l'exécution de l'action). C'est l'altération de ces processus qui provoque les difficultés et la dépendance des personnes dans leur quotidien.

Le modèle le plus utilisé et le plus complet est celui proposé par Norman et Shallice (1980, 1986). Leur théorie du contrôle attentionnel de l'action fonctionne sur la base de deux modules complémentaires dont un système attentionnel superviseur (SAS) correspondant aux processus exécutifs. Le gestionnaire des conflits (l'autre module) permet de sélectionner et d'exécuter les schémas d'actions en mode automatique alors que le SAS intervient lorsque les procédures de routines sont insuffisantes. Le SAS peut alors planifier et contrôler le déroulement de la tâche. Les travaux de Shallice et Burgess (1996) proposent un fractionnement du SAS en plusieurs processus de supervision (établissement d'un but, formulation d'un plan ou encore évaluation du plan et correction en cours de réalisation). Certains processus sont plus détaillés que d'autres. C'est le cas par exemple de la planification par rapport aux processus responsable du contrôle de l'action.

Nous avons justement choisi de nous concentrer sur une meilleure définition de ces mécanismes de contrôle exécutif puisqu'ils interviennent directement dans la réalisation des tâches. Leur altération peut directement compromettre la sécurité et l'autonomie de la personne.

CHAPITRE 5

Protocole expérimental et outils d'analyse : Observation des processus exécutifs et de leur dégradation au cours de l'altération cognitive

Les évaluations en ergothérapie et les modèles neuropsychologiques présentés précédemment nous ont permis d'élaborer notre étude expérimentale. L'objectif de cette étude est d'observer les mécanismes exécutifs, et plus particulièrement ceux qui sont liés au contrôle exécutif, lors de réalisation de tâches de vie quotidienne. Pour pouvoir observer non seulement les mécanismes dans leur bon fonctionnement mais aussi dans leurs altérations, nous nous étudierons en particulier la variabilité de ces mécanismes.

A cet effet, nous avons observé plusieurs groupes de sujets réalisant deux tâches quotidiennes. Différentes cotations et outils spécifiques ont été élaborés pour faciliter l'évaluation puis l'analyse quantitative et qualitative des résultats obtenus.

5.1 Les tâches observées

Dans cette étude, le choix des tâches se révèle être primordial pour pouvoir observer les processus exécutifs. Si le déroulement de la tâche se passe comme le sujet l'a planifié, les mécanismes exécutifs d'auto-contrôle seront transparents pour l'observateur.

Pour choisir les tâches à observer, nous nous sommes basés sur les critères suivants :

- La tâche doit être familière indépendamment du sexe, de l'âge ou du milieu socio-culturel des sujets. En référence au modèle de Norman et Shallice, il s'agit d'éviter de choisir des tâches trop routinières afin de solliciter les mécanismes de supervision attentionnelle, ou mécanismes de haut niveau¹.
- La tâche ne doit pas être trop complexe afin de pouvoir être effectuée par différents types de population, notamment par les personnes âgées atteintes de troubles cognitifs.
- La tâche doit être suffisamment complexe pour demander des capacités de planification. Si l'on prend la tâche simple consistant à préparer une tasse de thé, on se limite à l'observation de mécanismes de micro planification. Les mécanismes d'élaboration de stratégies et de macro planification ne seront alors pas observables.
- La tâche doit pouvoir avoir été réalisée au moins de deux façons différentes : si le sujet ne peut effectuer l'activité d'une certaine façon, il doit avoir la possibilité de changer de stratégie. Les changements de stratégies et les mécanismes de macro planification seront alors observables.
- La tâche doit être facilement réalisable au sein de la plate-forme d'expérimentation sur les appartements intelligents du laboratoire TIMC-IMAG. Les tâches de cuisine sont exclues puisque la cuisine était trop sommairement équipée au moment des expérimentations.
- La tâche doit être réalisée plus ou moins de manière uniforme par tous les sujets, dans un souci de systématisation en vue de la simulation informatique de la tâche.
- La tâche doit pouvoir être facilement perturbée. En créant des situations imprévues, donc non planifiées, on rend les mécanismes d'adaptation et d'ajustement observables. En d'autres termes, les perturbations introduites permettent de faire appel aux mécanismes de haut niveau (contrôle exécutif) même si la tâche est familière pour certains sujets.
- La tâche doit être sujette aux erreurs, pour pouvoir observer les mécanismes d'auto-correction.

¹Comme indiqué au chapitre précédent, dans le modèle de Norman et Shallice (Norman et Shallice, 1980, Norman et Shallice, 1986), le système superviseur (SAS) entre en jeu lorsque la situation est nouvelle ou complexe. Il entre aussi en jeu lorsqu'un problème est détecté.

Notre choix s'est arrêté sur deux tâches inspirées des tests en ergothérapie et en neuropsychologie (cf. Chapitre 3). Chaque sujet doit réaliser les deux tâches suivantes : *remplir un formulaire pour le poster* et *rempoter une plante*. Pour chaque tâche, on introduit des perturbations. Deux types de perturbations sont utilisées : (1) introduire des situations imprévues ou des éléments nouveaux, appelés *distracteurs*, dans l'environnement, et (2) introduire des erreurs dans la planification. Dans le premier cas, on force le sujet à se réguler, s'adapter en changeant son plan ou en élaborant de nouvelles stratégies (micro et macro re-planification). Dans le deuxième cas, on force le sujet à commettre des erreurs de façon à observer ses capacités à s'apercevoir de l'erreur et à la corriger (micro-planification). A noter que tous les éléments indispensables pour réussir la tâche, même perturbée, sont fournis aux sujets. On s'attend donc à ce que l'introduction des perturbations active des mécanismes de re-planification. Nous définissons deux types de re-planification selon leur portée en terme de processus exécutifs. La micro re-planification concerne les ajustements locaux qui ne modifient pas le plan général de la tâche. La macro re-planification concerne les ajustements globaux de la tâche, à savoir un changement de stratégie, ou une suspension de l'intention pour initier une tâche secondaire. Un ajustement de type macro re-planification fait appel aux processus exécutifs dans leur ensemble (génération d'intention, choix de stratégie, construction d'un plan, etc.). On retrouve cette distinction de micro et macro niveaux d'organisation dans l'outil de mesure du dysfonctionnement exécutif chez les patients schizophrènes (Semkovska *et al.*, 2004) présenté en section 3.2.3. Le tableau 5.1 résume les principales caractéristiques des tâches et de leurs perturbations.

La première tâche est inspirée de la tâche «Écrire une lettre» dans les expérimentations de Forde et Humphreys (Forde et Humphreys, 2002). Dans notre expérimentation, le sujet doit remplir un formulaire simple d'adhésion (cf. Annexe A) et préparer l'enveloppe pour poster la lettre. Pour cela, le sujet doit remplir ses coordonnées et la catégorie à laquelle il appartient (étudiant, retraité, etc.). Il doit ensuite préparer l'enveloppe pour poster la lettre : recopier le nom et l'adresse du destinataire, coller le timbre et sceller l'enveloppe. Une des perturbations introduites dans cette tâche est de rendre l'adresse du destinataire floue. On introduit ainsi une sous-tâche «Obtenir l'adresse», inspirée de la tâche «Obtenir un renseignement» du profil des AVQ (Dutil *et al.*, 1996). Ne pouvant lire l'adresse inscrite sur le formulaire, le sujet va devoir trouver un autre moyen pour l'obtenir. Plusieurs choix s'offrent à lui : il peut regarder dans l'annuaire, téléphoner au service de renseignements, ou encore faire une recherche sur Internet. Le sujet est libre de choisir la stratégie qu'il préfère. Cette sous-tâche permet d'observer le processus de réalisation d'activités dans son ensemble, à savoir

établir un but, élaborer des stratégies et en choisir une, planifier les actions et enfin exécuter la tâche en contrôlant son aboutissement (macro re-planification). Pendant la réalisation de cette sous-tâche, on peut aussi observer des mécanismes de changement de stratégies. En effet, certains sujets ont du mal à trouver l'adresse du premier coup. Ils doivent alors utiliser plusieurs stratégies (par exemple, rechercher dans les pages jaunes, téléphoner aux renseignements, retourner dans les pages jaunes. etc.). Les autres perturbations de la tâche permettent d'observer les ajustements de plus bas niveau (micro re-planification), par exemple ajouter un bout de scotch sur le rabat de l'enveloppe après s'être aperçu que l'enveloppe donné par l'examineur ne colle pas.

La deuxième tâche est une tâche de jardinage. Elle est beaucoup plus appliquée que la première tâche. Cette tâche est inspirée de tâches fréquemment réalisées en ergothérapie. L'introduction de distracteurs dans la tâche est inspirée du MLAT (Multi-Level action test) de Schwartz et al. (Schwartz *et al.*, 1991). On retrouve la présence de distracteurs dans plusieurs expériences sur les activités de la vie quotidienne, notamment dans celle de Chevignard *et al.*, concernant la mise en évidence de troubles de la planification par l'exécution de scripts (Chevignard *et al.*, 2000). Les distracteurs permettent d'observer les capacités de régulation des sujets. Dans notre cas, on fournit au sujet un mode d'emploi erroné (cf. Annexe A). Le pot indiqué dans le mode d'emploi est trop petit pour que la tâche réalisée réponde à l'attente de la consigne («rempoter la plante afin qu'elle ait plus d'espace»). Le sujet doit changer de pot, autrement dit, il doit s'ajuster dans le choix du pot et corriger son action s'il avait déjà transvasé la plante. Cette tâche est aussi intéressante pour les mécanismes de micro-planification et de contrôle de l'action. Les mécanismes observés dans cette tâche sont ceux du suivi d'un plan et de l'adaptation ou de la modification de ce plan au besoin.

Dans les deux tâches, on pourra observer les mécanismes de contrôle (comparer le plan avec les actions réalisées) et d'évaluation (comparer le résultat de la tâche réalisée avec les intentions fixées au départ).

Les consignes données aux sujets : Une série de consignes est donnée au sujet avant de commencer les tâches correspondant à la mise en situation. On demande au sujet d'imaginer qu'il est à son domicile. Il doit alors agir dans l'appartement comme il le ferait chez lui, en évitant d'interagir avec l'examineur. Le sujet est libre de circuler comme il le désire dans l'appartement et de se servir des objets qui l'entourent. Enfin, le sujet doit réaliser les tâches demandées comme il les ferait chez lui, sans s'occuper du temps qu'il y passe.

	Tâche 1	Tâche 2
Dénomination	Remplir un formulaire pour le poster	Rempoter une plante
Description	Cette tâche de bureautique est composée de trois sous tâches : 1. Remplir le formulaire d'adhésion au CCSTI de Grenoble (informations personnelles du sujet, choix d'une cotisation selon le statut du sujet, date et signature) 2. Obtenir l'adresse pour envoyer le formulaire 3. Préparer l'enveloppe (mettre le formulaire dans l'enveloppe, recopier l'adresse, mettre le timbre et fermer l'enveloppe) La tâche est considérée achevée quand le sujet met la lettre dans la boîte postale.	Cette tâche de jardinage comporte 5 étapes essentielles : 1. Choisir un nouveau pot 2. Dépoter la plante 3. Mettre du terreau dans le nouveau pot 4. Mettre la plante et la stabiliser 5. Arroser la plante Un mode d'emploi est fourni. La tâche est considérée comme achevée lorsque la plante est rempotée et que le sujet l'a arrosée.
Particularités	Le plan général de la tâche est donné au sujet. Le choix de la stratégie et du plan de la sous-tâche «obtenir l'adresse» sont libres. On veut observer la capacité du sujet à s'adapter à des situations imprévues : changer son plan initial, générer un nouveau but, élaborer des stratégies.	Le plan détaillé de la tâche est fourni au sujet. On force le sujet à commettre des erreurs en lui donnant un mode d'emploi erroné. On veut observer la capacité du sujet à se corriger et changer son plan. Cette tâche est dynamique et fortement sensible aux influences de l'environnement. On veut observer les capacités de régulation du sujet.
Perturbations	– La chaise du bureau est encombrée de livres (annuaire). → <i>régulation</i> – Le stylo fourni pour l'expérience ne marche pas. → <i>micro/macro re-planification</i> – L'adresse inscrite sur le formulaire est illisible. → <i>macro re-planification (tous les processus)</i> – L'écran de l'ordinateur est débranché. – L'enveloppe ne colle pas. → <i>micro re-planification</i>	Le mode d'emploi comporte volontairement des erreurs : – Prendre un pot plus petit que celui d'origine. – Mettre une trop grande quantité de terre dans le pot. → <i>micro/macro re-planification</i> Des ustensiles non pertinents à la tâche sont inclus dans le matériel disponible (DISTRIBUTEURS) : – Utiliser une louche à la place de la pelle. – Remplir l'arrosoir avec la bouteille de jus de fruit au lieu de la bouteille d'eau. → <i>inhibition des stimuli extérieurs</i>
Mécanismes	Génération de but, Élaboration/choix de stratégies, Ajustement : re-planification (macro/micro)	Régulation, Correction : re-planification (micro)
Contrôle partiel : comparaison plan/action, Évaluation		

Tableau 5.1: Description des deux tâches constituant l'expérience

L'aménagement de l'espace expérimental : Pour le bon déroulement de l'étude expérimentale, on met à disposition du sujet tous les éléments requis dans chaque tâche, y compris ceux pour faire face aux perturbations.

Pour la première tâche, un bureau est installé avec un ordinateur, les annuaires pages jaunes et pages blanches, un bloc note, un téléphone et un pot à crayon contenant un stylo, un crayon à papier, un rouleau de scotch et un tube de colle. On remet au sujet un stylo (qui ne marche pas), une enveloppe, un carnet de timbre et un formulaire d'adhésion au CCSTI de Grenoble.

Pour la deuxième tâche, un plan de travail avec des journaux est installé. Il contient un arrosoir, une bouteille d'eau, un sac de terreau, trois pots de différentes tailles (A, B et C de tailles respectivement petit, moyen et grand), une pelle à jardiner, une coupelle et un balai. Il y a aussi des distracteurs : une louche et une bouteille de thé et une de soda.

5.2 Les échantillons de sujets

Pour répondre au premier objectif (*modélisation des mécanismes d'auto-contrôle lors de la réalisation d'une AVQ*), nous avons choisi d'observer des sujets adultes jeunes.

Pour répondre au deuxième objectif (*modélisation des dysfonctionnements des mécanismes d'auto-contrôle*), deux types de sujets ont été observés : des personnes âgées autonomes pour observer le processus normal de dégradation des mécanismes exécutifs lié au vieillissement, et des personnes diagnostiquées MCI ou MA, pour pouvoir observer la dégradation des mécanismes exécutifs liée à la maladie.

L'étude porte sur un total de trente sujets. Tous les sujets ont été soumis au test du Mini Mental State Examination (MMSE) (Folstein *et al.*, 1975, Crum *et al.*, 1993). Le MMSE fournit une mesure quantitative du statut cognitif chez l'adulte. Il est notamment utilisé pour détecter les altérations cognitives et en estimer la gravité. Sur la base d'une série de questions, le test évalue les capacités d'orientation temporelle et spatiale, le rappel immédiat, le mémoire verbale à court terme, l'aptitude au calcul, le langage, etc. Chaque question vaut un certain nombre de points et le score maximum pouvant être obtenu est 30. Un score en dessous de 24 traduit généralement un état d'altération cognitive avancée.

5.2.1 Les sujets jeunes

L'échantillon «Sujets jeunes» est constitué de douze adultes ayant entre 20 et 28 ans, sélectionnés sur le campus de l'université. Ce sont des étudiants d'un niveau d'études allant de Bac+2 à Bac+8. Tous vivent de façon indépendante.

Concernant leurs habitudes de vie, tous les sujets sont familiers avec l'utilisation du téléphone, de l'ordinateur et d'Internet. Pour rechercher un renseignement de type numéro de téléphone ou adresse postale, la plupart des sujets utilisent l'annuaire (10 sur 12) et Internet (12 sur 12). Un peu moins de la moitié (5 sur 12) utilisent les renseignements téléphoniques et uniquement si les deux autres alternatives ne sont pas à leur disposition. La plupart des sujets ont déjà jardiné (seulement 2 sujets n'avaient jamais jardiné avant leur participation à l'expérimentation).

Le tableau 5.2 résume les caractéristiques de ce premier échantillon.

Nombre de sujets :	12		
Hommes :	4		
Femmes :	8		
Âge moyen :	23,5	sd : 2,97	rang : 20-28
MMS moyen :	29,42	sd : 1	rang : 27-30
Niveau d'études :	Bac +2 :	3	
	Bac +3-4 :	2	
	≥ Bac +5 :	7	
Chercher un renseignement :	Utilisation du téléphone :	5 sur 12	
	Utilisation de l'annuaire :	10 sur 12	
	Utilisation d'Internet :	12 sur 12	
S'occuper de ses plantes :	10 sur 12		

Tableau 5.2 – Caractéristiques des sujets de l'échantillon «Sujets jeunes»

5.2.2 Les sujets âgés

Le deuxième échantillon «Sujets âgés» est constitué de onze personnes âgées, ayant entre 63 et 84 ans. Ces personnes ont été recrutées par l'intermédiaire de foyer-logements pour personnes âgées (FLPA Notre Dame, Grenoble et FLPA Le Verger, Corenc). Toutes les personnes vivant dans les FLPA disposent de leur propre appartement au sein de la résidence. D'autres sujets ont été recrutés par l'intermédiaire de l'association L'âge d'or à Grenoble, qui offre aux personnes âgées une initiation à l'informatique. Ces personnes possèdent des logements personnels. Tous les sujets sont retraités. Les sujets hommes ont exercé des professions de

type ingénieur alors que les femmes ont plutôt exercé des professions de type infirmière ou employée de bureau.

Concernant leurs habitudes de vie, tous les sujets sont familiers du téléphone (certains ne l'utilisent plus à cause de problème d'ouïe), très peu savent se servir d'un ordinateur et d'Internet (1 sur 11). Pour chercher un renseignement, la plupart des sujets utilisent l'annuaire (11 sur 11). Les sujets ont tendance à moins utiliser les renseignements téléphoniques (5 sur 11) depuis la disparition du service public unique (le «12»), remplacé par différents numéros privés. Tous les sujets ont déjà jardiné, même si certains n'aiment pas s'occuper de leurs plantes (10 sur 11).

Le tableau 5.3 résume les caractéristiques de ce deuxième échantillon.

Nombre de sujets :	11		
Hommes :	4		
Femmes :	7		
Âge moyen :	76,64	sd : 6,97	rang : 63-84
MMS moyen :	28,73	sd : 1,1	rang : 27-30
Niveau d'études :	Certificat d'étude :		5
	BEP-CAP :		3
	Bac/École d'ingénieur :		3
Chercher un renseignement :	Utilisation du téléphone :		5 sur 11
	Utilisation de l'annuaire :		11 sur 11
	Utilisation d'Internet :		1 sur 11
S'occuper de ses plantes :	10 sur 11		

Tableau 5.3 – Caractéristiques des sujets de l'échantillon «Sujets âgés»

5.2.3 Les sujets MCI-MA

Le terme de *Mild Cognitive Impairment* (MCI) (Flicker *et al.*, 1991) est utilisé pour caractériser une altération cognitive significative modérée. Les sujets MCI évoluent dans la plupart des cas vers une démence de type Alzheimer. Le MCI est parfois considéré comme un stade précoce de maladie d'Alzheimer (MA) (Michel et Becker, 2002).

Le troisième échantillon «Sujets MCI-MA» est constitué de 7 personnes âgées, dont 6 diagnostiquées MCI et 1 diagnostiquée MA. Elles ont entre 72 et 84 ans. Ces personnes sont suivies par le service de gériatrie du Pr. Rigaud, à l'hôpital Broca (Paris).

Tous les sujets sont retraités. La plupart des sujets ont occupé des postes administratifs ou ont travaillé comme employés de bureau. Malgré leur handicap cognitif, tous les sujets vivent

encore à leur domicile personnel.

Concernant leurs habitudes de vie, tous les sujets sont familiers du téléphone, mais aucun ne sait se servir d'Internet (0 sur 7). Pour chercher un renseignement, la plupart des sujets utilisent l'annuaire (7 sur 1) et le téléphone (6 sur 7). Les sujets qui utilisent les renseignements téléphoniques connaissent pour la plupart au moins un nouveau numéro de service de renseignements. La tâche «rempoter une plante» n'a pas pu être réalisée par ces sujets pour des raisons pratiques. En effet, l'expérimentation a eu lieu à l'hôpital Broca et, par mesure d'hygiène, il n'était pas possible d'apporter de la terre dans l'enceinte de l'hôpital.

Le tableau 5.4 résume les caractéristiques de ce troisième échantillon.

Nombre de sujets :	7		
Hommes :	1		
Femmes :	6		
Âge moyen :	76,57	sd : 4,54	rang : 72-84
MMS moyen :	27,14	sd : 2,41	rang : 25-30
Niveau d'études :	Certificat d'étude :		4
	Études supérieures :		3
Chercher un renseignement :	Utilisation du téléphone :		6 sur 7
	Utilisation de l'annuaire :		7 sur 7
	Utilisation d'Internet :		0 sur 7

Tableau 5.4 – Caractéristiques des sujets de l'échantillon «Sujets MCI-MA»

5.3 Les outils pour l'analyse quantitative

Afin d'évaluer quantitativement l'exécution des tâches, un système d'évaluation précis a été mis en place. Cette évaluation prend en compte différents facteurs. Premièrement, la réussite de la tâche est évaluée selon des critères dits d'acceptation. Selon ces critères, la tâche sera considérée comme réussie ou échouée. Deuxièmement, les interventions de l'examineur sont prises en compte dans la notation, de façon à indiquer le degré d'autonomie des sujets dans la réalisation des tâches. La cotation globale quantifie donc la réussite de la tâche en fonction des critères d'acceptation pré-établis et de la nature des interventions. Une deuxième échelle est utilisée pour définir les niveaux d'assistance dispensée au sujet. Elle permet d'apporter des précisions sur la nature de l'intervention établie dans la première échelle. En effet, l'examineur n'intervient pas de la même façon selon les besoins des sujets. La nature de l'intervention reflète alors la nature des difficultés des sujets. Troisièmement, les difficultés que rencontrent les sujets sont qualifiées en termes de processus exécutifs.

5.3.1 Les critères d'acceptation

Pour que les tâches soient considérées comme réussies, il faut qu'elles répondent à des critères d'acceptation précis. Ces critères correspondent en fait aux étapes indispensables à la réalisation correcte de la tâche.

Pour la première tâche (*remplir un formulaire pour le poster*), le sujet doit avoir réalisé les étapes suivantes :

1. Remplir le formulaire :
 - Remplir le nom et le prénom
 - Remplir ses coordonnées (rue, code postal et ville)
 - Choisir sa catégorie et condition de paiement
 - Dater et Signer
2. Obtenir l'adresse :
 - Identifier le besoin de chercher l'adresse
 - Obtenir l'adresse
3. Préparer l'enveloppe : nom, rue et ville et/ou code postal [l'étape 2 doit être réalisée]²
4. Cacheter l'enveloppe [l'étape 1 doit être réalisée]
5. Coller le timbre
6. Poster l'adresse [les étapes 1,2,3,4 et 5 doivent être réalisées]

Pour la deuxième tâche (*repoter une plante*), le sujet doit avoir réalisé les étapes suivantes :

1. Choisir un pot plus grand que le pot d'origine
2. Dépoter la plante
3. Mettre du terreau dans le nouveau pot [l'étape 1 doit être réalisée]
4. Placer la plante dans le nouveau pot et la stabiliser [les étapes 1,2 et 3 doivent être réalisées]
5. Arroser la plante (l'utilisation de l'arrosoir est optionnelle) [l'étape 4 doit être réalisée]

²Les crochets indiquent les pré-conditions que doivent respecter les étapes. Cette notation permet de donner des informations sur le séquençage des étapes de la tâche. Ici, le sujet doit avoir trouvé l'adresse pour la reporter au dos de l'enveloppe.

5.3.2 La cotation globale

L'échelle de cotation des tâches comprend 6 niveaux différents. Cette échelle, de nature ordinale, est représentée par la figure 5.1 et décrite dans le tableau 5.5. L'échelle de cotation a été inspiré du système de cotation du profil des AVQ (Dutil *et al.*, 1996).

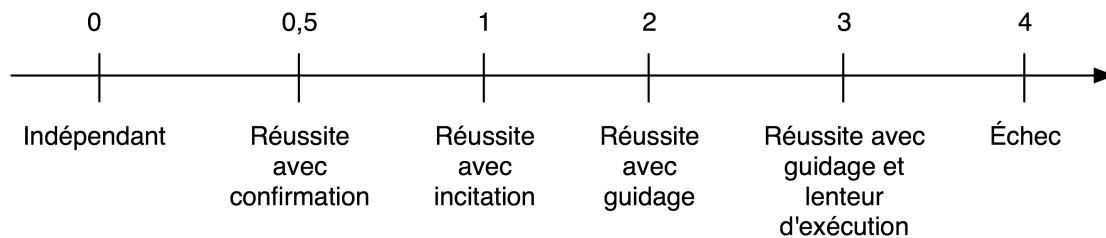


Figure 5.1 – Échelle de cotation

0 Réussie de façon indépendante :
Le sujet effectue la tâche en un temps convenable, sans intervention de l'examineur. Il peut hésiter, commettre des erreurs, se corriger, recommencer la tâche. La tâche doit être accomplie de façon à ce qu'elle réponde aux critères d'acceptation.
0.5 Réussie avec demande de confirmation :
Au cours de la tâche, le sujet demande l'accord ou l'avis de l'examineur par rapport aux décisions qu'il a prises (En général, l'examineur renvoie le sujet à la consigne en lui précisant qu'il veut l'observer dans son quotidien). Le sujet effectue la tâche en un temps convenable. La tâche doit être accomplie de façon à ce qu'elle réponde aux critères d'acceptation.
1 Réussie avec intervention(s) de type incitation :
Le sujet a besoin de l'incitation de l'examineur face à certaines perturbations. Souvent le sujet exprime oralement ses intentions mais ne passe pas à l'action (par exemple «chez moi j'aurai chercher l'adresse dans l'annuaire»). La tâche accomplie doit répondre aux critères d'acceptation. Le sujet finit la tâche dans un temps convenable.
2 Réussie avec intervention(s) de type guidage :
Le sujet commet des erreurs ou ne réagit pas (ou mal) aux perturbations introduites en cours de tâche. Il a besoin de l'intervention de l'examineur de façon à ce que la tâche accomplie réponde aux critères d'acceptation. Le sujet finit la tâche dans un temps convenable.
3 Réussie avec intervention(s) de type guidage, lenteur d'exécution :
Le sujet commet des erreurs ou ne réagit pas (ou mal) aux perturbations introduites en cours de tâche. Il a besoin de l'intervention de l'examineur de façon à ce que la tâche accomplie réponde aux critères d'acceptation. Le sujet finit la tâche dans un temps beaucoup plus long que la moyenne (temps > 25 minutes, à adapter en fonction de la tâche).
4 Échec :
Même avec l'intervention de l'examineur, le sujet n'est pas capable d'accomplir la tâche de façon à ce qu'elle réponde aux critères d'acceptation.

Tableau 5.5 – Échelle des cotations - Définition

Les différents paliers de l'échelle de cotation permettent de renseigner la réussite ou l'échec de la tâche et le type d'assistance dispensé au sujet. La nature du protocole expérimental

nous oblige à tenir compte de la nature des interventions. En effet, l'introduction de perturbations dans la tâche peut troubler les sujets. Dans ce cas, ils ne réagiront peut être pas aux perturbations ou auront besoin d'indications pour comprendre ce que l'on attend d'eux dans le cadre de l'expérimentation. L'examineur peut alors rappeler la consigne (confirmation) ou pousser le sujet à réagir face aux perturbations (incitation). Ce type d'intervention ne doit pas être considéré au même titre que l'assistance liée aux difficultés exécutives des sujets, mais doit plutôt être interprétée comme un soutien lié aux conditions expérimentales.

Les 5 premiers paliers de l'échelle considèrent la tâche comme réussie : le sujet a accompli toutes les étapes nécessaires à la réussite de la tâche. Dans le premier échelon (0), le sujet est indépendant et n'a pas besoin d'intervention de l'examineur. Dans le deuxième échelon (0.5), le sujet sollicite l'examineur lorsqu'il a besoin d'une confirmation ou d'une autorisation pour réaliser une certaine action ou pour utiliser certains objets de l'environnement expérimental. Dans le troisième échelon (1), le sujet a besoin d'incitation de l'examineur pour réaliser certaines étapes de la tâche. Ce besoin est dû à l'introduction de perturbations dans l'expérimentation. C'est le cas lorsque les sujets verbalisent leurs intentions mais ne passent pas à l'action. Les quatrième (2) et cinquième (3) échelons reflètent une intervention de l'examineur de type guidage. Le guidage correspond à l'assistance en cas de difficultés cognitives et exécutives. Par exemple, le sujet ne s'aperçoit pas d'une erreur ou il a du mal à élaborer une stratégie adaptée au problème.

Le dernier échelon (4) considère la tâche comme échouée. Dans ce cas, le sujet n'a pas accompli toutes les étapes nécessaires à la réussite de la tâche malgré l'assistance de l'examineur.

5.3.3 Les niveaux d'assistance

La cotation globale reflète le type de support nécessaire au sujet pour réaliser la tâche. On distingue trois type d'interventions : confirmation, incitation et guidage. Pour chacun de ces types, l'examineur doit doser ses interventions. En effet, toute la difficulté du travail d'assistance est d'arriver à aider la personne sans être trop envahissant. Il faut minimiser les indices fournis au sujet de façon à pouvoir observer les processus exécutifs et identifier le ou les mécanismes altérés. D'autre part, il est important de développer une assistance rigoureuse pour qu'elle soit identique pour chaque sujet, et qu'elle permette ainsi de satisfaire le critère de validité entre les sujets.

Les différents niveaux d'assistance sont détaillés pour chaque type d'intervention (figure 5.2

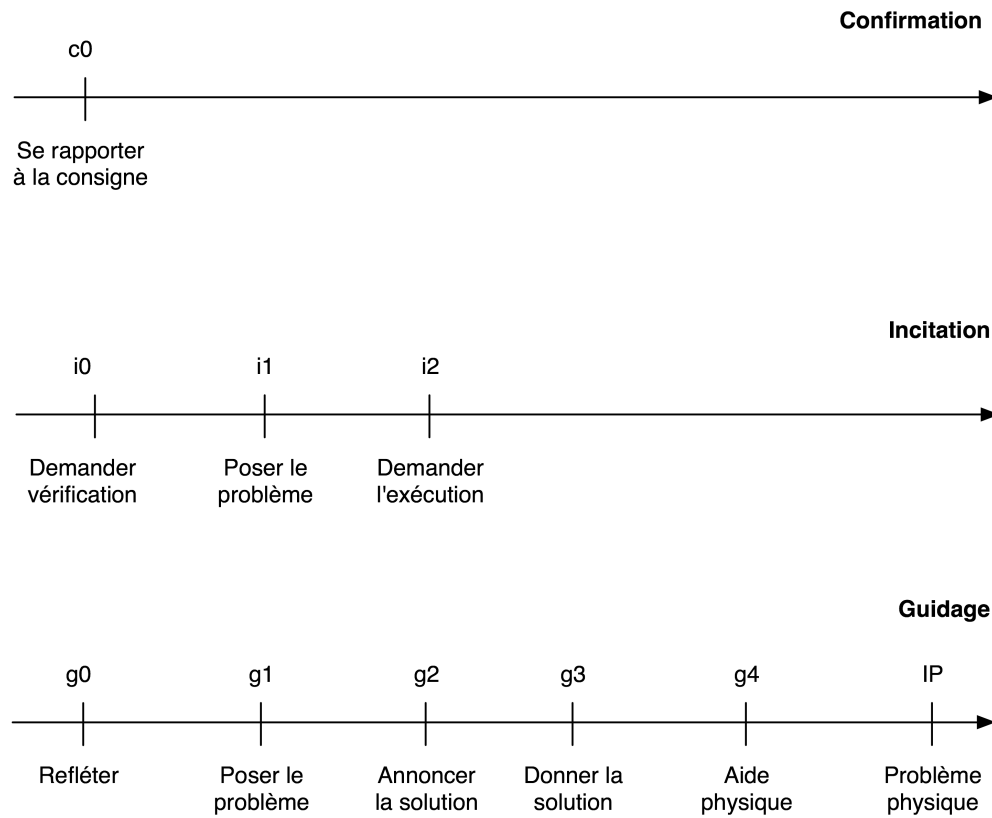


Figure 5.2 – Échelles des différents types d'assistance

et tableaux 5.6, 5.7 et 5.8). L'échelonnage des niveaux d'assistance respecte les étapes du processus exécutif dans son ensemble : savoir évaluer les résultats d'une action, identifier les éléments du problème, apporter des éléments de solution, donner une solution, etc.

Dans les premiers niveaux des échelles, on doit donner des indices de façon à ce que le sujet identifie les éléments importants du problème. Ensuite, on donne des indices pour que le sujet puisse élaborer une stratégie. Enfin, on annonce la solution. Si le sujet a vraiment des difficultés, on peut aller jusqu'à une assistance physique (l'examineur réalise l'action à la place du sujet). La distinction des niveaux d'assistance a été inspirée du système de cotation du Kitchen Task Assessment (Baum et Edwards, 1993) qui distingue l'aide verbale de l'aide physique.

Par exemple, pour une intervention de type confirmation, l'examineur peut demander au sujet de se reporter à la consigne (*c0*).

Demande de confirmation	
c0	Retour à la consigne : Se reporter à la consigne.

Tableau 5.6 – Définition des degrés d'assistance de type confirmation

Pour une intervention de type Incitation, l'examineur peut demander à la personne si elle est satisfaite de sa tâche (i0), diriger la personne par rapport à la perturbation (i1) ou demander à la personne d'exécuter les intentions qu'elle a formulées sans passer à l'action (i2).

Incitation	
i0	Demander vérification : Demander à la personne si elle est satisfaite de sa tâche. Par exemple : «Qu'est-ce que vous avez écrit sur l'enveloppe?» ou «Est-ce que vous êtes satisfait, vous pensez que la plante a plus d'espace?»
i1	Poser le problème : Diriger la personne par rapport à la perturbation. Par exemple : «Comment est-ce que vous feriez pour trouver l'adresse?» ou «Comment est que vous feriez pour que la plante ait plus d'espace?»
i2	Demander l'exécution : La personne a exprimé oralement ses intentions mais ne passe pas à l'action. Demander à la personne de s'exécuter. Par exemple : «Est-ce que je peux vous voir faire?»

Tableau 5.7 – Définition des degrés d'assistance de type incitation

Enfin, pour l'assistance de type guidage, l'assistance graduelle se fait d'abord par une reformulation de ce que le sujet dit (g0). Ensuite, l'examineur doit aider le sujet à poser le problème (g1), il peut donner un élément de réponse (g2), proposer une solution (g3) ou encore aider physiquement le sujet à exécuter l'action (g4). Enfin, contrairement aux difficultés exécutives, on notera différemment l'aide apportée au sujet face à une difficulté physique (IP). C'est le cas par exemple lorsqu'un sujet n'arrive pas à lire sans loupe. L'examineur peut lui lire à haute voix la ligne de texte qu'il n'arrive pas à lire.

5.3.4 Le type de difficultés rencontrées

Lors de la réalisation des tâches, les sujets peuvent rencontrer des difficultés ou commettre des erreurs. Ces difficultés ou erreurs sont catégorisées en fonction de leur type. À noter qu'il s'agit ici plus d'une qualification que d'une catégorisation des erreurs en profondeur comme le font, par exemple, Schwartz et al. (Schwartz *et al.*, 1991). La catégorisation en

Guidage	
G0 Réfléter :	Répéter ce que dit la personne. Par exemple : «Vous me dites que vous avez mal aux genoux»
G1 Poser le problème :	Reformuler sous forme de question. Par exemple : «Comment feriez vous pour vous sentir plus confortable?»
G2 Annoncer la solution :	Donner un élément de réponse. Par exemple : «Pensez vous que vous seriez mieux ailleurs?»
G3 Donner la solution :	Proposer la solution. Par exemple : «Mettez vous sur la table pour éviter d'avoir à vous pencher»
G4 Aide physique :	Aider la personne à exécuter une action. Par exemple : Mettre la plante sur la table
IP Intervention face à un problème physique	Répond à un problème physique (pas considéré comme un niveau d'aide cognitive) Par exemple : La personne n'arrive pas à lire sans loupe. L'examineur lui lit à haute voix la ligne qu'elle n'arrive pas à lire dans l'annuaire.

Tableau 5.8 – Définition des degrés d'assistance de type guidage

profondeur se fera dans un deuxième temps, lors de l'analyse qualitative des résultats. Dans cette phase de cotation, les erreurs que commettent les sujets sont catégorisées de façon à refléter les difficultés en terme de processus exécutifs. Le tableau 5.9 résume les différents types d'erreurs observés pendant la réalisation des tâches.

P	Mauvaise réaction face à une perturbation (intervention de type <i>incitation</i> , voire <i>guidage</i>)
A	Erreur ou problème qui peut affecter la réalisation de la tâche et qui nécessite l'intervention de l'examineur (intervention de type <i>guidage</i>)
B	Erreur ou incident qui n'affecte pas la réussite de la tâche
C	Erreur corrigée spontanément par le sujet
D	Action hors tâche

Tableau 5.9 – Définition des différents types d'erreurs

Il faut distinguer les erreurs liées à l'introduction de perturbations - erreurs de type P - des erreurs liées à une altération cognitive ou exécutive. En effet, les sujets ne sont pas prévenus de l'existence des perturbations dans la tâche, et certains sujets peuvent ne pas réagir à une perturbation. C'est le cas, par exemple, dans la tâche 1, lorsque les sujets postent la lettre sans avoir inscrit l'adresse de destination. La plupart du temps, ces sujets pensent que l'adresse est floue pour des raisons de confidentialité. Une simple intervention de type *incitation* leur permet de rectifier cette erreur.

Les erreurs de type D correspondent à des actions non pertinentes à la tâche, on les appelle

aussi actions hors-tâche. Ces actions sont qualifiées car elles peuvent traduire un problème de complétion ou d'évaluation finale de la tâche. C'est le cas, par exemple, à la fin de la tâche 2, lorsque le sujet se lance dans le rangement de l'appartement après avoir ranger les ustensiles de jardinage.

Les erreurs de type C et B sont relatives aux mécanismes d'auto-correction. Les erreurs de type C correspondent à des erreurs que le sujet va corriger spontanément. Ce sont souvent des erreurs d'inattention. C'est le cas, par exemple, lorsque le sujet se trompe en remplissant un champ du formulaire et qu'il se corrige immédiatement dans la tâche 1. Les erreurs de type B, elles, ne sont pas corrigées par le sujet. Elles peuvent alors traduire un problème dans le mécanisme d'auto-correction, soit parce que le sujet ne s'est pas aperçu de l'erreur, soit parce que le sujet n'a pas su comment la corriger. Ce sont des erreurs minimales qui n'affectent pas la réussite de la tâche. Elles ne nécessitent pas obligatoirement d'intervention de la part de l'examineur.

Les erreurs de type A reflètent des difficultés d'ordre exécutif : difficultés de planification, de contrôle, d'évaluation, etc. Elles peuvent affecter la réussite de la tâche et nécessitent des interventions de l'examineur de type *guidage*. C'est le cas, par exemple, lorsque le sujet écrit sa propre adresse au lieu de l'adresse du destinataire sur l'enveloppe, ou encore lorsque le sujet arrête la tâche alors qu'il n'a pas encore posté la lettre. L'examineur doit alors guider le sujet de façon à ce qu'il s'aperçoive de l'erreur et, si ça n'est pas suffisant, de l'aider à se corriger. C'est ce type d'erreur qui va être le plus intéressant dans la suite de notre analyse pour qualifier l'altération exécutive des sujets.

5.4 Les outils pour l'analyse qualitative

Afin d'analyser plus en détail les comportements des sujets et afin de pouvoir étudier les processus exécutifs utilisés ou défaillants, nous avons mis en place des outils spécifiques à l'analyse qualitative.

La réalisation de la tâche est décortiquée selon une méthodologie rigoureuse : analyse de la séquence vidéo (transcript) au moyen d'une grille d'analyse puis élaboration de l'arbre de réalisation de la tâche. Pour construire les arbres de réalisation de chaque sujet, nous avons mis au point un formalisme de description qui permet une analyse uniforme et systématique.

5.4.1 L'observations des séquences vidéos et Grille d'analyse des actions atomiques

L'observation détaillée consiste à visionner chaque séquence vidéo et à retranscrire sur papier chaque action atomique du sujet (par exemple, le sujet décroche le téléphone) et chaque événement de l'environnement (par exemple, un message d'erreur du site Internet apparaît à l'écran). Une *action atomique* est une action qui ne peut être décomposée en sous-actions, ou en actions de plus bas niveau. Comme nous voulons observer les processus exécutifs, les actions atomiques restent de haut niveau.

La première phase d'analyse des transcripts issus de l'observation des vidéos se fait au moyen d'une grille d'analyse. La modélisation des processus exécutifs nécessite d'extraire des caractéristiques liées à l'auto-évaluation dans la réalisation, la correction spontanée, l'ajustement ou encore la modification de plan pour cause de contraintes environnementales pendant l'exécution d'une tâche. La grille d'analyse a donc été élaborée pour catégoriser les actions des sujets et isoler les processus exécutifs mis en jeu ³.

N°	EVENEMENT/ACTION ATOMIQUE	ENVIRONNEMENT			ACTIONS ATOMIQUES DU SUJET									
					TYPEACTIONS			BON GESTE	ERREUR		AUTO-CONTRÔLE			
		STAT	DYN	AIDE	SPÉC	NON SPE	HORS TÂCHE		CORR.	NON CORR.	RÉG	CTRL EVAL	AJUST CORR	MODIF PLAN
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														

Figure 5.3 – Grille d'analyse des actions élémentaires

On distingue dans cette grille :

Les actions atomiques du sujet : Chaque action est catégorisée selon son rapport à la tâche en cours (appelé *Type* dans la grille) : les actions *spécifiques* à la tâche, les actions *non spécifiques* et les actions *hors tâche*. Les actions non spécifiques sont en lien avec la réalisation de la tâche mais ne sont pas obligatoirement réalisées pour accomplir cette tâche (par exemple, déplacer des livres pour s'asseoir sur la chaise). Les actions hors tâche ont lieu

³Cette grille a été validée par l'expertise des ergothérapeutes du centre de réadaptation de Montréal, notamment par Elisabeth Dutil et Carolina Bottari.

pendant l'exécution de la tâche mais ne concourent pas à sa réalisation (par exemple, ranger l'appartement).

Une deuxième qualification permet de préciser la nature de l'action en terme de bon geste ou d'erreur et en terme de processus exécutifs :

- *Bon geste* : L'action est appropriée à la tâche.
- *Erreur* : L'action n'est pas appropriée à la tâche. On distingue les erreurs (CORR) qui sont corrigées spontanément (par exemple, le sujet fait une erreur en recopiant l'adresse et se corrige immédiatement) des erreurs (NON CORR) qui ne sont pas corrigées (par exemple, le sujet coche une mauvaise case dans le formulaire).
- *Processus exécutifs* : Les actions sont analysées de façon à dégager leur rôle dans les différents processus exécutifs. Il s'agit de savoir si l'action, qui n'était pas prévue dans le plan initial, permet de réguler l'action (REG), de contrôler ou d'évaluer une action passée ou des informations concernant la tâche (CTRL/EVAL), de s'adapter à une situation imprévue ou de corriger une erreur (AJUST/CORR). On notera aussi les changements de plan (MODIF PLAN). Par exemple, le sujet libère la chaise pour pouvoir s'asseoir (*régulation*), ou le sujet décide de prendre un autre stylo lorsqu'il s'aperçoit que le sujet donné pour l'expérience ne marche pas (*ajustement* et *modification de plan*), ou encore le sujet reprend l'enveloppe pour ajouter le code postal qu'il avait oublié de noter (*correction*).

On remarquera que ces trois catégories ne sont pas exclusives.

L'environnement : L'environnement (*statique*) de la personne , les événements (*dynamique*) et les interventions extérieures (*aide*) sont décrits. Les interventions extérieures concernent l'assistance que fournit l'examineur tout au long de la tâche.

5.4.2 Le formalisme de description des arbres de réalisation des tâches

A partir de la grille, une deuxième phase d'analyse permet de construire l'arbre de réalisation des tâches, propre à chaque sujet. Dans cet arbre, les séquences d'actions sont regroupées par sous-buts afin de dégager la hiérarchie de contrôle de l'action (Schwartz *et al.*, 1991). Chaque action atomique de la grille est représentée comme une feuille de l'arbre. Les nœuds intermédiaires sont les sous-buts regroupant les différentes actions atomiques permettant de le réaliser.

Pour construire les arbres de réalisation des tâches, un formalisme de description de l'activité a été mis en place. Ce formalisme est constitué de règles dont les spécifications sont les suivantes :

R1 Décomposition des buts :

Un but se décompose en sous-buts et/ou en actions atomiques.

Le but «s'installer» se décompose en une action «va au bureau» puis un sous-but «s'asseoir».

Un sous-but peut alors se décomposer à son tour en sous-buts et/ou en actions élémentaires.

Le sous-but «s'asseoir» se décompose en deux actions «tire la chaise» et «s'assoit».

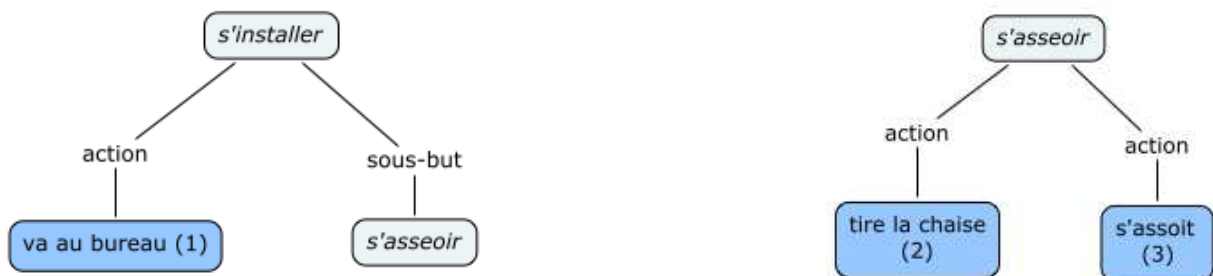


Figure 5.4 – R1 : Décomposition des buts

NB1 : un but ou un sous-but s'écrit sous la forme d'un groupe infinitif alors qu'une action atomique s'écrit sous la forme d'un verbe conjugué à la troisième personne du singulier.

NB2 : un but peut se décomposer en une seule action (contrairement aux concepts d'arbre des tâches en Interfaces Homme-Machine).

R2 Nature des nœuds et étiquettes :

Les étiquettes des liaisons, ainsi que les couleurs des nœuds, permettent de définir la nature du nœud.

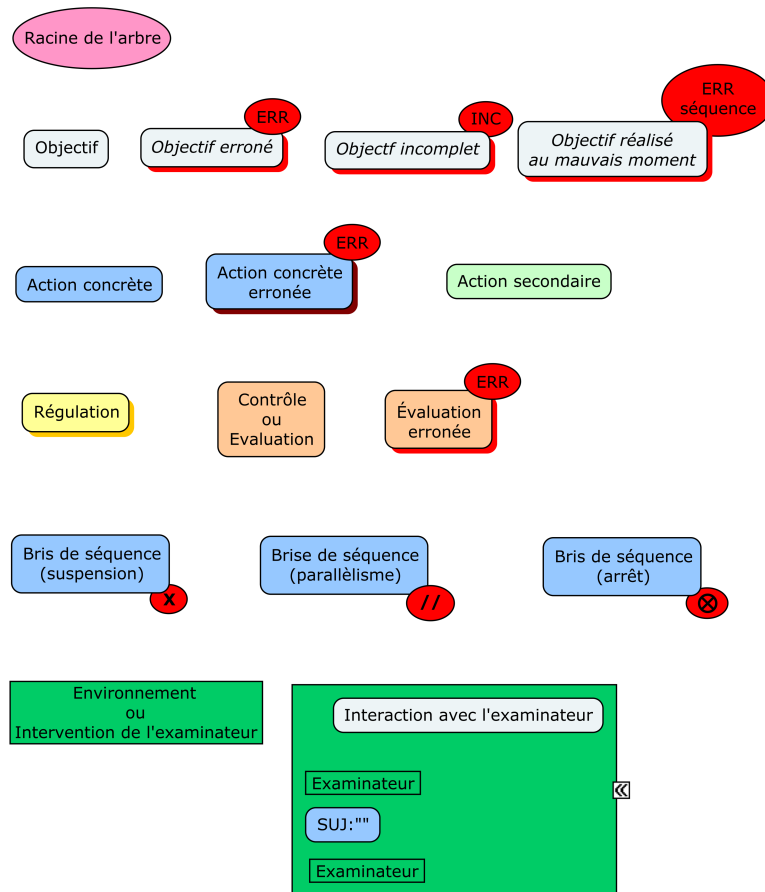


Figure 5.5 – Les différents nœuds disponibles dans le formalisme de description des tâches

R2.1 Les nœuds :

NB : Un arbre de tâches commence toujours par un nœud racine qui correspond à l'objectif global de la tâche. Un objectif global peut être atteint par différentes stratégies.

L'objectif «trouver l'adresse du destinataire» peut être accompli par différentes stratégies : «chercher dans les pages jaunes», «chercher dans les pages blanches» ou encore «chercher sur Internet».

R2.2 Les étiquettes :

Les étiquettes pour la nature des actions :

- sous-but
- action
- action secondaire

Les étiquettes pour les mécanismes exécutifs (en gras dans l'arbre) réintroduisent les actions élémentaires présentées dans l'étape précédente (figure 5.3) :

- REG : régulation
- AJUST : ajustement
- CORR : correction
- CTRL : contrôle
- EVAL : évaluation finale
- X : pour l'évaluation négative : l'action, ou le sous-but, ne permet pas la réalisation du sous-but, ou du but, dont elle, ou il, dépend (dans ce cas, la flèche va de l'action au but)
- stratégie 1, stratégie 2,..., stratégie n : stratégie courante répondant à un certain objectif
- CHGT stratégie : changement de stratégie lors d'une phase d'ajustement, de replanification, etc.
- parall. Stratégies : deux stratégies sont menées en parallèle (cette étiquette doit être reliée à un nœud «bris de séquence, parallélisme»)
- procédure 1, procédure 2,..., procédure n : procédure courante permettant de réaliser une certaine stratégie
- CHGT proc. : changement de procédure lors d'une phase d'ajustement, de replanification, etc. (cette étiquette est précédée du signe + ou du signe =, selon si le sujet teste une nouvelle procédure ou réessaye une procédure qu'il a déjà mis en œuvre précédemment).
- optimisation de la tâche principale : deux tâches sont menées en parallèle dans un souci d'optimisation du temps de la tâche (cette étiquette doit être reliée à un nœud «bris de séquence, parallélisme»), par exemple, pendant que l'ordinateur s'allume, le sujet colle le timbre sur l'enveloppe
- attente de CTRL de l'exam. : symbolise une demande d'aide à l'examineur. Le sujet demande de l'aide explicitement ou regarde significativement l'examineur pour qu'il lui fournisse de l'assistance.
- étiquettes aide : lorsqu'il y a interaction avec l'examineur, l'étiquette permet de caractériser la nature de l'assistance. Dans ce cas, la flèche va du nœud environnement au but du sujet (par exemple : «guidage (g2) pour élaborer une stratégie» ou «incitation (i0) pour CTRL»).

R2.3 Les signes :

Les étiquettes peuvent être précédées :

- du signe +, lorsque l'action est ajoutée par rapport à un arbre de référence (par exemple,
-

- l'étiquette REG est toujours précédée du signe + car on ajoute un sous-but)
- du signe =, lorsque l'action précédente est répétée (par exemple, l'étiquette CORR est précédée du signe = quand le sujet recommence une action qu'il a mal faite)

R3 Lecture de l'arbre des tâches et notion de temps :

L'arbre des tâches se lit de haut en bas et de gauche à droite.

La notion de temps est semi représentée dans l'arbre, on dira que le temps est «partiellement horizontal». Les actions atomiques réalisées par le sujet sont les feuilles de l'arbre et se parcourent de gauche à droite tant qu'il n'y a pas de bris de séquence (cf. R6 pour la représentation des symboles de bris de séquence : croix rouge, parallélisme, «éclair» dans l'arbre, etc.).

R4 Enchaînement des buts et sous-buts :

Le passage d'un but à un sous-but se fait de façon implicite dans l'arbre.

Lorsqu'un sous-but est accompli, on remonte implicitement au but de niveau supérieur pour passer au sous-but suivant. Si jamais tous les sous-buts et/ou actions qui composaient le but sont accomplis, on remonte au but de niveau supérieur, et ainsi de suite.

Une fois l'action «s'assoit» accomplie, le sous-but «s'asseoir» est accompli. On remonte d'un niveau, le but «s'installer» est alors accompli. On remonte au but initial «remplir et envoyer un formulaire» et l'on peut donc passer au sous-but suivant «remplir formulaire».

NB : L'ajustement ou la correction d'une action peut impliquer le passage d'un but à un autre de façon explicite. On utilise pour cela un buffer des buts (cf. R5).

R5 Le buffer des buts :

R5.1 Système de pile

Un système de buffer des buts permet de décrire l'enchaînement des buts et des sous-buts dans le temps de façon explicite, lorsque l'exécution des tâches n'est plus automatique.

Généralement, l'utilisation du buffer de but est lié à un bris de séquence (cf. R6 pour la

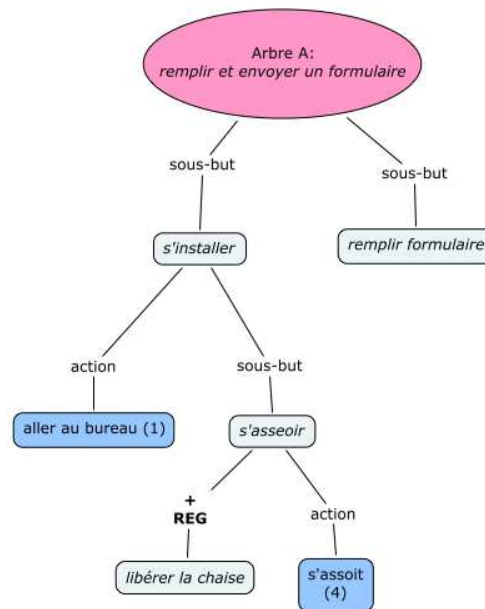


Figure 5.6 – R4 : Enchaînement des buts

définition du bris de séquence).

NB : Le buffer de buts peut être apparenté à une pile LIFO (Last In, First Out) en informatique : les buts empilés en dernier seront les premiers à être dépilés. L'utilisation de cette pile ne modélise pas la façon dont sont organisés les buts en mémoire (le sujet ne pense pas comme une pile LIFO). Elle permet simplement pour nous d'avoir une trace visuelle de l'enchaînement des buts lors d'une séquence particulière d'actions.

R5.2 Les états des buts

Les buts stockés dans le buffer de buts contiennent des informations sur leur statut au cours du temps. Un but peut être :

- proceeding : il est en cours de réalisation.
- completed : il est accompli.
- suspended : il est suspendu, il pourra alors être repris lors du dépilage.
- failed : il a échoué.

R5.3 But actif dans le buffer

Le but actif est le but au-dessus de la pile. Cependant, lorsqu'il y a du parallélisme (plusieurs buts sont menés de front), le but actif, au moment précis où l'on représente la pile, est

coloré en gris.

E. Chercher sur Internet (Stratégie 3) ‣ allumer ordi – <i>proceeding</i>	C3. Chercher dans les PJ (Stratégie 1, Procédure 3) C. Obtenir l'@ du destinataire
A. recopier adresse destinataire ‣ <i>suspended</i>	
A. écrire coordonnées du destinataire ‣ trouver coordonnées – <i>completed</i> ‣ recopier nom destinataire – <i>completed</i>	
A. préparer enveloppe	
A. remplir et envoyer un formulaire ‣ s'installer – <i>completed</i> ‣ remplir formulaire – <i>completed</i> ‣ coller timbre – <i>completed</i>	

Figure 5.7 – R5 : Exemple de buffer de buts

Dans cet exemple, le but A «remplir et envoyer un formulaire» est le premier but à avoir été empilé. Il contient des informations sur ses sous-buts déjà complétés («s'installer», «remplir formulaire» et «coller timbre»). Le sous-but en cours est «préparer l'enveloppe». On descend dans la hiérarchie de ce sous-but. Le sous-but «recopier l'adresse» a été suspendu pour faire place à un nouvel objectif : «Obtenir l'adresse du destinataire». Deux stratégies sont menées en parallèle «Chercher sur Internet» et «Chercher dans les Pages Jaunes». On voit qu'à cet instant précis, c'est la stratégie «Chercher dans les Pages Jaunes» qui est active.

R6 Bris de séquence :

Le bris de séquence indique une rupture dans l'enchaînement des buts et sous-buts d'un arbre. Il est automatiquement couplé d'une description à l'aide du buffer des buts.

Implicitement, le bris de séquence fait appel à une boucle d'évaluation et de contrôle sur le sous-but courant. La génération des sous-buts n'est alors plus automatique (utilisation du buffer des buts).

Le sujet s'aperçoit que le stylo ne marche pas → Contrôle/évaluation implicite sur le sous-but «remplir ses coordonnées» et bris de séquence pour trouver un moyen d'écrire.

Il existe trois sortes de bris de séquence :

R6.1 La suspension d'un but :

Le but (ou sous-but) courant est mis en suspend pour laisser place à un nouveau but (c'est le cas lors d'un ajustement par exemple). Ce but (ou sous-but) est laissé dans le buffer de but et son statut est mis à jour (état «suspended»). Il pourra alors être repris lorsque le nouveau but empilé sera accompli ou arrêté.

Le sujet s'aperçoit que le stylo ne marche pas → Le sous-but «remplir ses coordonnées» est mis en attente (ou suspendu) le temps de trouver un moyen d'écrire.

R6.2 L'arrêt d'un but :

Le but (ou sous-but) courant est arrêté et dépilé du buffer de but.

Le sujet ne trouve pas l'adresse dans les pages blanches → La stratégie «Chercher dans les pages blanches» de l'objectif «obtenir l'adresse du destinataire» est arrêté (marqué «failed» dans le buffer de buts) puis dépilé.

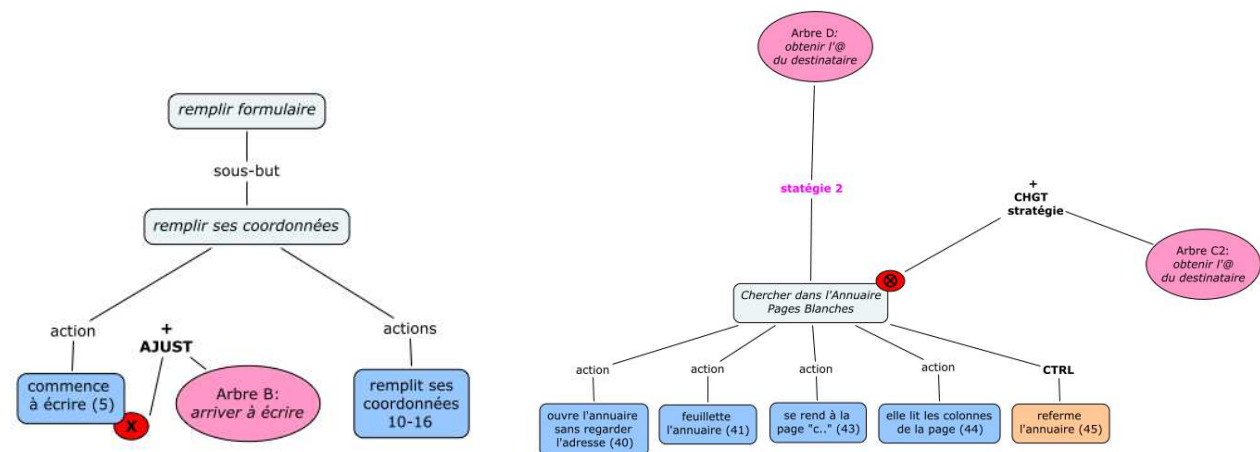


Figure 5.8 – R6 : Bris de séquence (respectivement suspension d'un but et arrêt d'un but)

R6.3 Le parallélisme de deux (ou plusieurs) buts :

Le but (ou sous-but) courant continu d'être actif mais un deuxième but va être mené en parallèle.

NB : le vrai parallélisme est difficilement réalisable à un instant t bien précis. En général, le sujet ne fait qu'une action (d'un but en particulier) à la fois. On fera donc une nuance dans ce pseudo-parallélisme en précisant à chaque fois quel but est actif dans le buffer de buts (partie grisée du buffer).

Pour trouver l'adresse du destinataire, le sujet opte pour la stratégie «chercher sur Internet», pendant que l'ordinateur s'allume, il met en place une deuxième stratégie «chercher dans les pages jaunes».

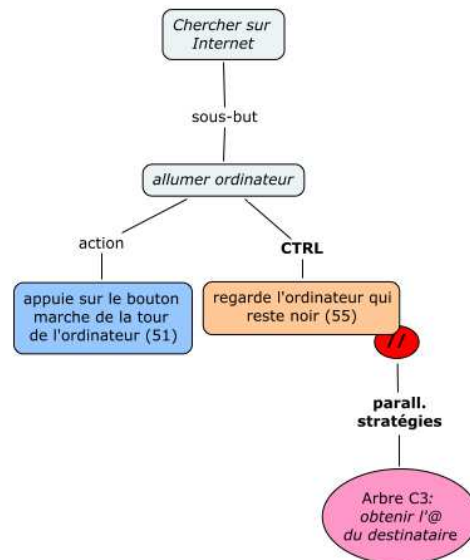


Figure 5.9 – R6 : Bris de séquence (parallélisme)

R7 Régulation :

Quand il y a une régulation, un sous-but avec l'étiquette «+REG» est systématiquement ajouté dans l'arbre courant (même si la régulation ne consiste qu'en une seule action).

Avant de s'asseoir, le sujet libère la chaise, c'est un mécanisme de régulation. Le sous-but «libérer la chaise» est ajouté au sous-but «s'asseoir» avec l'étiquette «+REG».

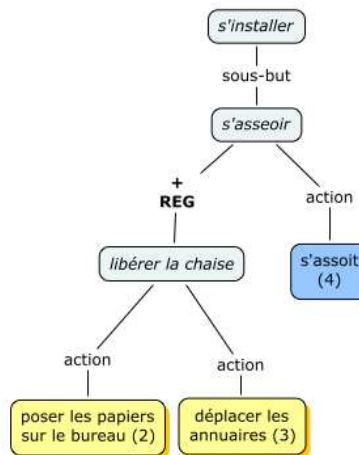


Figure 5.10 – R7 : Régulation

R8 Contrôle/Évaluation :

Mis à part les mécanismes de contrôle et d'évaluation implicites, certaines actions concrètes ou certains sous-buts peuvent faire partie du mécanisme de contrôle.

R8.1 Contrôle lié à une action

Une action est ajoutée à l'arbre principal pour un contrôle lié à une action particulière. Elle portera l'étiquette «CTRL».

Avant de cocher la case catégorie, le sujet lit les informations (contrôle).

R8.2 Contrôle lié à un sous-but

Un sous-but est ajouté à l'arbre principal pour un contrôle qui comportera plus d'une action. Dans ce cas, la liaison ne portera plus l'étiquette «sous-but» mais l'étiquette «CTRL».

Pendant la recherche de l'adresse, le sujet ré-ouvre l'enveloppe, sort le formulaire et relit le nom du destinataire. Ces trois actions sont regroupées dans le même sous-but CTRL «vérifier le nom du destinataire».

R8.3 Contrôle lié à une erreur ou à un indice de l'environnement

Lorsqu'un problème est rencontré, une erreur est commise ou un signal de l'environnement



Figure 5.11 – R8.1 : Contrôle lié à une action ; R8.2 : Contrôle lié à un sous-but

est perçu, un mécanisme de contrôle (symbolisé par une liaison étiquetée «CTRL») permet de remonter au sous-but dont dépend le problème.

Le sujet se trompe en écrivant l'année, un mécanisme de contrôle permet de remonter au sous-but «écrire date».

Le site Internet des pages jaunes renvoie un message d'erreur spécifiant que l'utilisateur a oublié de remplir un champ de la recherche.

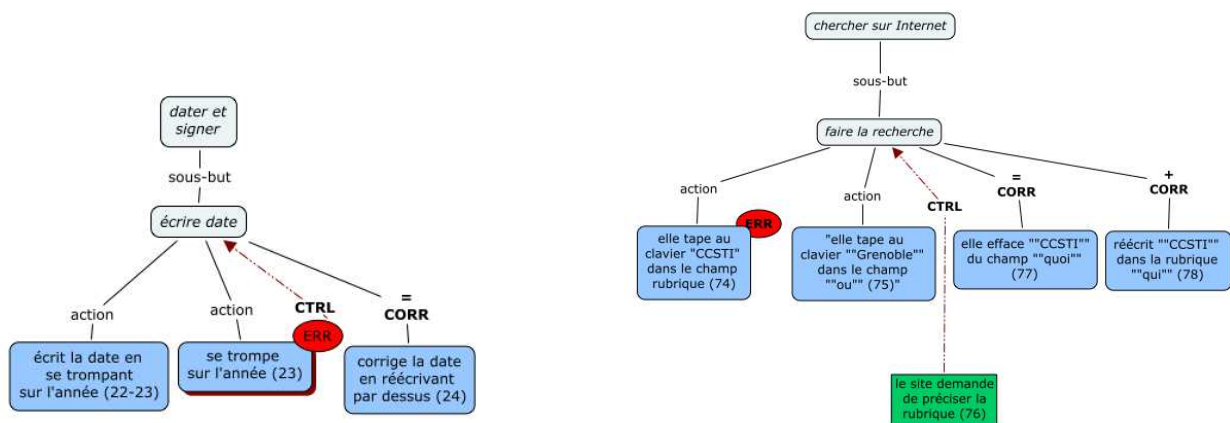


Figure 5.12 – R8.3 : Contrôle lié à une erreur ou à un indice de l'environnement

R8.4 Évaluation

Le mécanisme d'évaluation est représenté avec une liaison étiquetée «EVAL». Ce mécanisme est surtout utilisé pour l'évaluation finale de l'action.

R8.5 Contrôle négatif

Le mécanisme de contrôle négatif apparaît lorsqu'une action/sous-but ne permet pas de réaliser le sous-but/but, dont elle/il dépend. Une liaison étiquetée «X» partant de l'action vers le sous-but permet de représenter ce contrôle négatif.

Le sujet essaye d'écrire avec le stylo, avant de réessayer, un contrôle négatif permet d'informer que l'action «écrire» n'a pas été accomplie.

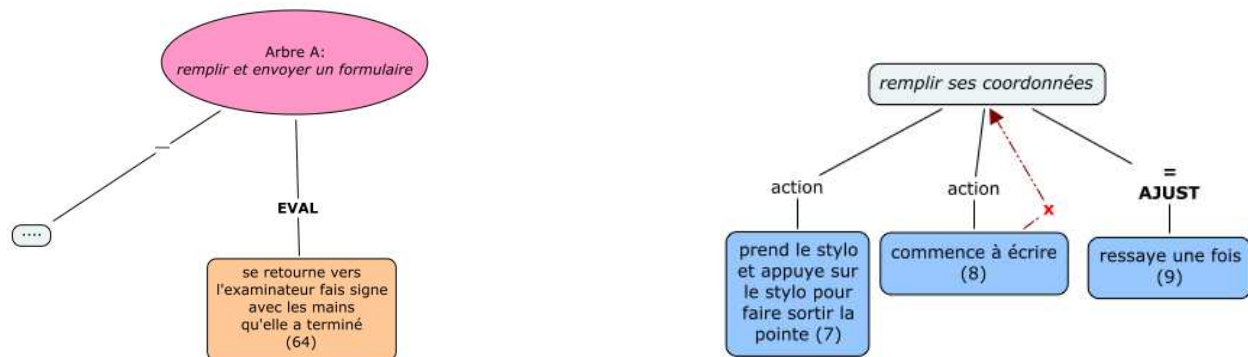


Figure 5.13 – R8.4 : Évaluation ; R8.5 : Contrôle lié à une action

R9 Ajustement :

R9.1 Appel à un sous-arbre :

Lorsque la tâche se déroule sans imprévu (pas de correction ou d'ajustement à faire), les actions réalisées par le sujet sont décrites dans l'arbre principal de la tâche.

Lors d'un bris de séquence (suspension, arrêt ou parallélisme), un nouvel arbre peut être utilisé. Il est alors décrit à l'extérieur de l'arbre principal. L'appel se fait par l'intermédiaire de sa racine.

Le sujet s'aperçoit que le stylo ne marche pas → Appel d'un sous-arbre «faire marcher le stylo». Ce sous-arbre est alors empilé dans le buffer de buts.

NB1 : L'appel à un nouvel arbre se fait par une liaison étiquetée «AJUST», «CORR» ou «CHGT stratégie».

NB2 : L'utilisation d'un nouvel arbre est fondée sur le principe d'un appel de fonction en programmation informatique.

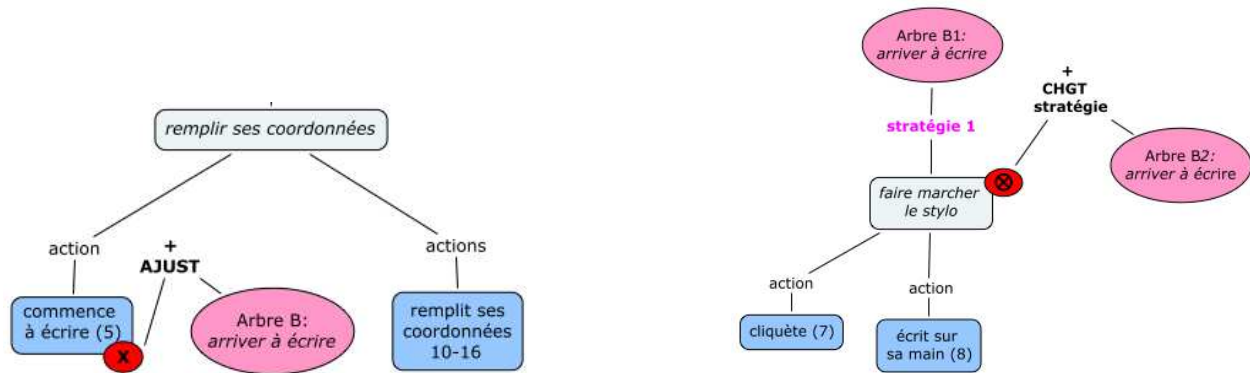


Figure 5.14 – R9.1 : Appel à un sous-arbre

R9.2 Ajout d'une portion d'arbre :

L'ajustement peut se manifester sous la forme d'une portion d'arbre dans l'arbre principal (ajout d'action ou groupe d'action et de sous-buts).

NB1 : La liaison de la portion d'arbre ajouté peut être étiquetée «AJUST», «CORR» ou «CHGT proc.».

NB2 : La différence avec le mécanisme de régulation est que l'on passe dans la boucle de contrôle/évaluation avant de faire l'ajustement (même si cela est fait de façon implicite).

Le sujet s'aperçoit que l'écran est débranché → Ajout d'un sous-but «brancher l'écran» lié par une liaison étiquetée «+AJUST».

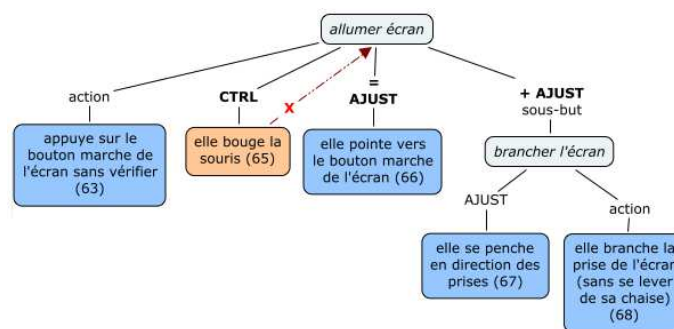


Figure 5.15 – R9.2 : Ajout d'une portion d'arbre

R10 Optimisation de la tâche :

Pour optimiser le temps de réalisation de la tâche, le sujet peut exécuter une portion d'arbre

indépendant (par exemple un sous-but qui n'a pas de contrainte temporelle) en parallèle de l'action qu'il est en train de réaliser.

Cette portion d'arbre reste inscrite dans l'arbre auquel elle se rattache, mais elle est entourée par des éclairs pour symboliser la rupture dans le temps par rapport aux actions qui l'entourent.

Lorsque le sujet cherche l'adresse du destinataire, en attendant que l'ordinateur s'allume, il colle le timbre sur l'enveloppe. Le sous-but «coller le timbre» est décrit dans l'arbre principal «remplir et envoyer un formulaire» et est encadré d'éclairs pour signifier qu'il n'a pas été réalisé entre «recopier l'adresse» et «cacheter l'enveloppe».

NB1 : Le buffer des buts permet aussi de représenter cette information.

NB2 : On représente cette notion par un bris de séquence → parallélisme avec une liaison étiquetée «Optimisation de la tâche».

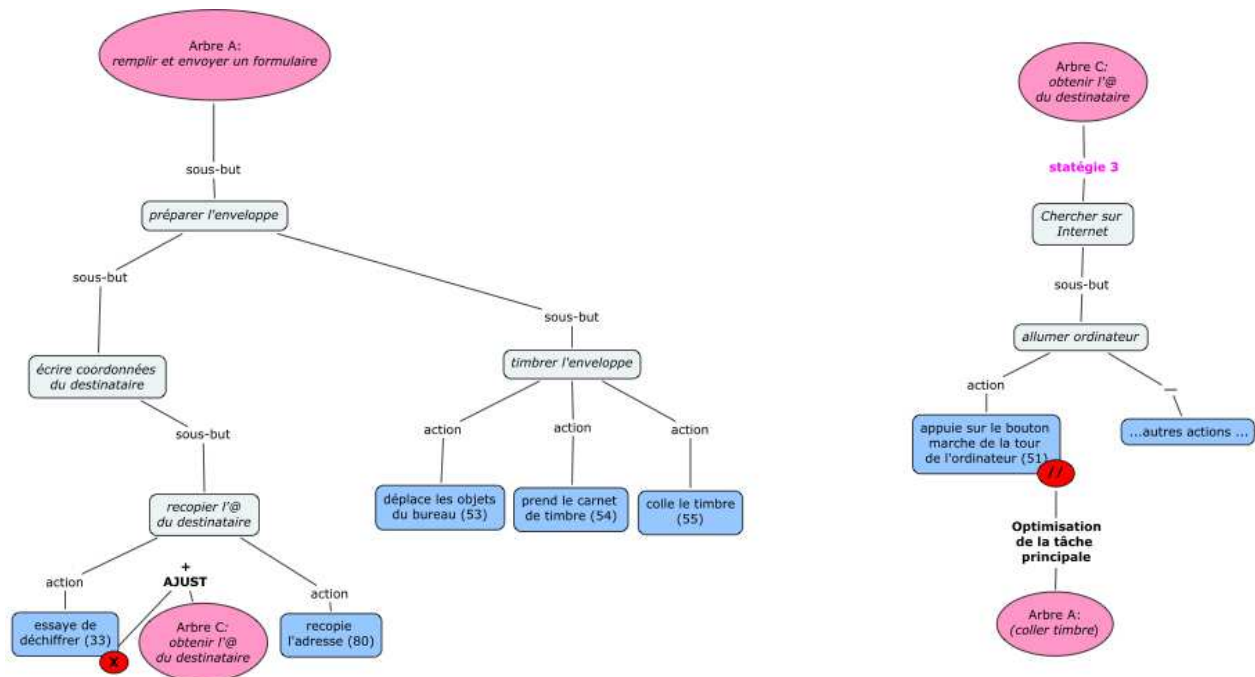


Figure 5.16 – R10 : optimisation de la tâche principale

R11 Erreur, séquençage et omission :

R11.1 Erreur :

Une action concrète ou un sous-but peut être une erreur. Cette action ou ce sous-but erroné est représenté par le symbole ERR dans un rond rouge.

Le sujet se trompe en écrivant l'année (action concrète erronée).

Le sujet déclare que la tâche est terminée alors qu'il n'a pas complété l'adresse de destination (évaluation erronée).

R11.2 Erreur de séquence :

Une erreur de séquence a lieu lorsque le sujet effectue une action ou un sous-but à un moment non opportun. Cette action ou ce sous-but erroné est représenté par le symbole «ERR Séquence» dans un rond rouge.

Le sujet ferme l'enveloppe alors qu'il a oublié de mettre le formulaire dans l'enveloppe (ce sous-but devrait être effectué après le sous-but «mettre formulaire dans enveloppe»).

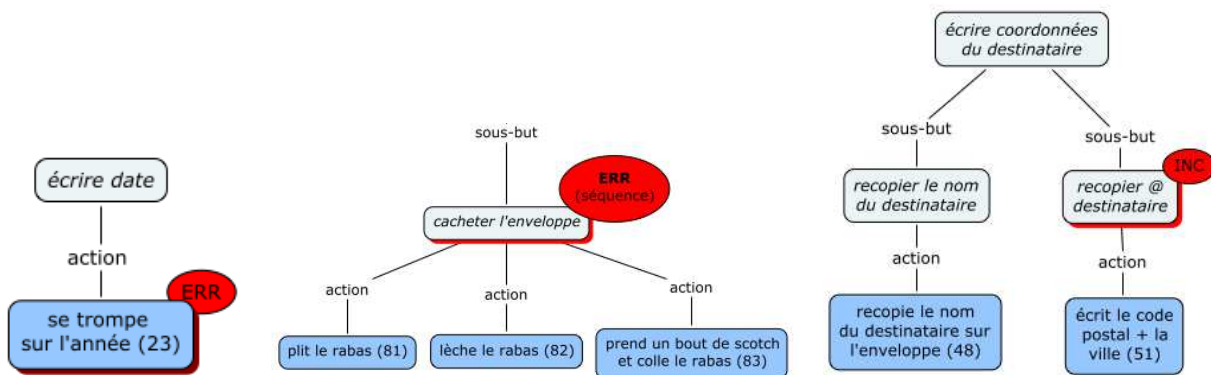


Figure 5.17 – R11 : Erreur, séquençage, omission

R11.3 Omission :

Pour les erreurs de type «omission», on ne peut pas qualifier l'action du nœud ERR puisque précisément l'action n'existe pas dans l'arbre (elle n'a jamais été réalisée). On qualifie alors

le but ou sous-but dont dépend normalement l'action omise du symbole INC (de incomplet) dans un rond rouge.

Le sujet n'inscrit ni la rue ni le code postal lorsqu'il écrit l'adresse du destinataire sur l'enveloppe. Le sous-but «recopier adresse destinataire» est décoré avec symbole INC.

R12 Correction :

Une correction a lieu après une action erronée et elle succède généralement à un mécanisme de contrôle).

- Une étiquette «=CORR» est ajoutée si le sujet répète l'action précédente de façon à ce qu'elle réussisse avec succès.

Le sujet se trompe en écrivant l'année (action concrète erronée) → Le sujet réécrit l'année.

- Une étiquette «+CORR» est ajoutée si le sujet ajoute une nouvelle action (ou un nouveau sous-but) pour corriger son erreur (par exemple, lors de l'oubli d'une étape).

Le sujet ferme l'enveloppe alors qu'il a oublié de mettre le formulaire dans l'enveloppe
→ Le sujet ajoute l'étape «mettre le formulaire dans l'enveloppe».

NB : la correction peut se faire au niveau macro (sous-but) ou au niveau micro (action).

R13 Environnement et Intervention de l'examineur :

Les signaux dynamiques de l'environnement et les interactions avec l'examineur peuvent être représentés dans l'arbre des tâches lorsqu'ils influencent les actions du sujet. Dans les deux cas, l'influence est représentée par une liaison du signal extérieur vers le but/sous-but concerné au moment de ce signal. L'étiquette de la liaison dépend du signal extérieur.

R13.1 Environnement :

Lorsqu'un signal extérieur est perçu par le sujet, un mécanisme de contrôle est mis en action. L'étiquette de la liaison sera donc «CTRL» (cf. R8.3)

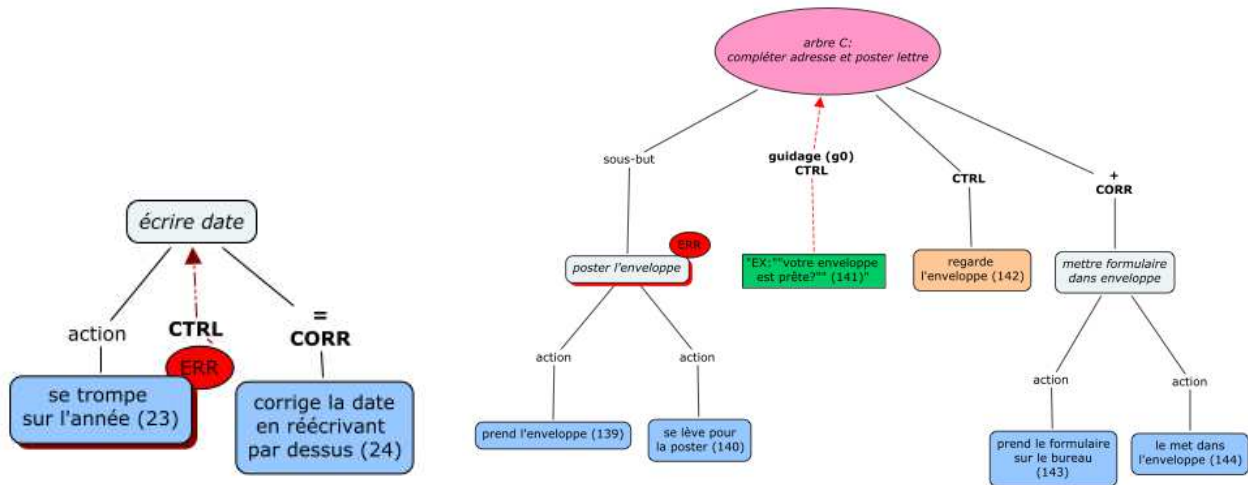


Figure 5.18 – R12 : Correction (respectivement à un niveau micro et macro)

R13.2 Intervention de l'examineur :

La nature de l'assistance et/ou les mécanismes exécutifs renforcés par cette assistance sont indiqués sur l'étiquette de la liaison entre le sous-but et le nœud assistance. L'étiquette peut donc prendre diverses valeurs : par exemple, «incitation CTRL» signifie que l'examineur aide le sujet à vérifier son action par rapport à une perturbation.

Le sujet identifie dans l'annuaire une adresse qui n'est pas la bonne. L'examineur intervient pour demander au sujet si c'est la bonne adresse. Cette intervention est reliée au sous-but «chercher une rubrique» et est étiquetée «guidage (g1) CTRL».

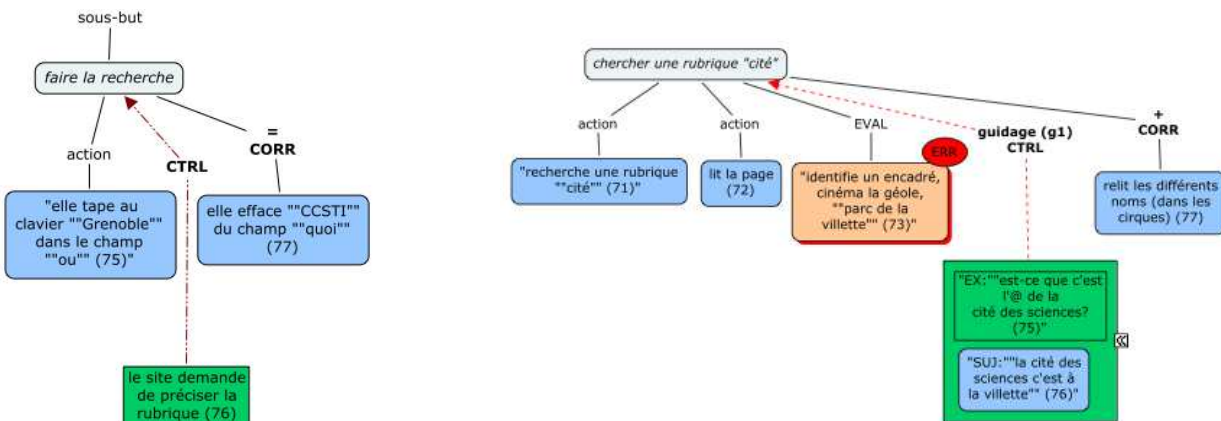


Figure 5.19 – R13 : Interactions avec l'environnement et l'examineur

CHAPITRE 6

Analyse des données : Qualification des processus exécutifs et de leur dégradation

Ce chapitre est consacré à l'analyse des données obtenues lors de la passation de l'expérimentation par les trois échantillons de sujets.

Chaque sujet a été évalué grâce aux échelles de cotation et aux outils d'analyse présentés précédemment. Dans la première partie du chapitre, nous présentons les résultats de l'analyse quantitative, ou analyse statistique, de la réalisation des tâches. Dans la deuxième partie du chapitre, nous présentons la classification détaillée des erreurs commises par les sujets. Enfin, dans la troisième partie du chapitre, nous présentons l'analyse qualitative de l'expérimentation. Sur la base d'observations d'un échantillon de sujets des trois populations, nous fournirons une analyse détaillée des mécanismes mis en lumière au cours de l'expérimentation.

6.1 L'analyse quantitative

Pour chaque tâche, les moyennes et les écarts types des scores obtenus ont été calculés. Des tests statistiques supplémentaires ont été réalisés pour mettre en valeur les différences obtenues entre les différents échantillons de population.

Nous nous sommes d’abord assurés qu’il n’existe pas de différences liées au sexe. Concernant la première tâche, pour comparer les moyennes des scores obtenus, nous avons appliqué le test de l’analyse de la variance ANOVA (F) lorsque les différents groupes remplissaient les conditions de normalité des distributions et d’homogénéité des variances, et le test non-paramétrique d’analyse de la variance de Kruskal-Wallis (H) dans les autres cas. Lorsque l’on présente les résultats, on parle de l’altération cognitive, représentée respectivement par les sujets adultes jeunes (pas d’altération), les sujets âgés (altération normale due au vieillissement) et les sujets MCI-MA (altération liée à la maladie). La deuxième tâche n’a pas pu être réalisée auprès de la population MCI-MA en raison des consignes de sécurité et d’hygiène de l’hôpital Broca¹. Nous utilisons donc les tests statistiques classiques pour deux échantillons indépendants : le test de comparaison des moyennes, test T (t), lorsque les groupes remplissaient les conditions de normalité des distributions et le test non-paramétrique d’identité, test de Mann-Witney (U), dans les autres cas.

Le groupe de sujets jeunes comprend douze sujets d’une moyenne d’âge de 23,5 ans (e.t. : 2,97) avec un score moyen au MMS de 29,42 (e.t. : 1). Le groupe de sujets âgés est constitué de onze sujets d’une moyenne d’âge de 76,64 ans (e.t. : 6,9) avec un score moyen au MMS de 28,73 (e.t. : 1,1). Enfin, le groupe de sujets MCI-MA comprend sept sujets d’une moyenne d’âge de 76,57 ans (e.t. : 4,54) avec un score moyen au MMS de 27,14 (e.t. : 2,41).

6.1.1 Tâche 1

Les moyennes et écart-type des scores obtenus à la tâche 1 (*remplir un formulaire et le poster*) sont présentés dans le tableau 6.1. Les réactions face aux perturbations sont détaillées dans le tableau 6.2.

L’analyse des données montre que la cotation (ou score global) obtenue varie en fonction de l’altération cognitive des sujets. En effet, la différence entre les trois groupes de sujets est significative [$H=16,032$; $ddl=2$; $p=0,000$]. La figure 6.1 présente l’évolution de la cotation en fonction des groupes de sujets. La cotation suit une évolution quasi linéaire. En d’autres termes, plus l’altération cognitive est importante, plus la cotation obtenue à la tâche est élevée.

La figure 6.2 montre la répartition des scores obtenus pour chaque groupe de sujets. Les

¹L’introduction de terre et de plante dans l’enceinte de l’hôpital n’a pas été autorisée.

		Sujets jeunes	Sujets âgés	Sujets MCI-MA
Âge		23,5 (2,97)	76,64 (6,9)	76,57 (4,54)
MMS		29,42 (1)	28,73 (1,1)	27,14 (2,41)
Cotation		0,63 (0,43)	1,77 (0,82)	2,29 (0,76)
Temps d'exécution		10 :56 (00 :57)	18 :45 (08 :19)	23 :15 (08 :33)
Assistance				
	Nombre total d'interventions	1,75 (1,54)	4 (2,65)	8,89 (5,15)
	Confirmation	0,92 (0,79)	0,73 (0,79)	1,57 (1,72)
	Incitation	0,83 (0,94)	1,91 (1,45)	2,29 (0,49)
	Guidage	0 (0)	1,36 (1,57)	5 (3,74)
Erreurs				
	Nombre total d'erreurs	1,25 (1,14)	3,27 (2,65)	4,29 (2,06)
	Erreurs de type A	0 (0)	0,55 (0,82)	2 (1,15)
	Erreurs de type B	0,08 (0,29)	0,64 (0,81)	0,57 (0,98)
	Erreurs de type C	0,58 (1)	0,64 (0,81)	0,29 (0,76)
	Erreurs de type D	0 (0)	0,09 (0,3)	0,14 (0,38)
	Erreurs de type P	0,58 (0,79)	1,36 (1,03)	1,29 (0,76)
Macro-Planification				
	Stratégies élaborées seul	2 (0,95)	1,55 (0,82)	1 (0,82)
	Stratégies élaborées avec aide	0 (0)	0,36 (0,50)	1 (1,15)
	Nombre d'essais	2,33 (1,37)	2,55 (1,37)	3 (1,91)
Micro-Planification				
	Aide pour organiser les actions	0 (0)	0,45 (0,69)	2,14 (1,77)
Réactions face aux perturbations		0,75 (0,87)	1,73 (1,01)	1,57 (0,53)

Tableau 6.1 – Résultats obtenus pour la tâche 1- moyenne (écart type).

scores des sujets jeunes se répartissent entre 0 (indépendant) et 1 (réussite avec incitation). Ils obtiennent une cotation moyenne de 0,63 (e.t. : 0,43). Les scores des sujets âgés se répartissent entre 0,5 (réussite avec demande de confirmation) et 3 (réussite avec guidage et lenteur d'exécution). Ils obtiennent une cotation moyenne de 1,77 (e.t. : 0,82). Enfin, les scores des sujets MCI-MA se répartissent entre 1 (réussite avec incitation) et 3 (réussite avec guidage et lenteur d'exécution). Ils obtiennent une cotation moyenne de 2,29 (e.t. : 0,76). Aucun des sujets, toutes catégories confondues, n'a échoué à la réalisation de la tâche.

Si la cotation obtenue à la tâche reflète l'altération cognitive, le nombre d'interventions de l'examineur et leur nature sont eux aussi caractéristiques des différents groupes de sujets (pour le nombre total d'interventions : $H=11,352$; $ddl=2$; $p= 0,003$). La figure 6.3 représente la distribution des différents niveaux d'assistance fournie pour chaque groupe de sujets. Les sujets jeunes réalisent la tâche avec un nombre moyen de 1,75 (e.t. : 1,54)

		Sujets jeunes	Sujets âgés	Sujets MCI-MA
Annuaire				
	Indépendant	11/12	11/11 (2 erreurs)	6/7
	Confirmation	1/12	-	1/7
	Incitation	-	-	-
	Guidage	-	-	-
Stylo				
	Indépendant	11/12	5/11	6/7
	Confirmation	1/12	4/11	-
	Incitation	-	1/11	1/7
	Guidage	-	1/11	-
Adresse				
	Indépendant	7/12	1/11	1/7
	Confirmation	-	1/11	-
	Incitation	5/12	5/11	1/7
	Guidage	-	4/11	5/7
Enveloppe				
	Indépendant	8/12	6/11	1/7
	Confirmation	2/12	-	-
	Incitation	2/12	5/11	4/7
	Guidage	-	-	2/7
Prise ordinateur				
	Indépendant	3/4	-	-
	Confirmation	-	-	-
	Incitation	1/4	-	-
	Guidage	-	-	-

Tableau 6.2 – Réaction/adaptation face aux perturbations pour la tâche 1

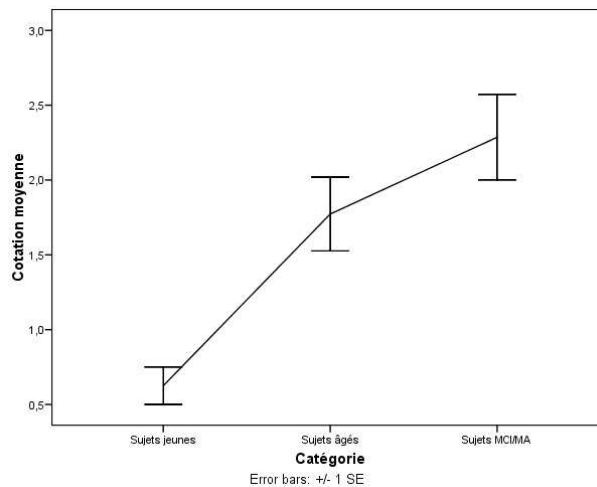


Figure 6.1 – Évolution et répartition de la cotation obtenue par les différents groupes de sujets au cours de l'altération cognitive pour la tâche 1

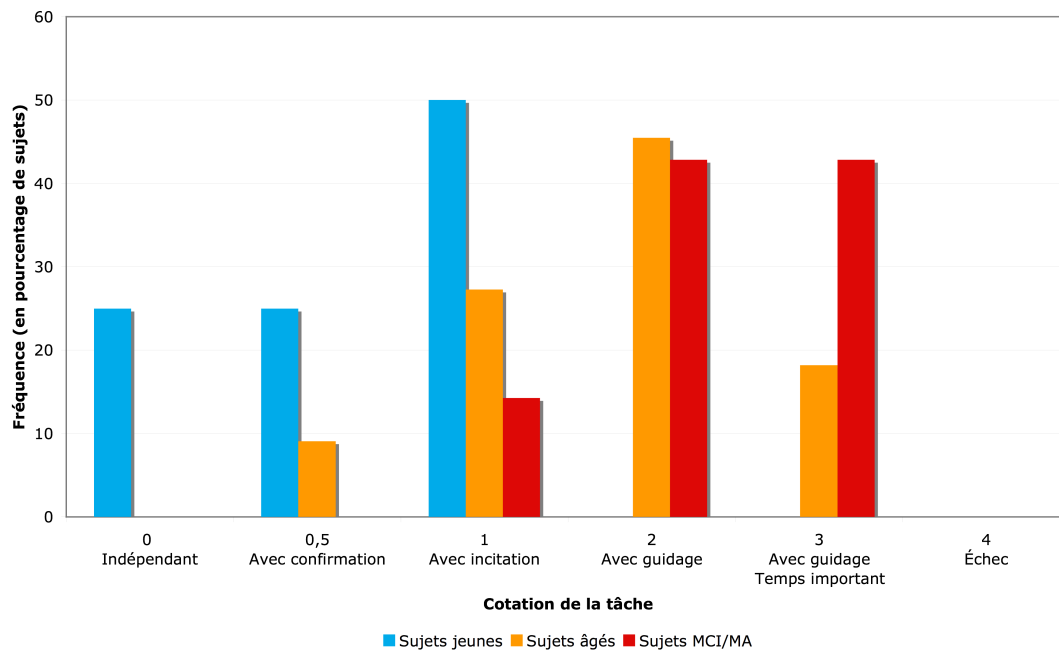


Figure 6.2 – Répartition des scores obtenus à la tâche 1

interventions de l'examinateur. Ces interventions sont en majorité de type confirmation, puis de type incitation. Les interventions de type incitation sont majoritairement des demandes d'exécution (incitation i2), ce qui reflète bien l'absence de difficulté à trouver des solutions aux problèmes posés. De leur côté, les sujets âgés réalisent la tâche avec un nombre moyen de 4 (e.t. : 2,65) interventions de l'examinateur. Ces sujets ont besoin d'assistance de tous les niveaux, que ce soit de type confirmation, incitation ou guidage. Ils ont besoin notamment qu'on les aide à poser le problème (incitation i1, guidage g1), à s'exécuter lorsqu'ils amènent une solution (incitation i2) et à identifier les éléments de la solution au problème (guidage g2). Enfin, l'examinateur doit être beaucoup plus présent pour les sujets MCI-MA qui réalisent la tâche avec un nombre moyen de 8,89 (e.t. : 5,15) interventions. Ces sujets ont besoin de beaucoup plus d'assistance que les autres groupes de sujets. Comme les sujets âgés, ils ont besoin, en moyenne, de tous les niveaux d'assistance (confirmation, incitation et guidage). Les sujets ont besoin d'assistance pour poser le problème (incitation i1, guidage g1), trouver des éléments de solution (guidage g2) et surtout ils ont besoin qu'on leur donne la solution (guidage g3). Ils ont besoin qu'on leur donne la solution pour, en moyenne, deux difficultés rencontrées au cours de la tâche. À noter le peu d'assistance de type demande d'exécution (incitation i2) qui s'explique par les difficultés des sujets à trouver des solutions aux problèmes

posés. Malgré l'incitation de l'examineur, les sujets ont du mal à dégager une solution. L'examineur bascule alors dans une assistance de type guidage pour aider le sujet à trouver une solution.

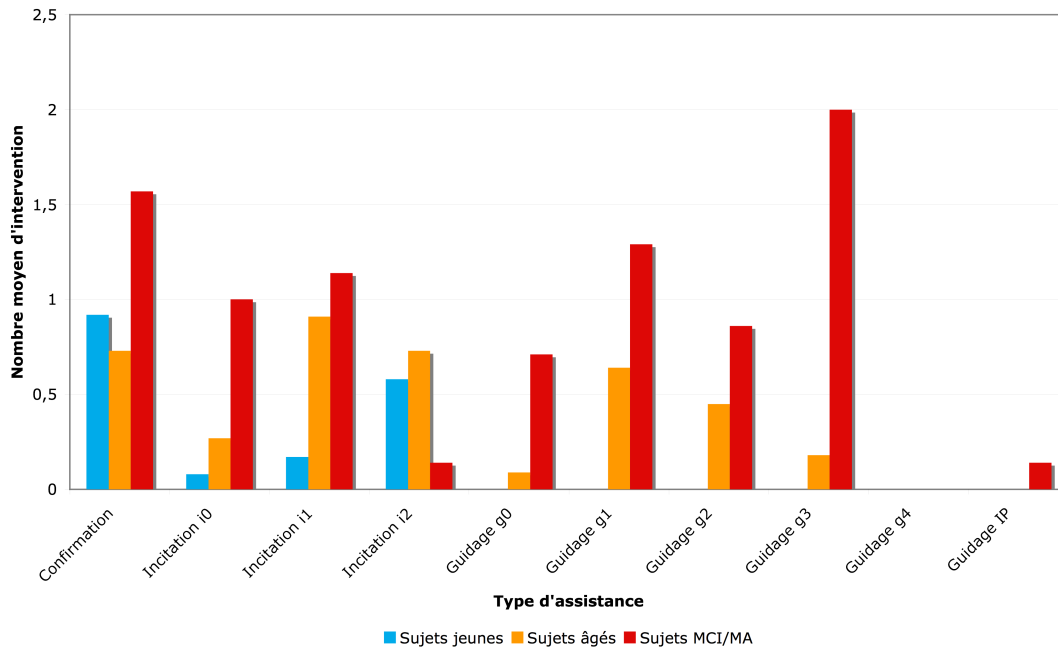


Figure 6.3 – Nature des interventions pendant la tâche 1

Concernant le nombre d'erreurs que commettent les sujets lors de la réalisation de la tâche, leur différence est, elle aussi, significative entre les trois groupes de sujets [$F(2,27)=5,707$; $p=0,009$]. Les erreurs de type A, dénotant des difficultés d'ordre exécutif et pouvant affecter la réalisation de la tâche, sont significativement liées à l'altération cognitive [$H=15,657$; $ddl=2$; $p<0,001$]. Le nombre total d'erreurs augmente avec l'altération cognitive et suit une évolution linéaire :

[$Flin(1,27)=10,988$; $p=0,003$ et $Fdev(1,27)=0,425$; $p=0,520$].

Les sujets jeunes commettent en moyenne 1,25 (et :1,14) erreurs pendant la réalisation de la tâche. Par contre, ils ne commettent pas d'erreurs de type A. Les sujets âgés commettent en moyenne 3,27 (e.t. :2,65) erreurs, dont 0,55 (e.t. : 0,82) de type A, pendant la réalisation de la tâche. Enfin, les sujets MCI-MA commettent en moyenne 4,29 (e.t. :2,06) erreurs, dont 2 (e.t. : 1,15) de type A, pendant la réalisation de la tâche. D'après l'observation du graphique présenté en figure 6.4, l'évolution du nombre d'interventions et l'évolution du nombre total d'erreurs évoluent de façon corrélée.

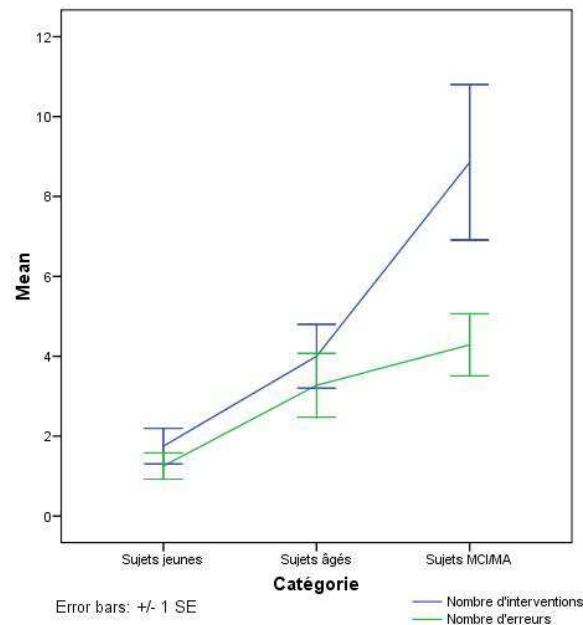


Figure 6.4 – Évolution du nombre d'interventions et du nombre d'erreurs au cours de l'altération cognitive pour la tâche 1

Le vieillissement cognitif influence aussi le temps d'exécution de la tâche. En effet, la différence entre les trois groupes est significative [$F(2,27)=7,735$; $p=0,002$]. Le temps d'exécution augmente avec l'altération cognitive et suit une évolution linéaire [$F_{lin}(1,27)=15,082$; $p=0,001$ et $F_{dev}(1,27)=0,389$; $p=0,538$]. La figure 6.5 représente cette évolution. Plus l'altération cognitive est importante et plus les sujets vont mettre de temps à réaliser la tâche.

Enfin, l'altération cognitive a une influence sur les capacités de planification des sujets dans la sous-tâche «obtenir l'adresse». Le nombre moyen de stratégies que les sujets élaborent de façon autonome diminue alors que le nombre moyen de stratégies élaborées avec l'assistance de l'examineur augmente significativement [$H=8,417$; $ddl=2$; $p=0,015$]. Aucun des sujets jeunes n'a eu besoin d'assistance pendant la phase d'élaboration des stratégies. Ils élaborent en moyenne 2 (e.t. : 0,95) stratégies pour trouver l'adresse. Les sujets âgés élaborent en moyenne 1,55 (e.t. : 0,82) stratégies seuls et 0,36 (e.t. : 0,5) stratégies avec l'assistance de l'examineur. Les sujets MCI-MA élaborent en moyenne 1 (e.t. : 0,82) stratégies seuls et 1 (e.t. : 1,15) stratégie avec l'aide de l'examineur. La figure 6.6 montre cette évolution.

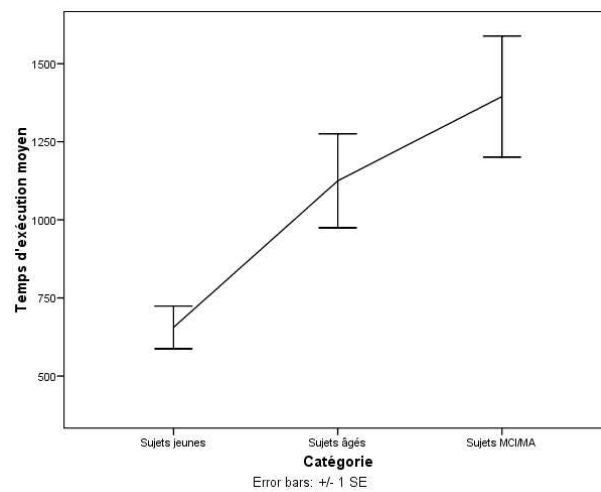


Figure 6.5 – Évolution du temps d'exécution au cours de l'altération cognitive pour la tâche 1

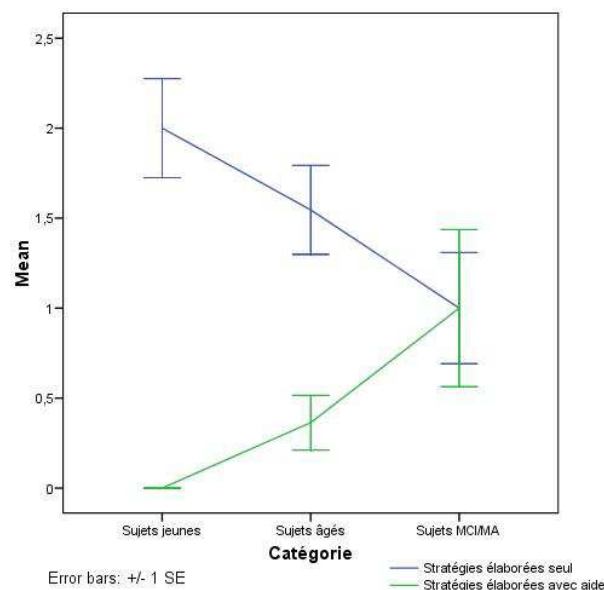


Figure 6.6 – Évolution des capacités de planification au cours de l'altération cognitive pour la tâche 1

6.1.2 Tâche 2

Les moyennes et écart-type des scores obtenus à la tâche 2 (*rempoter une plante*) sont présentés dans le tableau 6.3. L'objectif de la deuxième tâche est d'observer les mécanismes d'ajustement/correction en cas de plan initial erroné et les mécanismes de régulation en pré-

sence de distracteurs. Le tableau 6.4 détaille les réactions face aux perturbations (taille du pot mal adaptée pour la quantité de terre annoncée et pour la taille de la plante) et aux distracteurs (louche et bouteilles contenant divers liquides non appropriés à l'arrosage d'une plante) introduits. Les résultats des tests statistiques ne sont pas significatifs pour pouvoir conclure à une différence de performance entre sujets jeunes et sujets âgés. Nous détaillerons simplement les moyennes et écarts types des principaux critères d'évaluation.

		Sujets jeunes	Sujets âgés
Âge		23,5 (2,97)	76,64 (6,9)
MMS		29,42 (1)	28,73 (1,1)
Cotation		0,33 (0,39)	0,5 (0,43)
Temps d'exécution		11 :36 (04 :43)	13 :33 (06 :26)
Assistance			
	Nombre total d'interventions	0,67 (0,79)	1(0,89)
	Confirmation	0,5 (0,67)	0,55 (0,69)
	Incitation	0,17 (0,39)	0,45 (0,68)
	Guidage	0 (0)	0 (0)
Erreurs			
	Nombre total d'erreurs	1,25 (1,14)	3,27 (2,65)
	Erreurs de type A	0 (0)	0 (0)
	Erreurs de type B	0,67 (0,98)	1,27 (0,79)
	Erreurs de type C	0,17 (0,39)	0,36 (0,5)
	Erreurs de type D	0,25 (0,45)	0,09 (0,3)
	Erreurs de type P	0,25 (0,45)	0,64 (1,03)
Réactions face aux perturbations		0,17 (0,39)	0,55 (0,82)
Réactions face aux distracteurs		0,25 (0,45)	0,27 (0,47)

Tableau 6.3 – Résultats obtenus pour la tâche 2 - moyenne (écart type).

La figure 6.7 montre la répartition des scores obtenus pour chaque groupe de sujets. Les scores des deux populations se répartissent entre 0 (indépendant) et 1 (réussite avec incitation). Les sujets jeunes obtiennent une cotation moyenne de 0,33 (e.t. : 0,39), avec une majorité de sujets indépendants. Les sujets âgés obtiennent une cotation moyenne de 0,5 (e.t. : 0,43), avec une répartition plus uniforme entre indépendants et besoin d'incitation. La cotation, et donc les interventions de l'examineur, sont principalement liées à l'introduction de la perturbation concernant la taille du pot mal adaptée. Soit les sujets sont indépendants ou ont besoin d'une confirmation pour s'adapter en début ou en cours de réalisation de la tâche, soit ils ont besoin d'incitation en fin de tâche pour repoter la plante dans un pot plus adapté (cf. tableau 6.4).

La figure 6.8 représente la distribution des différents niveaux d'assistance fournie pour chaque groupe de sujets. Les sujets jeunes réalisent la tâche avec un nombre moyen de 0,67 (e.t. :

		Sujets jeunes	Sujets âgés
Perturbation	<i>Taille du pot mal adaptée</i>		
	Ajustement au début		
	Indépendant	5/12	4/11
	Confirmation	3/12	3/11
	Ajustement en cours		
	Indépendant	2/12	-
	Ajustement à la fin		
	Incitation (i0)	-	2/11
	Incitation (i1)	2/12	-
	Incitation (i2)	-	2/11
Distracteurs	<i>Utilisation de la louche</i>		
	Avec correction	1/12	-
	Sans correction	1/12	1/11
	<i>Utilisation des bouteilles</i>		
	Avec correction	-	-
	Sans correction	1/12	1/11

Tableau 6.4 – Réaction/adaptation face aux perturbations pour la tâche 2. Ajustement au début = avant de mettre la terre ; ajustement en cours = après avoir mis la terre ; ajustement à la fin = après évaluation de la fin de tâche et intervention de l’examinateur

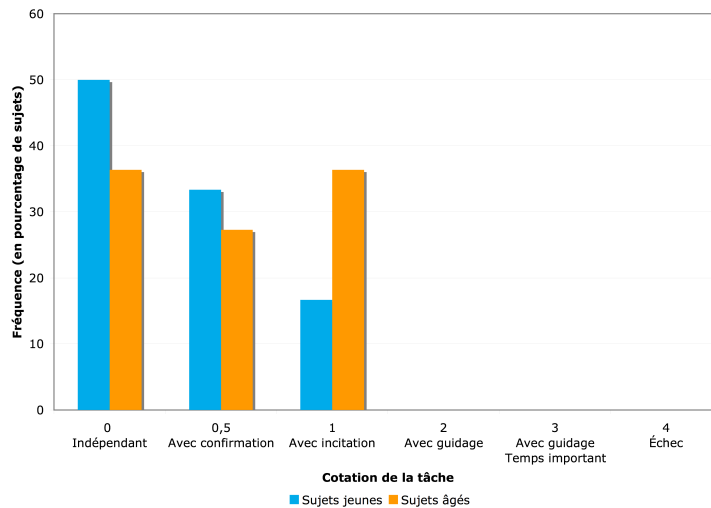


Figure 6.7 – Répartition des scores obtenus à la tâche 2

0,79) intervention de l’examinateur. Ces interventions sont en majorité de type confirmation en début ou au cours de la tâche. Les quelques interventions de type incitation permettent à l’examinateur de diriger les sujets vers la perturbation et sur la nécessité de changer de pot (incitation i1). De leur côté, les sujets âgés réalisent la tâche avec un nombre moyen de 1 (e.t. : 0,89) intervention de l’examinateur. Certains ont besoin de confirmation en début de tâche,

comme les sujets jeunes et les autres d'incitation en fin de tâche, soit en leur demandant s'ils sont satisfait du résultat obtenu (incitation i0), soit pour s'exécuter lorsqu'ils proposent de changer de pot (incitation i2). Aucune des populations n'a besoin d'intervention de type guidage, d'ailleurs aucune erreur de type A, ou erreurs exécutives, n'a été commise.

En terme d'erreurs, les sujets jeunes commettent en moyenne 1,25 (e.t. : 1,14) erreurs au cours de la tâche. Les sujets âgés en commettent en moyenne 3,27 (e.t. : 2,65), dont 1,27 (e.t. : 0,79) de type B, ou erreurs non corrigées.

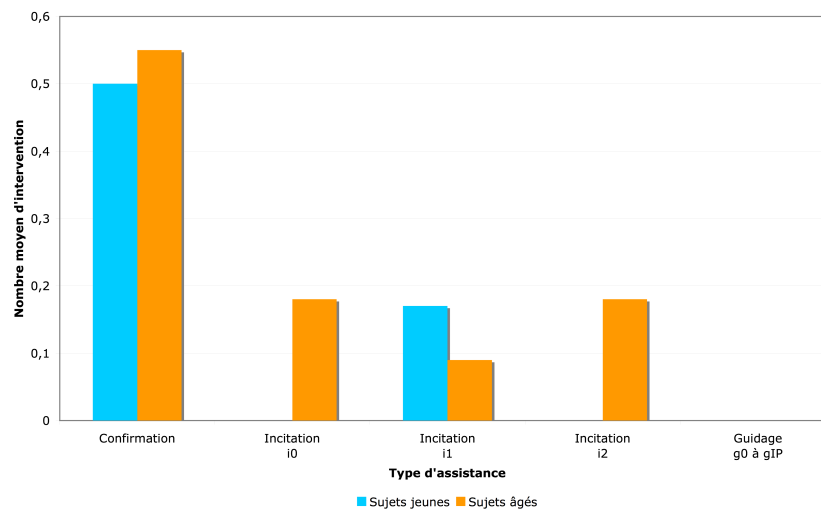


Figure 6.8 – Nature des interventions pendant la tâche 2

Enfin, les temps moyens d'exécution sont sensiblement les mêmes pour les deux populations, à savoir 11 :36 (04 :43) pour les sujets jeunes et 13 :33 (06 :26) pour les sujets âgés.

6.1.3 Interprétation et conclusion de l'analyse quantitative

Les résultats observés montrent une différence significative dans la performance de la première tâche (*remplir et poster un formulaire*) pour les trois groupes de sujets. Les sujets jeunes sont indépendants ou n'ont besoin que de confirmation et d'incitation pour réaliser la tâche. Ce type d'assistance est généré par l'introduction des perturbations dans le protocole expérimental et n'est pas significatif de difficultés exécutives. Les sujets jeunes réagissent bien aux perturbations. Le nombre moyen d'incitations i2 par rapport à celui des incitations i0 et i1 montre que les sujets savent apporter des solutions aux problèmes posés. Ces observations

sont corroborées par les résultats obtenus en planification : les sujets élaborent, sans assistance, différentes stratégies afin d'obtenir l'information. Ces sujets commettent parfois des erreurs en cours de tâche. Elles ne reflètent jamais des difficultés exécutives (erreurs de type A). Si ces erreurs ne sont pas des erreurs d'inattention, les sujets les corrigent sans difficulté. À la différence, on voit apparaître des difficultés exécutives chez les sujets âgés et les sujets MCI-MA. Nombre d'entre eux ont besoin de guidage pour réaliser la tâche. Même avec ce type d'assistance certains sujets, notamment les sujets MCI-MA, passent beaucoup de temps à réaliser la tâche. Les sujets réagissent moins bien aux perturbations et ont souvent besoin d'assistance pour s'adapter aux situations imprévues. Ils ont besoin qu'on les aide à poser le problème et à dégager des éléments de réponse et, pour certains sujets MCI-MA, qu'on leur apporte une solution. Ces sujets ont besoin d'aide pour élaborer les stratégies afin d'obtenir l'information. Enfin, ces sujets commettent plus d'erreurs et se corrigent moins que les sujets jeunes. Des erreurs reflétant les difficultés exécutives (erreurs de type A) apparaissent dans la réalisation de la tâche. Le nombre moyen de ces erreurs est nettement plus important chez les sujets MCI-MA.

Concernant la deuxième tâche (*rempoter une plante*), les résultats observés ne montrent pas de différence significative de performance pour les deux groupes de sujets observés (la passation de la deuxième tâche par les sujets MCI-MA n'a pu être réalisée). Nous avons observé, aussi bien pour les sujets jeunes que pour les sujets âgés, une bonne performance à la tâche, une absence de trouble exécutif et une bonne résistance aux distracteurs. Les sujets âgés commettent un peu plus d'erreurs que les sujets jeunes et sont un peu plus sensibles à l'introduction de la perturbation. Dans l'ensemble, les sujets sont indépendants ou ont besoin d'une confirmation pour s'adapter à la perturbation lorsqu'ils commencent le rempotage. S'ils ont besoin d'assistance en fin de tâche, c'est pour une incitation à s'adapter et à changer de pot pour répondre aux objectifs de la tâche. Ces résultats peuvent être expliqués par la connaissance de la tâche. En effet, les sujets âgés sont très familiers avec le rempotage de plantes tandis que les sujets jeunes, qui, pour la plupart, viennent de quitter le domicile parental, ne sont pas habitués à s'occuper de plantes vertes. La tâche est alors routinière pour les personnes âgées. Les sujets vont instinctivement utiliser le pot le plus adapté à la plante sans prendre en compte le mode d'emploi erroné. En conséquence, la perturbation introduite ne fait pas forcément appel aux mécanismes exécutifs attendus. L'assistance dont ont besoin certains sujets est uniquement liée aux conditions de passation de l'expérimentation (contradiction entre le mode d'emploi erroné fourni aux sujets et leurs habitudes et/ou bon sens). De plus, cette tâche avait été élaborée pour pouvoir étudier les mécanismes de régulation

et d'inhibition des stimuli non pertinents, normalement altérés lors de troubles exécutifs. Il aurait été sûrement très intéressant de pouvoir observer la réalisation de cette tâche par les sujets MCI-MA de ce point de vue.

→ *En vue de la deuxième partie du travail de recherche, à savoir la modélisation des processus exécutifs, nous nous focaliserons uniquement sur l'étude, ou analyse qualitative, de la première tâche (remplir et poster un formulaire) qui permet bien d'observer les processus exécutifs et les troubles associés.*

En résumé, la première tâche observée et les cotations mises en place permettent de mettre en lumière les différents processus exécutifs et les différentes difficultés ou troubles associés. Premièrement, on n'observe pas de difficulté exécutive chez les sujets qui n'ont pas d'altération cognitive (sujets jeunes). À la différence, on observe des difficultés exécutives chez les sujets qui ont une altération cognitive (sujets âgés et sujets MCI-MA). Deuxièmement, on observe une dégradation des performances des sujets au cours de l'altération cognitive. Plus l'altération cognitive est importante et plus les sujets perdent en autonomie. On observe entre autres une augmentation : du temps d'exécution de la tâche, de la cotation globale obtenue, du nombre d'interventions requises pour que la tâche soit considérée réussie et du nombre d'erreurs commises, notamment des erreurs liées aux difficultés exécutives. Parallèlement, on observe une diminution de l'autonomie des sujets dans la planification relative à la recherche d'information. À noter cependant que toutes ces observations ne permettent pas de conclure catégoriquement à une dégradation des processus exécutifs accompagnant l'altération cognitive en raison du manque d'appariement des différents groupes de sujets (notamment concernant le niveau d'étude et la familiarité avec la tâche).

6.2 La classification des erreurs

Quelle que soit leur altération cognitive, les sujets commettent des erreurs lors de la réalisation des tâches. Une première catégorisation de ces erreurs a été réalisée lors de la passation de l'expérimentation (erreurs de type A, B, C, D et P). Cette classification a permis de quantifier, en terme d'erreurs, l'altération (pour les erreurs de type A, B et D) ou le bon fonctionnement (pour les erreurs de type C) des processus exécutifs. Le récapitulatif de toutes les erreurs observées pendant la réalisation des tâches est présenté en annexe B.

La catégorisation dite en profondeur est réalisée a posteriori. Elle permet de qualifier les

erreurs et d'identifier plus finement les mécanismes mis en jeu dans l'apparition des erreurs. Cette qualification a été établie en s'inspirant des différentes catégorisations présentées dans l'état de l'art (cf. Chapitre 3). Schématiquement, il s'agit de redéfinir et de fusionner la catégorisation du profil des AVQ (Dutil *et al.*, 1996) qui s'attache aux quatre composantes principales des mécanismes exécutifs et à un mélange des catégorisations du KTA (Baum et Edwards, 1993) et de Syndrome de désorganisation de l'action, ou SDA, (Schwartz *et al.*, 1991) qui s'attachent à détailler les différentes erreurs relatives à la réalisation effective (composante 3 des mécanismes exécutifs).

6.2.1 Volonté

L'étape de génération des intentions est primordiale pour le bon déroulement de la tâche. C'est grâce à cette étape que le sujet va identifier les éléments essentiels pour la réalisation de la tâche.

- *Génération de l'intention* : Le sujet intègre mal la consigne données pour l'expérimentation.

T1 : Le sujet dit ne pas se rappeler où il faut envoyer la lettre

- *Identification des éléments essentiels à la tâche* : Le sujet a des difficultés à extraire les conditions de départ ou les données importantes pour exécuter la tâche. Les éléments essentiels au problème sont mal identifiés.

T1 : Le sujet cherche le CCSTI à la rubrique «Hôpitaux» dans les Pages Jaunes

T1 : Le sujet pense qu'il faut envoyer la lettre au service de gériatrie

T1 : Le sujet remplit la case organisme (par exemple, avec le nom de sa maison de retraite)

T1 : Le sujet marque une fausse adresse sur l'enveloppe (erreur due à l'introduction d'une perturbation, le sujet pense que l'adresse n'a pas d'importance pour l'expérimentation)

T1 : Le sujet marque sa propre adresse comme adresse de destination sur l'enveloppe

6.2.2 Planification de la tâche

On distingue deux sortes d'erreurs de planification selon leur granularité par rapport aux actions, à savoir la planification au niveau des étapes (macro planification) *versus* la planification au niveau des actions (micro planification) (Semkovska *et al.*, 2004).

- *Macro-planification* : Les erreurs de macro-planification reflètent une mauvaise organisation à un niveau global de la tâche : organisation des grandes étapes de la tâche, élaboration des stratégies, etc. Les perturbations introduites en cours de tâche peuvent être source d'erreurs de planification.

T1 : Le sujet poste l'enveloppe sans avoir inscrit l'adresse de destination (due à une perturbation)

T2 : Le sujet repote la plante dans le pot A

- *Micro-planification* : Les erreurs de micro-planification reflètent une mauvaise organisation à un niveau plus fin de la tâche : organisation des actions pour chaque grande étape de la tâche, etc.

T1 : Le sujet abandonne la tâche car il ne se rappelle plus le nom du CCSTI

T1 : Le sujet n'arrive pas à écrire à cause du stylo et veut abandonner la tâche (due à une perturbation)

6.2.3 Action intentionnelle

Une fois élaboré, le plan de la tâche doit être mis en œuvre : les mécanismes d'action intentionnelle vont initier la séquence d'action, enchaîner les différentes actions, réguler l'action et arrêter la séquence d'action. Les erreurs relatives à ces mécanismes sont les erreurs traditionnellement observées par les ergothérapeutes puisqu'elles concernent directement la réalisation.

- *Initiation* : Le sujet ne commence pas la tâche. (KTA - critère «initiation»).

T1 : Le sujet ne prend pas le matériel pour aller au bureau et attend devant le bureau

- *Macro-omission (omission d'une étape)* : Le sujet oublie de réaliser une étape de la tâche (KTA - critère «Exécution des étapes»)

T1 : Le sujet ne colle pas le rabat de l'enveloppe (due à une perturbation)

T1 : Le sujet ferme l'enveloppe sans y avoir mis le formulaire

- *Micro-omission (omission d'une action)* : Le sujet oublie de réaliser une action d'une étape de la tâche (SDA - «omission», présent dans les travaux de Chevignard *et al.* (2000) et de Baguena *et al.* (2006))

T1 : Le sujet poste l'enveloppe sans avoir marqué le code postal ou la ville (même après avoir obtenu l'adresse)

T1 : Le sujet ne compose pas le «0» pour joindre une ligne extérieure lorsqu'elle téléphone

T1 : Le sujet oublie de cocher la case catégorie

T2 : Le sujet arrose la plante sans mettre de coupelle

T2 : Le sujet ne met pas de terreau neuf pour repoter la plante

- *Séquençage* : Le sujet a du mal à mettre en œuvre le plan élaboré. Comme dans le SDA (Schwartz *et al.*, 1991), trois types d'erreurs sont considérées comme des erreurs de séquençage :

- 1) Les erreurs d'anticipation-omission : le sujet effectue une action avant une autre, qui, du coup, n'est pas effectuée.
- 2) Les erreurs d'inversion : le sujet intervertit l'ordre de deux actions.
- 3) Les erreurs de persévération : le sujet répète une action de façon non intentionnelle.

T1 : Le sujet ferme l'enveloppe sans avoir regardé le nom qu'il doit y inscrire (anticipation-omission)

T1 : Une fois l'adresse trouvée, le sujet continue de lire des rubriques de l'annuaire (persévération)

T2 : Le sujet arrose la terre avant de placer la motte dans le pot (inversion)

T2 : Le sujet arrose la plante avant de l'avoir dépotée (inversion)

T2 : Le sujet verse de l'eau avant d'avoir fini d'ajouter la terre (anticipation)

- *Addition action H.T.* : Le sujet exécute une action «hors tâche» (niveau micro), c'est à dire qui n'est pas utile à la réalisation de la tâche (SDA - «action supplémentaire», présent dans les travaux de Chevignard *et al.* (2000) et de Baguena *et al.* (2006). Dans la première tâche, si le sujet coche des cases ou s'il remplit des champs qu'il ne devrait pas, on parle

d'erreurs d'addition.

T1 : Le sujet coche la case entreprise (en plus de la case retraité)

T1 : Le sujet marque sur le formulaire un montant arbitraire de cotisation alors qu'il a coché la catégorie retraité

T1 : Le sujet jette le stylo qui ne marchait pas

T2 : Le sujet arrose les autres plantes de l'appartement

T2 : Le sujet élague la plante

- *Substitution d'un objet* : Le sujet réalise une action avec un objet non approprié (SDA - «Substitution d'un objet», KTA - erreur de confusion dans le critère «organisation»). L'introduction de distracteurs dans la tâche 2 peut amener le sujet à utiliser un objet (le distracteur) à la place d'un autre.

T1 : Le sujet choisit le crayon à papier pour remplir le formulaire

T1 : Le sujet n'écrit pas le destinataire sur l'enveloppe mais sur le dos du formulaire et colle le timbre sur le formulaire

T2 : Le sujet utilise la louche pour prendre la terre dans le sac de terreau (confusion avec un distracteur)

T2 : Le sujet arrose la plante avec un des distracteurs

T2 : Le sujet nettoie la table avec un objet inadapté (le napperon, le balai)

- *Organisation* : Le sujet ne manipule pas correctement certains objets. Dans la tâche 1, ces erreurs apparaissent surtout dans la recherche d'information. Le sujet ne va pas chercher dans la bonne ville, ou ne cherche pas dans le bon annuaire, etc. Dans la tâche 2, ces erreurs sont plutôt liées aux ustensiles qu'utilise le sujet.

T1 : Le sujet ne cherche pas dans la bonne ville dans les Pages Blanches

T1 : Le sujet cherche l'adresse dans l'annuaire sous la dénomination «institut des sciences»

T1 : Le sujet prend l'annuaire «I à Z» pour chercher une rubrique commençant par «C»

T1 : Le sujet cherche par rubrique dans les pages blanches

T1 : Le sujet demande s'il doit faire le 12 pour obtenir les renseignements

T1 : Le sujet fait semblant de coller un timbre mais ne le colle pas

T2 : Le sujet utilise la louche pour verser de l'eau de la coupelle dans le pot

T2 : Le sujet verse l'eau mais le pommeau de l'arrosoir est mal orientée (l'eau coule par terre)

T2 : Le sujet prend le terreau dans le sac avec les mains

T2 : Le sujet rempote la plante sur le sol et se plaint d'avoir mal aux genoux

- *Erreur d'inattention* : Ce type d'erreur n'apparaît que lorsque le sujet remplit le formulaire, dans la première tâche. Le sujet commet des erreurs d'inattention qu'il corrige, généralement, de façon spontanée.

T1 : Le sujet se trompe en remplissant un champ dans le formulaire (il se corrige immédiatement)

- *Estimation* : Le sujet fait une mauvaise estimation de la situation (mauvaise estimation de quantité, de taille, d'espace ou de temps) (Chevignard *et al.*, 2000, Baguena *et al.*, 2006).

T1 : Le sujet a besoin d'aide pour remplir le formulaire

T1 : Le sujet coche «à la réception de la facture» pour la condition de paiement alors que ce n'est pas une case

T2 : Le sujet remplit le pot A à ras-bord puis met la plante dans le pot

6.2.4 Réalisation effective

La réalisation effective est la dernière composante des processus exécutifs. C'est grâce aux mécanismes de cette composante que le sujet peut contrôler, évaluer puis adapter ses actions. Deux remarques sont à faire pour ce groupe fonctionnel. Premièrement, les erreurs citées précédemment pour le composant «action intentionnelle» sont observables lors de la défaillance de certains mécanismes de contrôle. Deuxièmement, il est difficile d'observer des erreurs concernant ce composant puisque la caractérisation de la défaillance des mécanismes de contrôle et d'ajustement est précisément l'absence des comportements attendus. Par exemple, le sujet ne se corrige pas s'il commet une erreur, ou il ne change pas de stratégie si celle qu'il exécute ne marche pas. C'est plutôt l'analyse des interventions de l'examineur, notamment celles de type guidage, qui permettront de qualifier les mécanismes de contrôle et d'ajustement.

- *Régulation* : Directement lié à l'introduction de perturbation, le sujet ne va pas réguler son

action pour s'adapter à son environnement.

T1 : Le sujet s'assoit sur l'annuaire

- *Contrôle* : Le sujet a des difficultés à contrôler le déroulement des actions constituant le plan de départ. L'évaluation de la réalisation correcte, ou non, de certaines actions est altérée.

T1 : Le sujet se trompe en essayant de déchiffrer l'adresse et écrit un nom erroné

T2 : Le sujet ne nettoie pas correctement la table

- *Évaluation finale* : Le sujet a du mal à évaluer la pertinence de la tâche ou à décider de son achèvement (KTA - critère « Complétion »).

T1 : Le sujet dit qu'il a terminé la tâche alors qu'il n'a pas posté la lettre

T1 : Le sujet identifie dans l'annuaire un guichet de la Vilette pour envoyer l'adresse

T1 : Le sujet s'arrête après avoir collé le timbre (le formulaire n'est pas dans l'enveloppe)

T2 : Le sujet se lance dans le rangement de l'appartement

6.3 L'analyse qualitative

L'analyse qualitative permet d'observer en détail la manière dont les sujets réalisent les tâches de façon à mettre en lumière les mécanismes exécutifs et leur possible altération. Cette analyse a été réalisée grâce aux outils spécifiques présentés précédemment (cf. section 5.4).

Nous avons choisi d'observer uniquement la première tâche (*remplir un formulaire et le poster*), beaucoup plus riche en informations concernant les processus exécutifs que la deuxième tâche (*rempoter une plante*). Comme c'est une analyse fastidieuse, elle ne sera réalisée que sur un petit échantillon de sujets, à la façon des études de cas : trois sujets de chaque catégorie ont été analysés. Nous présentons l'analyse détaillée d'un sujet jeune, d'un sujet âgé et des trois sujets MCI-MA.

après avoir préparé l'enveloppe, le sujet cache l'enveloppe et commence à ranger le bureau (l'étape «mettre le formulaire dans l'enveloppe» n'a pas été réalisée → erreur de séquence, catégorie anticipation-omission). Elle voit alors le formulaire sur le bureau (mécanisme de contrôle/évaluation). Elle corrige son erreur : elle ré-ouvre l'enveloppe, y glisse le formulaire et la referme en utilisant le même morceau de ruban adhésif (re-sélection du sous-but «préparer l'enveloppe» et ajout du sous-but «mettre le formulaire dans l'enveloppe»). Enfin, lors de la recherche sur le site internet des pages jaunes, l'étudiante se trompe en remplissant les champs de la recherche. Lorsqu'elle lance sa recherche, le site internet prévient qu'une rubrique manque. Elle se corrige alors en effaçant le contenu de la mauvaise rubrique et en remplissant la bonne (correction après signal de l'environnement → ajout de deux actions).

Outre ces capacités à s'auto-corriger, le sujet fait preuve de capacités d'ajustement. C'est grâce à l'introduction des perturbations que l'on peut les observer. Le sujet change sans problème de stylo (ajout de deux arbres correspondant aux stratégies «faire marcher le stylo» et «changer de stylo»). Pour l'enveloppe, le sujet lèche le rabat et le plie. Immédiatement, elle prend un morceau de ruban adhésif pour fermer l'enveloppe (ajout d'une action).

Concernant la recherche d'information, l'étudiante jongle entre les stratégies, en change plusieurs fois, réutilise les mêmes et en mène plusieurs de front. Dès qu'elle s'aperçoit qu'elle ne peut déchiffrer l'adresse, elle met en place une nouvelle sous-tâche «obtenir l'adresse de destination» (suspension du but courant et appel à un autre arbre). Elle cherche alternativement dans les pages jaunes et dans les pages blanches (pour chaque changement de stratégie : arrêt de l'arbre en cours et appel à un nouvel arbre contenant la nouvelle stratégie). Lorsqu'elle fait appel à une stratégie déjà utilisée, elle change de procédure (ajout de sous-arbres différents pour chaque procédure). C'est le cas lorsqu'elle cherche une deuxième fois dans les pages jaunes : elle cherche alors dans différentes rubriques (procédures). En même temps qu'elle feuillette les pages jaunes, l'étudiante va mettre en œuvre une troisième stratégie en appuyant sur l'écran de l'ordinateur pour chercher sur Internet (parallélisme de stratégies). En attendant que l'ordinateur se mette en route, elle va aussi optimiser le temps d'exécution de la tâche globale en retournant à la tâche principale («remplir un formulaire et le poster») pour coller le timbre sur l'enveloppe. Elle revient alors à la tâche secondaire, regarde l'écran (contrôle) et continue à feuilleter les pages jaunes (parallélisme de stratégies). Enfin elle s'aperçoit que l'écran n'est toujours pas allumé, ce qu'elle contrôle en bougeant la souris, puis s'ajuste en ré-appuyant sur le bouton de marche de l'écran (re-sélection d'une action précédente) puis en branchant la prise de l'écran (ajout d'un sous-but).

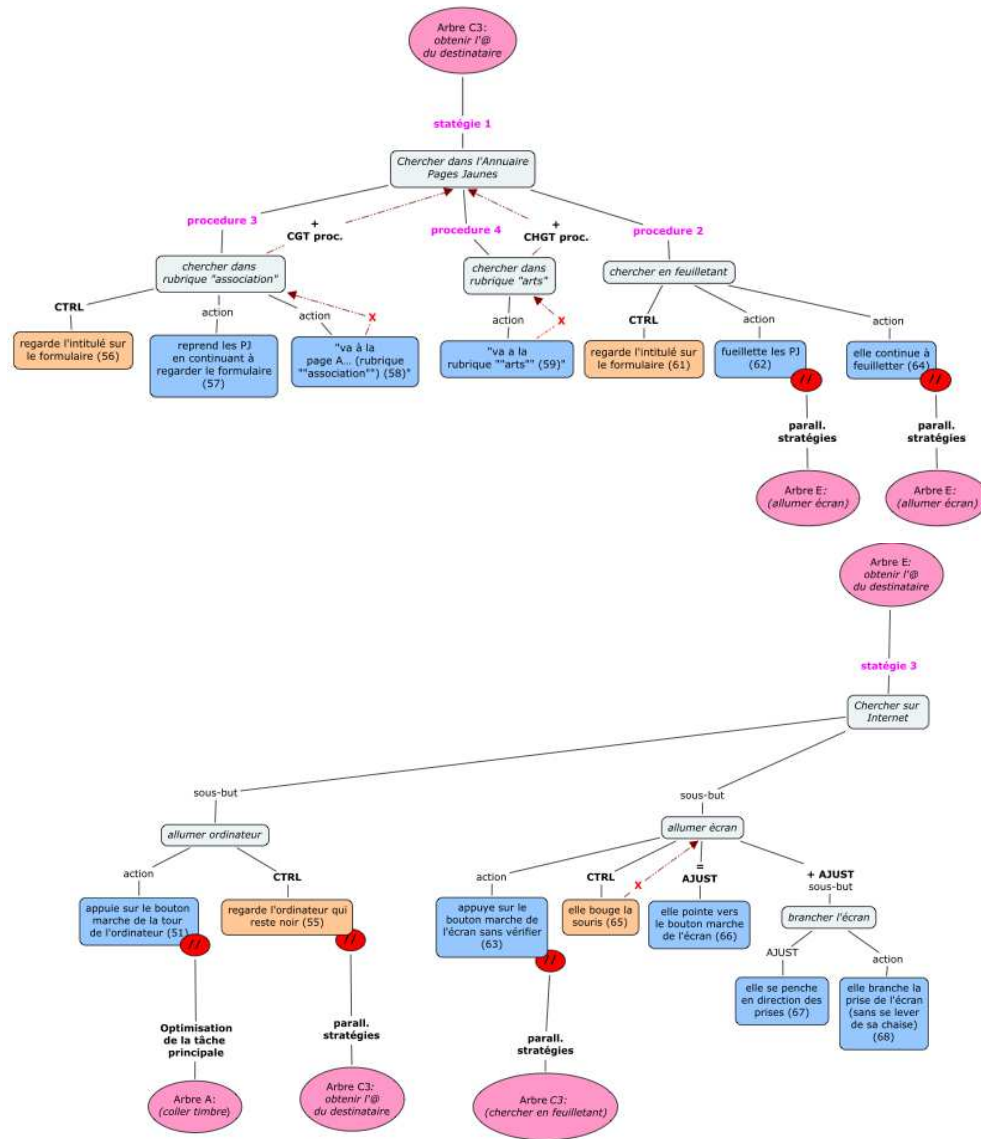


Figure 6.10 – SUJET J-16. Changement de procédure, Parallélisme et ajustement face à une perturbation

6.3.2 Étude de cas détaillée d'un sujet âgé : Sujet PA-02

Le sujet PA-02 est une femme âgée de 81 ans (score MMS : 29/30). Pour réaliser la tâche, cette personne met environ 14 minutes et a besoin de 5 interventions de l'examinateur dont 2 de type guidage. La cotation globale qu'elle obtient est donc 2, soit «Tâche réussie avec interventions de type guidage».

Lorsque la personne âgée s'installe au bureau, elle s'assoit sur l'annuaire (absence de régu-

lation, due à l'introduction de perturbation). Elle commence par remplir l'enveloppe. Après avoir essayé vainement de faire fonctionner le stylo, elle décide d'en prendre un autre dans le pot à crayon (ajustement, ajout de 2 arbres). Elle prend un crayon à papier, elle se corrige immédiatement en prenant un stylo. Elle recopie alors le nom et la ville de destination. Elle colle le timbre, et en même temps relit le formulaire pour vérifier si l'adresse n'est pas lisible à un autre endroit (retour au but précédent pour contrôler, utilisation du mécanisme de parallélisme). Une fois le formulaire rempli, le sujet repose le stylo dans le pot qui tombe sur le sol. Le sujet s'ajuste et ramasse le contenu du pot (ajout d'un sous-but dans l'arbre). Le sujet poste la lettre sans avoir écrit l'adresse de destination.

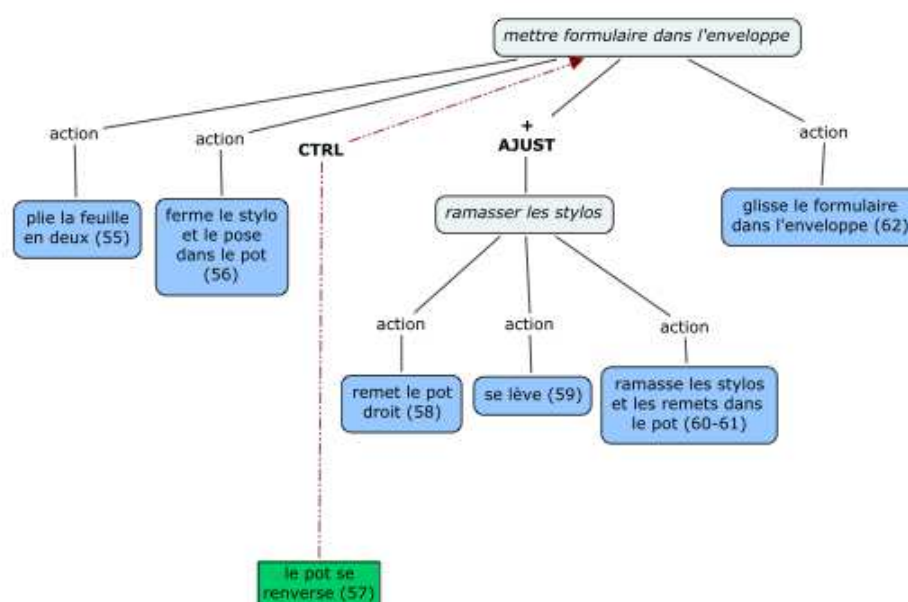


Figure 6.11 – SUJET PA-02. Ajustement par rapport à un événement non prévu

L'examineur intervient pour aider la personne à inscrire l'adresse sur l'enveloppe. Après incitation (i1), elle reprend la lettre et annonce qu'elle chercherait dans l'annuaire. Il faut que l'examineur insiste pour qu'elle passe à l'action (i2). Après avoir cherché une rubrique «Centre culturel», le sujet élabore une nouvelle stratégie qu'elle verbalise (téléphoner aux renseignements), mais qu'elle n'exécute pas. A la place, elle reposte la lettre. L'examineur a besoin de l'inciter (i2) à la mettre en œuvre. Après guidage (g2) pour que le sujet trouve un nouveau numéro de renseignements téléphoniques, le sujet compose le numéro (mais ne compose pas le 0 pour sortir de ligne interne, pourtant indiqué sur le téléphone). Elle raccroche et dit ne pas savoir comment faire. Elle a besoin de guidage (g1) pour élaborer une autre stratégie : chercher dans les pages blanches. Elle trouve alors rapidement l'information et la

recopie sur l'enveloppe.

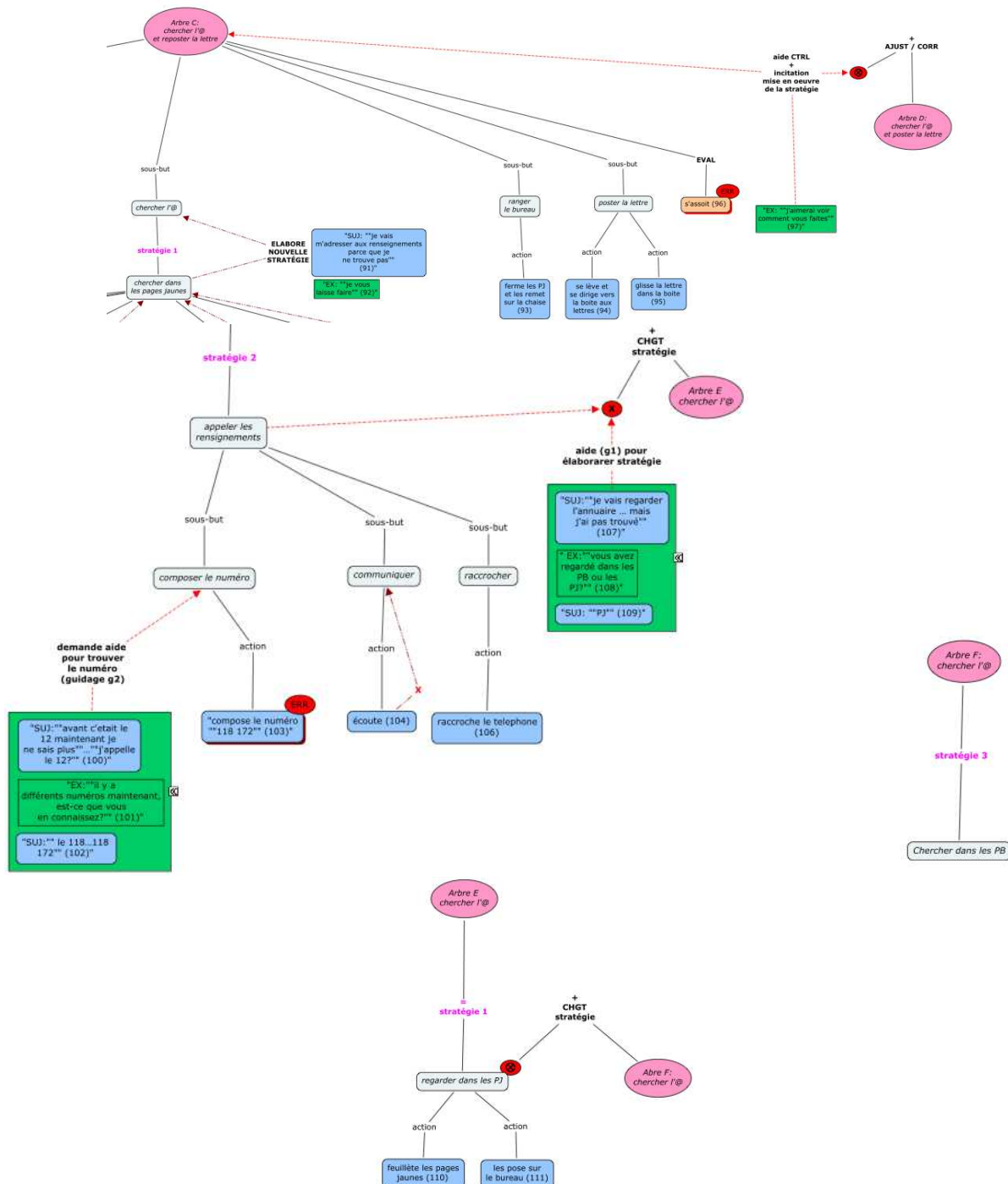


Figure 6.12 – SUJET PA-02. Obtenir une information, élaboration des différentes stratégies

6.3.3 Étude de cas détaillée des sujets MCI-MA

6.3.3.1 Sujet BR-01

Le sujet BR-01 est une femme âgée MCI de 84 ans (score MMS : 30/30). Pour réaliser la tâche, cette personne met plus de 35 minutes et a besoin de 15 interventions de l'examineur dont 9 de type guidage. La cotation globale qu'elle obtient est 3, soit «Tâche réussie avec interventions de type guidage et lenteur d'exécution».

Dès le début de l'expérimentation, cette personne prend beaucoup de temps pour comprendre la consigne. Elle se rend compte des perturbations mais elle a besoin d'incitation, voire de guidage pour s'adapter. Par exemple, elle essaye plusieurs fois d'écrire (sur l'enveloppe, sur le formulaire) et c'est seulement après deux interventions (i0) qu'elle va voir dans son sac si elle a un stylo, puis demander à l'examineur si elle peut emprunter le stylo utilisé précédemment pour remplir le formulaire de consentement. Autre exemple, pour l'enveloppe, après incitation (i1), la personne se rend compte que l'enveloppe ne ferme pas. Elle a besoin de guidage pour s'ajuster et cacheter l'enveloppe avec de la colle (micro-planification).

Pour la perturbation concernant l'adresse de destination, la personne essaye d'abord de déchiffrer l'adresse, puis attend le contrôle de l'examineur et signale qu'elle ne peut envoyer l'enveloppe sans adresse (incitation i0 pour réagir face à la perturbation). Elle a besoin d'aide pour élaborer une stratégie visant à connaître l'adresse de destination (guidage g1). La personne pense d'abord à demander un autre formulaire pour voir si l'adresse est lisible et a besoin de guidage (g1) pour élaborer une autre stratégie.

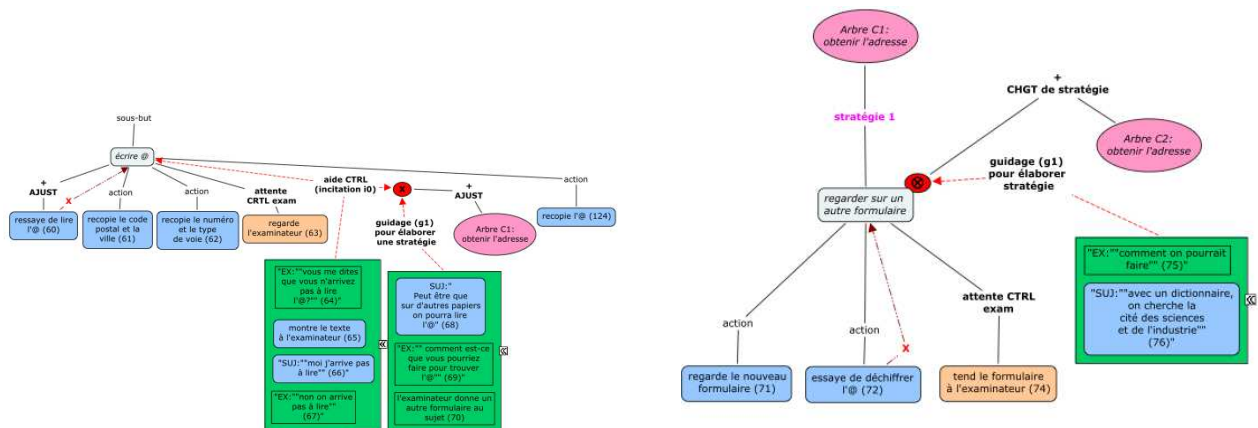


Figure 6.13 – SUJET BR-01. Incitation pour s'ajuster face à la perturbation et guidage (g1) pour élaborer des stratégies

Le sujet choisit de regarder dans l'annuaire «les pages jaunes». Elle feuillette d'abord l'annuaire, puis cherche une rubrique «CITÉ». Au cours de sa recherche, elle commet plusieurs erreurs (recherche par arrondissement, mauvais rubrique, etc.) qu'elle corrige aussitôt. Elle essaye en vain de trouver une rubrique «CITÉ» et malgré les indices l'incitant à changer de stratégie (guidage g1 pour contrôler), elle cherche encore dans les rubriques de l'annuaire (guidage g2 pour changer de procédure). Elle essaye de chercher «la Géode», identifie une adresse, mais a besoin d'assistance pour évaluer son erreur et pour élaborer une nouvelle stratégie (guidage g3). L'examineur lui donne la solution, mais la personne a besoin d'aide pour mettre en place la nouvelle stratégie et l'exécuter.

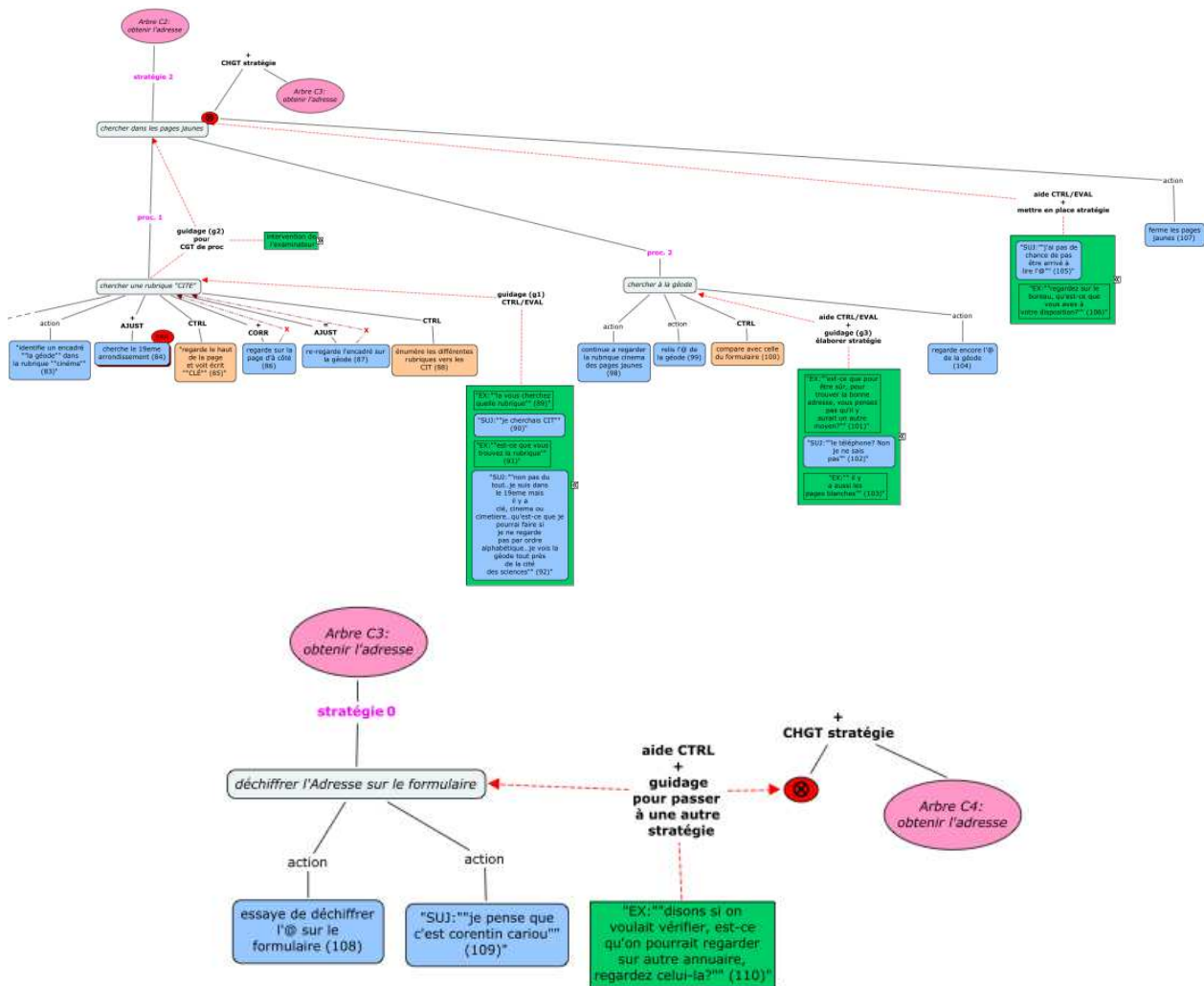


Figure 6.14 – SUJET BR-01. Guidage pour élaborer, mettre en place et exécuter une nouvelle stratégie

La personne a ensuite besoin d'aide pour contrôler et évaluer les étapes qu'elle vient de réaliser. Ce besoin peut se traduire soit par une attente de contrôle de l'examineur, soit par une absence de contrôle/évaluation (accompagnée par des interventions de type guidage). Par exemple, après avoir rempli le formulaire, la personne regarde l'examineur et attend que celui-ci contrôle ce qu'elle vient de faire. Elle précise à l'examineur qu'elle ne sait pas si elle a bien rempli le formulaire et qu'elle n'a pas de chéquier. Elle avoue ne plus se rappeler ce qui était précisé dans la consigne. Autre exemple, après avoir complété l'enveloppe, la personne s'arrête et attend en regardant l'examineur comme si elle avait terminé la tâche. Après intervention de l'examineur, elle vérifie elle-même les informations remplies dans le formulaire puis le glisse dans l'enveloppe et attend de nouveau.

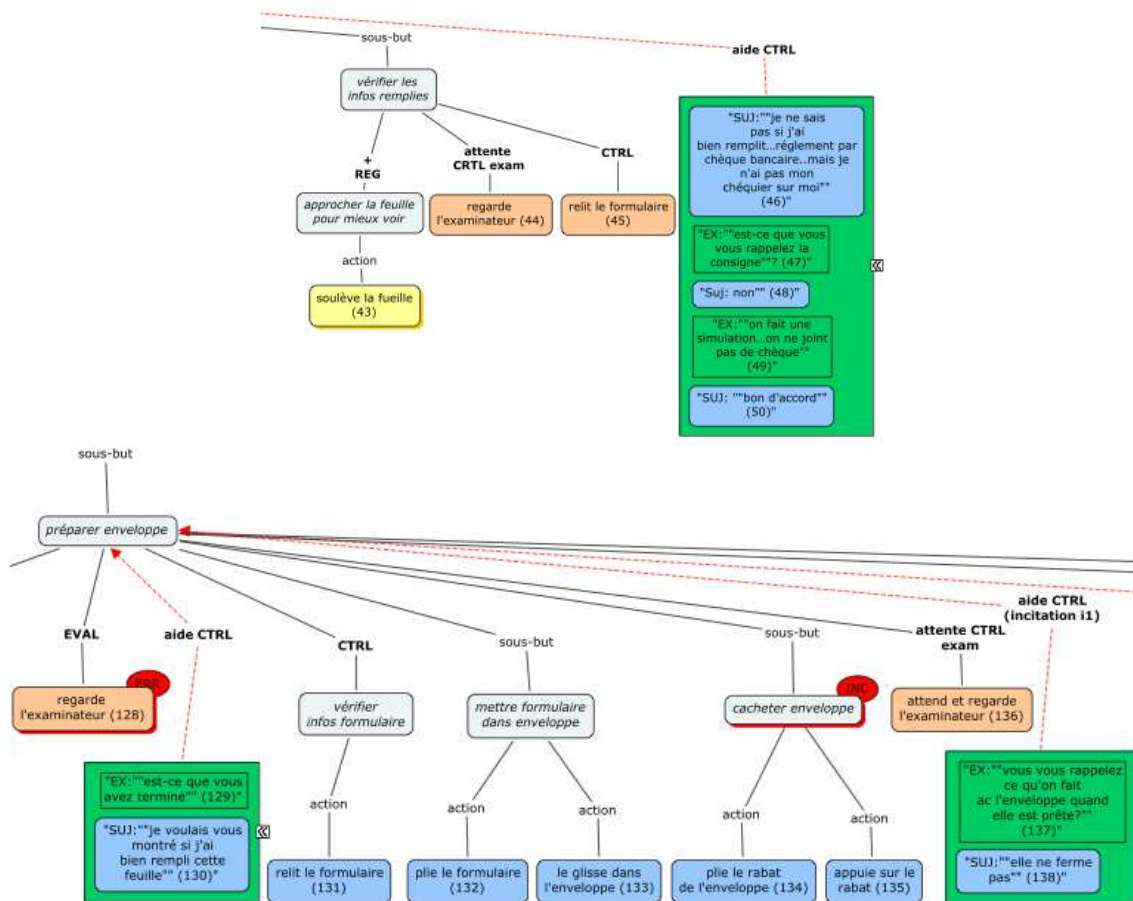


Figure 6.15 – SUJET BR-01. Attente de contrôle de l'examineur

Enfin après avoir réalisé chaque grande étape de la tâche, la personne a besoin d'aide (de type guidage) pour passer à l'étape suivante. Par exemple, elle demande à l'examineur qu'est-ce

qu'elle doit faire après avoir rempli le formulaire.



Figure 6.16 – SUJET BR-01. Assistance pour passer d'une étape à une autre

6.3.3.2 Sujet BR-03

Le sujet BR-03 est une femme âgée de 74 ans, diagnostiquée Alzheimer (score MMS : 26/30). Pour réaliser la tâche, elle met environ 30 minutes et a besoin de 13 interventions de l'examineur, dont 10 de type guidage. La cotation globale qu'elle obtient est donc 3, soit «Tâche réussie avec interventions de type guidage et lenteur d'exécution».

Au début de la tâche, la personne réagit bien aux perturbations : elle pose l'annuaire sur le bureau et change rapidement de stylo. Par contre, elle a besoin d'aide (guidage g0) pour remplir le formulaire (catégorie de paiement). Par exemple, elle attend après avoir rempli le formulaire et demande si elle peut continuer pour écrire sur l'enveloppe. Concernant les deux autres perturbations, la personne a besoin d'incitation (i1) pour compléter l'adresse de destination et pour cacheter l'enveloppe.

Comme le sujet BR-01, elle a attend la validation (ou le contrôle) de l'examineur avant de passer à l'étape suivante.

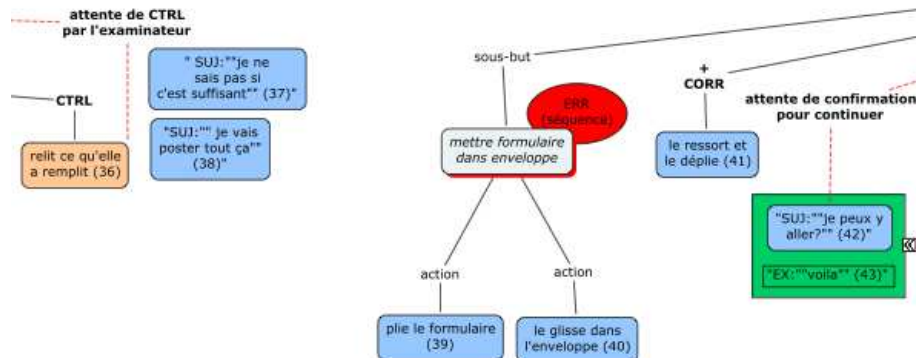


Figure 6.17 – SUJET BR-03. Attente de contrôle/validation de l'examineur

Les plus grosses difficultés du sujet concernent les mécanismes de planification, aussi bien macro que micro. En effet, pour compléter l'adresse de destination, la personne va d'abord essayer de déchiffrer l'adresse inscrite sur le formulaire. Elle identifie la rue en disant qu'elle n'est pas sûre. L'examineur la guide de façon à ce qu'elle trouve un moyen de trouver l'adresse et de valider l'adresse qu'elle a déchiffrée (guidage g1 pour évaluer l'adresse et guidage g2 pour élaborer des stratégies pour trouver l'adresse). Elle verbalise deux moyens qu'elle ne peut réaliser : avoir une loupe ou téléphoner (elle écarte cette proposition en précisant qu'il n'y a pas de numéro de téléphone). Elle a besoin de guidage (g2) pour trouver une autre stratégie : chercher dans l'annuaire.

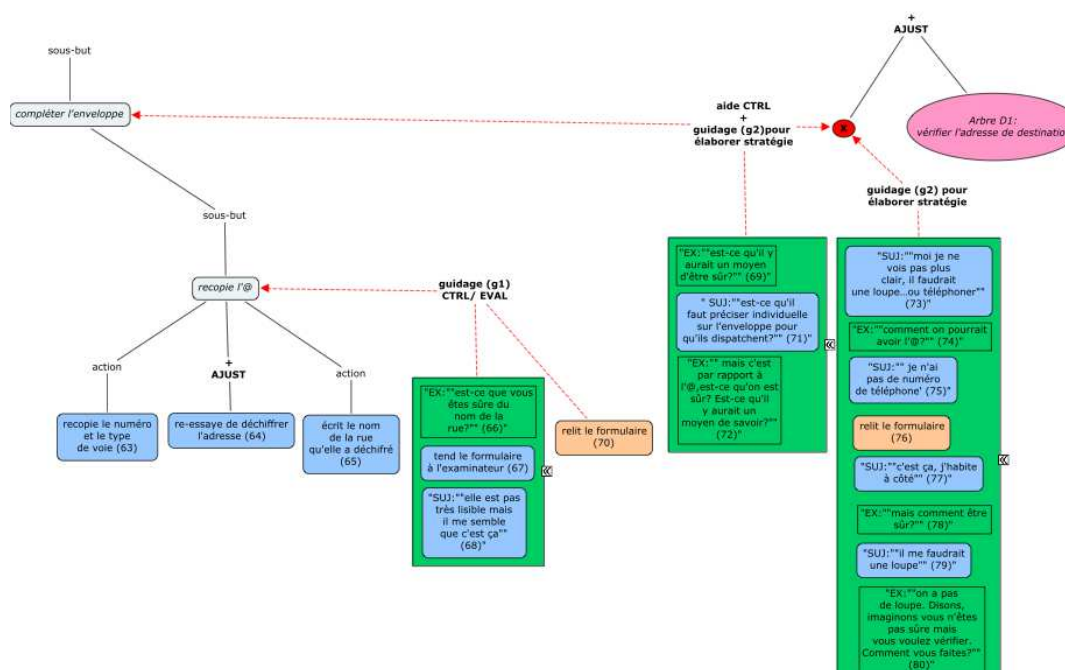


Figure 6.18 – SUJET BR-03. Assistance pour élaborer des stratégies et en sélectionner une qui soit réalisable

La personne décide de chercher dans les pages jaunes après avoir jeté un coup d'œil dans les pages blanches (changement de stratégie). Elle commence par feuilleter les premières pages et tombe rapidement sur un plan de la ville. Elle se met à chercher le nom de la rue qu'elle a identifiée précédemment, puis demande à l'examineur son avis sur le nom de la rue. Elle se met alors à chercher à la rubrique «parc» et identifie l'adresse de La Villette. Après guidage (g2), elle change de procédure pour regarder la liste des rubriques. Elle regarde à nouveau les premières pages avec le plan. Elle ne sait pas où chercher et a besoin d'assistance pour

élaborer une nouvelle stratégie et pour en organiser le plan. En effet, l'examineur doit lui dire de chercher à «CITÉ» dans les pages blanches (guidage g3).

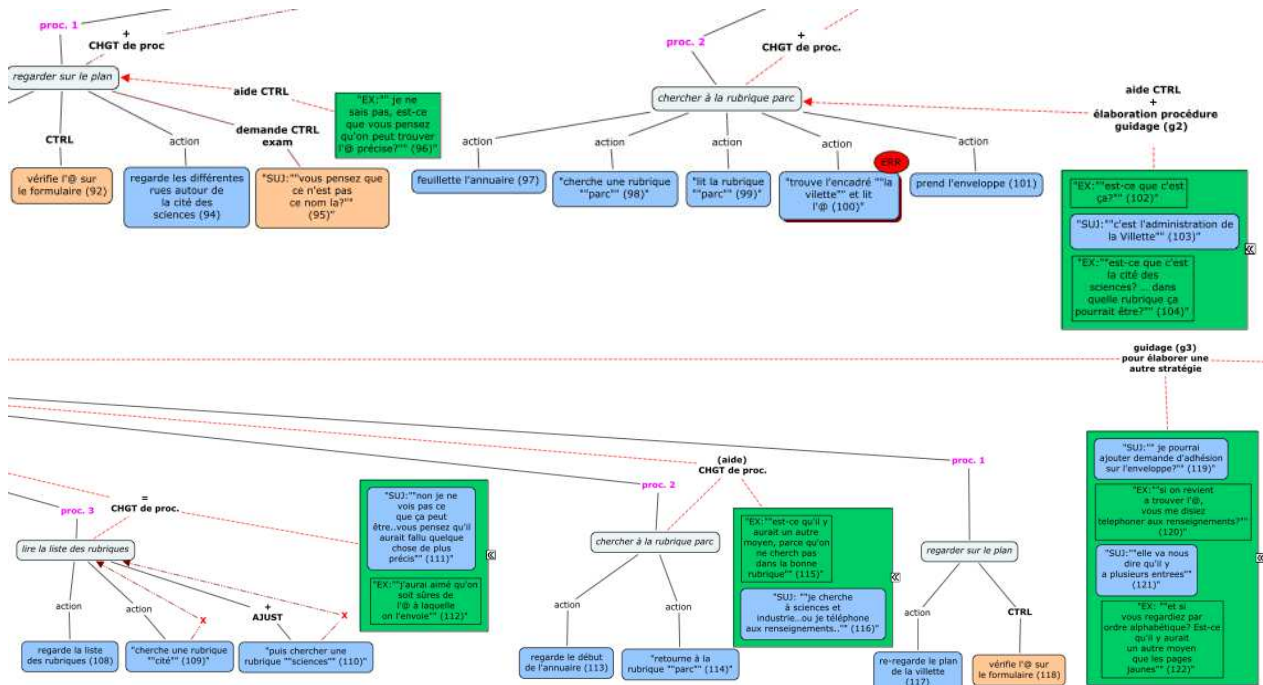


Figure 6.19 – SUJET BR-03. Assistance pour évaluer, changer de procédure et finalement changer de stratégie

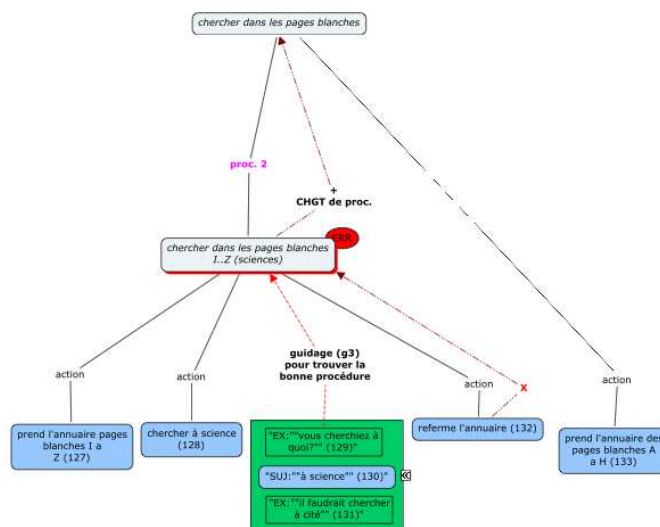


Figure 6.20 – SUJET BR-03. Assistance pour trouver la bonne procédure

Enfin, la personne a besoin d'aide pour s'apercevoir d'une macro-omission importante : elle

poste la lettre en ayant oublié d'y insérer le formulaire.

6.3.3.3 Sujet BR-08

Le sujet BR-08 est une femme âgée MCI de 75 ans (score MMS : 25/30). Pour réaliser la tâche, elle met environ 27 minutes et a besoin de 6 interventions de l'examineur, dont 4 de type guidage. La cotation globale qu'elle obtient est donc 3, soit «Tâche réussie avec interventions de type guidage et lenteur d'exécution».

Comme le sujet BR-03, cette personne réagit bien aux deux premières perturbations de la tâche : elle pose l'annuaire sur la table et prend rapidement un autre stylo dans le pot à crayon. Pour les deux autres perturbations, le sujet a besoin d'incitation pour chercher l'adresse (i1) et pour cacheter l'enveloppe (i0).

La personne remplit rapidement le formulaire en commettant quelques erreurs (non corrigées). Elle poste l'enveloppe sans avoir marqué le nom de la rue. Après incitation de l'examineur, le sujet élabore rapidement une stratégie : chercher dans les pages jaunes. Elle cherche à différentes rubriques, fait des aller/retour entre le formulaire (pour vérifier les coordonnées du destinataire) et l'annuaire. Elle change 5 fois de procédure, mais ne pense pas à changer de stratégie. Cette difficulté se reflète sur son arbre de réalisation de la tâche qui est très développé horizontalement. Il faut l'intervention de l'examineur pour qu'elle évalue sa stratégie (guidage g1) et qu'elle en élabore une autre. Avec les indices donnés par l'examineur (guidage g3), elle choisit de regarder dans les pages blanches. Elle regarde au hasard sans savoir que rechercher ; elle a donc besoin d'aide (g3) pour élaborer sa procédure de recherche (aide en micro-planification).

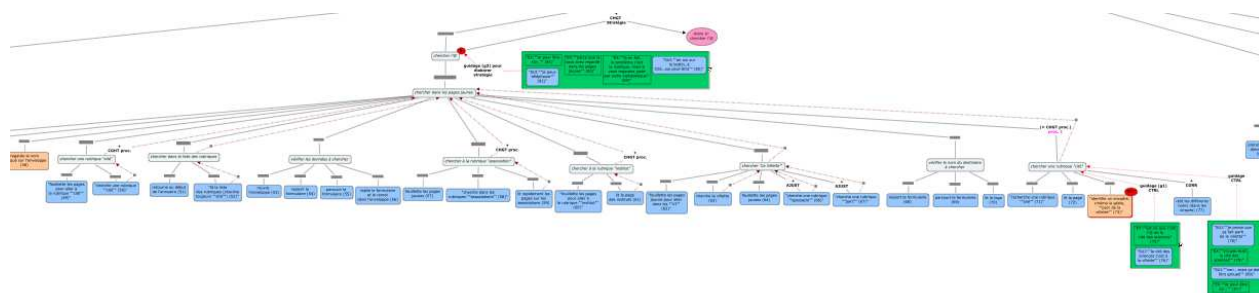


Figure 6.21 – SUJET BR-08. Le sujet change beaucoup de fois de procédure mais ne pense pas à changer de stratégie (arbre très large)

Après avoir recopié l'adresse, la personne se met à lire l'annuaire alors qu'elle rangeait le

bureau (addition d'action Hors Tâche). Elle arrête et poste la lettre en ayant oublié d'écrire le nom de la ville. Grâce à une assistance (g1) pour contrôler et s'apercevoir de son erreur, la personne se corrige.

6.3.4 Synthèse et conclusion de l'analyse qualitative

L'analyse détaillée nous donne des informations précises non seulement sur les mécanismes exécutifs, en particulier ceux de contrôle et d'ajustement, utilisés dans la réalisation de la tâche mais aussi sur les manifestations de leur altération.

Le tableau 6.5 présente un bref récapitulatif des caractéristiques des arbres de réalisation de chaque sujet.

	J13	J16	J20	PA02	PA06	PA09	BR01	BR03	BR08
nb actions atomiques	64	94	76	123	133	110	153	155	129
moyenne	78 (15,1)			122 (11,53)			145,67 (14,47)		
nb arbres principaux	1	1	2	3	4	2	1	2	2
moyenne	1,33 (0,58)			3 (1)			1,67 (0,58)		
profondeur max	5	5	5	4	4	3	4	3	5
moyenne	5 (0)			4,33 (0,58)			4 (1)		
largeur max	40	43	41	44	44	48	66	40	49
moyenne	41,33 (1,53)			45,33 (2,31)			51,67 (13,2)		

Tableau 6.5 – Récapitulatif des arbres de réalisation

On appelle arbre principal de la tâche, l'arbre dont la racine correspond à la consigne donnée par l'expérimentateur. Certains sujets utilisent plusieurs arbres principaux. Ce phénomène est lié à l'introduction des perturbations, notamment à l'adresse illisible sur le formulaire. Lorsqu'ils recommencent la tâche après une vérification finale non satisfaisante (souvent après incitation de l'examinateur), les sujets ajoutent un arbre principal. Les sujets jeunes réalisent la tâche le plus souvent en une fois, alors que les autres sujets ont besoin de plusieurs modifications de l'intention de départ. On remarque les sujets MCI-MA utilisent moins d'arbres principaux que les sujets âgés. La raison en est que les sujets MCI-MA sollicitent l'intervention de l'examinateur avant d'arriver à la fin de la tâche. Grâce à des indices de type guidage, ces sujets vont ajouter un ou plusieurs arbres secondaires de réalisation («obtenir l'adresse») en cours de tâche. Les sujets âgés, quant à eux, ont tendance à terminer la tâche sans solliciter l'examinateur mais sans résoudre la perturbation. C'est seulement après incitation de l'examinateur qu'ils vont modifier l'arbre principal (ajout d'un nouvel arbre principal en modifiant l'intention).

Concernant la taille des arbres, on remarque que le nombre d'actions atomiques pour l'ensemble de la tâche augmente avec l'altération cognitive. Les sujets jeunes ont besoin de moins d'actions pour réaliser la tâche que les sujets âgés et que les sujets MCI-MA. De même, la largeur moyenne des arbres de réalisation augmente avec l'altération cognitive. Les arbres des sujets MCI-MA sont plus étalés que ceux des sujets âgés et que ceux des sujets jeunes. Ces observations révèlent la difficulté à réaliser la tâche et à s'adapter en fonction de l'altération cognitive. Comme nous allons le voir grâce aux tableaux suivants, ce phénomène est également lié à la dégradation des mécanismes de passage de micro à macro re-planification.

Les arbres de réalisation des tâches permettent de mettre en lumière l'organisation de la tâche en buts et sous-buts, ainsi que les mécanismes de correction, d'ajustement et de régulation par rapport à cette hiérarchie de buts. Le contrôle des actions se fait au niveau des feuilles de l'arbre, soit par un contrôle négatif sur une action, soit par l'intermédiaire d'un événement extérieur. Ce contrôle permet de remonter au sous-but «père», d'établir un diagnostic du problème et de procéder à une re-planification. Par exemple, lors d'un contrôle négatif, si le «père» du sous-but possède l'étiquette «procédure», le diagnostic de contrôle correspondra à «procédure non réalisable» alors que s'il possède l'étiquette «stratégie», le diagnostic correspondra à «stratégie non réalisable». Selon la nature de l'erreur ou du problème, le mécanisme de re-planification ne sera pas le même. Le tableau 6.6 récapitule les différents types de diagnostic de contrôle et les mécanismes de re-planification utilisés.

Type de contrôle	Type d'ajustement
oubli d'une étape	micro → re-sélection d'un sous-but de haut niveau + ajout d'un sous-but de niveau inférieur micro → ajout d'un sous-but
action non réalisable	macro → nouvelle intention micro → re-sélection de la même action micro → ajout d'une action ou d'un sous-but
action mal faite	micro → re-sélection de la même action micro → re-sélection d'une action précédente micro → ajout d'une action ou d'un sous-but
procédure non réalisable	macro → nouvelle stratégie micro → nouvelle procédure micro → re-sélection d'une procédure déjà utilisée
stratégie non réalisable	macro → nouvelle stratégie abandon (passe au sous-but de haut niveau suivant)
résultat non satisfaisant	macro → modification de l'intention (racine de l'arbre)

Tableau 6.6 – Relations entre type de contrôle et type de re-planification

À un niveau micro, les mécanismes de re-planification correspondent à la re-sélection ou à

l'ajout d'un sous-but, d'une action ou d'une procédure. À un niveau macro, les mécanismes correspondent à l'ajout d'un arbre secondaire (nouvelle intention ou nouvelle stratégie), à l'ajout d'un arbre principal (modification de l'intention) ou encore à l'abandon d'une stratégie. On remarque que tous les diagnostics de contrôle n'aboutissent pas au même niveau de re-planification. Certains sont réalisés à l'échelle macro (stratégie non réalisable et résultat non satisfaisant), d'autres à l'échelle micro (oubli d'une étape et action mal faite) et enfin certains sont mixtes (action non réalisable et procédure non réalisable). C'est pour la dernière catégorie que l'on retrouve des difficultés lors de l'altération cognitive. Le tableau 6.7 récapitule, pour chaque sujet, l'enchaînement des re-planifications effectuées, avec ou sans aide, en cours de tâche pour résoudre certains problèmes. Nous avons choisi de montrer l'ajustement lors des perturbations les plus significatives en terme de passage micro/macro (perturbations sur le stylo et sur l'adresse).

D'après le tableau 6.7, on remarque que le passage de micro à macro re-planification, ou vice et versa, dépend des sujets et de leur altération cognitive. Les sujets jeunes basculent rapidement en mode macro et n'ont aucune difficulté à élaborer les stratégies. Leurs séquences de re-planification sont courtes. Les sujets âgés et MCI-MA ont plus de difficultés à passer par une phase macro ; ils mettent plus de temps avant de se décider (ou d'être aidés) à passer à une nouvelle intention ou stratégie pour résoudre le problème. C'est le cas, par exemple, du sujet âgé 06 qui essaie longtemps de faire marcher le stylo (plusieurs étapes de micro re-planification) avant de se décider à changer de stylo (nouvelle intention). Autre exemple, le sujet BR-08, qui essaie 5 procédures différentes (reste à une échelle micro) pour trouver l'adresse avant de changer finalement de stratégie (bascule en mode macro), guidé par l'examineur.

En résumé :

→ *L'analyse qualitative des neuf sujets et la comparaison des arbres de réalisation de la tâche permettent de confirmer les résultats observés lors de l'analyse statistique : les sujets âgés et MCI-MA présentent des troubles exécutifs. Les sujets ont du mal à s'adapter aux situations imprévues ou à changer leur plan d'action si le plan initial ne marche pas comme prévu. On observe, chez les sujets âgés et MCI-MA une persistance à rester en mode micro re-planification au lieu de passer en mode macro comme le font les sujets jeunes.*

→ *Les mécanismes d'ajustement et de correction (re-planification) dépendent non seulement des sujets et de leur altération cognitive mais aussi du diagnostic de contrôle, c'est-à-dire de la nature du problème.*

Perturbation : le stylo ne marche pas	
<i>Sujets jeunes :</i>	
Sujet 13	micro (MA) → macro (NI)
Sujet 16	macro(NI) → macro (NS)
<i>Sujets âgés :</i>	
Sujet 02	micro (MA) → micro (MA) → macro (NI) → macro (NS) → micro (CA)
Sujet 06	micro (MA) → micro (MA) → micro (MA) → micro (MA) → macro (NI)
Sujet 09	micro (MA) → macro (NI) → macro (NS)
<i>Sujets MCI-MA :</i>	
Sujet BR-01	micro (MA) → micro (MA) → <i>incitation</i> → macro (NI) → micro (MA) → macro (NS) → macro (NS)
Sujet BR-03	macro (NI) → macro (NS)
Sujet BR-08	micro (CA) → micro (MA) → macro (NI) → macro (NS)
Perturbation : l'adresse est illisible	
<i>Sujets jeunes :</i>	
Sujet 13	macro (NI) → macro (NS)
Sujet 16	macro (NI) → macro (NS) → macro (AS, NP) → macro (NS)
Sujet 20	<i>incitation</i> → macro (MI) → micro (NP)
<i>Sujets âgés :</i>	
Sujet 02	<i>incitation</i> → macro (MI) → micro (NP) → micro (AP) → abandon S → <i>guidage</i> → macro (MI, NS) → <i>guidage</i> → macro (NS)
Sujet 06	<i>incitation</i> → macro (MI) → <i>guidage</i> → macro (NS)
Sujet 09	<i>guidage</i> → macro (MI) → macro (NS)
<i>Sujets MCI-MA :</i>	
Sujet BR-01	<i>guidage</i> → macro (NI) → <i>guidage</i> → macro (NS) → <i>guidage</i> → micro (NP) → <i>guidage</i> → macro (NS) → <i>guidage</i> → macro (NS)
Sujet BR-03	macro (MI) → <i>guidage</i> → macro (NI) → <i>guidage</i> → micro (NP) → <i>guidage</i> → micro (NP) → micro (AP) → micro (AP) → <i>guidage</i> → macro (AS)
Sujet BR-08	macro (MI) → micro (NP) → micro (NP) → micro (NP) → micro (NP) → micro (AP) → <i>guidage</i> → macro (NS) → <i>guidage</i> → micro (NP)

Tableau 6.7 – Détail des mécanismes de passage en micro/macro re-planification avec MI : modification de l'intention ; NI : nouvelle intention ; NS : nouvelle stratégie ; AS : ancienne stratégie ; NP : nouvelle procédure ; AP : ancienne procédure ; MA : même action ; CA : changement d'action

→ L'analyse de l'assistance, en particulier lorsqu'elle est de type *guidage*, permet de mettre en évidence différentes défaillances des mécanismes exécutifs. D'après l'analyse détaillée des sujets âgés et MCI-MA, on remarque une assistance de type *guidage* pour :

- remplir le formulaire
- corriger une erreur de type A (erreur exécutive)
- aider le sujet à évaluer le résultat de la tâche (aide pour modifier l'intention)
- aider à contrôler une ou plusieurs actions
- élaborer une stratégie
- changer ou mettre en œuvre une nouvelle stratégie
- élaborer une procédure

- *changer ou mettre en œuvre une procédure*
- *planifier une ou plusieurs actions à un niveau micro*

L'analyse détaillée réalisée est le point de départ de la deuxième partie du travail.

Troisième partie

MODÉLISATION DES PROCESSUS EXÉCUTIFS OBSERVÉS

CHAPITRE 7

État de l'art : La modélisation cognitive pour les processus exécutifs

Cette partie du mémoire correspond au deuxième objectif fixé dans la problématique de thèse, à savoir : élaborer un modèle théorique des processus exécutifs et implémenter un modèle informatique permettant de simuler les comportements observés dans la première partie du travail.

Comme nous l'avons introduit la problématique de thèse, la modélisation cognitive fournit des outils indispensables au développement des modèles cognitifs. Les spécifications résultant des deux implémentations du modèle de Norman et Shallice (le gestionnaire de conflit d'un côté, le système attentionnel superviseur de l'autre) serviront de base à la construction de notre modèle. Avant de présenter en détail ces spécifications, il est essentiel de faire un point sur les différents concepts et techniques de base en intelligence artificielle qui seront utilisés dans ce travail. Comme nous avons pu le constater, la psychologie cognitive utilise fréquemment des notions empruntées à l'intelligence artificielle. C'est le cas des concepts de résolution de problèmes (Newell, 1990), des scripts introduits par Schank et Abelson (1977), ou encore des agents intelligents pour l'implémentation du modèle de Norman et Shallice. Nous présenterons aussi un exemple de modèle cognitif des processus exécutifs, PEAT, qui s'inspire à la fois des planificateurs en intelligence artificielle et du modèle de Norman et Shallice. Ces deux champs de recherche s'inspirent, en quelque sorte, l'un l'autre et évoluent de façon parallèle.

7.1 Les concepts issus de l'intelligence artificielle

7.1.1 Les agents

Les agents peuvent être vus comme des systèmes de traitement d'information indépendants. Fondamentalement, un agent est une entité qui perçoit et qui agit sur son environnement. Un agent possède une fonction qui spécifie les actions qu'il effectue en réponse à une séquence perçue (Russell et Norvig, 2003). Un agent possède les propriétés suivantes (Wooldridge et Jennings, 1995) :

- **Autonomie** : Les agents fonctionnent sans l'intervention directe des humains ou autres entités et ont un certain contrôle sur leurs actions et leur état interne.
- **Habilité sociale** : Les agents interagissent avec les autres agents (ou possiblement avec des humains) au moyen de langage de communication.
- **Réaction** : Les agents perçoivent leur environnement et réagissent en fonction des changements qui s'y produisent.
- **Pro-action** : Les agents n'agissent pas simplement en réponse à leur environnement. Ils sont également capables d'avoir un comportement orienté par des buts en prenant des initiatives.

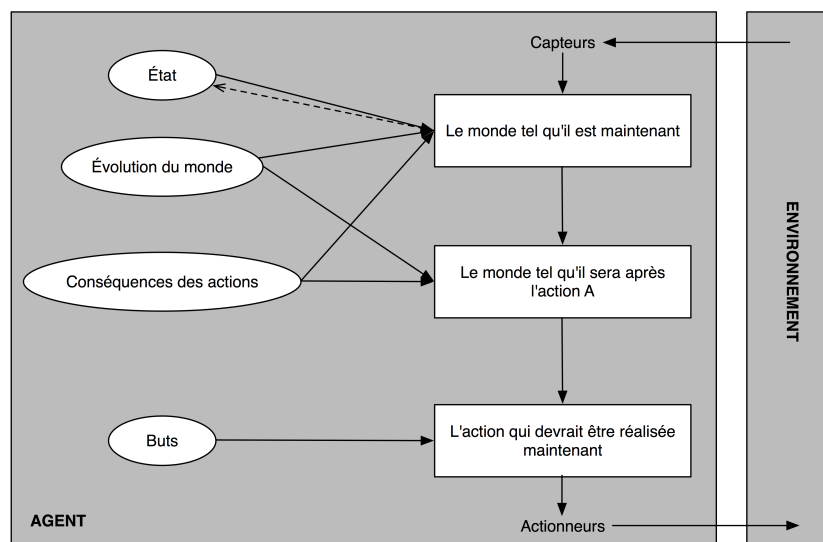


Figure 7.1 – Modèle d'un agent basé sur des buts (Russell et Norvig, 2003)

Les agents sont souvent organisés en systèmes multi-agents et interagissent entre eux soit de façon compétitive, soit de façon coopérative. Il existe différents types d'agents, dont l'un appelé agent basé sur des buts (*goal-oriented*). En plus d'une description de l'état courant de l'environnement, ce type d'agent possède des informations sur les buts qui décrivent les situations désirables. Cette information peut alors être comparée aux résultats de possibles actions de façon à choisir les actions qui permettent d'atteindre le but.

7.1.2 La résolution de problèmes

En intelligence artificielle, la résolution de problèmes peut être définie comme une recherche des séquences d'actions qui permettront au système (ou à l'agent) d'atteindre des objectifs fixés au préalable. La première étape correspond à la formulation du but. Le but peut être vu comme l'ensemble des états du monde dans lesquels le but est satisfait. Ensuite, l'agent formule le problème en terme d'actions et d'états à considérer pour satisfaire ce but. Dans un troisième temps, l'agent va lancer une procédure, ou algorithme, de recherche pour obtenir la solution qu'il pourra exécuter. Un problème est constitué des quatre composants suivants (Russell et Norvig, 2003) :

- État initial
- Actions : spécification de l'ensemble des actions que peut réaliser l'agent. En règle générale, cet ensemble est représenté par une fonction *successeur* qui, étant donné un état, retourne l'état suivant. Un problème possède donc un espace d'états, qui peut être représenté sous forme de graphe : les nœuds correspondent aux états et les arcs aux actions. Dans ce graphe, un chemin est une séquence d'états connectés par une séquence d'actions.
- Test du but : test qui détermine si un état est un état final.
- Coût du chemin : fonction qui assigne une valeur numérique, ou coût, à chaque chemin.

Une solution au problème est un chemin de l'état initial à l'état du but et la solution optimale est celle qui aura le coût le plus faible parmi l'ensemble des solutions. Il existe différentes stratégies de recherche de solution qui se traduisent par différents algorithmes de parcours de graphes ou d'arbres (parcours en profondeur d'abord, en largeur d'abord, etc.). Cependant ces algorithmes de recherche *non informée* se révèlent être bien souvent inefficaces. L'introduction de stratégies *informées*, comme l'algorithme A*, permet de trouver des solutions de façon plus efficace, notamment grâce à l'introduction d'*heuristiques* qui permettent de réduire les coûts de recherche (Stout, 1996). Une heuristique permet une exploration guidée des possibilités d'un problème et elle peut être vue comme une méthode pour résoudre un problème.

7.1.3 La planification

Dans la continuité de la résolution de problème, un système de planification peut être vu comme un algorithme de résolution de problème, agissant sur les états et les actions au moyen de représentations propositionnelles (Russell et Norvig, 2003). Ces représentations permettent de trouver des heuristiques efficaces et de développer des algorithmes flexibles et puissants pour la résolution de problèmes.

La formulation d'un problème de planification se fait selon trois entrées, chacune spécifiée dans un langage formel (Weld, 1999) :

- État initial : description de l'état initial de représentation du monde. Le planificateur découpe la représentation du monde en conditions logiques et représente un état comme une conjonction de littéraux. Par exemple, en utilisant le langage STRIPS (Stanford Research Institute Problem Solver) qui sert à décrire les planificateurs classiques, un état possible d'un agent serait : $At(Plane_1, Melbourne) \wedge At(Plane_2, Sydney)$ (Russell et Norvig, 2003).
- But de l'agent : description du but, c'est-à-dire du comportement désiré. En matière de description, un but peut être vu comme un état particulier.
- Ensemble d'actions : description des actions qui peuvent être réalisées. Dans la représentation avec STRIPS, une action est définie par une conjonction de *préconditions* et par une conjonction d'*effets* qui définissent des fonctions de transition d'un état du monde à un autre. Par exemple :

$Action(Fly(p, from, to),$

$PRECOND : At(p, from) \wedge Plane(p) \wedge Airport(from) \wedge Airport(to)$

$EFFECT : \neg At(p, from) \wedge At(p, to)$

La sortie du planificateur est une séquence d'actions, appelée *solution*, qui lorsqu'elle est appliquée à l'état initial du problème permet d'atteindre le but fixé.

Pour trouver la solution, il existe différents algorithmes de planification : recherche dans un espace d'états, planification partiellement ordonnée, graphes de planification (GRAPHPLAN), recherche dans l'espace de plans, compilation de problèmes de planification en axiomes propositionnels (SATplan), etc.

Les concepts de contrôle de l'exécution et de re-planification entrent également en compte dans le domaine de la planification en intelligence artificielle pour suivre le déroulement d'un

plan.

Les agents de contrôle de l'exécution ont pour rôle de vérifier si les actions réalisées se déroulent selon le plan (Russell et Norvig, 2003). Il existe deux types d'agents de contrôle : les agents de *contrôle des actions*, qui contrôlent l'environnement pour vérifier que la prochaine action fonctionne, et les agents de *contrôle des plans*, qui contrôlent le plan subsistant en entier.

Les agents de *re-planification* ont pour rôle de relancer le planificateur pour trouver un nouveau plan. Pour éviter de passer beaucoup de temps en planification, ces agents adoptent la stratégie de chercher un moyen de rejoindre l'ancien plan depuis le nouvel état inattendu.

7.2 L'implémentation du modèle de Norman et Shallice

Les deux modules de contrôle de l'action, le gestionnaire de conflit (CS) et le système de supervision (SAS), ont fait l'objet d'études séparées en vue de leur implémentation informatique. Le CS a fait l'objet d'une spécification poussée alors que le SAS n'a été que légèrement spécifié. Aucune étude approfondie n'a été conduite à ce jour pour rassembler les deux modules en un modèle computationnel complet et capable de simuler n'importe quelle tâche. Ces premières implémentations ouvrent cependant une voie intéressante pour la modélisation des processus exécutifs et la simulation des AVQ. Elles serviront de base à l'élaboration de notre modèle.

7.2.1 L'implémentation du gestionnaire de conflit

Cooper et Shallice se sont intéressés à l'implémentation du gestionnaire de conflit (Cooper et Shallice, 2000, Cooper *et al.*, 2005). Dans une première version du modèle, ils proposent un modèle computationnel très détaillé du fonctionnement du gestionnaire de conflit en se fondant sur l'étude de la simulation d'une tâche simple, la préparation d'un café instantané (Cooper et Shallice, 2000), puis dans une version du modèle sur la simulation d'une tâche plus complexe, la préparation d'une boîte à pique-nique (Cooper *et al.*, 2005). Dans la première version du modèle, ces auteurs décrivent la sélection des actions routinières sous la forme de 33 postulats et d'un ensemble d'équations gouvernant la mise à jour des activations des schémas. Dans la deuxième version du modèle, 7 postulats ont été révisés et 3 autres ont été

ajoutés.

L'implémentation du gestionnaire de conflit se compose de plusieurs modules fonctionnels dont la figure 7.2 montre l'organisation.

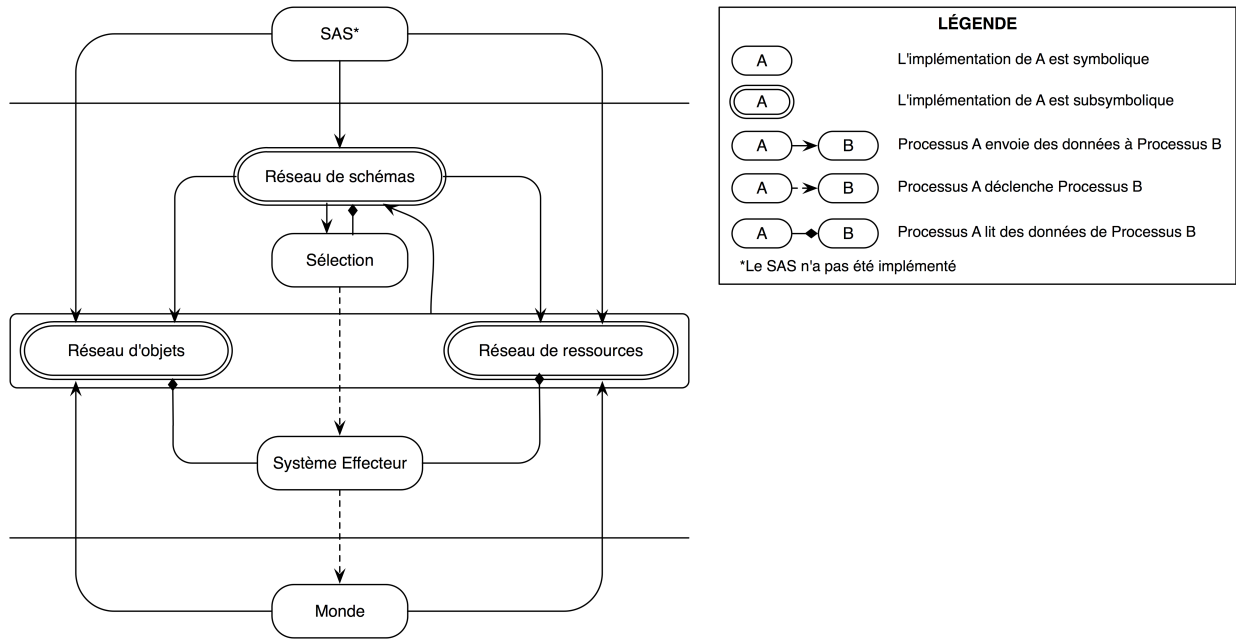


Figure 7.2 – Les différents composants du CS et leur relation avec le SAS (Cooper *et al.*, 1995)

Le cœur du modèle est constitué par un réseau de schémas. Chaque nœud correspond à un schéma d'action et est associé à une valeur d'activation qui est régie par des mécanismes d'excitation et d'inhibition (cf. Chapitre 4). Les schémas sont organisés de façon hiérarchique avec trois niveaux d'actions. Les schémas de bas niveau conduisent à la réalisation d'actions sensori-motrices. Les schémas de niveau intermédiaire spécifient l'organisation et la coordination des sous-composants de la tâche. Enfin, les schémas de haut niveau, qui pourraient s'apparenter à des scripts (Schank et Abelson, 1977), représente l'organisation des activités connues. Chaque schéma possède un but à atteindre et est constitué de un ou plusieurs sous-buts (Figure 7.3).

Le réseau d'objets permet de représenter les objets de l'environnement et le réseau de ressources permet de spécifier les exigences en matière de ressources. Tous les éléments de ces deux réseaux sont aussi associés à une valeur d'activation. Les schémas de bas niveau spécifient le rôle fonctionnel des objets qu'ils utilisent, et permettent ainsi d'influencer leur

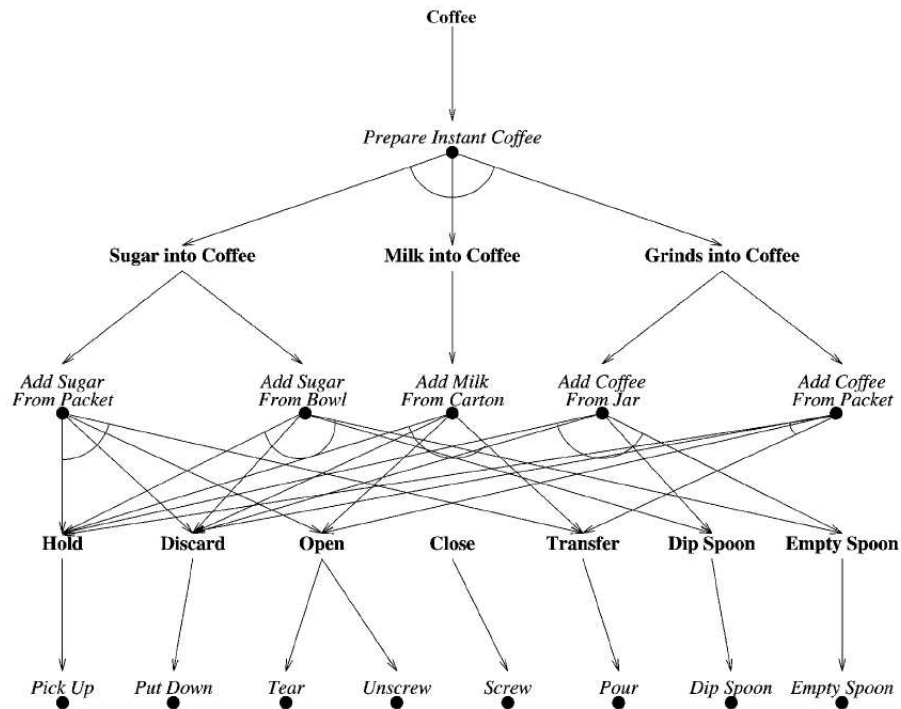


Figure 7.3 – Hierarchie de schémas : les schémas sont en italiques et les buts en gras (Cooper et Shallice, 2000)

activation. Un objet peut avoir différents rôles selon le schéma qui l'utilise (source ou cible par exemple). Un processus de sélection permet de faire l'interface entre le réseau de schémas et les objets, les ressources et le système moteur. Au cours d'un cycle de traitement, les valeurs d'activation sont mises à jour, les sélections ou dé-sélections de schémas sont effectuées, et des actions sont réalisées.

Les postulats spécifient l'organisation des schémas, le calcul des valeurs d'activation des schémas, des objets et des ressources, l'atteinte du but ou encore l'ordonnancement des schémas. Les postulats peuvent être de nature théorique, postulats centraux (PC) et périphériques (PP) ou de nature implémentionnelle (PI). Étant donné le nombre important de postulats, nous détaillerons ceux qui concernent les schémas d'action (les plus importants pour la compréhension de notre modèle), et ne présenterons que les postulats centraux des autres mécanismes (tableau 7.1).

Organisation des schémas et des buts	
PC1	Les schémas sont orientés par des buts
PC2	Les schémas sont constitués d'un ensemble de sous-buts, où chaque sous-but est associé à une pré-condition et à une post-condition
Réseau de schémas	
PC3	Les schémas sont associés à une valeur d'activation. Cette valeur est un nombre réel qui varie selon le temps.
PC4	Les activations des schémas sont influencées par 5 facteurs : l'influence <i>top-down</i> ¹ , l'influence environnementale, l'influence propre, l'influence latérale et un bruit aléatoire.
PI1	<i>L'influence du réseau sur l'activation d'un schéma est la somme pondérée des influences citées en PC4.</i>
PC5	En l'absence d'influence quelle qu'elle soit, les activations des schémas ont tendance à persister. En d'autres termes, si un schéma est fortement activé et que toutes ses influences sont supprimées, son activation va diminuer très lentement jusqu'à sa valeur de base. La valeur de base des schémas (sans aucune influence) est plus grande que la valeur d'activation minimum. Les activations des schémas peuvent être inhibés en dessous de cette valeur de base.
PP1	Les schémas sont en compétition si et seulement si ils partagent un ou plusieurs schémas composants et aucun n'est un sous-composant de l'autre. Cette compétition constitue l' <i>influence latérale</i> de l'activation des schémas compétiteurs.
PI2	<i>Le degré d'influence latérale du schéma A sur le schéma B est proportionnelle à la différence entre l'activation du schéma A et l'activation de base. La valeur totale d'influence latérale est la moyenne des influences latérales de tous ses compétiteurs.</i>
PI3	<i>L'influence propre d'un schéma sur sa propre activation est directement proportionnelle à l'activation du schéma (l'influence est généralement excitatrice, mais voir PI5).</i>
PC6	Les schémas ont des conditions de déclenchement. L'influence environnementale d'un schéma dépend de la satisfaction de ses conditions de déclenchement par rapport à la représentation de la situation courante.
PP2	Les conditions de déclenchement des schémas de bas niveau sont les pré-conditions de l'action correspondante. Les schémas de haut niveau sont déclenchés par la présence de tous les objets pertinents à ces schémas.
Sélection et désélection des schémas	
PC7	Les schémas ont un état, qui peut être soit sélectionné, soit désélectionné. Si un schéma est sélectionné, il transfère de l'excitation à ses schémas composants (cette excitation est l'influence <i>top-down</i> définie en PC4).
PI4	<i>La quantité d'excitation qui passe de la source sélectionnée aux schémas composants est directement proportionnelle à l'activation du schéma source, et inversement proportionnelle au nombre de sous-buts du schéma source.</i>

¹Facteur «Ressources attentionnelles» du flux vertical dans le modèle d'origine de Norman et Shallice (cf. Chapitre 4).

PC8	Lorsqu'un schéma de bas niveau est sélectionné, il déclenche l'exécution des actions qui le composent.
PC9	Lorsque l'activation d'un schéma dépasse le seuil de sélection, son état passe à «sélectionné».
PC10	Lorsque l'activation d'un schéma sélectionné descend en dessous de celle de l'un de ses compétiteurs, ou lorsque l'état du schéma source d'un schéma sélectionné change, le schéma sélectionné est désélectionné.
Accomplissement des buts	
PP3	Quand l'état d'un schéma passe de «sélectionné» à «désélectionné», tous les sous-buts de sa liste de sous-buts sont marqués comme non accomplis.
PP4	Quand un schéma composant est désélectionné, son but est marqué comme accompli dans la liste de sous-buts de son schéma source.
PP5	Quand tous les sous-buts d'un schéma sélectionné soit ont été atteints, soit ont leurs post-conditions satisfaites, le schéma est inhibé. Cette inhibition dure tant que le schéma reste sélectionné.
PI5	<i>Si tous les sous-buts d'un schéma sélectionné sont accomplis alors l'effet de l'influence propre sur ce schéma devient inhibiteur. Sinon il est excitateur.</i>
Contraintes sur l'ordonnancement des schémas	
PP6	L'influence environnementale sur les schémas de bas niveau est limitée aux schémas correspondant aux actions physiquement possibles étant donnée la représentation du système sur l'état courant de l'environnement.
PP7	L'influence <i>top-down</i> des schémas sources sélectionnés sur les schémas composants est contrainte par l'accomplissement des pré et post conditions du but. L'excitation <i>top-down</i> se propage uniquement sur les schémas dont le but n'est pas encore atteint mais dont les pré-conditions ont été satisfaites et les post-conditions non satisfaites.
Réseau d'objets : Sélection des arguments	
PC11	Les actions discrètes, qui correspondent aux schémas de bas niveau, spécifient le rôle fonctionnel des objets et l'état des ressources/effecteurs sur lesquelles elles sont appliquées.
Assignation des objets	
PC12	Les schémas peuvent assigner un ou plusieurs rôles fonctionnels aux objets. Quand un schéma est sélectionné et qu'il utilise un objet avec un rôle fonctionnel particulier, la première action réalisée assigne à ce rôle l'objet qui est le plus actif pour ce rôle. L'objet reste assigné à ce rôle jusqu'à ce que son activation tombe au dessous de celle d'un autre objet ayant le même rôle fonctionnel. Il devient alors non-assigné.
PC13	Quand l'action est exécutée, si l'un de ses arguments-rôle est assigné, alors l'action est appliquée à l'objet assigné par ce rôle, sans tenir compte de l'activation de cet objet dans le réseau d'objets.

Tableau 7.1: Postulats centraux du modèle du CS (Cooper et Shallice, 2000, Cooper *et al.*, 2005)

Des équations régissant le calcul des valeurs d'activation complètent les postulats. Nous ne présenterons que le calcul du facteur *top-down* de la valeur d'activation des schémas (Équation 7.1). Un schéma s va recevoir de l'influence *top-down* s'il est lui-même le schéma source ou si son père est sélectionné (valeur d'activation du schéma source A_{source} divisé par n , le nombre de sous-buts de celui-ci).

$$I_s = \begin{cases} 1 & \text{Si le but de } s \text{ est directement déclenché par le SAS (schéma source)} \\ \frac{1}{n} \times A_{source} & \text{Si le schéma source de } s \text{ est sélectionné} \\ & \text{et que toutes les pré-conditions du but de } s \text{ sont atteintes} \\ 0 & \text{Dans les autres cas} \end{cases} \quad (7.1)$$

Dans leur dernière version du modèle, Cooper *et al.* (2005) proposent l'intégration d'un mécanisme élémentaire de détection et de correction d'erreurs, à l'intérieur du gestionnaire de conflit. Les processus de contrôle, normalement situés dans le SAS, impliquent un raisonnement complexe fondé sur la résolution de problème qui mène à l'excitation ou à l'inhibition de certains schémas. Le but est de simplifier ces processus de contrôle et de considérer la correction d'erreurs comme la réactivation du schéma défaillant. L'utilisation d'un système de pré et de post-conditions permet de moduler le flux d'activation *top-down* dans la hiérarchie de schémas. Lorsqu'un schéma est désélectionné, le mécanisme de contrôle teste la post-condition du schéma. Si celle-ci n'est pas satisfaite alors le mécanisme de correction des erreurs est déclenché, et le schéma concerné est réactivé.

Le modèle informatique a été développé en langage de programmation C. Huit paramètres gouverne les flux d'activation à l'intérieur des réseaux et entre eux. En faisant varier des paramètres du système, Cooper *et al.* arrivent à simuler des troubles cognitifs. Les erreurs obtenues pendant la réalisation du café sont celles citées dans le syndrome de désorganisation de l'action décrit par Schwartz (Schwartz *et al.*, 1991) : omissions, erreurs dans la séquence (anticipation-omission, inversement, persévération), substitutions d'objets et ajouts d'actions.

7.2.2 L'implémentation du SAS

Glaspool (2000), puis Glasspool et Cooper (2002), proposent l'implémentation d'une version simplifiée du système de supervision attentionnelle à partir des spécifications décrites par Shallice et Burgess (Shallice et Burgess, 1991, Shallice et Burgess, 1996). Comme ces

spécifications ne sont pas suffisantes pour permettre une implémentation directe du SAS, ils utilisent une théorie empruntée à l'intelligence artificielle comme point de départ de leur implémentation.

Le modèle d'agent intelligent d'aide à la décision *Domino* (Das *et al.*, 1997) a été proposé comme base du modèle du SAS (Glasspool, 2000). Cet agent fournit un cadre pour la génération de buts, la résolution de problèmes et l'exécution de plans. Il spécifie sept types de processus opérant sur six types d'information (les éléments en pointillés de la figure 7.4 représentent la structure de Domino). En partant de la base de connaissances sur son environnement, l'agent génère des buts en réponse à des événements qui nécessitent une action. Ces buts conduisent à une phase de résolution de problème pour trouver des solutions candidates. Les différentes solutions sont testées et l'une d'entre elles est retenue. Une approche fondée sur l'argumentation logique est proposée pour évaluer les solutions candidates (Fox et Das, 2000). Les arguments pour et contre chaque candidat sont établis et une décision est prise en fonction de la balance globale des arguments. Une solution est alors adoptée, amenant à de nouvelles connaissances et à la possibilité de définir un plan d'action composé d'actions individuelles sur l'environnement. Les effets des actions sont contrôlés et peuvent aboutir à de nouvelles connaissances sur cet environnement (Glasspool, 2005). Des buts supplémentaires peuvent alors être générés, en cas d'erreur notamment, initiant plusieurs cycles de prise de décision et de planification (équivalent à notre processus de macro re-planification).

Les processus décrits par Shallice et Burgess (mise en place de buts, génération de solutions et évaluation, prise de décision, planification, exécution et contrôle des effets de l'action) sont similaires à ceux de l'agent Domino et peuvent être directement appliqués sur sa structure (Figure 7.4) (Glasspool, 2000).

Pour implémenter cette nouvelle version du SAS, le modèle est appliqué à une tâche précise appelée le Wisconsin card-sorting test (WCST). Ce test neuropsychologique, utilisant des cartes qu'il faut trier en fonction des couleurs ou des formes, permet d'observer les changements de stratégies chez les sujets. En utilisant la théorie de Norman et Shallice, le fonctionnement général pour ce test est le suivant : le SAS génère la stratégie initiale de tri et sélectionne les schémas correspondants dans le CS. Le CS applique cette stratégie tant qu'il ne reçoit pas de retour négatif signifiant que le SAS est à nouveau requis pour générer une solution alternative. L'implémentation est fortement liée à la tâche puisque l'élaboration de stratégies donne naissance à trois stratégies (tri par symbole, par couleur ou par forme). Pour évaluer les stratégies, les auteurs associent une valeur numérique à chaque stratégie et

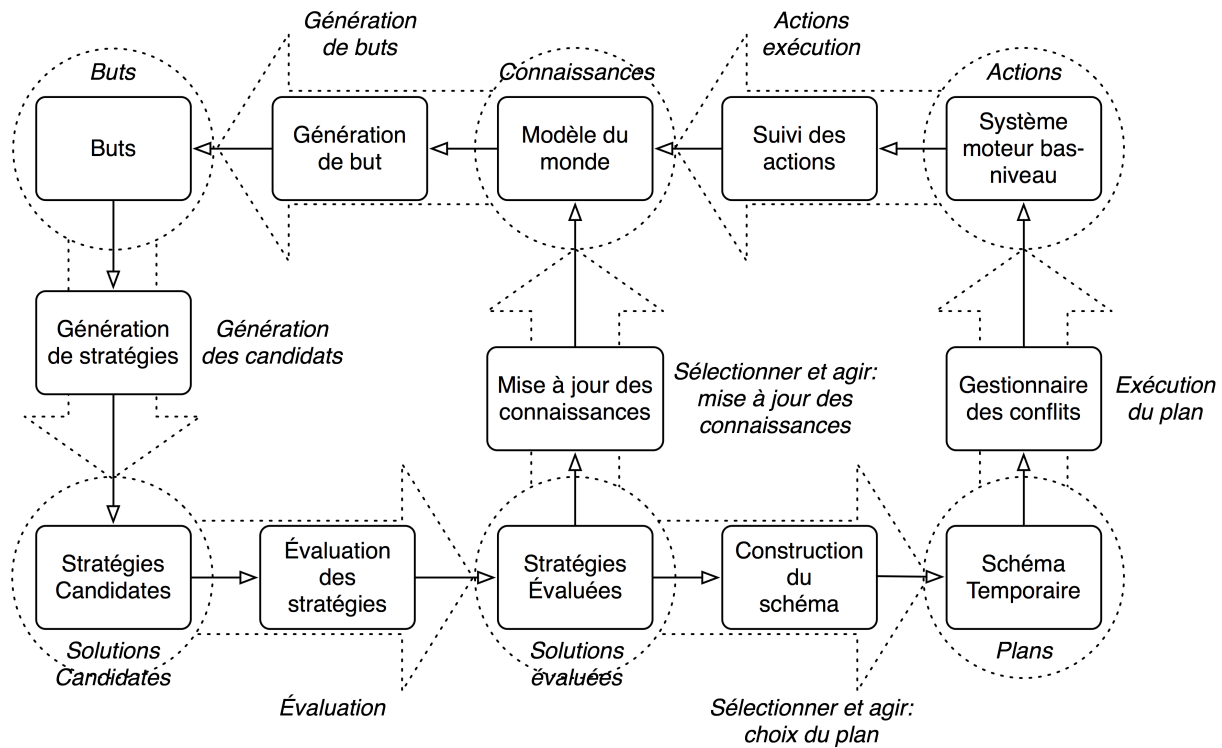


Figure 7.4 – Analogie entre le SAS et l'agent d'aide à la décision Domino (Glasspool, 2000)

choisisse la stratégie avec la valeur la plus élevée. Cette valeur est contrôlée par deux règles : (1) la valeur des stratégies récemment utilisées diminue et (2) la valeur des stratégies qui ont réussi diminue. Lorsqu'une nouvelle stratégie est requise, il faut que l'ancienne stratégie appliquée par le comportement automatique soit inhibée. Ce mécanisme fait partie du contrôle et est modélisé, dans cette version du SAS, par une connexion entre la détection d'une situation nouvelle dans le SAS et le schéma temporaire du CS.

Ce modèle représente un premier pas dans la simulation informatique du fonctionnement du SAS. Il reste cependant beaucoup de spécifications à faire sur les processus composant le SAS mais aussi sur la façon dont les mécanismes sont perturbés lors d'une atteinte des fonctions exécutives. Glasspool (2002) propose par exemple de simuler des problèmes de persévération en altérant le feedback inhibant le schéma temporaire.

Une première ébauche d'implémentation de la version du système de supervision, calquée sur le mode de fonctionnement de l'agent Domino, a été réalisée en COGENT. Ce dernier est un environnement de modélisation computationnelle permettant de développer et d'explorer des

modèles de processus cognitifs (Cooper, 2002). COGENT est suffisamment générique pour permettre la modélisation de différents processus cognitifs et exécutifs. La figure 7.5 donne le schéma d'organisation des processus : les boîtes arrondies correspondent aux buffers et les boîtes carrées aux processus.

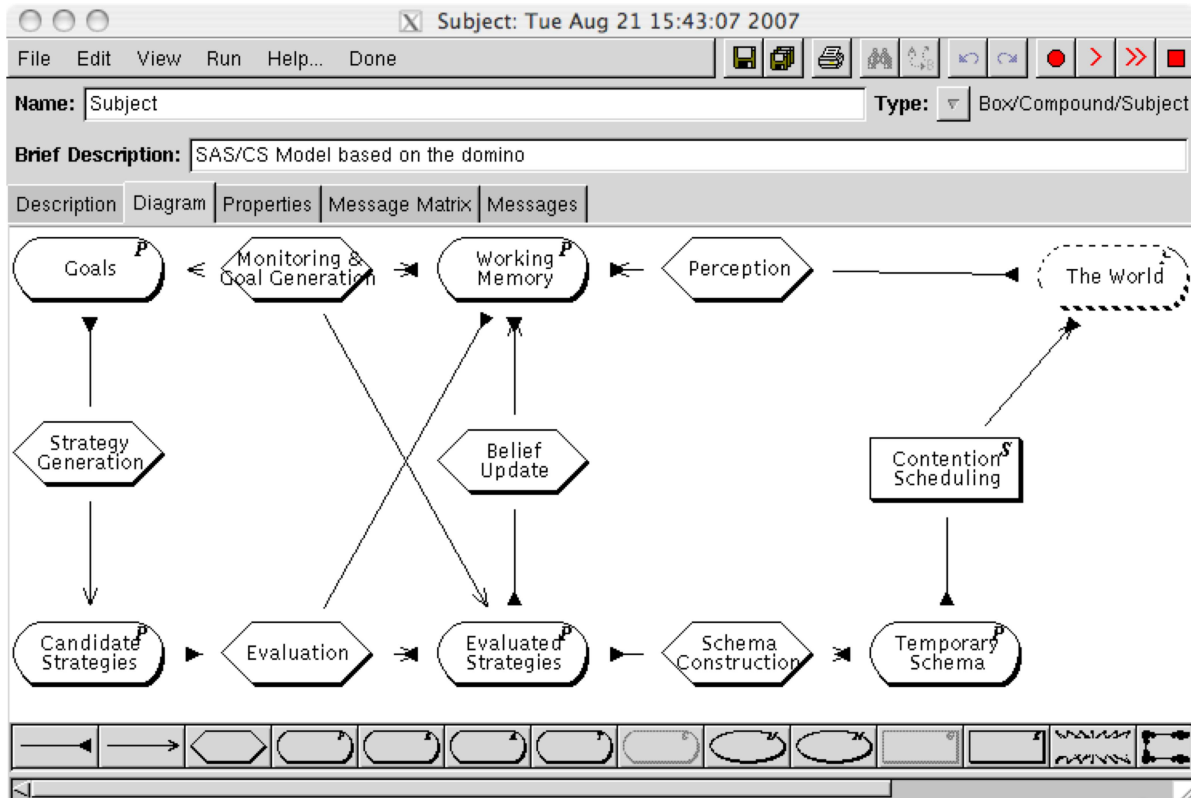


Figure 7.5 – Modèle du SAS dans l'environnement de programmation cognitive COGENT (Glasspool, 2000)

→ Cette première implémentation permet de simuler les différents mécanismes composant le SAS et les relations qu'ils ont avec le CS. Cependant, les fonctionnalités qu'offre COGENT sont trop limitées pour développer une version plus approfondie du modèle. Cette limitation est perceptible au niveau de l'implémentation du CS où les mécanismes de calcul d'activation et de sélection des schémas sont très sommaires en comparaison avec la version du CS implémentée en langage de programmation C.

7.3 PEAT : un exemple de modèle informatique cognitif

PEAT (Planning and Execution Assistant and Trainer) est un calendrier électronique conçu pour assister les personnes souffrant de détérioration des processus exécutifs dans l'initiation et la complétion des activités de la vie quotidienne (Levinson, 1997). PEAT utilise un système de planification en intelligence artificielle appelé PROPEL (Levinson, 1995b) pour simuler les processus exécutifs. Cette simulation est utilisée dans deux cas : (1) pour le diagnostic : PEAT simule la personne souffrant de troubles des processus exécutifs ; (2) pour le traitement : PEAT fournit le support nécessaire pour compenser les fonctions atteintes.

Le modèle proposé par Levinson s'appuie sur les théories de Lezak (Lezak, 1995) et de Norman et Shallice (Norman et Shallice, 1980, Norman et Shallice, 1986). La figure 7.6 donne une vue d'ensemble du modèle.

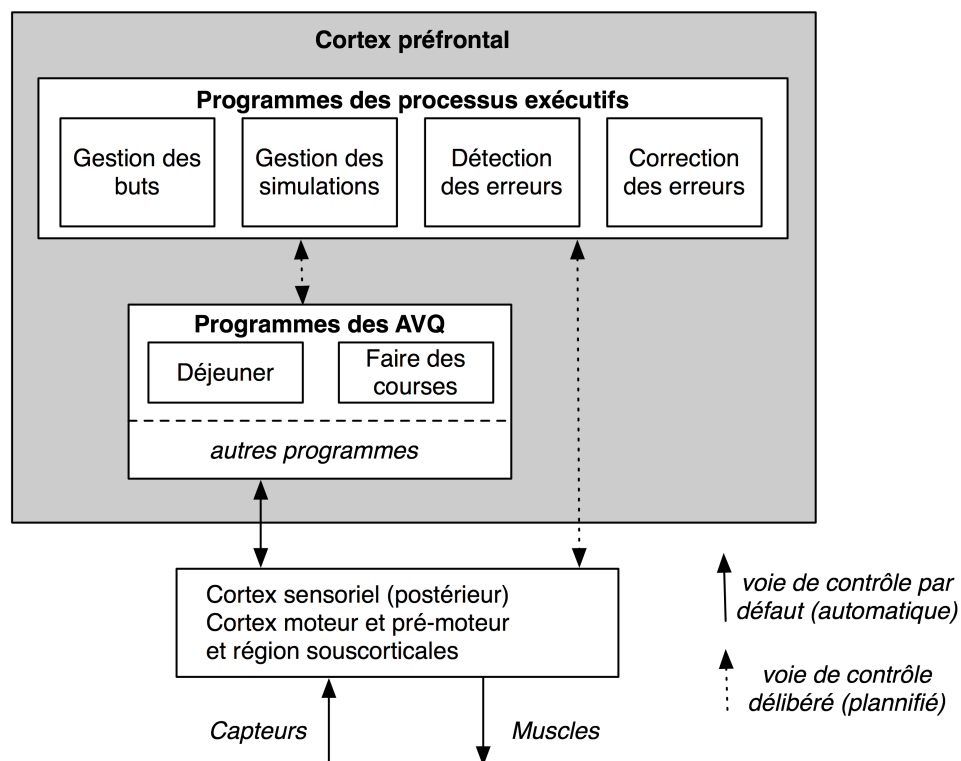


Figure 7.6 – Modèle du cortex préfrontal proposé dans PEAT (Levinson, 1995a)

Des séquences d'actions conditionnées, appelées *programmes* (équivalents aux scripts), sont stockées dans le cortex préfrontal. Les conditions sensorielles routinières activent les programmes *par défaut*, alors que les conditions nouvelles activent des *variations volontaires* des scripts. Certains de ces programmes encodent le comportement pour des activités de la vie quotidienne (cuisiner, prendre une douche) et d'autres encodent le comportement des processus exécutifs (auto-programmation, auto-contrôle). Comme dans le SAS du modèle de Norman et Shallice, les programmes exécutifs, résumés par la figure 7.7, permettent de décider quand et comment remplacer les programmes automatiques par défaut par des variations volontairement planifiées.

Function Name	Function Definition	Deficit
Goal Management: <i>Maintain GOAL structures that map CONDITIONS into reward values</i>		
ADD	Add a new GOAL	Inactivity
REMOVE	Remove an old GOAL	Perseveration
CHANGE	Change reward value associated with GOAL	Perseveration
Simulation Management: <i>Simulate PROGRAMS to predict their effects</i>		
GOAL	Triggers (re)planning when GOALS are modified	Unawareness
CONDITION	Triggers replanning when conditions change	Unawareness
EXECUTION	Triggers replanning when execution failures occur	Unawareness
DEADLINE	Triggers replanning as deadline approaches	Unawareness
Error Detection: <i>Analyze SIMULATIONS to detect program errors</i>		
INEFFECTIVE	Routine preconditions fail due to sensory conditions	Unawareness
INTERFERING	Routine succeeds, but causes another program to fail	Distractable
IRRELEVANT	Routine is triggered by sensory conditions and does not fail, but it is unrelated to <i>active</i> GOALS	Distractable, Stimulus-bound
Error Correction: <i>Replace default PROGRAMS with deliberate variations</i>		
INHIBIT	Override a default <i>start-condition</i> that is currently TRUE	Disinhibition
START	Override a default <i>start-condition</i> that is currently FALSE	Poor initiation
CONTINUE	Override a default <i>stop-condition</i> that is currently TRUE	Poor persistence
STOP	Override a default <i>stop-condition</i> that is currently FALSE	Perseveration
CHOOSE	Override a default <i>choice point selection</i> in program body	Perseveration
SEQUENCE	Override a default subroutine <i>order</i> in program body	Poor sequencing

Figure 7.7 – Les processus exécutifs modélisés dans PEAT (Levinson, 1995a)

Les programmes exécutifs manipulent les quatre structures de représentation de connaissances suivantes :

- Condition : structure qui enregistre la description symbolique des conditions environnementales
- But : structure qui applique les conditions sensorielles à des valeurs de gratification positives

ou négatives

- Programme : structure qui lie les actions conditionnées ensemble
- Simulation : structure qui enregistre les effets de la simulation de différentes variations de programmes

Le traitement de l'information effectué par les programmes exécutifs peut être résumé de la manière suivante : premièrement, le programme de *gestion de buts* génère et met à jour les structures de BUTS. Deuxièmement, un ensemble de PROGRAMMES représentant des séquences d'actions conditionnées et automatiques qui accomplissent certains BUTS dans les situations routinières est appris de l'expérience. Ces PROGRAMMES transcrivent automatiquement les CONDITIONS en commandes effectrices, en temps réel sans délibération. Le rôle principal des processus exécutifs consiste alors à contrôler les réponses conditionnées et automatiques, et à anticiper, détecter et corriger les erreurs qui pourraient se produire à l'occurrence de nouvelles CONDITIONS. Le programme de *gestion de simulation* génère et met à jour des structures de SIMULATION qui décrivent les effets que produirait l'exécution d'un PROGRAMME donné dans les CONDITIONS courantes. Ce processus de simulation est couplé avec une recherche heuristique de la variation de programme la plus efficace. Le programme de *détection des erreurs* compare les résultats des SIMULATIONS avec les BUTS courants afin de détecter les éventuelles erreurs. Trois types d'erreurs sont détectés : (1) Les routines inefficaces : un programme est qualifié de défaillant si les préconditions de ce programme ne peuvent pas être satisfaites ; (2) Les programmes interférents : un conflit de programmes utilisant la même ressource peut causer au moins une défaillance d'un programme ; et (3) Les routines non pertinentes : la simulation ne montre aucune atteinte de but. Si des erreurs sont détectées, le programme de *correction des erreurs* est activé. Ce programme analyse les résultats des simulations et les structures de programmes afin de générer des variations de programmes capables de remplacer les programmes inappropriés.

→ *Ce modèle est en cours de développement et n'a pour l'instant pas été validé, mais il sera intéressant de voir comment il peut être intégré dans le système d'aide à la planification et à la gestion d'horaires pour les personnes souffrant de dysfonctionnements exécutifs.*

7.4 Synthèse des modèles informatiques présentés

L'informatique cognitive offre les moyens, en s'appuyant sur les concepts issus de l'intelligence artificielle, de développer des modèles cognitifs. Pour obtenir des modèles satisfaisants en terme de processus exécutifs et de simulation d'AVQ, nous avons choisi le cadre théorique du contrôle attentionnel de l'action proposé par Norman et Shallice (1980, 1986).

Les deux modules du modèle de Norman et Shallice ont fait l'objet d'études séparées. Le gestionnaire des conflits a très bien été spécifié et son implémentation en C permet d'appliquer le module à diverses tâches. Des erreurs ont même pu être simulées en faisant varier les valeurs des paramètres d'activation.

Une version simplifiée du système attentionnel superviseur a été proposée par Glasspool et Cooper (2002). Ces auteurs s'intéressent particulièrement à la modélisation des mécanismes de changement de stratégies observés lors du «Wisconsin card-sorting test». Pour modéliser les processus internes du SAS, ils utilisent un agent d'aide à la décision (Domino) et développent leur modèle avec l'environnement de modélisation cognitive COGENT. Cette implémentation est beaucoup moins satisfaisante que celle du gestionnaire des conflits, pour les raisons suivantes :

- Le modèle développé est hautement lié à la tâche simulée. Il n'existe pas de distinction réelle entre les spécifications des processus exécutifs et les connaissances spécifique de la tâche. Par exemple, les mécanismes de génération des stratégies (résolution de problème) correspondent simplement à la génération spontanée des stratégies de tri des cartes. Toutes les règles utilisées pour spécifier le modèle devraient alors être modifiées pour simuler une autre tâche.
- Les mécanismes de contrôle exécutif sont très peu représentés dans le modèle. C'est simplement l'apparition d'un feedback de l'examineur qui va déclencher un processus de correction : un but supplémentaire sera généré et initiera plusieurs cycles de prise de décision et de planification.
- Les interactions entre gestionnaire des conflits et système attentionnel superviseur sont modélisées par l'intermédiaire du schéma source. Lorsqu'une stratégie est sélectionnée, le schéma de plus haut niveau correspondant à cette stratégie est placé comme schéma source dans le gestionnaire des conflits. Le SAS influence de cette manière la sélection du schéma approprié. Lorsqu'un nouveau but est généré, ce schéma source doit être inhibé pour laisser le temps aux processus du SAS de planifier une nouvelle stratégie et de proposer

un nouveau schéma source. Aucune autre interaction entre les deux modules n'est spécifiée. Comment, dans ce cas, modéliser les corrections ou les ajustements dans le plan lui-même (micro re-planification) ? Glasspool et Cooper soulignent d'ailleurs le besoin d'améliorer ce mécanisme d'inhibition du schéma source et d'approfondir les mécanismes d'interaction.

- Tous les concepts proposés dans le fractionnement du SAS par Shallice et Burgess (1996) ne sont pas présent dans le modèle. On ne retrouve plus le concept de mémoire épisodique, ou encore de rejet ou validation de l'action (notion pourtant clé dans les théories neuropsychologiques des processus exécutifs).
- Les fonctionnalités qu'offre COGENT sont trop limitées pour développer une version plus approfondie du modèle. Cette limitation est visible au niveau de l'implémentation du CS où les mécanismes de calcul d'activation et de sélection des schémas est très sommaire en comparaison avec la version du CS implémentée en langage de programmation C.

L'implémentation actuelle du SAS est donc loin d'être suffisamment détaillée et généralisée pour simuler de façon convenable les processus exécutifs et leur altération. Peu d'autres travaux existent sur l'implémentation informatique des processus exécutifs. Nous avons présenté PEAT, l'agenda électronique, basé sur l'utilisation d'un modèle des processus exécutifs. Les mécanismes présentés dans ce modèle sont fortement inspirés de la théorie de Norman et Shallice : gestion des buts, simulation (exécution des séquences), détection des erreurs et correction des erreurs. Ces mécanismes sont intéressants mais le détail de l'organisation des différentes structures, de leur implémentation et de leur validation ne sont pas précisés dans les travaux de Levinson (1995, 1997). Ce modèle soulève cependant la question de l'utilisation des modèles cognitifs pour les systèmes d'aide à la tâche.

Cette synthèse souligne le besoin de spécifier certains processus exécutifs (notamment le contrôle exécutif) pour pouvoir proposer un modèle computationnel complet et capable de simuler n'importe quelle tâche.

CHAPITRE 8

Modèle théorique : Spécifications des processus exécutifs d'après le modèle de Norman et Shallice

Ce chapitre présente le modèle théorique élaboré à partir des observations présentées dans la première partie du travail de recherche.

La construction théorique du modèle repose entièrement sur des fondements neuropsychologiques. Nous avons choisi la théorie de Norman et Shallice (1980) qui propose un modèle du contrôle attentionnel de l'action. C'est la théorie des processus exécutifs la plus utilisée et la plus spécifiée (en particulier le gestionnaire des conflits qui a été implémenté de façon satisfaisante). Le modèle élaboré s'appuie aussi sur les concepts de l'intelligence artificielle que nous avons décrits dans le chapitre précédent.

Nous allons maintenant détailler le processus d'élaboration de notre modèle théorique. Après un bref rappel des objectifs du modèle et de la critique des modèles exposés au chapitre précédent, nous présenterons la synthèse de l'analyse détaillée des sujets, appelée dictionnaire des mécanismes. Nous détaillerons ensuite l'architecture globale du système, puis les processus composant le modèle et les données qu'ils manipulent.

8.1 Sur le besoin de nouvelles spécifications

Avant de décrire le modèle théorique que nous avons établi, nous voudrions justement revenir sur le besoin d'un tel modèle. Pour cela, rappelons que le deuxième objectif fixé dans la problématique est d'élaborer un modèle théorique cohérent avec les bases proposées par Norman et Shallice et d'implémenter un modèle informatique capable de simuler les comportements observés lors de la dégradation des processus exécutifs. Nous avons choisi de se concentrer sur la réalisation effective (si l'on reprend la catégorisation de Lezak) et sur les mécanismes de contrôle exécutif. Ce choix est justifié par la perspective d'intégrer un tel modèle dans les systèmes d'aide à la tâche. Les difficultés liées au contrôle exécutif sont les plus facilement mesurables et analysables par les systèmes d'assistance puisqu'elles ont lieu pendant la réalisation de la tâche. C'est en quelque sorte la partie visible de l'iceberg représentant les processus exécutifs.

Les théories en neuropsychologie, comme celle de Luria ou plus récemment celle de Norman et Shallice, nous donnent l'axe théorique et la catégorisation que l'on retrouve dans l'évaluation des activités de la vie quotidienne. Malheureusement, un des points le moins approfondi dans ces théories, et par conséquent dans leurs implémentations, est celui du contrôle exécutif (cf. Chapitre 4).

Comme le suggère la synthèse des modèles informatiques des processus exécutifs (cf. section 7.4), les implémentations existantes sont loin d'être satisfaisantes pour atteindre notre objectif. Les différentes implémentations du modèle de Norman et Shallice nous servirons de base. Il faudra cependant porter une attention particulière à la spécification des processus peu spécifiés (que ce soit au niveau théorique qu'au niveau informatique, les spécifications du contrôle exécutif sont trop faibles), à la redéfinition des interactions entre les deux modules (système attentionnel superviseur et gestionnaire des conflits) et à la généralisation des processus (la modélisation ne doit pas être spécifique à une tâche particulière).

Ces remarques permettent donc de souligner le besoin de nouvelles spécifications des processus exécutifs dans le cadre théorique proposé par Norman et Shallice. Justement, les observations réalisées dans la première partie de cette recherche nous ont permis d'étudier plus en détail le contrôle exécutif.

8.2 Dictionnaire des mécanismes

Dans la première partie de cette recherche, nous avons étudié les processus exécutifs et les manifestations de leur dégradation au moyen d'une analyse statistique. Les erreurs commises au cours des tâches ont été analysées et regroupées selon les processus exécutifs auxquelles elles font référence (classification des erreurs). Enfin, une analyse plus détaillée a été réalisée à l'aide d'un formalisme de description spécifique sur un échantillon de sujets des trois populations. Cette analyse a permis de décortiquer les actions des sujets en terme de processus exécutifs. Les arbres de réalisation de tâche renseignent non seulement sur le déroulement de la tâche (choix et enchaînement des buts et sous-buts) mais aussi sur les mécanismes liés au contrôle, à l'évaluation et à l'ajustement (réorganisation des sous-buts, suspension ou reprise de buts, etc.). Ces informations sont précieuses pour l'analyse des mécanismes de re-planification. Elles permettent, par exemple, l'étude du passage d'une micro re-planification (ajout et re-sélection d'un sous-but) à une macro re-planification (ajout d'un arbre). On observe ainsi une persistance à rester en mode micro au lieu de passer en mode macro chez les sujets âgés et MCI-MA. L'étude de l'assistance prodiguée tout au long de la réalisation de la tâche met en évidence différentes défaillances des mécanismes exécutifs. Les sujets ont des difficultés à corriger une erreur de type A (erreur exécutive), à évaluer le résultat de la tâche (pour modifier l'intention), à contrôler une ou plusieurs actions, à élaborer une stratégie ou une procédure, à changer ou mettre en œuvre une stratégie ou une procédure ou encore à planifier une ou plusieurs actions à un niveau micro.

Nous avons construit un tableau récapitulatif appelé «dictionnaire des mécanismes exécutifs» (présenté dans le tableau 8.1) en faisant une synthèse des définitions des processus exécutifs existantes dans la littérature, des arbres de réalisation des tâches et de la classification des erreurs. Les mécanismes qui y sont répertoriés ont été soit observés pendant les expérimentations, soit déduits des erreurs commises, de l'absence du comportement attendu, ou encore de la nature des interventions de type guidage. Nous appellerons «comportement déviant» un comportement pour lequel les mécanismes exécutifs sont perturbés. Par exemple, le fait qu'une personne ne se corrige pas alors qu'elle vient de commettre une erreur est considéré comme un comportement déviant. Cela permet de ne pas utiliser le terme «erreur», mal adapté, lorsqu'une action n'est pas réalisée alors qu'elle devrait l'être. Les mécanismes sont associés aux opérations qu'ils peuvent réaliser, à leur contexte d'occurrence et enfin aux troubles ou comportements déviants observés en cas d'altération (comportement déviant précisé lorsque le mécanisme a été déduit des erreurs commises ou de l'absence de comportement

attendu).

Les mécanismes sont regroupés en fonction de leur appartenance à un des groupes fonctionnels de la catégorisation de Lezak, à savoir : volonté, planification, action intentionnelle et réalisation effective (Lezak, 1995). Deux mécanismes (génération des intentions et identification des éléments essentiels) sont associés à la volonté. Ils permettent au sujet de spécifier le but qu'il veut réaliser. Deux mécanismes (élaboration et sélection de stratégies et construction du plan) sont associés à la planification pour élaborer et sélectionner les stratégies, et pour construire le plan qui va être réalisé en fonction de l'intention fixée précédemment. Un seul mécanisme (mise en œuvre du plan) est associé à l'action intentionnelle. Il permet au sujet de démarrer l'exécution de son plan et de passer à l'étape suivante une fois qu'une étape est terminée. Enfin, dix mécanismes (contrôle et comparaison plan/action, contrôler les informations, inhibition des stimuli non pertinents, monitoring des intentions, macro re-planification, régulation, micro re-planification, parallélisme, optimisation, évaluation finale) sont associés à la réalisation effective. Ils permettent au sujet de contrôler ses actions, prendre en compte les informations de l'environnement, évaluer, réguler, ajuster, corriger et optimiser ses actions.

Le dictionnaire des mécanismes est très riche. Nous tenterons, dans le modèle théorique, de représenter les mécanismes les plus importants le plus fidèlement possible. Le tableau 8.2 permet de comparer ces mécanismes aux théories des processus exécutifs présentées précédemment (cf. Chapitre 4 et Chapitre 7). Nous écartons volontairement les mécanismes liés à la régulation et à l'inhibition des stimuli non pertinents. Nous laissons aussi de côté les mécanismes liés au parallélisme et à l'optimisation de la tâche, qui font entrer en jeu d'autres mécanismes connus en neuropsychologie et en psychologie cognitive, à savoir la gestion des multi-tâches. Nous convenons de la part de responsabilité des mécanismes exécutifs de haut niveau dans le bon déroulement de la réalisation de plusieurs tâches à la fois. Nous préférons néanmoins les laisser de côté pour se concentrer sur les mécanismes de contrôle et d'ajustement ciblés dans notre problématique.

Mécanisme	Groupe Fonctionnel	Contexte d'occurrence	Opérations	Troubles associés ou comportements déviants
1. Génération de l'intention	Volonté	Des éléments externes ou internes se manifestent	<i>Créer le but</i>	- Le sujet ne se rappelle plus bien la consigne
2. Identification des éléments essentiels	Volonté	Création d'un but	<i>Associer les éléments essentiels au but créé</i>	- Le sujet a du mal à extraire les données importantes (peut donner des erreurs d'organisation : lorsque le sujet ne cherche pas dans la bonne rubrique ou à la bonne ville.)
3. Élaboration et sélection de stratégies	Planification	Avant l'action intentionnelle	<i>Élaborer des stratégies</i>	- Le sujet a besoin d'aide pour élaborer les stratégies
			<i>Choisir une stratégie</i>	- Le sujet verbalise différentes stratégies mais n'en choisit aucune
			<i>Ajouter un arbre de réalisation (Exécuter une stratégie)</i>	- Le sujet verbalise son choix de stratégie, mais ne passe pas à l'action
4. Construction du plan	Planification	Avant l'action intentionnelle Une stratégie a été choisie	<i>Sélectionner les étapes principales de la tâche</i>	- Le sujet a des difficultés avec l'organisation globale (erreurs dues à l'introduction de perturbations) - Le sujet a des difficultés avec l'organisation des étapes de la tâche
5. Mise en œuvre du plan	Action intentionnelle	Réalisation de la tâche, un arbre a été sélectionné (et est en train d'être exécuté)	<i>Exécuter un but : initier la première action du premier sous-but</i> <i>Une fois un sous-but achevé, passer au sous-but suivant</i>	- Le sujet ne commence pas la tâche (Initiation) - Le sujet oublie de réaliser une étape (Macro-omission)
			<i>Une fois une action achevée, passer à l'action suivante</i>	- Le sujet oublie de réaliser une action (Micro-omission) - Le sujet montre des difficultés de séquençage (anticipation-omission, inversion, persévération) - Le sujet ajoute une action hors tâche

Mécanisme	Groupe Fonctionnel	Contexte d'occurrence	Opérations	Troubles associés ou comportements déviants
6. Contrôle Comparaison plan/actions	Réalisation effective	Pendant la réalisation de la tâche	<i>Contrôler le plan initial aux actions réalisées et aux éléments de l'environnement</i>	- Le sujet ne s'aperçoit pas d'une erreur qu'il vient de commettre ou qu'il a commise plus tôt (par exemple : erreurs d'inattention ou erreurs d'estimation)
		Une action ne mène pas au sous-but dont elle relève	<i>Contrôle négatif</i>	- Le sujet continue une action ou un sous-but alors qu'il ne mène pas à l'accomplissement du but
7. Contrôler les informations	Réalisation effective	Une action qui a besoin de vérification a été réalisée	<i>Ajouter une action contrôle dans le plan initial</i>	- Le sujet a du mal à évaluer la pertinence de la tâche (erreurs de jugement) ou d'une action
			<i>Ajouter un sous-but contrôle dans le plan initial</i>	
			<i>Ajouter une action pour demander à l'examinateur de vérifier</i>	
8. Inhibition des stimuli non pertinents	Réalisation effective	L'environnement dynamique envoie des stimuli non pertinents	<i>Inhiber les influences extérieures</i>	- Le sujet substitue un objet (confusion avec un distracteur)
9. Monitoring des buts	Réalisation effective	Un ajustement ou une correction (niveau macro) doit avoir lieu	<i>Suspendre un but</i> <i>Arrêter un but</i>	
		Un but avait été suspendu Le but courant est terminé	<i>Reprendre un but suspendu</i>	
10. Re-planification (macro)	Réalisation effective	La stratégie courante n'aboutit pas. L'arbre correspondant est arrêté (cad dépilé) ou suspendu (si la stratégie appartient à l'arbre principal).	<i>Ajouter un arbre de réalisation (changer de stratégie)</i>	- Le sujet ne change pas de stratégie et dit ne pas savoir que faire, ou il s'obstine à continuer avec la stratégie qui ne marche pas
			<i>Re-sélectionner une stratégie déjà réalisée auparavant</i>	

Mécanisme	Groupe Fonctionnel	Contexte d'occurrence	Opérations	Troubles associés ou comportements déviants
11. Régulation	Réalisation effective	Un élément de l'environnement apparaît	<i>Ajouter un sous but et des actions de régulation</i>	- Le sujet a du mal à s'adapter à l'environnement (pas de régulation)
12. Re-planification (micro)	Réalisation effective	Un élément de la séquence d'action programmée ne peut être exécuté ou ne se passe pas comme prévu (un contrôle doit avoir eu lieu précédemment)	<i>Ajouter une action dans le plan initial</i>	- Le sujet ne se corrige pas ou ne s'ajuste pas spontanément (besoin d'assistance)
			<i>Re-sélectionner une même action</i>	
			<i>Ajouter un sous-but dans le plan initial</i>	
			<i>Re-sélectionner un sous-but déjà réalisé</i>	
			<i>Changer de procédure dans une stratégie</i>	- Le sujet ne change pas de procédure (assistance pour changer)
			<i>Re-sélectionner une procédure</i>	
		Un sous-but est en cours de réalisation Le sous-but précédent n'a pas été complètement validé	<i>Revenir au but précédent pour contrôler qu'il soit bien terminé</i>	
13. Parallélisme	Réalisation effective	Une première stratégie est en cours d'exécution	<i>Exécuter en parallèle un autre arbre (2 stratégies sont menées de front)</i>	Le sujet ne réalise pas d'actions en parallèle et préfère attendre (même très longtemps)
14. Optimisation	Réalisation effective	L'arbre principal est suspendu, un deuxième arbre est en cours d'exécution	<i>Exécuter un sous-but de la tâche principale pour l'optimiser</i>	Le sujet n'optimise pas la tâche
15. Évaluation finale	Réalisation effective	Fin potentielle de la tâche	<i>Comparer le résultat avec le but initial (Ajouter une action dans le plan initial pour évaluer la tâche)</i>	- Le sujet évalue mal ou pas du tout la fin de la tâche

Tableau 8.1: Dictionnaire des mécanismes exécutifs

Dictionnaire des mécanismes	Modèle de Luria	SAS (Shallice et Burgess)	SAS + Domino (Glasspool et Cooper)	Peat (Levinson)
1. Génération des intentions	Analyse de données	Phase d'orientation du problème et Processus 6	Génération et suivi des buts	Gestion des buts (ajout)
2. Identification des éléments essentiels	Analyse de données			
3. Élaboration et sélection de stratégies		Processus 4, 5, 7 et 8	Génération de stratégies et évaluation de stratégies	
4. Construction du plan	Élaboration d'un plan	Processus 4, 5, 7 et 8	Construction du schéma	
5. Mise en œuvre du plan	Réalisation	Processus 1	Gestionnaire de conflits	Gestion des simulations
6. Contrôle Comparaison plan/actions	Contrôle partiel (déjà fait/reste à faire)	Processus 2	Contrôle de l'action	Détection des erreurs
7. Contrôler les informations	Contrôle partiel		Contrôle de l'action	
9. Monitoring des buts	Comparaison données/plan	Processus 2	Génération et suivi des buts	Gestion des buts (suppression et modification)
10. Re-planification (macro)	Reprise du processus	Processus 3 et Phase d'orientation du problème	Génération et suivi des buts	Gestion des buts (modification)
12. Re-planification (micro)	Contrôle partiel			Correction des erreurs
15. Évaluation finale	Évaluation	Processus 2	Génération et suivi des buts	Gestion des buts (suppression)

Tableau 8.2 – Comparaison de notre dictionnaire des mécanismes avec les différents modèles (théorique et informatique) des processus exécutifs

8.3 Spécifications théoriques du modèle

8.3.1 Architecture globale du modèle

Les observations réalisées durant la phase expérimentale nous ont permis de construire un dictionnaire des mécanismes cohérent avec les différentes théories et notions en neuropsychologie concernant les processus exécutifs (cf. tableau 8.2). Comme nous l'avons déjà présenté

au cours de ce manuscrit, le modèle de Norman et Shallice - ou théorie du contrôle attentionnel de l'action - est de loin le plus avancé en terme de spécification et d'implémentation. Nous repartirons donc de ces fondements pour y insérer les mécanismes dégagés dans notre dictionnaire¹.

Notre modèle s'articule autour des deux modules composant le modèle de Norman et Shallice, à savoir le gestionnaire des conflits (Contention Scheduling - CS) et le système attentionnel superviseur (Supervisory Attentional System - SAS). Avant de commencer à détailler l'architecture de notre système, une précision doit être apportée. Pour Norman et Shallice, c'est la connaissance de la tâche qui est à l'origine de la distinction entre les deux modules : le CS permet d'exécuter des tâches routinières, de façon automatique, alors que le SAS intervient en cas de «problème» ou dans les situations nouvelles ou mal connues. De façon plus générale, et la communauté des chercheurs se tourne de plus en plus vers cette tendance (Meulemans *et al.*, 2004, Gilbert et Shallice, 2002), nous utiliserons ces deux modules de façon complémentaire dans la réalisation des tâches : un système de haut niveau, le SAS, chargé de planifier et contrôler la tâche et un système de plus bas niveau, le CS, chargé d'exécuter les chaînes d'actions connues, planifiées par le SAS.

La figure 8.1 présente l'architecture globale de notre modèle. Elle correspond au fonctionnement interne du SAS et à ses interactions avec le CS. Notre modèle s'appuie sur les différentes théories sur les processus exécutifs présentés précédemment. Ainsi, en suivant la catégorisation des processus exécutifs définie par Lezak, les processus composant le SAS peuvent être regroupés selon les catégories, ou groupes fonctionnels, «volonté», «planification», une partie de «action intentionnelle» et «réalisation effective», tandis que le CS correspond uniquement au groupe fonctionnel «action intentionnelle». On retrouve aussi les processus décrits par Luria : l'analyse des données se fait dans le module «Génération des intentions», l'élaboration d'un plan dans le groupe fonctionnel planification, la réalisation dans le groupe fonctionnel réalisation effective, le contrôle partiel dans le module «Contrôle» et enfin la terminaison/reprise du processus est traitée par le module «Évaluation finale».

Comme nous l'avons rappelé au début de ce chapitre (cf. section 8.1), les principaux points sur lesquels nous nous sommes concentrés sont ceux qui concernent les mécanismes de contrôle et

¹Les opérations définies dans le dictionnaire des mécanismes ont été élaborées à partir des arbres de réalisation des tâches. Pour la suite du travail, nous nous replacerons dans le contexte du modèle de Norman et Shallice et n'utiliserons plus le vocabulaire des arbres de réalisation des tâches. La racine des arbres correspond aux intentions, ou buts de très haut niveau. Les nœuds intermédiaires, ou buts et sous-but, correspondent aux schémas d'actions de différents niveaux. Les feuilles des arbres correspondent aux schémas de bas niveau qui donnent lieu aux actions atomiques.

SAS, quelques modifications mineures ont été apportées au CS, concernant principalement les entrées/sorties du module. Nous les détaillerons au fur et à mesure de la présentation de l'architecture.

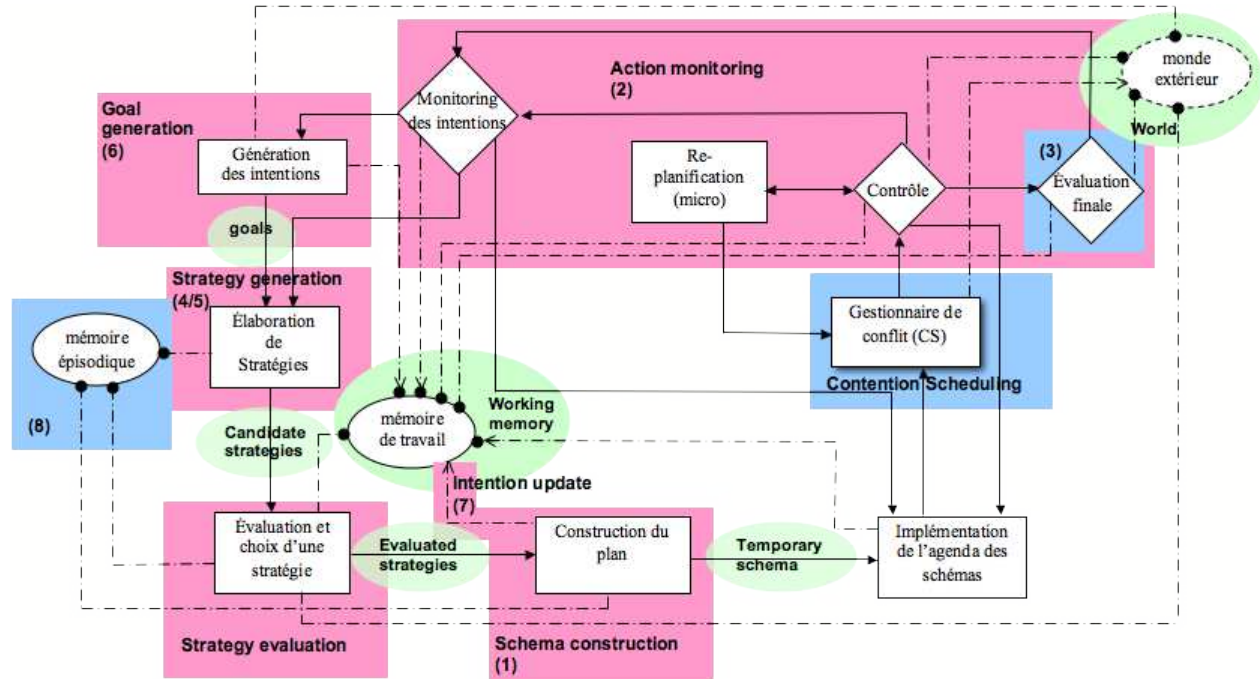


Figure 8.2 – Comparaison de notre modèle avec le SAS de Shallice et Burgess et la spécification à partir de Domino

Dans notre proposition de modèle, différents modules fonctionnels composent le système de supervision. Nous allons décrire rapidement leur fonctionnement général.

Comme dans la spécification de Glasspool et Cooper, le premier processus du SAS permet de créer une intention en extrayant les éléments essentiels à la réalisation de la tâche («Génération des intentions»).

La deuxième étape consiste à planifier la tâche qui répondra à l'intention générée. Différentes stratégies vont être élaborées («Élaboration de stratégies»). Nous réintroduisons dans ce processus l'utilisation de la mémoire épisodique comme le suggérait Shallice et Burgess² (Shallice et Burgess, 1996). Les stratégies déjà utilisées par le passé y sont stockées ainsi que des renseignements sur leurs précédents succès ou échecs. Ces informations sont indispensables à l'évaluation des stratégies et au choix de la stratégie la plus adaptée («Évaluation et choix d'une stratégie»). Une fois la stratégie choisie, un mécanisme va permettre de construire un

²Cette notion avait disparue dans la première tentative d'implémentation de Glasspool et Cooper (2002).

plan d'actions appelé «agenda des schémas» («Construction d'un plan»). C'est l'équivalent du schéma temporaire dans le modèle de Shallice et Burgess et dans celui de Glasspool et Cooper. Il permet entre autre de lier des schémas de haut niveau qui n'ont pas encore de lien dans le gestionnaire des conflits. A noter que tout au long du processus, les informations essentielles au bon fonctionnement des modules sont conservées en mémoire de travail. C'est l'équivalent de l'espace de stockage «*World model*» dans la proposition de Glasspool et Cooper.

L'action intentionnelle, ou mise en œuvre du plan, peut alors commencer. Les schémas de haut niveau de l'agenda des schémas sont sélectionnés au fur et à mesure de leur réalisation («Implémentation de l'agenda des schémas») et agissent sur le gestionnaire des conflits par l'intermédiaire du schéma planifié. Le schéma de haut niveau en cours de réalisation reçoit alors directement l'influence *top-down* du système attentionnel superviseur. La sélection des schémas et l'exécution des actions obéissent aux mécanismes décrits par Cooper et Shallice (Cooper et Shallice, 2000, Cooper *et al.*, 2005) («Gestionnaire de conflit»). Pour assurer le bon déroulement de la tâche, les modules de réalisation effective interviennent dans l'action intentionnelle. Notre proposition est beaucoup plus développée que les précédents modèles (rejet/acceptation du schéma temporaire pour Shallice et Burgess et un seul module «*Action Monitoring*» pour Glasspool et Cooper).

Le module «Contrôle», pilier central de la réalisation effective, est un module décisionnel. Il reçoit les informations provenant du monde extérieur et des autres modules et vérifie le déroulement de l'action en contrôlant les pré et post conditions des schémas sélectionnés et désélectionnés par le gestionnaire des conflits. Si un problème est détecté, il se charge d'ajuster les traitements d'ajustement ou de correction, soit à l'échelle de l'action intentionnelle (micro re-planification), soit à l'échelle des processus de volonté et de planification (macro re-planification). La micro re-planification permet, soit de corriger une action mal faite, soit de trouver une alternative à une action qui ne peut être réalisée, soit d'ajouter un schéma que le CS a oublié de réaliser. Le schéma correcteur proposé au gestionnaire des conflits influencera directement la sélection des schémas appropriés pour l'ajustement («Micro re-planification»). A plus grande échelle (macro re-planification), l'intention en cours peut être arrêtée ou suspendue au profit de la génération d'une nouvelle intention, une nouvelle stratégie peut être demandée, ou encore la réalisation d'une intention suspendue précédemment peut être reprise. Les changements d'états et les décisions sur les intentions sont gérés par le module «Monitoring des intentions». Enfin, lorsque tous les schémas de l'agenda ont été réalisés, le résultat des actions réalisées est comparé avec l'intention de départ pour décider

de l'arrêt, de la reprise ou de la modification de l'intention courante («Évaluation finale»).

8.3.2 Définition des espaces de stockage et des données manipulées par le modèle

Rappel sur les données manipulées par le CS :

Dans leur première implémentation du gestionnaire des conflits, Cooper et Shallice (2000) définissent les trois types de données que manipule le gestionnaire des conflits. Chaque type (schéma, objet et ressource) est organisé en réseau et chaque élément du réseau est associé à une valeur d'activation permettant de contrôler sa sélection.

Le *schéma* correspond à l'unité fondamentale dans le comportement organisé. Les schémas peuvent avoir différents niveaux d'abstraction par rapport à un segment d'action orienté vers un but (niveau bas, intermédiaire et haut). Chaque schéma doit atteindre un but. En d'autres termes, les schémas sont des méthodes particulières pour atteindre certains buts. Un but peut être vu comme une condition qui doit être vérifiée dans le monde. Un but est donc défini par des conditions et par son état d'accomplissement. Les composants d'un schéma peuvent être vus comme une liste de sous-buts à réaliser. Tous les sous-buts d'un schéma doivent être accomplis pour que ce dernier puisse être considéré comme terminé.

Définition 1 *Un schéma est orienté-but. Il est défini par :*

- *un niveau d'abstraction*
- *un but à atteindre*
- *une liste de sous-buts à réaliser*
- *une valeur d'activation*
- *une liste de compétiteurs*

Définition 2 *Un but est défini par un état (accompli ou non), des pré-conditions (état initial) et des post-conditions (état final désiré).*

Les *objets* correspondent à la représentation interne des objets du monde. Chaque objet peut avoir des rôles différents à différents moments donnés. Par exemple, une bouteille peut être une cible à instant t et un contenant à un instant $t + 1$ après une action «verser».

Définition 3 *Un objet est défini par :*

- *une liste de rôles fonctionnels*
- *une liste de valeurs d'activation (une pour chaque rôle)*
- *des attributs physiques*

Les schémas requièrent l'allocation des *ressources* appropriées pour que leur exécution puisse être menée à bien (par exemple un schéma de bas niveau «prendre» a besoin de la ressource «main»). Ce sont les actions concrètes qui spécifient les ressources dont elles ont besoin. Quand une action est exécutée, c'est la ressource la plus appropriée qui lui est allouée. Les ressources sont elles aussi associées à des valeurs d'activation.

Les données manipulées par le SAS :

Les processus constituant le système manipulent des données (ou représentations des connaissances) qui peuvent simplement servir de communication entre les processus ou bien qui peuvent être stockées et réutilisées par différents processus à différents moments. La figure 8.3 illustre ces différents types de données. Les données qui circulent entre les différents processus sont représentées par les noms sur les flèches, et les données qui sont stockées dans les espaces de stockage (représentés par les ovales) sont listées à côté de chaque espace.

Une intention est un objectif à atteindre, c'est la première donnée que manipule notre système. On retrouve cette notion d'intention dans toutes les théories exécutives puisque par essence, les processus exécutifs sont les chefs d'orchestre du comportement intentionnel, ou comportement orienté par des buts. On retrouve aussi cette notion en Intelligence Artificielle, notamment dans la résolution de problèmes (but à résoudre). A noter que dans notre modèle, nous distinguerons la notion de *but*, élément attaché à chaque schéma dans le gestionnaire des conflits (cf. définition 2), de la notion d'*intention*, que l'on peut voir comme un but de haut niveau.

Définition 4 *Une intention est constituée d'un but à atteindre (cf. définition 2) et d'un état d'exécution (générée, en cours, achevée, suspendue, abandonnée), et est associée à des éléments essentiels.*

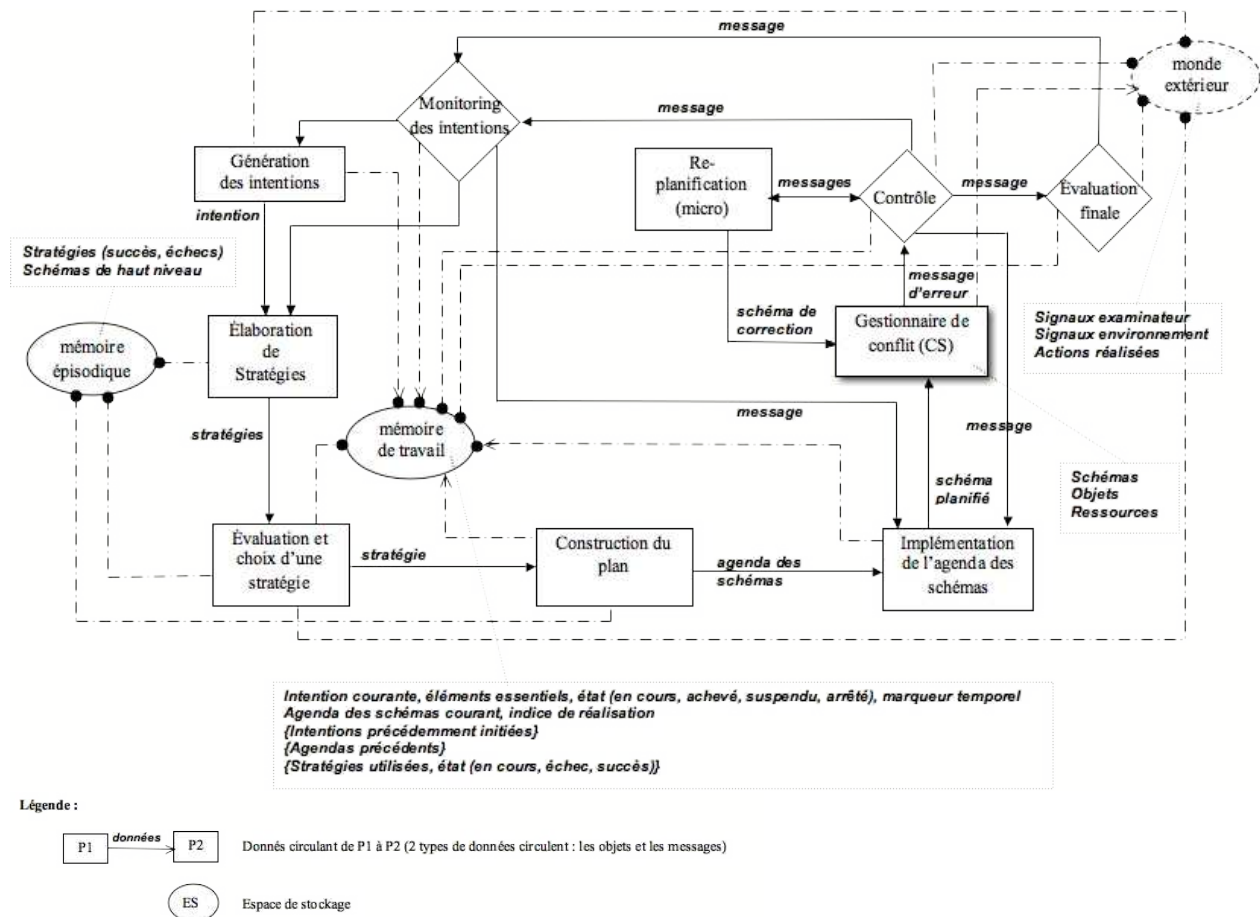


Figure 8.3 – Architecture globale du modèle et données manipulées par le système

Lorsqu'une intention est générée, des éléments essentiels vont lui être associés. Les éléments essentiels à la tâche sont extraits par le processus de génération des buts. Ils correspondent aux données importantes que vont utiliser les sujets pour réaliser la tâche. On retrouve cette notion chez Luria, pour qui les patients frontaux peuvent avoir des difficultés à identifier les éléments essentiels à la tâche. On la retrouve également dans nos expérimentations, lorsque les sujets se trompent pour adresser la lettre.

Définition 5 *Les éléments essentiels à une intention sont des éléments mnésiques de base qui permettent de définir les caractéristiques importantes de l'intention et qui vont servir aux différents processus exécutifs.*

La phase de résolution de problème permet de trouver les solutions qui peuvent être utilisées pour résoudre l'intention générée. Les solutions, également appelées stratégies, sont stockées

en mémoire épisodique avec les informations sur leurs précédents succès et/ou échecs. Nous nous inspirons de la définition des schémas d'action (cf. définition 1) pour définir le concept de *stratégie*. Chaque stratégie répond à un but de haut niveau associé à une intention. Les stratégies définissent, par le biais d'une liste de sous-buts, les grandes étapes qui la composent, tout en laissant libre le module de construction du plan de sélectionner les schémas appropriés. Une fois choisie, la stratégie sera associée à l'intention courante en mémoire de travail.

Définition 6 *Une stratégie est un élément exécutif de haut niveau, stocké en mémoire épisodique, qui propose une solution pour résoudre une certaine intention. Une stratégie est définie par :*

- *un but*
- *une liste de sous-buts à résoudre*
- *les précédents succès ou échecs*

Pour pouvoir mener à bien la réalisation de la solution choisie dans la phase de choix de stratégies, un plan est élaboré. Ce plan, ou schéma temporaire, est appelé «agenda des schémas» dans notre modèle. Il permet de connecter des schémas de haut niveau connus dans le gestionnaire des conflits mais qui n'ont aucun lien entre eux. Il veille ainsi au bon enchaînement et à la réalisation de ces schémas dans le gestionnaire des conflits.

On retrouve cette notion de lien dans la définition du plan que proposent Schank et Abelson (1977). Ils décrivent le plan comme un dépôt d'informations permettant de connecter des événements qui ne sont normalement pas connectés dans les scripts connus. Un plan décrit comment un état, ou événement, donné est pré-requisitionné ou dérivé d'un autre état, ou événement.

Définition 7 *L'agenda des schémas est défini comme une liste ordonnée de schémas de haut niveau.*

Pour résumer les différents concepts présentés, nous utiliserons l'exemple de la sous-tâche «obtenir une information» de notre expérimentation. L'intention générée est *obtenir_adresse_CCSTI*, avec le but *obtenir_une_adresse* et les éléments essentiels associés *CCSTI* et *Grenoble*. Les différentes stratégies possibles sont *chercher_dans_pages_jaunes*, *chercher_dans_pages_blanches* et *appeler_renseignements*. Chacune de ses stratégies répond au but *obtenir_une_adresse*. Si c'est la stratégie *chercher_dans_pages_jaunes* qui est sélectionnée (liste

de sous-buts = [*prendre_annuaire*; *chercher_par_rubriques*]), l'agenda des schémas correspondant sera la liste des schémas [*aller_au_bureau*; *ouvrir_annuaire*; *chercher_rubrique*; *copier_adresse_obtenue*; *fermer_annuaire*].

Les espaces de stockage :

Nous utiliserons deux espaces de stockage dans notre modèle : la mémoire épisodique et la mémoire de travail. Ces concepts sont fréquemment utilisés dans les différentes théories sur les processus exécutifs. Shallice et Burgess, notamment, utilisent les deux concepts pour leur modèle du système attentionnel superviseur (Shallice et Burgess, 1996).

1. Mémoire Episodique :

En psychologie cognitive, le concept de mémoire à long terme est subdivisé en deux composants : la mémoire procédurale et la mémoire déclarative, elle-même constituée par la mémoire épisodique et la mémoire sémantique. Bien que le concept de mémoire épisodique ait évolué au cours du temps, il est toujours défini comme un système de mémoire orienté vers le passé : il permet de lier nos connaissances étendues à des événements et expériences qui nous sont propres (Tulving, 2004). Son fonctionnement implique le système de mémoire sémantique mais va bien au-delà. Schank et Abelson fondent leur théorie des scripts sur la notion de mémoire épisodique puisque c'est là que sont stockés les séquences d'actions dont on a l'expérience (Schank et Abelson, 1977). Pour Shallice et Burgess, la mémoire épisodique est utilisée pour la résolution de problèmes, les processus y ont accès lors de la phase de recherche de la solution en profondeur (approfondissement progressif) (Shallice et Burgess, 1996). La mémoire épisodique fournit le matériel nécessaire pour confronter la situation nouvelle aux expériences passées.

Dans notre modèle, nous utiliserons le concept de mémoire épisodique pour le stockage des connaissances relatives à l'expérience propre. C'est là que sont stockées les stratégies connues pour résoudre des intentions particulières. Leurs succès et échecs dans le passé y sont renseignés. C'est aussi dans cet espace de stockage que sont conservés les scripts de haut niveau connus par le gestionnaire des conflits. Cette information sera utilisée par le module de «Construction du plan» en planification.

2. Mémoire de travail :

Contrairement à la mémoire épisodique, la mémoire de travail est une mémoire active

chargée de maintenir et de traiter des informations à court terme. Sa capacité est limitée, on donne souvent un empan mnésique de 7 ± 2 items (Miller, 1956). On associe très souvent la mémoire de travail aux processus exécutifs. Son rôle est de maintenir l'information pertinente aux traitements réalisés par les processus exécutifs (Carpenter *et al.*, 2000). Dans son modèle de mémoire de travail, Baddeley spécifie même un centre exécutif chargé de superviser l'intégration des informations et la coordination de trois sous-systèmes (boucle phonologique, calepin visuo-spatial et buffer épisodique) de capacité et de structures différentes (Baddeley et Sala, 1996, Baddeley, 2000).

Dans le modèle de Norman et Shallice, la mémoire de travail est utilisée dans la phase d'implémentation du schéma temporaire généré. Shallice et Burgess (1996) précisent que le concept de mémoire de travail se limite au but spécifique de maintenir le schéma temporaire actif, puisqu'il n'est pas déclenché automatiquement par les conditions environnementales. Dans leur implémentation en COGENT, Glasspool et Cooper (2002) utilisent un buffer appelé *mémoire de travail* qui sert non seulement à stocker toutes les informations manipulées par les processus internes, mais aussi à stocker les informations concernant la perception du monde extérieur (comme le feedback de l'expérimentateur).

Dans notre modèle, nous prendrons une définition simplifiée de la mémoire de travail par rapport au système fonctionnel décrit par Baddeley. Comme Glasspool et Cooper, nous utiliserons la mémoire de travail comme un espace de stockage maintenant les informations nécessaires au bon déroulement de la tâche en cours. Les processus du système y ont accès pour lire ou écrire des données (intention en cours, stratégie en cours, agenda des schémas utilisé, etc.).

8.3.3 Postulats et propositions définissant le modèle

8.3.3.1 Volonté ou génération des intentions :

C'est le composant fonctionnel «Génération des intentions» qui permet d'initier le processus de réalisation d'une tâche. Une intention est créée lorsque certains éléments internes ou externes se manifestent. Dans le modèle, le processus «Génération des intentions» a un accès aux données du monde extérieur. Dans le cas de nos expérimentations, c'est la consigne donnée par l'examineur qui est le déclencheur du processus de génération des intentions. Le processus «*Monitoring* des intentions» peut lui aussi commander la génération d'une nouvelle

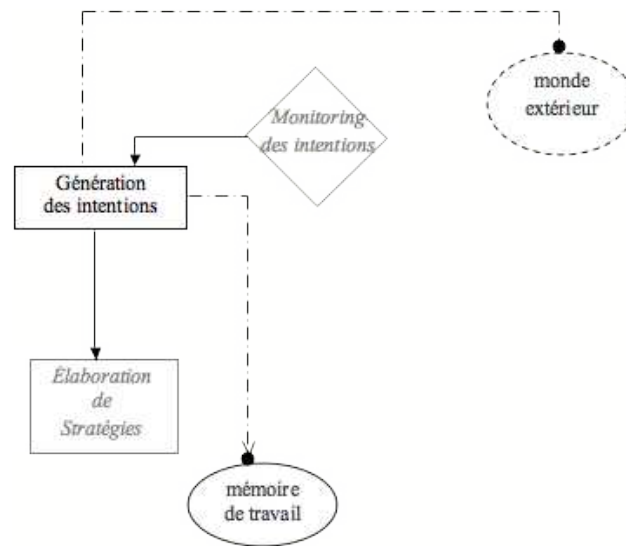


Figure 8.4 – Détail du modèle : génération des intentions (volonté)

intention lorsqu’une tâche intermédiaire non planifiée doit être réalisée pour que la tâche en cours de réalisation puisse être menée à bien. C’est le cas, dans notre expérimentation, lorsque le sujet doit chercher l’adresse : une nouvelle intention est générée.

Spécification 1 *La création d’une intention consiste à créer un enregistrement contenant le but, les pré-conditions et les post-conditions relatives à ce but, puis à le placer en mémoire de travail.*

Spécification 2 *Les éléments essentiels à la réalisation de cette nouvelle intention sont associés à cette dernière et stockés en mémoire de travail.*

On ajoute aux spécifications de l’intention une notion de temps. Un marqueur temporel est associé à l’intention lors de sa création. Le module «Monitoring des intentions» utilise ensuite cet indicateur de temps pour gérer le cycle de vie des intentions. En effet, les intentions peuvent être suspendues, reprises ou tout simplement arrêtées. Leur marqueur temporel sera mis à jour à chaque changement d’état. On retrouve cette notion de marque temporelle dans la spécification originale du SAS (Shallice et Burgess, 1996) avec le système de marqueur d’intentions. Il permet de formuler une intention et de la stocker en attendant que la stratégie et le plan soient élaborés en temps voulu.

Spécification 3 *Un marqueur temporel est associé à l'intention. Il correspond au cycle où a été créée l'intention.*

La spécification de ce composant reste très simple puisque l'objectif de ce travail de recherche vise à comprendre et à modéliser en priorité les mécanismes de contrôle exécutif (adaptation et ajustement). Quelques changements ont été apportés par rapport à la proposition d'implémentation du SAS par Glasspool et Cooper. En effet, dans leur modèle, les signaux extérieurs sont d'abord traités par un module «Perception et monitoring de l'action» avant d'être stockés en mémoire de travail, puis d'être traités par le module de génération des buts. Dans notre proposition, le composant de génération des intentions a un accès direct au monde extérieur. Nous utilisons cette simplification puisque nous ne nous intéressons pas à savoir comment les signaux extérieurs sont perçus. A noter aussi que, dans notre modèle, les processus de génération et de *monitoring* des intentions ont été séparés.

8.3.3.2 Planification :

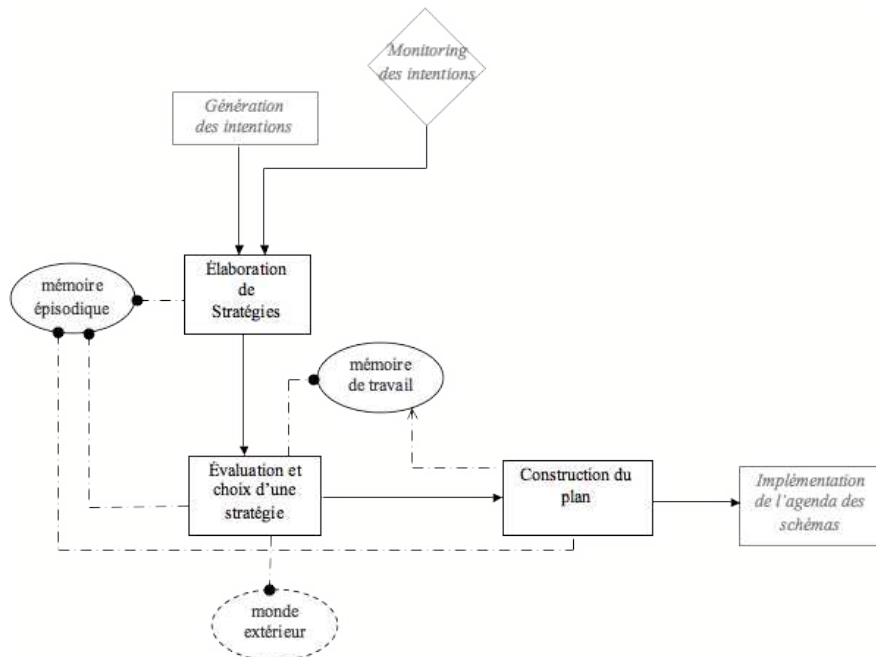


Figure 8.5 – Détail du modèle : planification

1. Élaboration des stratégies

Dans leurs spécifications du SAS, Shallice et Burgess proposent deux façons d'élaborer des stratégies : la génération spontanée de stratégie ou la résolution de problème (Shallice et Burgess, 1996). Dans la génération spontanée de stratégie, une solution nous vient immédiatement à l'esprit (le procédé n'est pas plus détaillé). Dans la deuxième manière, la solution est élaborée selon un procédé de résolution de problème : formation du problème, résolution en profondeur, suivie d'une phase de vérification de la solution. Le procédé utilise la mémoire épisodique qui fournit le matériel nécessaire pour confronter la nouvelle situation aux expériences passées (Schank, 1982). L'élaboration des stratégies fait directement référence à la résolution de problème en Intelligence Artificielle. Ce processus restant complexe, nous proposerons pour notre modélisation une définition simplifiée en s'inspirant des spécifications avancées par Shallice et Burgess. Nous utiliserons l'heuristique suivante : les stratégies élaborées sont des stratégies déjà utilisées dans le passé. Elles sont donc accessibles via la mémoire épisodique. On ne modélise pas la découverte initiale de ces stratégies.

Spécification 4 *Les stratégies élaborées sont récupérées par un processus d'accès à la mémoire épisodique. Ce sont les stratégies dont le but répond aux besoins fixés par le but courant qui sont récupérées.*

2. Évaluation et choix d'une stratégie

Une fois les stratégies élaborées, il faut choisir la stratégie la mieux adaptée à la situation. Le processus d'évaluation des stratégies prend en compte l'expérience passée du sujet grâce à la mémoire épisodique. Les stratégies y sont stockées avec des renseignements sur leurs précédents succès ou échecs. Nous nous inspirons ici du calcul de l'utilité d'une règle de production en ACT-R (Anderson, 1993) et du processus d'évaluation des candidats selon leurs arguments «pour» et «contre» de l'agent intelligent Domino (Fox et Das, 2000). Une fonction d'évaluation permet de calculer et d'associer une valeur à chaque stratégie générée précédemment. C'est la stratégie possédant la valeur la plus haute qui sera sélectionnée. Cooper et Glasspool (2002) proposent eux aussi une fonction d'évaluation très simplifiée dans leur implémentation du SAS en COGENT mais elle est trop dépendante de la tâche pour pouvoir être réutilisée de façon générique.

Le processus d'évaluation est aussi appelé lors d'ajustements, plus particulièrement lors de macro-replanification. En effet, lorsque le système juge la stratégie courante inefficace, il doit essayer de trouver une stratégie plus adaptée. La fonction d'évaluation doit alors prendre

en compte l'expérience présente, et ce grâce à la mémoire de travail. Les stratégies déjà essayées y seront stockées avec leur succès ou échec. Enfin, le choix de la stratégie dépend de l'environnement dans lequel on se trouve. Selon les objets que l'on a à disposition, on choisira plutôt telle ou telle stratégie.

Spécification 5 *Chaque stratégie générée est associée à une valeur d'utilité calculée par une fonction d'évaluation.*

Spécification 6 *C'est la stratégie dotée de la valeur d'utilité la plus haute qui est sélectionnée.*

Spécification 7 *La fonction d'évaluation prend en compte l'expérience passée (mémoire épisodique), l'expérience présente (mémoire de travail) et l'influence de l'environnement (monde extérieur). La valeur d'utilité d'une stratégie est calculée en fonction de ses succès et échecs.*

3. Construction de l'agenda des schémas

La construction de l'agenda des schémas (ou plan) revient à relier des schémas existants qui n'ont pas de liens entre eux en créant de nouveaux schémas de plus haut niveau. L'agenda des schémas consiste en une liste ordonnée de schémas de haut niveau. Dans cette proposition, le processus reste encore très simple. Nous proposons que les schémas de hauts niveaux connus soient stockés en mémoire épisodique. Cependant, une spécification plus pertinente devrait s'inspirer des travaux sur la planification en Intelligence Artificielle (parcours de graphe et minimisation des coûts) et en neuropsychologie (manipulation de scripts).

Spécification 8 *Le mécanisme de construction de l'agenda des schémas sélectionne dans la mémoire épisodique les schémas de haut niveau dont les buts s'enchaînent de façon cohérente pour répondre au but et à la stratégie choisie.*

Nous n'aborderons pas la question de l'acquisition de ces nouveaux schémas dans le CS, qui fait partie d'une autre problématique de recherche : celle de l'apprentissage de nouveaux comportements (nouveaux schémas).

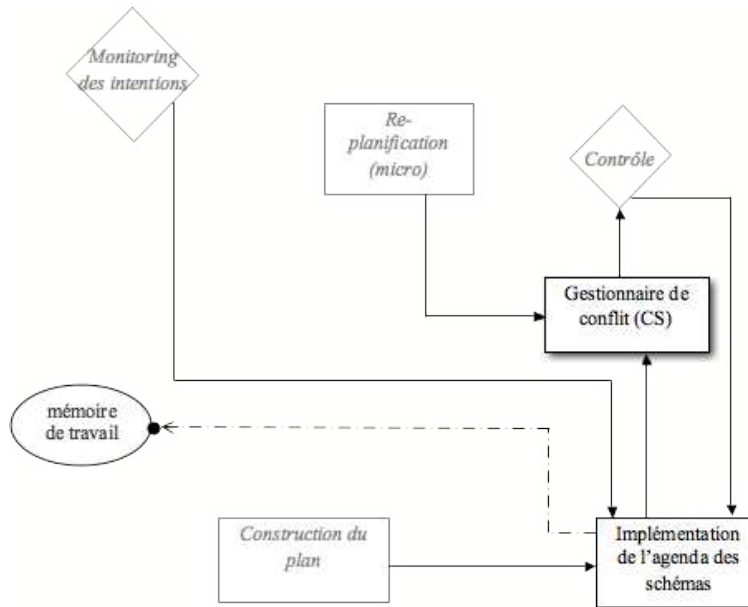


Figure 8.6 – Détail du modèle : action intentionnelle

8.3.3.3 Action intentionnelle :

1. Implémentation de l'agenda des schémas

Une fois le plan établi, il faut le mettre en œuvre en sélectionnant les schémas appropriés. C'est le rôle du gestionnaire des conflits qui, selon les valeurs d'activation des schémas, sélectionne et désélectionne les schémas pertinents. Le SAS peut influencer ce processus par l'intermédiaire de l'excitation (positive ou négative) d'un certain schéma, appelé *schéma planifié*. Le rôle du module «Implémentation de l'agenda des schémas» est justement de maintenir le schéma de haut niveau pertinent, planifié par le SAS, de façon à ce qu'il reçoive l'excitation nécessaire à sa sélection par le gestionnaire des conflits³. Au fur et à mesure de la réalisation du plan, le module «Implémentation de l'agenda des schémas» est chargé d'«exciter» le schéma de haut niveau programmé dans l'agenda des schémas. Une fois que le schéma est réalisé, c'est-à-dire que son but a été accompli, le module doit permettre d'«exciter» le schéma de haut niveau suivant. C'est un des processus qui assure la communication entre le SAS et CS : il permet de faire le lien entre le résultat du processus de planification et la réalisation des actions. Par exemple, les schémas «remplir formulaire», «préparer une enveloppe» et «poster enveloppe» ne sont pas liés dans le réseau de schémas du CS, mais le

³Techniquement, dans le CS, ce schéma recevra l'influence *top-down* directe du SAS (valeur d'activation à 1).

sont dans l'agenda des schémas «remplir un formulaire et le poster». Au début, le schéma «remplir formulaire» sera implémenté comme *schéma planifié* dans le CS. Lorsque le CS aura fini d'exécuter ce schéma, ce sera le schéma «préparer une enveloppe» qui sera implémenté comme *schéma planifié*, et ainsi de suite.

Le module «Implémentation de l'agenda des schémas» permet aussi de gérer les interruptions et les reprises dans la réalisation d'intentions. En effet, lorsque la situation est modifiée et qu'elle demande une macro re-planification (changement de stratégie ou d'intention), le schéma planifié dans le CS doit être inhibé pour que la réalisation de la tâche soit momentanément suspendue. En l'inhibant, le schéma correspondant ne reçoit plus l'excitation du SAS, son activation va donc diminuer le temps qu'un autre schéma devienne le «schéma planifié» par le SAS. Alternativement, lorsque la réalisation d'une intention préalablement suspendue est reprise, l'agenda des schémas associé à cette intention doit être ré-implémenté dans le CS. Pour pouvoir reprendre une intention là où elle avait été laissée en suspens, nous utiliserons la notion d'*indice de réalisation*. Associé à l'agenda, il indique le dernier schéma de haut niveau implémenté dans le CS. Grâce à cet indice, lors de la reprise d'une intention, le schéma de haut niveau concerné recevra l'excitation nécessaire pour que les schémas qui étaient sélectionnés soient re-sélectionnés et pour que la réalisation puisse être reprise là où elle avait été suspendue (correspond à ce que l'on se souvient avoir fait). Les pré-conditions associées à chaque but permettent de ne pas re-sélectionner des schémas déjà accomplis précédemment (correspond au contexte et à l'influence de l'environnement).

Spécification 9 *L'agenda des schémas en cours de réalisation est conservé en mémoire de travail. Un indice de réalisation lui est associé. Cet indice permet d'indiquer le schéma de haut niveau implémenté comme schéma planifié dans le gestionnaire des conflits.*

Le traitement de ce module est conditionné par les messages qu'il reçoit des autres modules. Il utilise et met à jour la mémoire de travail pour maintenir les informations pertinentes sur le déroulement de la tâche (agenda courant et indice de réalisation), utiles notamment lors de la reprise d'une intention.

Algorithme 1 *Algorithme de traitement des messages en fonction de leur source. Si le message est transmis par :*

1. *Le module «Construction du plan», alors :*

le premier schéma de l'agenda des schémas est placé comme schéma planifié dans le CS
l'indice de réalisation est mis à jour en mémoire de travail
le schéma planifié est mis à jour

2. *Le module «Monitoring des intentions», avec l'opération «inhibition du schéma planifié», alors :*

le schéma de haut niveau est enlevé du schéma planifié (arrêt du schéma planifié)

3. *Le module «Monitoring des intentions», avec l'opération «reprise d'une intention», alors :*

l'agenda associé à l'intention et à la stratégie reprises devient l'agenda courant

le schéma planifié est mis à jour selon l'indice de réalisation associé à cet agenda

(la configuration du CS est mise à jour)

4. *Le module «Contrôle», alors :*

le schéma de haut niveau suivant dans l'agenda des schémas est sélectionné

l'indice de réalisation est mis à jour en mémoire de travail

le schéma planifié est mis à jour

2. Gestionnaire de conflit (CS)

Le gestionnaire des conflits est chargé de sélectionner le schéma le plus approprié aux objectifs du schéma planifié en cours. À chaque cycle d'exécution, il actualise les valeurs d'activation des schémas, des objets et des ressources, puis il sélectionne et désélectionne les schémas pertinents et ordonne l'exécution des actions correspondants aux schémas de bas niveau sélectionnés.

Les détails de fonctionnement du gestionnaire des conflits sont donnés dans la spécification de Cooper et Shallice (Cooper *et al.*, 2005). Les modifications que nous avons apportées au module sont minimales. Elles correspondent essentiellement à l'ajout d'éléments dans la définition des schémas (cf. spécifications sur les schémas dans la description du module «Contrôle»), à la redéfinition du calcul d'activation des schémas et à l'ajout d'un mécanisme de communication avec le module «Contrôle». Concernant le calcul d'activation des schémas, il faut y intégrer l'influence du schéma correcteur. Ce concept, défini ci-après dans les spécifications du module «Micro re-planification», permet d'exciter un schéma particulier en phase d'ajustement. Il doit donc recevoir une excitation *top-down* très forte.

Spécification 10 *L'influence top-down I_s sur un schéma est calculée selon l'équation :*

$$I_s = \begin{cases} 1 & \text{Si le but de } s \text{ est directement déclenché par le SAS} \\ & \text{(schéma correcteur)} \\ 1 & \text{Si le but de } s \text{ est directement déclenché par le SAS} \\ & \text{(schéma planifié; pas de schéma correcteur)} \\ \frac{1}{n} \times A_{source} & \text{Si le schéma source de } s \text{ est sélectionné} \\ & \text{et que toutes les pré-conditions du but de } s \text{ sont atteintes} \\ 0 & \text{dans les autres cas} \end{cases}$$

Le mécanisme de communication permet d'envoyer des messages au module fonctionnel de contrôle concernant le schéma planifié. Dans le modèle de Cooper et Shallice (2005), le CS arrête son traitement lorsque le but du schéma planifié est accompli. Dans notre modèle, cette information est transmise au SAS par l'intermédiaire du module «Contrôle», de façon à ce que ce soient les processus de haut niveau qui gèrent la décision d'arrêter l'action ou non.

Spécification 11 *Lorsque le schéma planifié est réalisé, c'est-à-dire que le but associé à ce schéma est accompli, le gestionnaire des conflits transmet le message contenant cette information au module fonctionnel de contrôle.*

8.3.3.4 Réalisation effective :

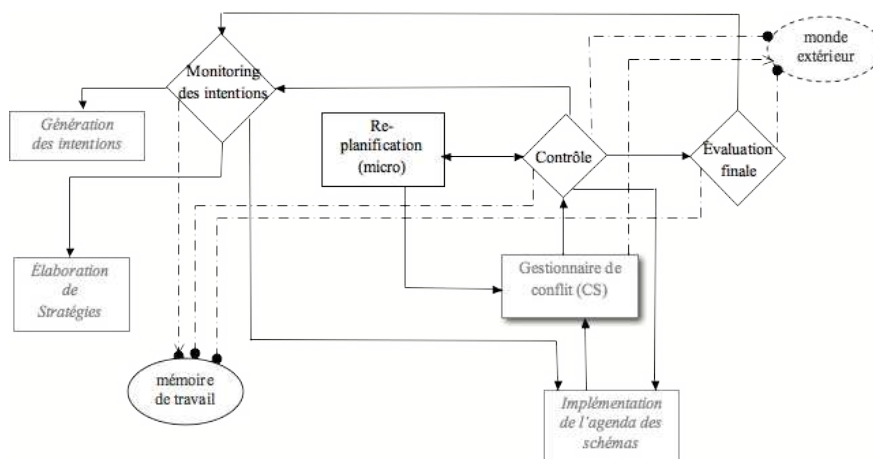


Figure 8.7 – Détail du modèle : réalisation effective

1. Contrôle

Le module «Contrôle» est un module décisionnel qui reçoit différents signaux, internes ou externes et, selon leur contenu et l'état du système, les aiguille vers le bon module. Par exemple, grâce aux informations qu'il reçoit du gestionnaire des conflits, de la mémoire de travail et du monde extérieur, ce module est capable de demander un ajustement face à un problème ou à une situation imprévue, ou une correction face à une erreur. Il permet aussi de suivre l'évolution de l'exécution et de passer le relais au module pertinent pour l'enchaînement des buts de haut niveau ou pour l'évaluation finale de la tâche.

Concrètement, le rôle du contrôle est de :

- Prendre en charge les nouveaux signaux de l'environnement, qu'ils soient dynamiques ou statiques (par exemple, l'intervention de l'examineur ou un site internet qui envoie un message d'erreur).
- Contrôler le déroulement de l'action (contrôler le plan et les actions réalisées, selon le modèle de Luria). Dans notre modèle, ce contrôle se fait au moyen de pré et post conditions associées aux schémas. Elles sont vérifiées lors de la sélection et de la désélection des schémas.
- Maintenir une attention plus soutenue lors de la re-planification d'une action ou lors d'une situation complexe.
- Aiguiller le traitement vers une re-planification lorsqu'une erreur ou un problème a été détecté. Différents scénarios sont alors possibles : selon la nature du problème, une micro re-planification sera choisie plutôt qu'une macro re-planification, et vice et versa. Ou encore, lorsque plusieurs tentatives de micro re-planification se sont avérées infructueuses, une macro re-planification doit être initiée.
- Contrôler lorsque le but du schéma planifié est atteint et aiguiller la suite du traitement vers le processus pertinent. Il s'agit soit de passer au schéma de haut niveau suivant (message à «Implémentation de l'agenda des schémas»), soit de faire l'évaluation finale (message à «Évaluation finale»).

Pour le bon fonctionnement du traitement du composant «Contrôle», certaines données sont indispensables :

- Le mode de contrôle [contrôle ou re-planification] : le module «Contrôle» ne réagit pas de la même manière lorsqu'il a déjà entamé une phase de re-planification. Par exemple, il demandera plusieurs re-planifications à un niveau micro avant de demander une re-planification à un niveau macro. Le mode de contrôle permet de renseigner l'état du module.

- Le but à résoudre : le module «Contrôle» a besoin de connaître le but ou sous-but qui pose problème pour pouvoir tenter différentes méthodes de re-planification.
- Le schéma erroné : le module «Contrôle» connaît aussi le schéma dont la réalisation n'a pas été faite ou a été mal faite, en d'autres termes il connaît l'action qui n'a pas abouti.
- Un compteur d'essai : le module «Contrôle» doit pouvoir changer de mode de re-planification et passer en macro re-planification lorsque la micro re-planification ne fonctionne pas. Le compteur permet de connaître le nombre d'essais réalisés en micro re-planification pour tenter de résoudre un problème donné.

La nécessité et l'utilisation de ces données sont détaillées au fur et à mesure de la description de l'algorithme de traitement du composant «Contrôle». Le traitement effectué par ce module peut se décomposer en trois étapes : (1) réception ou construction des messages de contrôle ; (2) appréciation et prise en compte ou non des messages ; (3) traitement des messages en fonction des informations qu'ils contiennent et du mode de contrôle dans lequel se trouve le module (contrôle ou re-planification).

Spécification 12 *Les messages que le module «Contrôle» reçoit sont constitués des informations suivantes : source (signal extérieur, contrôle, CS, micro re-planification) / description (action mal faite, action non réalisable, procédure non réalisable, stratégie non réalisable, oubli, micro re-planification impossible, pre/post-conditions ok, schéma planifié accompli) / but à résoudre / schéma erroné.*

Dans la première étape du traitement, le module «Contrôle» réceptionne les messages. Pour simplifier, on considère que ce module ne reçoit, pendant un cycle d'exécution, qu'un seul message à la fois⁴. Il peut recevoir un message du monde extérieur. Dans le modèle que nous proposons ici, un raccourci a été pris dans l'environnement de façon à simplifier la modélisation des mécanismes externes aux mécanismes exécutifs. Les signaux extérieurs sont directement modélisés dans l'environnement sous forme de messages. Pour être au plus prêt de la réalité, il faudrait modéliser les mécanismes cognitifs relatifs à la perception du signal de l'environnement et à son interprétation avant de les intégrer au module «Contrôle» (modules intermédiaires entre le monde extérieur et le module de contrôle). Les messages que nous modélisons dans le monde extérieur correspondent aux interventions de l'examineur ou aux indices environnementaux d'erreurs (par exemple, message d'erreur d'un site internet

⁴Il faudrait, en réalité, utiliser une file de traitement des messages pour pouvoir traiter différents messages au cours du même cycle d'exécution.

ou message d'erreur vocal au téléphone). Les informations que contiennent ces messages sont donc déjà analysées en terme de description du problème. Ultérieurement, d'autres types de messages pourraient être pris en compte par le module «Contrôle», comme les interruptions (par exemple, le téléphone sonne alors que la personne est en train de faire une activité). En terme de signaux internes, deux modules du modèle peuvent envoyer un message au module «Contrôle» : le CS, si le schéma planifié est terminé (i.e. le but du schéma planifié est accompli), et le module «Micro re-planification», si aucune solution au niveau micro n'a été trouvée. Enfin, le module «Contrôle» peut lui même générer un message lors de la vérification des pré et post conditions des schémas sélectionnés et désélectionnés par le CS. C'est ce que l'on appelle le contrôle des actions réalisées par rapport au plan. À l'origine, ce traitement est proposé par Cooper dans le gestionnaire des conflits. Cooper souligne cependant le fait que le principe, plus complexe que celui implémenté, devrait être pris en charge par les processus de haut niveau du SAS. C'est donc le module «Contrôle» qui vérifiera, dans notre modèle, les conditions des schémas. Lors de la vérification des pré et post conditions, un raccourci de modélisation sera pris pour identifier le problème ou détecter l'erreur. Nous utiliserons le même type de raccourci que celui utilisé pour traiter les signaux de l'environnement. De cette manière, nous évitons d'entrer dans la modélisation des mécanismes de perception et d'interprétation de l'erreur. Différents types d'erreurs seront pré-reconnus dans les mécanismes de vérification des pré et post conditions⁵. De l'analyse de l'expérimentation réalisée (cf. Chapitre 6), nous avons dégagé quatre types d'erreurs, qui selon leur nature et le mode de contrôle du module, donnent lieu à des traitements différents en termes d'ajustement et de re-planification. On considère que si des pré-conditions d'un schéma ne sont pas vérifiées, alors que ce schéma aurait dû être sélectionné d'après le plan, on se trouve devant un problème d'oubli d'une étape ou de mauvais séquençage. Si les post-conditions d'un schéma qui vient d'être désélectionné ne sont pas vérifiées, plusieurs cas de figure se présentent : soit l'action a été mal faite, soit l'action est non réalisable, soit la procédure choisie ne marche pas, soit la stratégie choisie ne marche pas.

Lors des expérimentations, nous nous sommes aperçus que les sujets ne contrôlent pas toujours très bien leurs actions. Certains sujets jeunes commettent des erreurs d'inattention lorsque la séquence d'actions est bien connue (exemple : remplissage erroné de leur adresse dans le formulaire) ou lorsqu'ils négligent la vérification du résultat de leur action (exemple : oubli de mettre le formulaire dans l'enveloppe avant de la fermer). Avec l'altération cognitive,

⁵Dans l'implémentation du CS proposée par Cooper, les algorithmes de vérification des pré et post conditions des schémas ne sont pas génériques et sont redéfinis pour chaque schéma. Nous pouvons donc facilement y insérer nos mécanismes de reconnaissance d'erreur.

des troubles du contrôle apparaissent, et c'est dans ces cas que les sujets ne vont pas s'apercevoir de leurs erreurs ou ne vont pas s'ajuster face à un problème. Pour pouvoir rendre compte de ces observations dans le modèle, une notion d'attention portée aux messages reçus a été introduite dans le module «Contrôle». Ce dernier ne sera sensible aux informations reçues que si l'intensité de leur signal est suffisamment importante par rapport au degré d'attention que l'on porte à la tâche en cours de réalisation. En d'autres termes, les messages reçus sont associés à une force de signal et ne seront traités que si cette force dépasse un certain seuil d'attention. La force du signal associée aux messages reçus dépendra d'un bruit aléatoire, afin de modéliser les différences individuelles et les erreurs de négligence de contrôle chez les sujets jeunes. Le seuil d'attention de contrôle variera selon le niveau d'altération cognitive pour modéliser les erreurs de contrôle observées chez les personnes souffrant de troubles exécutifs. L'utilisation d'un système sub-symbolique permet une souplesse dans le traitement des informations relatives au contrôle que ne pourrait pas assurer une représentation purement symbolique. Ce processus d'évaluation de l'intensité du message correspond à la *phase d'appréciation*, deuxième étape de l'algorithme de traitement du module «Contrôle».

Spécification 13 *Chaque message reçu par le module «Contrôle» est associé à une force de signal.*

Spécification 14 *Le seuil d'attention de contrôle correspond au seuil de force de signal en-dessous duquel les messages ne sont pas pris en compte pour le traitement du module «Contrôle». Ce seuil varie selon les sujets et selon leur niveau d'altération cognitive.*

Le contrôle du déroulement de l'action (vérification des pré et post conditions) se fait dans la première étape de l'algorithme du module «Contrôle», avant l'appréciation du message. Il s'agit d'une vérification automatique, effectuée pour chaque cycle, lorsqu'un schéma est sélectionné ou désélectionné. C'est seulement en fonction du degré d'attention de contrôle que le résultat de la vérification sera pris en compte ou non. Ce processus peut s'apparenter, pour la personne, à un contrôle inconscient. En d'autres termes, la personne s'aperçoit d'une erreur qu'elle a commise sans avoir eu conscience de contrôler explicitement son action. C'est le cas lorsque la séquence d'action est bien connue ou routinière. Lorsque le déroulement de l'action nécessite une attention de contrôle plus soutenue, comme c'est le cas pour une situation complexe ou lorsqu'un ajustement est en cours, on bascule dans un contrôle conscient. Dans ce cas, l'intensité des signaux reçus est plus forte. Pour pouvoir rendre compte de ces différences, nous ajouterons une information dans la définition des schémas : le niveau d'attention. Pour

simplifier, on ne définira que deux niveaux d'attention (bas ou élevé) selon que le schéma requiert beaucoup d'attention ou non pour être réalisé de façon satisfaisante⁶.

Spécification 15 *Les schémas indiquent, dans leur spécification, le niveau d'attention dont ils ont besoin. Le niveau d'attention peut être soit bas, soit élevé.*

Spécification 16 *La force de signal des messages varie selon différents paramètres, dont :*

- *le mode de contrôle du module «Contrôle» : la force du signal augmente si le module est en mode re-planification*
- *la source du signal : la force de signal augmente si le message reçu provient de l'extérieur*
- *le niveau d'attention du schéma planifié ou du schéma en cours : la force du signal augmente si le schéma demande un niveau d'attention élevé*
- *un bruit aléatoire*

Si son intensité est suffisamment forte, le message va être pris en compte par le module «Contrôle» : c'est la phase de traitement du message à proprement parlé, ou troisième étape de l'algorithme. Dans ce cas, le module «Contrôle» va traiter les informations contenues dans le message et, selon la situation, décider du module auquel il faut passer le relais. Le module «Contrôle» peut avoir des interactions avec les modules «Micro re-planification», «Monitoring des buts», «Évaluation finale» et «Implémentation de l'agenda des schémas».

Un des rôles les plus importants du module «Contrôle» est de superviser les mécanismes d'ajustement ou de correction. Il doit aiguiller le traitement vers une re-planification locale (micro) ou globale (macro) lorsqu'une erreur ou un problème a été détecté. En intelligence artificielle, des planificateurs utilisent des agents spécialisés en re-planification lorsque l'exécution du plan initial ne se passe pas comme prévu (Russell et Norvig, 2003). Plutôt que de relancer le processus de planification dans sa globalité, ces agents vont chercher une solution à partir du nouvel état pour rejoindre l'ancien plan. Nous retrouvons ce processus (micro re-planification dans notre contexte) dans l'observation des sujets, mais pas seulement. En effet, au cours des expérimentations, nous nous sommes aperçus que les sujets utilisent différents scénarios d'ajustement. Les sujets jeunes, par exemple, vont avoir tendance à passer rapidement en macro re-planification si la solution micro choisie débouche sur une impasse alors que les personnes âgées et les personnes MCI-MA vont essayer plusieurs tentatives à un

⁶On pourrait, pour être plus juste en terme de modélisation, associer une valeur numérique (dans un intervalle prédéfini caractérisant les degrés possibles) d'attention aux schémas.

niveau micro (plusieurs fois la même solution ou différentes alternatives) avant de passer à un niveau de macro re-planification. Nous pouvons en déduire, pour notre algorithme, d'une part, que l'orientation vers une solution micro ou macro dépend des solutions précédemment utilisées et, d'autre part, que le choix dépend des sujets et des populations observées (variabilité inter et intra populations). Pour rendre compte de ces mécanismes, on introduit la notion de *mode de contrôle* qui permet de spécifier l'état du module. Soit le module est en mode «contrôle» : le gestionnaire des conflits sélectionne et désélectionne les schémas selon le plan établi. Soit le module est en mode «re-planification» : une phase d'ajustement a été initiée suite à la détection d'une situation anormale. Pour rendre compte de la variabilité des méthodes d'ajustement et des différences entre populations, on introduit un système sub-symbolique dans le module de contrôle : une valeur et un seuil de reconduite de micro-replanification permettent au module «Contrôle» de décider quand passer d'un ajustement local à un ajustement global.

Spécification 17 *Le module «Contrôle» est associé à une valeur de reconduite de micro-replanification. Cette valeur s'initialise lors du passage en mode «re-planification» et varie selon différents facteurs :*

- *Elle augmente avec le nombre de tentatives de résolution du problème en micro-replanification (compteur d'essais).*
- *Elle augmente s'il n'y a pas ou plus d'alternatives connues.*
- *Elle diminue si des alternatives connues n'ont pas été utilisées.*

Spécification 18 *Le seuil de reconduite en micro-planification est celui à partir duquel la micro-planification sera abandonnée pour passer en macro-planification (on considère alors le but à résoudre comme un problème nécessitant une résolution de problème à grand échelle).*

Spécification 19 *La description des schémas spécifie le nombre d'alternatives connues⁷.*

Pour parfaire le mécanisme de décision du passage de micro à macro, nous avons observé en détail les séquences d'actions des sujets (cf. section 6.3). Nous avons remarqué que ce choix dépend de la nature de la perturbation ou de l'action qui pose problème. Nous avons dégagé deux notions supplémentaires pour l'algorithme.

⁷Notion à distinguer de la notion de «compétiteurs du schéma» proposée dans l'implémentation du CS par Cooper et Shallice (2000). On parle, dans notre modèle, des schémas qui partagent le même but alors que les compétiteurs partagent uniquement le même niveau (élevé, moyen, bas).

Premièrement, si la séquence qui pose problème est indispensable au bon déroulement de l'action (par exemple, si le stylo ne marche pas, le formulaire ne pourra pas être rempli et donc la tâche ne pourra pas être réalisée de façon satisfaisante), une macro re-planification sera plus vite mise en œuvre. Cette notion d'importance a été ajoutée à la spécification de base des schémas. Chaque schéma est défini par un but et par une liste de sous-buts à réaliser. On associe à chaque sous-but une importance par rapport au but du schéma. Cette spécification est ensuite utilisée par l'algorithme de décision.

Spécification 20 *La description des schémas spécifie l'importance des sous-buts d'un schéma pour permettre l'accomplissement de son but. Un sous-but SB d'un but B peut-être obligatoire (si SB n'est pas réalisé, B ne peut pas être accompli), normal (si SB n'est pas réalisé mais si les post-conditions de B sont vérifiées, B peut être accompli) ou optionnel (si SB n'est pas réalisé, B peut être accompli).*

Deuxièmement, la catégorisation de l'erreur⁸ influence le processus de décision pour le premier ajustement, à savoir lorsque le module «Contrôle» est en mode contrôle. Comme nous l'avons présenté dans la première étape du traitement, les différents types d'erreurs dégagés à partir des observations de l'expérimentation donnent lieu à différents scénarios de re-planification. En mode contrôle, lorsqu'un problème de type «stratégie non réalisable» est rencontré, un processus de macro re-planification est directement initié : on doit trouver une stratégie plus adaptée (le traitement passera d'abord par l'intermédiaire du module «Monitoring des intentions»). Lorsqu'un problème de type «oubli» ou «action mal faite» est rencontré, on initie directement une phase de micro re-planification. Dans le premier cas, on considère qu'un schéma initialement prévu n'a pas été réalisé, il est donc connu du CS et le module «Micro re-planification» pourra facilement proposer un schéma correcteur. Dans le deuxième cas, l'action qui a été mal réalisée est recommencée. Enfin, lorsqu'un problème de type «action non réalisable» ou «procédure non réalisable» est rencontré, la décision dépend de l'importance du schéma qui pose problème par rapport à l'ensemble de la tâche. Plus précisément, si la complétion du but du schéma est obligatoire et qu'il n'existe pas d'autres alternatives possibles pour réaliser ce but, on passe directement en macro re-planification. Par contre, si des alternatives sont connues, ou si la complétion du but est normale, se sera une phase de micro re-planification qui sera initiée.

Lorsqu'une phase de micro re-planification a été initiée, le module «Contrôle» passe en mode

⁸Il faut entendre ici le terme «erreur» au sens de description d'une situation anormale.

re-planification. La sélection et désélection des schémas dans le CS est maintenant influencée par le schéma correcteur. La phase d'ajustement se termine lorsque le but du schéma correcteur est accompli. Le schéma correcteur doit alors être inhibé pour que la tâche reprenne son cours de réalisation normal. Le module «Contrôle» repasse alors en mode contrôle. Si par contre, le but du schéma correcteur n'est pas accompli et qu'un message d'erreur parvient au module «Contrôle», on considère que l'ajustement n'a pas réussi et qu'il faut essayer une autre solution. Pour simplifier l'algorithme nous avons considéré que la nature du problème ne change pas tant qu'un problème est en cours de résolution : c'est le même but à résoudre⁹. Dans ce cas, c'est le mécanisme sub-symbolique de reconduite de re-planification qui est utilisé pour prendre la décision entre micro ou macro re-planification. Enfin, si le message reçu par le module «Contrôle» provient du module «Micro re-planification», aucune solution à l'échelle micro n'a été trouvée. Il faut alors passer en macro re-planification (uniquement si l'importance du but est définie comme obligatoire).

Algorithme 2 *Algorithme général du module «Contrôle» :*

Pour simplifier l'écriture de l'algorithme, nous noterons les descriptions du message de la manière suivante :

- [a] *action mal faite*
- [b] *action non réalisable*
- [c] *procédure non réalisable*
- [d] *stratégie non réalisable*
- [e] *oubli*
- [f] *pré/post-conditions ok*
- [g] *micro re-planification impossible*
- [h] *schéma planifié accompli*

1. Première Étape : Construction du message

- *Réception d'un signal du monde extérieur :*

Ce message est envoyé lors du signalement d'une erreur par l'intermédiaire d'un agent de l'environnement.

m (signal extérieur, [a,b,c,d,e], but erroné, [schéma erroné, -])

⁹Nous n'avons pas observé chez les patients de changement de but à résoudre pendant une phase d'ajustement.

– Réception d'un message du CS :

Ce message est envoyé par le gestionnaire des conflits lorsque le schéma planifié est accompli.

m (CS, [h], -, -)

– Réception d'un message du module «Micro re-planification» :

Ce message est envoyé, uniquement en mode re-planification, lorsque le module «Micro re-planification» ne trouve pas de solution pour résoudre le problème rencontré.

m (micro re-planification, [g], but erroné, schéma erroné)

– Vérification des pré et post conditions des schémas :

Ce message est construit et envoyé par le module «Contrôle» lui-même : chaque fois qu'un schéma est sélectionné, l'état de ses pré-conditions est vérifié. Si l'une ou plusieurs des pré-conditions ne sont pas vérifiées, on considère qu'un schéma antérieur n'a pas été réalisé (oubli). Chaque fois qu'un schéma est désélectionné, l'état de ses post-conditions est vérifié. Si l'une ou plusieurs de ses post-conditions ne sont pas vérifiées, différents problèmes peuvent être identifiés selon les indices environnementaux (action mal faite, action non réalisable, etc.).

si *Problème de pré-condition alors*

| m (contrôle, [e], but erroné = pré-condition non vérifiée, schéma sélectionné)

si *Problème de post-condition alors*

| m (contrôle, [a,b,c,d], but erroné = post-condition non vérifiée, schéma désélectionné)

si *Pré et post conditions ok alors*

| m (contrôle, [f], -, -, schéma sélectionné ou désélectionné)

2. Deuxième Étape : Appréciation du message

Données : F_s : Force du signal ; S_a : Seuil d'attention de contrôle

si $F_s < S_a$ **alors**

| Fin du traitement

sinon

| Traitement du message

3. Troisième Étape : Traitement du message

(a) *Quel que soit le mode :*

– *message schéma planifié accompli [h] :*

initialisation des données indispensables

si *l'agenda des schémas est terminé* **alors**

| message à «Evaluation Finale»

sinon

| message à «Implémentation de l'agenda des schémas»

(b) *En mode CONTRÔLE :*

– *message pré/post-conditions ok [f] :*

Pas de traitement spécifique (fin du traitement)

– *message action mal faite [a] et message oublié [e] :*

mode de contrôle = re-planification

mise à jour des données indispensables (but à résoudre, schéma, compteur d'essais)

message à «Micro re-planification» avec l'opération «Correction» pour [a] et l'opération «Ajout de schéma» pour [e]

– *message action non réalisable [b] et message procédure non réalisable [c] :*

si *le but du schéma est un sous-but obligatoire ET le schéma n'a pas d'alternative* **alors**

| message à «Monitoring des intentions» avec l'opération «Nouvelle intention»

sinon

| **si** *(le but du schéma est un sous-but obligatoire ET le schéma a des alternatives) OU (le schéma est un sous-but normal)* **alors**

| mode de contrôle = re-planification

| mise à jour des données indispensables (but à résoudre, schéma, compteur d'essais)

| message à «Micro re-planification» avec l'opération «Changer d'action» pour [b] et

| l'opération «Changer de procédure» pour [c]

– *message stratégie non réalisable [d] :*

message à «Monitoring des intentions» avec l'opération «Nouvelle stratégie»

(c) *En mode RE-PLANIFICATION :*

Pour simplifier l'algorithme, nous supposons qu'en mode re-planification, il ne peut

y avoir un message d'oubli (pré-conditions non vérifiées).

– *message pré/post-conditions ok [f] :*

si *le but du schéma correcteur est accompli* **alors**

mode de contrôle = contrôle

initialisation du compteur d'essais et suppression des éléments en mémoire de travail (but à résoudre, schéma)

message à «Micro re-planification» avec l'opération «Inhibition du schéma correcteur» (Fin du traitement)

sinon

Fin de traitement (le schéma correcteur est maintenu)

– *message action mal faite, action non réalisable et procédure non réalisable [a,b,c] :*

On considère que les messages concernent le même but à résoudre (si l'on a commencé un ajustement pour un problème donné, il ne peut y avoir un autre problème).

Données : V_r : valeur de reconduite de micro-replanification et S_r : seuil de reconduite de micro-replanification

calcul de V_r

si $V_r > S_r$ **alors**

si *importance du schéma = obligatoire ou normal* **alors**

initialisation du compteur d'essais et suppression des éléments en mémoire de travail (but à résoudre, schéma)

message à «Monitoring des intentions» avec l'opération «Nouvelle intention» ou «Nouvelle stratégie» selon la description de l'erreur

sinon

mode de contrôle = contrôle

initialisation du compteur d'essais et suppression des éléments en mémoire de travail (but à résoudre, schéma)

message à «Micro re-planification» avec l'opération «Inhibition du schéma correcteur» (Abandon de l'ajustement)

sinon

 mise à jour du compteur d'essai

 message à «Micro re-planification» avec l'opération «Correction» pour [a], l'opération «Changer d'action» pour [b] et l'opération «Changer de procédure» pour [c]

– *message micro re-planification impossible [g] :*

si le but du schéma est un sous-but obligatoire **alors**

 message à «Monitoring des intentions» avec l'opération «Nouvelle intention»

2. Micro re-planification

Le module «Micro re-planification» répond aux demandes du module «Contrôle». Il est principalement chargé de trouver, à l'échelle micro, un schéma capable de résoudre le problème détecté lors de la phase de contrôle. Une fois la solution trouvée, il agit directement sur le gestionnaire des conflits par le biais du schéma correcteur. Le schéma concerné recevra alors une forte excitation positive qui permettra sa sélection.

Spécification 21 *Le concept de schéma correcteur est utilisé pour pouvoir influencer la sélection d'un schéma particulier en phase de re-planification. Son fonctionnement s'apparente à celui du schéma planifié.*

Selon la nature de l'erreur détectée par le module «Contrôle», cinq opérations peuvent être réalisés : l'opération «Inhibition du schéma correcteur» est utilisée après réception d'un message «pré/post-conditions ok» par le module «Contrôle», l'opération «Correction» pour le message «action mal faite», l'opération «Changement d'action» pour le message «action non réalisable», l'opération «Changement de procédure» pour le message «procédure non réalisable», et enfin l'opération «Ajout de schéma» pour le message «oubli».

Pour réaliser une micro re-planification, les informations concernant la sélection du schéma correcteur sont maintenues en mémoire de travail. Le but à résoudre et le schéma correcteur proposé y sont stockés pendant toute la phase d'ajustement. Cela permet, lorsque plusieurs re-planifications sont nécessaires pour le même problème, de se souvenir des solutions déjà proposées. Une fois l'ajustement terminé, ces informations sont supprimées de la mémoire de travail.

Lorsque le module reçoit un message d'inhibition, l'ajustement en cours vient de se terminer. Il faut alors reprendre la réalisation de la tâche. Pour cela, le schéma qui recevait une excitation directe du schéma correcteur doit être inhibé de façon à ce que les schémas concurrents pertinents à la suite de la tâche puissent être sélectionnés.

Algorithme 3 *Opération «Inhibition du schéma correcteur» :*

enlever le schéma correcteur (inhibition du schéma)

L'opération «Correction» est utilisée lorsqu'une action a été mal réalisée. Le mécanisme de correction est très simple : le schéma correspondant à l'action mal réalisée est re-sélectionné. Si l'erreur a été détectée au moment où elle a été commise (c'est à dire que le but du schéma courant est le même que le but à résoudre), on re-sélectionne le schéma erroné. Par contre, si l'erreur a été détectée après avoir été commise, il faut retrouver le schéma (ou groupe de schémas) de même niveau, connu du gestionnaire des conflits, qui conduit à l'action en question.

Algorithme 4 *Opération «Correction» :*

si but du schéma erroné = but à résoudre **alors**

si les pré-conditions du schéma sont applicables **alors**

 re-sélectionner le schéma erroné

sinon

 trouver le schéma qui permet de réaliser l'action mal faite

mettre à jour le schéma correcteur (excitation positive) et la mémoire de travail

Les opérations «Changement d'action» et «Changement de procédure» ont des algorithmes similaires, excepté dans le niveau des schémas qu'ils manipulent. Une procédure non réalisable concerne un groupe de schémas, il s'agit donc d'un schéma de moyen niveau, alors qu'une action non réalisable concerne un schéma de bas niveau. Les expérimentations ont mis à jour deux types de comportement lorsqu'une action (ou procédure) n'est pas réalisable : soit les sujets essayent de résoudre le problème d'une autre façon, soit ils exécutent de nouveau la même action (ou même procédure). Pour simplifier, l'algorithme que l'on utilise est le suivant : si des alternatives au schéma erroné (ou procédure) répondent au même but et

n'ont pas encore été essayées alors on sélectionne l'une d'entre elles, sinon on re-sélectionne une des alternatives déjà essayées, y compris le schéma erroné (ou procédure).

Algorithme 5 *Opération «Changement d'action» :*

Données : B_{SE} : but du schéma erroné

si *il existe des alternatives pour résoudre B_{SE}* **alors**

| sélectionner de préférence un schéma qui n'a pas encore été utilisé (vérification dans la mémoire de travail)

sinon

| **si** *les pré-conditions du schéma erroné sont applicables* **alors**

| | re-sélectionner le schéma erroné

| **sinon**

| | envoi d'un message au module «Contrôle» («micro re-planification non réalisable»)

mettre à jour le schéma correcteur (excitation positive) et la mémoire de travail

Algorithme 6 *Opération «Changement de procédure» :*

chercher une procédure menant au but à résoudre qui n'a pas été utilisée (vérification dans la mémoire de travail)

si *une procédure a été trouvée* **alors**

| sélectionner le schéma correspondant à cette procédure

sinon

| **si** *les pré-conditions du schéma erroné sont applicables* **alors**

| | re-sélectionner le schéma erroné

| **sinon**

| | envoi d'un message au module «Contrôle» («micro re-planification non réalisable»)

mettre à jour le schéma correcteur (excitation positive) et la mémoire de travail

Enfin, l'opération «Ajout de schéma» est utilisée après réception d'un message de type «oubli-séquence». Ce message signifie qu'un schéma (ou groupe de schémas) appartenant au plan de départ n'a pas été réalisé. Comme il s'agit d'un oubli dans le plan initial, le schéma oublié figure dans le gestionnaire des conflits ; il faut donc le sélectionner pour qu'ils soient exécutés.

Pour cela, il faut chercher dans le plan, ou dans le gestionnaire des conflits, un schéma qui permette de réaliser la pré-condition non réalisée. L'algorithme est simple : il consiste à chercher un schéma dont les post-conditions correspondent à la pré-condition à réaliser (but à résoudre du message).

Algorithme 7 *Opération «Ajout de schéma» :*

Parcourir l'agenda des schémas et l'état du plan (configuration actuelle des schémas de haut niveau)

si un schéma précédemment réalisé n'a pas tous ses sous-buts accomplis ou que l'une de ses post-conditions correspond à la pré-condition alors

 | chercher dans les sous-buts de ce schéma

Parcourir récursivement, jusqu'à ce que l'on trouve un schéma dont les pré-conditions sont applicables et dont la post-condition correspond à la pré-condition à réaliser

si les pré-conditions du schéma choisi ne sont pas applicables et qu'il n'existe pas d'autre schéma dont les post-conditions correspondent aux pré-conditions à réaliser alors

 | ajouter un schéma (ou groupe de schéma) permettant d'appliquer les pré-conditions. Par exemple, lorsque le sujet cachète l'enveloppe en ayant oublié d'y mettre le formulaire auparavant, il doit d'abord décacheter l'enveloppe puis mettre le formulaire dans celle-ci.

mise à jour du schéma correcteur (excitation positive) et de la mémoire de travail

3. Monitoring des intentions et Macro re-planification

Les mécanismes de macro re-planification consistent essentiellement à élaborer et à choisir d'autres stratégies si celle qui est mise en œuvre n'aboutit pas, ou encore à générer de nouvelles intentions pour tenter de satisfaire des conditions environnementales non prévues dans le plan initial. Ces mécanismes font en fait référence aux processus de génération des intentions et de planification expliqués précédemment. Comme le précise Glasspool dans son implémentation, la phase de contrôle des actions peut amener à générer des buts additionnels qui initieront eux-mêmes plusieurs cycles de résolution de problème et de planification (Glasspool, 2005).

Un module particulier est essentiel au bon fonctionnement de la macro re-planification pour gérer de façon cohérente les intentions : il s'agit du module «Monitoring des intentions». C'est lui qui contrôle les changements d'état et l'accomplissement des intentions et qui met à jour ces informations dans la mémoire de travail. Il est chargé, entre autres, de générer de nouvelles intentions, de changer de stratégie pour l'intention courante ou encore d'arrêter, de

suspendre ou de modifier des intentions.

Ce module peut être sollicité par le module «Contrôle» lorsqu'il faut changer de stratégie ou traiter un nouvel objectif intermédiaire. Il peut aussi être sollicité par le module «Évaluation finale» lorsque le résultat de l'action réalisée ne correspond pas au résultat attendu, ou lorsque des intentions ont été suspendues et qu'il faut les reprendre. Cinq opérations différentes peuvent être réalisées par ce module selon le message reçu : «Générer une nouvelle intention», «Générer une nouvelle stratégie», «Modifier l'intention courante», «Reprendre une intention suspendue» et «Arrêter l'intention accomplie». Le module a une action non seulement sur la mémoire de travail (mise à jour de l'état des intentions et des stratégies) mais aussi sur le module «Implémentation de l'agenda des schémas» (inhibition ou excitation du schéma planifié pour l'interruption ou la reprise des intentions) et sur les modules «Génération des intentions» et «Génération des stratégies».

Algorithme 8 *Pour l'opération «Générer une nouvelle intention» :*

Message envoyé par le module «Contrôle»

suspendre l'intention : mettre à jour la mémoire de travail (état de l'intention = suspendu + marqueur temporel)

sauvegarder l'agenda courant comme ancien agenda en mémoire de travail

message à «Implémentation de l'agenda des schémas» avec l'opération «inhibition du schéma planifié»

générer l'intention : message à «Génération des intentions» pour que la nouvelle intention soit celle qui posait problème dans le contrôle

Ensuite, comme pour la génération d'une intention normale :

- *Élaboration de stratégies, évaluation et choix d'une stratégie*
- *Construction et implémentation de l'agenda des schémas*
- *Sélection des schémas par le gestionnaire des conflits, etc.*

Algorithme 9 *Pour l'opération «Générer une nouvelle stratégie» :*

Message envoyé par le module «Contrôle»

arrêter la stratégie : mettre à jour la mémoire de travail (état de la stratégie = échec)

message à «Implémentation de l'agenda des schémas» avec l'opération «inhibition du schéma planifié»

réévaluer des stratégies : message à «Évaluation et choix d'une stratégie» pour sélectionner une autre stratégie ou re-sélectionner la même (cf. fonction d'évaluation des stratégies)

Ensuite, comme pour la génération d'une intention normale :

- *Construction et implémentation de l'agenda des schémas*
- *Sélection des schémas par le gestionnaire des conflits, etc.*

Algorithme 10 *Pour l'opération «Modifier l'intention courante» :*

Message envoyé par le module «Évaluation finale»

mettre à jour la mémoire de travail (agenda et stratégie)

message à «Implémentation de l'agenda des schémas» avec l'opération «inhibition du schéma planifié»

modifier l'intention : message à «Génération des intentions» pour modifier le but (pré et post conditions) et les éléments essentiels

Ensuite, comme pour la génération d'une intention normale :

- *Élaboration de stratégies, évaluation et choix d'une stratégie*
- *Construction et implémentation de l'agenda des schémas*
- *Sélection des schémas par le gestionnaire des conflits, etc.*

Algorithme 11 *Pour l'opération «Reprendre une intention suspendue» :*

Message envoyé par le module «Évaluation finale»

arrêter l'intention en cours : mettre à jour la mémoire de travail (état de l'intention = arrêté + marqueur temporel)

recupérer dans la mémoire de travail l'intention suspendue :

si plusieurs intentions suspendues en mémoire de travail alors

 | utiliser le marqueur temporel associé : prendre l'intention suspendue en dernier^a

recupérer l'agenda des schémas associé à cette intention et son indice de réalisation

mettre à jour la mémoire de travail (intention courante, état de l'intention = en cours, agenda courant)

message à «Implémentation de l'agenda des schémas» avec l'opération «reprise d'une intention»

^aNB : Ce mécanisme reste encore simpliste, pour pousser le raisonnement, il faudrait reprendre l'intention qui avait été suspendue lorsque l'intention qui vient d'être accomplie avait été générée.

Algorithme 12 *Pour l'opération «Arrêter l'intention accomplie» :**Message envoyé par le module «Évaluation finale»*

arrêter l'intention : mettre à jour la mémoire de travail (état de l'intention = achevé + marqueur temporel)

supprimer les informations qui ne sont plus utiles dans la mémoire de travail

message à «Implémentation de l'agenda des schémas» avec l'opération «inhibition du schéma planifié»

4. Évaluation finale

Le module «Évaluation finale» est chargé de vérifier si les actions réalisées correspondent bien à l'intention de départ. Il permet de valider la tâche et d'arrêter sa réalisation ou de la recommencer si elle est jugée insatisfaisante. L'erreur souvent observée au cours de nos expérimentations concerne les sujets qui passent très vite sur cette vérification ou qui la négligent. Ils commettent alors des erreurs d'évaluation : la tâche qu'ils ont réalisée est incomplète ou ne correspond pas aux attentes de départ. Comme le propose Luria dans son modèle, nous avons choisi de représenter le mécanisme d'évaluation finale de la tâche comme un processus indépendant par rapport au module «Contrôle». C'est le module «Contrôle» qui le sollicite en lui envoyant un message lorsque tous les schémas de l'agenda des schémas ont été accomplis.

L'algorithme de traitement d'évaluation, très simple, permet essentiellement d'envoyer différentes commandes, ou opérations, au module «Monitoring des intentions». C'est lui qui gérera ensuite l'arrêt ou la reprise de l'intention. Le processus vérifie d'abord que le résultat obtenu soit bien le même que l'état final désiré au commencement de la tâche. Pour cela, il effectue une comparaison entre le monde extérieur (actions réalisées), les objets, les ressources et les post-conditions du but associé à l'intention initiale. Si les résultats concordent, il vérifie qu'il n'y a pas d'intention suspendue dans la mémoire de travail avant de demander au module «Monitoring des intentions» d'arrêter l'intention accomplie. Si, par contre, une intention est suspendue en mémoire de travail, le module demande au module «Monitoring des intentions» de reprendre l'intention suspendue. Enfin, si les résultats ne sont pas ceux attendus, il faut reprendre l'intention courante en redéfinissant le problème, etc. Le module demande alors au module «Monitoring des intentions» de modifier l'intention courante.

La modélisation des erreurs d'évaluation peut alors être envisagée de façon très simple : les sujets négligent la vérification du résultat obtenu. En termes d'algorithme, c'est comme si la

première étape n'était pas effectuée : les sujets arrêtent l'intention courante ou reprenne une intention suspendue s'il y en avait une en mémoire de travail.

Algorithme 13 *Algorithme d'évaluation finale :*

si état final obtenu (monde extérieur, objets, ressources) = état final désiré (post-conditions de l'intention) **alors**

si pas d'intention suspendue en mémoire de travail **alors**
 | message «Arrêter l'intention accomplie» à «Monitoring des intentions»
 sinon
 | message «Reprendre une intention suspendue» à «Monitoring des intentions»

sinon
 | message «Modifier l'intention courante» à «Monitoring des intentions»

CHAPITRE 9

Implémentation du modèle : Vers un prototype informatique du modèle

Nous venons de présenter les spécifications de notre modèle théorique. Le fonctionnement des différents modules du système et leurs relations entre eux ont été détaillés sous forme d'algorithmes. Ce chapitre présente, d'une part, l'implémentation informatique de ce modèle, et d'autre part, les résultats obtenus pour la simulation d'une tâche simple.

Le prototype développé implémente les algorithmes définis précédemment. L'implémentation comprend aussi la modélisation de la tâche et de l'environnement : décomposition de la tâche en schémas et en buts, définitions des objets et des actions réalisables, etc. Lors de son exécution, le prototype fournit une trace de l'activité du système permettant de suivre le déroulement de la tâche et le fonctionnement des modules.

Les résultats obtenus en simulation permettent de réaliser une première validation par rapport aux comportements simulés dans les premières versions de l'implémentation du modèle de Norman et Shallice.

9.1 Architecture du système

Comme nous l'avons déjà introduit, les deux modules qui composent le modèle de Norman et Shallice ont été implémentés chacun séparément. Le gestionnaire des conflits (CS)

a été développé en C alors que le système attentionnel superviseur (SAS), comprenant une version très simplifiée du gestionnaire des conflits, a été modélisé dans l'environnement de programmation cognitive Cogent. Pour développer notre prototype, nous nous sommes basés sur l'implémentation C du gestionnaire des conflits réalisée par Cooper et al. (Cooper et Shallice, 2000, Cooper *et al.*, 2005, Cooper, 2007).

L'implémentation du modèle a été réalisée en Java¹ qui est un langage de programmation orienté objet largement utilisé dans la communauté informatique. De par sa modularité, Java est parfaitement adapté pour modéliser les concepts de haut niveau que représentent les processus exécutifs décrits dans notre modèle théorique.

Le gestionnaire des conflits a été re-codé en Java et les types de données qu'il manipulait (schémas, buts, objets, effecteurs, etc.) ont été transformés en classe pour pouvoir être ensuite utilisés par les autres processus du système. Le code java est constitué de 43 classes regroupées, selon leur fonctionnalité, dans huit packages différents.

9.1.1 Le package *buffers*

Le package buffers rassemble les espaces de stockage du système : représentation du monde, mémoire épisodique et mémoire de travail. Ces buffers sont utilisés pour stocker et manipuler les données du système dans son ensemble (gestionnaire des conflits, système attentionnel superviseur et monde extérieur). Nous utilisons la mémoire de travail comme un espace maintenant les informations nécessaires au bon déroulement de la tâche en cours. Les processus du système y ont accès pour lire ou pour mettre à jour les différentes données utilisées. Cinq types de données sont stockées : les intentions en cours de traitement, qu'elles soient suspendues, ou en train d'être traitées, la ou les stratégies utilisées pour l'intention en cours, le ou les agendas de schémas associés aux stratégies en cours, et enfin en cas de détection d'un problème, le schéma et le but à résoudre dont les pré ou post conditions n'ont pas été vérifiées². Pour faciliter la restitution de ces éléments, nous avons choisi une organisation simplifiée des données à l'intérieur de la mémoire de travail. Les éléments stockés (*MemoryItem*) sont étiquetés (intention courante, agenda courant, etc.) en fonction de leur rôle. Les méthodes de restitution des données se basent alors sur une recherche par étiquette. Cette modélisation de la mémoire de travail est fortement liée aux données manipulées par les processus du SAS.

¹<http://java.sun.com>

²informations nécessaires pour les processus de re-planification

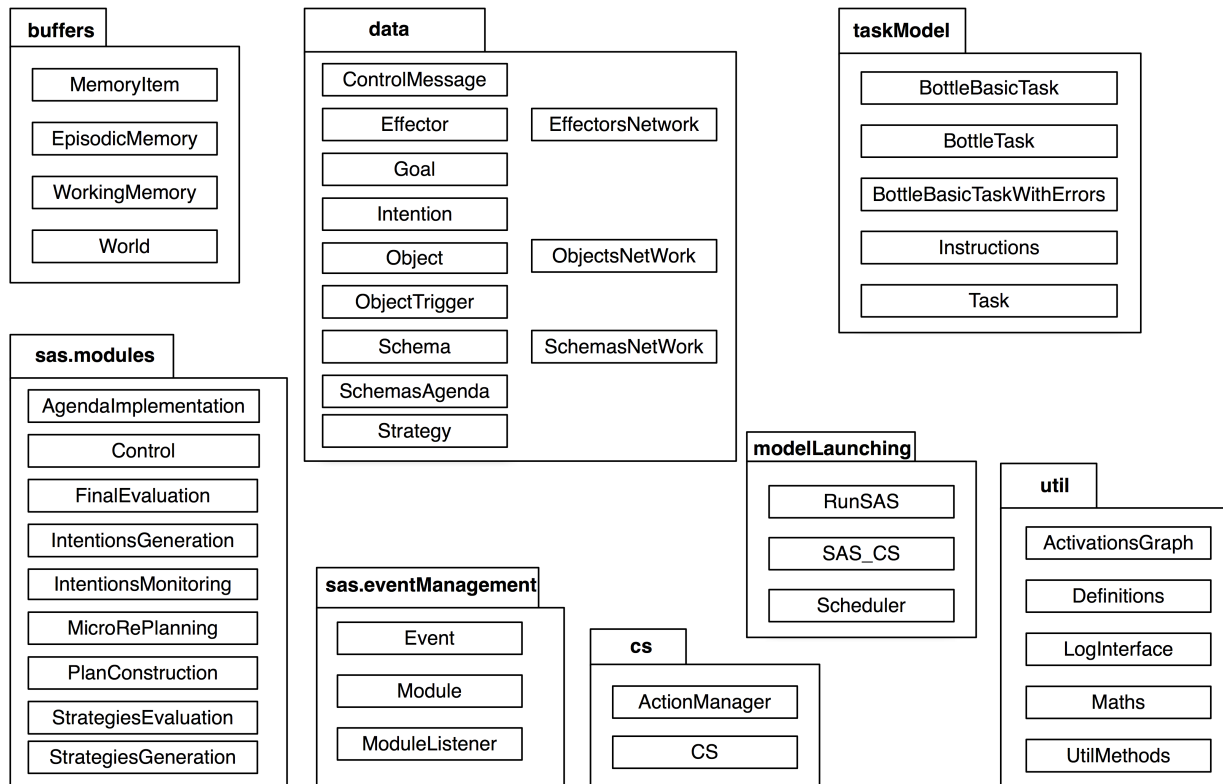


Figure 9.1 – Détail des packages composant le système

Elle ne se veut pas une modélisation générale et systématique de la mémoire de travail.

La mémoire épisodique contient simplement les stratégies (*Strategy*) connues par le sujet et les schémas de haut niveau (*Schema*) qui n'ont pas de lien entre eux dans le CS. La mémoire épisodique est mise à jour à l'initialisation de la tâche, avant le début d'exécution de la tâche. Le buffer monde correspond à une simplification de la représentation du monde pour le sujet. Les actions et les signaux extérieurs y sont stockés. Un système de génération et de transmission d'événements est utilisé pour avertir les modules fonctionnels du SAS des changements effectués dans le monde extérieur. Ce principe est utilisé pour la communication entre les différents modules du système. Il faut cependant distinguer le buffer monde des modules fonctionnels dans la mesure où ce dernier n'écoute pas les messages provenant des modules. Nous détaillons le principe de communication des modules dans la description du package *sas.eventManagement*. Les modules peuvent s'enregistrer auprès du buffer pour être avertis des événements générés. Les messages générés sont alors transmis à tous les modules écoutant (*listeners*). Ce sont ces derniers qui décident de traiter ou non l'information

reçue. C'est d'ailleurs en ajoutant les consignes de la tâche à réaliser (*Instruction*) dans le buffer monde qu'est initialisée l'exécution de la tâche : l'événement est transmis au module «Génération des intentions», qui va initier un traitement particulier. Il passera ensuite le relais au module «Génération des stratégies», et ainsi de suite.

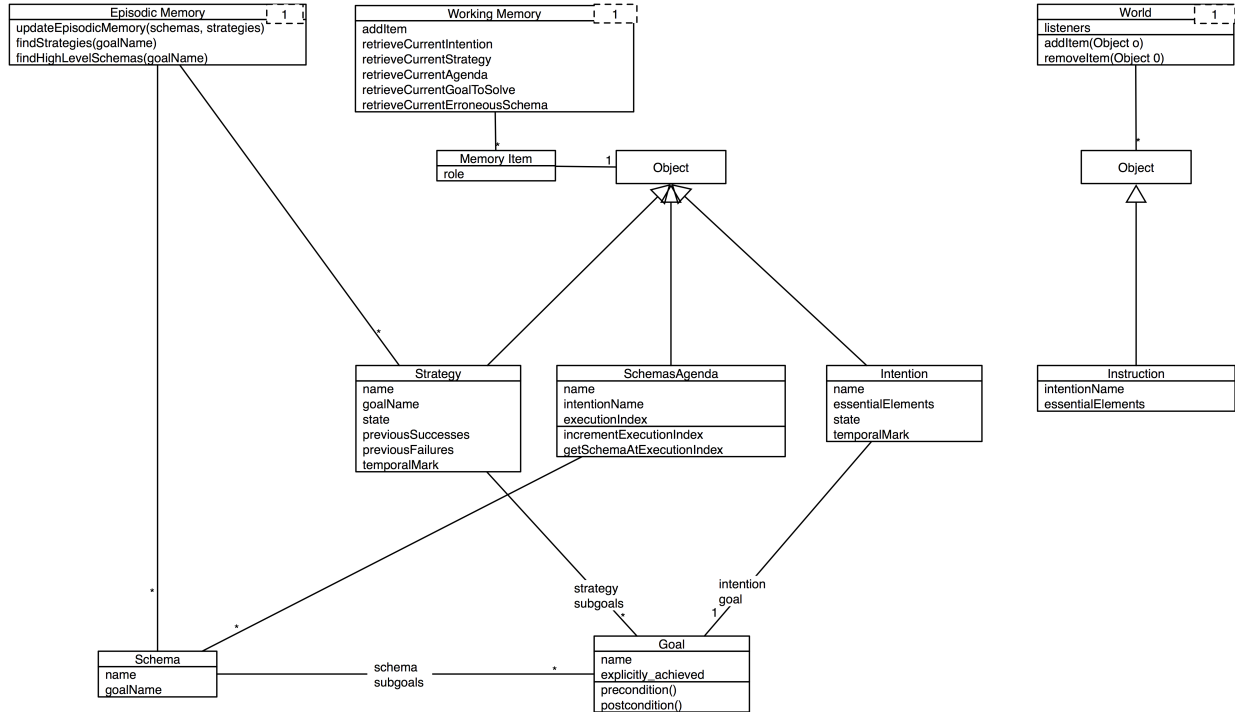


Figure 9.2 – Détail du diagramme de classe : l'organisation des espaces de stockage

9.1.2 Le package *data*

Le package data rassemble les définitions des différents types de données utilisées par le système. Les deux diagrammes de classes présentés ci-dessus et ci-dessous permettent d'illustrer les relations entre les différents types de données, les espaces de stockage et certains modules du système. Les schémas, objets et effecteurs sont regroupés sous forme de réseaux dans le gestionnaire des conflits. Chacun possède une valeur d'activation pour chaque cycle, calculée à partir de sa classe réseaux et selon les différents paramètres définis dans la modélisation du gestionnaire des conflits (influence *top-down*, influence latérale, influence propre, etc.). Une particularité est à souligner pour la définition des buts. Un but est défini par son nom, un état

(atteint ou non) et par deux méthodes abstraites l'une définissant les pré-conditions et l'autre les post-conditions. Ces méthodes seront définies pour chaque but concret dans la définition de la tâche. Ce sont ces méthodes qui permettent de diagnostiquer de la bonne ou mauvaise sélection et/ou désélection des schémas pendant l'exécution de la tâche. Les données manipulées par le SAS (*Strategy, Intention, SchemasAgenda*) correspondent aux spécifications données dans le modèle théorique.

9.1.3 Le package *taskModel*

Le package *taskModel* concerne la définition des différentes tâches exécutées par le système. Toutes les tâches héritent de la classe abstraite *Task*. La définition de chaque tâche consiste à décrire les différents états possibles du système. Les schémas, les objets et les effecteurs sont instanciés puis installés dans le gestionnaire des conflits au moment de l'initialisation de la tâche. Les actions concrètes correspondant aux schémas de bas niveau sont spécifiées en termes de conséquences sur l'état du système : l'état de certains objets et/ou effecteurs est mis à jour. La vérification des pré et post-conditions de chaque but, et les diagnostics en cas de problème sont concrètement spécifiés dans la définition de chaque tâche. C'est aussi là que sont instanciés et installés les éléments de la mémoire épisodique (stratégies connues et schémas de haut niveau qui n'ont pas de lien entre eux dans le gestionnaire des conflits) ainsi que les instructions concernant la tâche.

9.1.4 Le package *cs*

Les classes du package *cs* définissent les mécanismes du gestionnaire des conflits. Le code correspond à la conversion du code C de l'implémentation du gestionnaire des conflits par Cooper. Sans trop rentrer dans les détails, le mécanisme du gestionnaire des conflits est basé sur des cycles d'exécution. À chaque cycle, deux étapes s'enchaînent : le calcul des activations et la phase de sélection des schémas. Dans la première étape, l'activation de chaque élément des trois réseaux est calculée et mise à jour en fonction des équations et des paramètres décrits par Cooper et al. (2000, 2005, 2007). Dans la deuxième étape, les schémas qui remplissent les conditions sont sélectionnés ou désélectionnés. L'état de leur but est mis à jour et les actions des schémas de bas niveau qui sont sélectionnés sont exécutées via l'*ActionManager*. Une fois l'exécution de la tâche lancée, l'enchaînement des cycles ne

s'arrête que lorsque le gestionnaire des conflits reçoit une commande d'arrêt (en provenance du module d'implémentation de l'agenda des schémas).

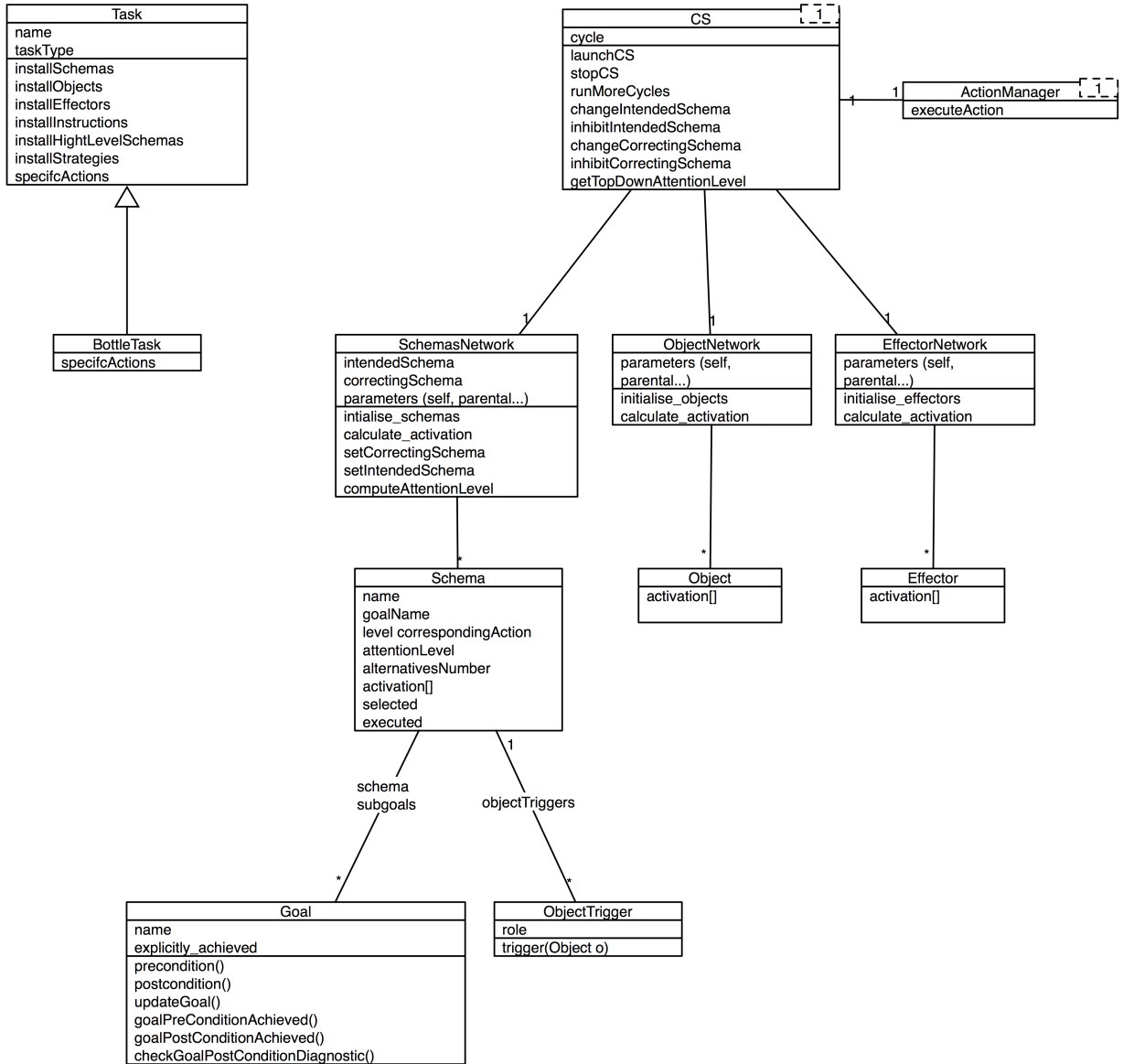


Figure 9.3 – Détail du diagramme de classe : l'organisation des données manipulées par le CS

9.1.5 Les packages *sas*

Les packages `sas.eventManagement` et `sas.modules` contiennent les classes concernant les modules fonctionnels du SAS (package *modules*) et leur moyen de communication (package *eventManagement*). Tous les modules utilisent le patron de conception singleton et implémentent la classe abstraite `Module`. Cette dernière, qui implémente l'interface *ModuleListener*, permet de définir les caractéristiques et traitements communs à tous les modules. Chaque module peut générer des messages, ou événements, destinés à d'autres modules. Ces modules s'enregistrent (*listeners*) auprès du module pour être avertis des messages émis (notification transmise par la méthode *fireEvent*). Chaque module peut s'enregistrer auprès de différents modules pour recevoir des messages. Lorsqu'il reçoit un message, le module va exécuter un traitement spécifique (via la méthode *treatEvent* de l'interface *ModuleListener*). Le diagramme de séquence ci-dessous permet d'illustrer ce mécanisme.

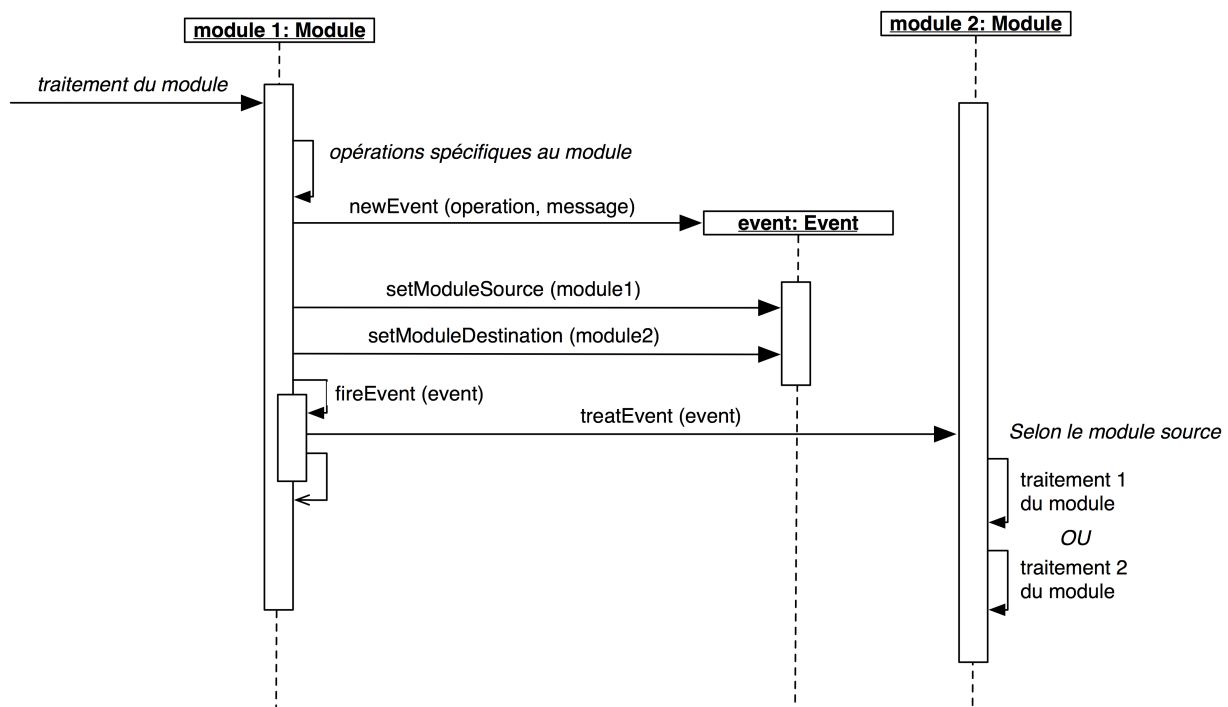


Figure 9.4 – Diagramme de séquence pour l'opération *traitement* de chaque module

Les modules référencent aussi le cycle courant d'exécution du gestionnaire des conflits. Lorsque celui-ci passe au cycle suivant, un message est envoyé à tous les modules du SAS pour qu'ils puissent mettre à jour leur référence (via la méthode *csCycleChanged*). Cette

information est utile pour mettre à jour les marqueurs temporels en mémoire de travail et pour les fichiers de log.

Les différentes classes du package `sas.modules` correspondent donc aux modules fonctionnels décrits dans le modèle théorique. Les algorithmes de traitement spécifiques à chaque module sont ceux présentés dans le modèle théorique.

9.1.5.1 Génération des intentions

La génération de l'intention est initiée lorsqu'une consigne est donnée (modélisé par l'ajout de l'item `Instruction` dans `World`). Pour l'instant, dans cette version du prototype, l'instruction contient les informations nécessaires à la génération de l'intention, à savoir le nom de l'intention, son but et les éléments essentiels à sa réalisation. Elle permet de générer l'intention (*Intention*) et de la placer en mémoire de travail. De la même manière, le module `Monitoring des intentions` fournit le but de l'intention dans la génération d'une nouvelle intention. Le nom de l'intention est alors construit à partir du nom du but, suivi de « Task ». Une fois l'intention placée en mémoire de travail, l'événement *intention generated* est transmis au module «Génération des stratégies». NB : dans la suite de la description des différents modules nous ne reviendrons pas sur la transmission des événements dans la mesure où le mécanisme est le même à chaque fois, et est décrit dans les algorithmes dans le modèle théorique.

9.1.5.2 Génération des stratégies

À partir de l'intention courante, on récupère en mémoire épisodique toutes les stratégies dont le but correspond au but de l'intention. On pourrait, dans une prochaine version du prototype, affiner la génération en filtrant les stratégies selon les éléments essentiels associés à l'intention. Les stratégies récupérées sont directement envoyées par l'intermédiaire d'un événement au module d'évaluation. On ne mémorise pas toutes les stratégies, mais uniquement celle qui sera choisie. Pour pouvoir mémoriser toutes les stratégies, il suffirait de les placer en mémoire de travail avec un état particulier (générées mais pas choisies).

9.1.5.3 Évaluation des stratégies

Pour chaque stratégie envoyée par le module «Génération des stratégies», la valeur d'utilité est calculée en fonction de l'expérience passée ($E_{\text{passée}}$), l'expérience présente ($E_{\text{présente}}$) et de

l'influence de l'environnement (I_{env}). On ajoute ensuite un bruit aléatoire pour éviter que le mécanisme ne soit trop déterministe et puisse permettre des variations lors de la simulation.

$$U = E_{passée} + E_{présente} + I_{env} + \epsilon \quad (9.1)$$

Pour l'expérience passée, nous nous sommes inspirés du calcul de l'utilité des productions en ACT-R. La valeur d'utilité d'une règle de production dépend de la probabilité qu'a cette production d'atteindre le but fixé (nombres de succès divisé par la somme des succès et des échecs). Nous utiliserons le même principe : une stratégie a plus de chance d'être choisie selon sa probabilité d'atteindre le but avec succès.

$$E_{passée} = \frac{\text{succès}}{\text{succès} + \text{échecs}} \quad (9.2)$$

L'expérience présente fait appel aux informations conservées en mémoire de travail pour l'intention en cours. Il suffit de regarder si la stratégie que l'on veut évaluer a déjà été utilisée ou non précédemment.

$$E_{présente} = \begin{cases} 1 & \text{si la stratégie à évaluer n'a jamais été utilisée} \\ 0.8 & \text{si la stratégie à évaluer a déjà été utilisée avec succès} \\ 0.5 & \text{si la stratégie à évaluer a été suspendue} \\ 0 & \text{si la stratégie à évaluer a déjà été utilisée avec échec} \end{cases} \quad (9.3)$$

Dans cette version, l'influence de l'environnement est laissée de côté (elle est équivalente à 0).

Enfin, pour calculer le bruit, nous utilisons le calcul de bruit normalisé utilisé dans le CS pour le bruit des activations.

C'est la stratégie avec la valeur d'utilité la plus élevée qui est choisie : son état est mis à jour «en cours de traitement» (*proceeding*) et elle est placée en mémoire de travail.

9.1.5.4 Construction de l'agenda

Nous avons implémenté une version simplifiée de l'algorithme de construction du plan. Il faut chercher en mémoire épisodique le ou les schémas qui permettent de réaliser chaque but de la liste de sous-buts de la stratégie courante. Ce genre de recherche pourrait être

implémenté par une recherche de minimisation des coûts dans un parcours de graphe (chaque nœud correspondant à un état du système - exprimé en pré et post conditions -). Dans cette version du prototype, on supposera qu'il n'existe qu'un seul schéma permettant d'atteindre chaque sous-but.

9.1.5.5 Implémentation de l'agenda

Ce module est l'un des deux seuls modules (avec le module «Micro-replanification») à pouvoir lancer des commandes du CS. Il peut soit changer le schéma planifié et lancer l'exécution du CS, soit inhiber le schéma planifié, soit arrêter l'exécution du CS. L'algorithme de traitement est celui qui est décrit dans le modèle théorique.

9.1.5.6 Contrôle

Lors de la réception d'un événement, un traitement en trois étapes est initié.

Premièrement, un message de type *ControlMessage* est construit. C'est dans cette étape que sont distingués les éventuels problèmes (NON_EXECUTABLE_ACTION, NON_EXECUTABLE_PROCEDURE, OMISSION, NON_EXECUTABLE_MICRO_PLANING, NON_EXECUTABLE_STRATEGY, WRONG_ACTION) des situations normales (PRE_POST_CONDITIONS_OK, INTENDED_SCHEMA_COMPLETED). Pour simplifier, on suppose que les événements générés par l'environnement extérieur sont déjà du type *ControlMessage*. On construit le message pour les événements générés par les modules internes. Pour les événements provenant du module «Micro-re-planification», le message construit est de type NON_EXECUTABLE_MICRO_PLANING. Pour les événements provenant du gestionnaire des conflits, les messages construits peuvent être du type INTENDED_SCHEMA_COMPLETED pour l'événement correspondant à l'achèvement du schéma planifié. Lorsqu'un événement *sélection* ou *désélection d'un schéma* est transmis, le module Contrôle vérifie les pré et post conditions du schéma et met en attente le message dans une queue de messages pour laisser le gestionnaire des conflits finir l'exécution du cycle courant. Ce n'est qu'avec l'événement *cycle exécuté* que le premier message de la file d'attente est traité. La méthode de vérification des pré-conditions (*checkPreConditions*) construit un message de type OMISSION lorsque les pré-conditions du schéma qui vient d'être sélectionné ne sont pas vérifiées. La méthode *checkPostConditions* permet de construire le message lors de la vérification des post-conditions, quand un schéma est désélectionné. Chaque schéma instancié dans la tâche spécifie les conditions de vérifica-

tion des post-conditions selon l'environnement (objets et effecteurs). C'est là que ce fait la simplification de modélisation de l'analyse des erreurs. À partir du résultat de cette vérification (WRONG_ACTION, NON_EXECUTABLE_ACTION, NON_EXECUTABLE_PROCEDURE ou NON_EXECUTABLE_STRATEGY), le message est construit. Ces deux méthodes construisent un message de type PRE_POST_CONDITIONS_OK quand aucun problème n'a été détecté.

Deuxièmement, une force de signal est associée à chaque message. La force de signal F_{signal} des messages est calculée de la façon suivante :

$$F_{signal} = B + \frac{(F_{mode} + F_{source} + F_{attention})}{3} + \epsilon \quad (9.4)$$

- Une base identique pour tous les messages, équivalente au seuil d'attention :

$$B = attentionThreshold \quad (9.5)$$

- Le mode de contrôle du composant contrôle : la force du signal augmente si le module est en mode re-planification

$$F_{mode} = \begin{cases} 1 & \text{pour le mode PLANIF} \\ 0 & \text{pour le mode CTRL} \end{cases} \quad (9.6)$$

- La source du signal : la force de signal augmente si le message reçu provient de l'extérieur

$$F_{source} = \begin{cases} 1 & \text{pour le buffer WORLD} \\ 0 & \text{pour les autres} \end{cases} \quad (9.7)$$

- Le niveau d'attention du schéma planifié ou du schéma en cours : la force du signal augmente si le schéma traité dans le message demande un niveau d'attention élevé

$$F_{attention} = \sum_{i=1}^n \frac{NA_{si}}{n} \quad (9.8)$$

avec n = nombre de parents du schéma et NA_{si} = niveau d'attention du schéma si

$$NA_{si} = \begin{cases} 0 & \text{pour LOW} \\ 1 & \text{pour HIGH} \end{cases} \quad (9.9)$$

- Le bruit aléatoire normalisé : ϵ

Troisièmement, si le signal du message est assez fort, le traitement à proprement parler est initié. L'algorithme de cette étape est détaillé dans le modèle théorique. Nous ne détaillerons ici que le calcul de la valeur de micro re-planification. Le module contrôle est associé à une valeur de reconduite de micro re-planification. Elle s'initialise lors du passage en mode re-planification. Cette valeur varie selon différents facteurs :

- Elle augmente avec le nombre de tentatives de résolution du problème en micro re-planification
- Elle augmente s’il n’y a pas ou plus d’alternatives connues
- Elle diminue si des alternatives connues n’ont pas été utilisées

Pour l’instant, la valeur est calculée en fonction du nombre de tentatives de micro re-planification déjà effectuées (`planingTrialCounter`) et d’un facteur représentatif de l’altération cognitive (`microPlaningFactor`). Plus la valeur du facteur est petite, plus la valeur de Vr aura du mal à atteindre le seuil de basculement vers une macro re-planification. Un bruit aléatoire normalisé est ensuite ajouté pour rendre le système moins déterministe.

$$Vr = \log(\text{microPlaningFactor} * \text{planingTrialCounter}) + \epsilon \quad (9.10)$$

9.1.5.7 Micro re-planification et Monitoring des intentions

Les algorithmes de re-planification, micro et macro, sont ceux décrits dans le modèle théorique. À noter que le module «Micro re-planification» peut lancer directement des commandes du CS concernant le schéma correcteur (changement ou inhibition du schéma correcteur).

9.1.5.8 Évaluation finale

L’état final obtenu est comparé avec l’état final désiré. Dans cette version du modèle, on vérifie simplement que les post-conditions du but de l’intention courante sont vérifiées (*goal-PostConditionAchieved*).

9.1.6 Le package *util*

Le package *util* rassemble les divers calculs mathématiques (notamment pour les calculs d’activations et pour le bruit normalisé), les définitions de tous les types et constantes du modèle, la gestion des fichiers de sortie du modèle et enfin la génération des graphes d’activation. La trace du déroulement de la tâche et les différents états par lesquels le système est passé sont répertoriés dans les fichiers de sortie. Le fichier *activityLogFile* enregistre toutes les valeurs d’activation associées à chaque élément (schémas, objets, effecteurs) pour chaque cycle d’exécution. Un aperçu sous forme de graphe est aussi disponible. Le fichier *actionLogFile* présente les manipulations de schémas réalisées par le CS (sélection, désélection de schémas

et exécution des actions). Enfin le fichier *sasLogFile* répertorie les traitements et événements envoyés entre les différents modules du SAS, il inclut également les actions effectuées par le CS et les accès aux différents espaces de stockage. C'est ce dernier qui donne un aperçu global du traitement effectué pendant la réalisation de la tâche.

9.1.7 Le package *modelLaunching*

Le package *modelLaunching* contient le programme principal (*main*) de l'application. Il permet d'initialiser le système et de lancer la simulation en choisissant la tâche à exécuter et la catégorie de sujets (jeunes, âgés ou MCI-MA).

9.2 Simulation et résultats obtenus

9.2.1 Modélisation de la tâche

Pour pouvoir tester le prototype, nous avons choisi d'implémenter une tâche simple : «Boire le contenu d'une bouteille» (*BottleTask*). Cette tâche présente l'avantage d'avoir déjà été implémentée dans le modèle computationnel de Cooper (Cooper, 2007). Elle permettra donc de tester de façon plus fiable notre modèle.

Cette tâche est inspirée de l'expérience de Rumiati et al. (2001). Elle consiste tout simplement à déboucher une bouteille, verser le contenu dans un verre et le boire. La tâche fait partie d'un ensemble de tâches multi-objets permettant d'observer et de classer les erreurs (concernant les actions) commises par des patients apraxiques (Rumiati *et al.*, 2001). Cooper (2007) implémente cet ensemble de tâches dans le modèle computationnel du gestionnaire des conflits. Les résultats de la simulation de ces tâches démontrent que les paramètres du modèle peuvent être ajustés de façon à obtenir le même comportement que les patients apraxiques.

La hiérarchie de schémas, la représentation du réseau d'objets et les fonctions qui permettent de déclencher les schémas par rapport aux objets présents dans l'environnement (la méthode *trigger* de la classe *ObjectTrigger* dans notre modèle) sont tirées de l'implémentation de Cooper. Dans cette implémentation, la hiérarchie des schémas a été codée selon une décomposition de la tâche en schémas orienté par un but et en sous-schémas, et les fonctions de

déclenchements des objets ont été spécifiées de façon à garantir une réalisation cohérente et sensée de la tâche. Les objets sont représentés avec une granularité proportionnée aux erreurs décrites par Rumiati et al. (2001). Par exemple, le bouchon et la bouteille sont deux objets distincts. La bouteille est définie par son état, ouverte ou fermée, ce qui permet de pouvoir distinguer des actions comme essayer de verser le contenu de la bouteille fermée (erreur) et verser le contenu de la bouteille ouverte. Nous utilisons justement cette granularité pour tester nos mécanismes de contrôle.

À l'origine, la tâche se décompose en un schéma de haut niveau (le schéma planifié) puis plusieurs séries de schémas de niveau intermédiaire et enfin des schémas de bas niveau, conduisant à des actions atomiques. Le schéma planifié correspondant à la tâche se décompose en quatre sous-buts : ouvrir la bouteille, remplir le verre, boire et reboucher la bouteille. Le premier de ces sous-buts peut être accompli par un schéma se décomposant en deux sous-buts : prendre l'outil le plus actif (le tire-bouchon) et déboucher la bouteille avec cet outil. En descendant encore plus bas dans la hiérarchie, prendre l'outil correspond à fixer l'outil et le prendre. Les fonctions de déclenchement de ces schémas s'assurent que le schéma pour prendre l'outil active le tire-bouchon comme outil (*implement*) et la bouteille fermée comme source (*source*).

La figure 9.5 illustre la hiérarchie des schémas pour la tâche telle que nous l'avons implémentée dans notre prototype. Nous avons supprimé le schéma de haut niveau. Il est remplacé par un but global de la tâche et des stratégies qui peuvent le réaliser. Le but global de la tâche (*BottleTask : Drink from bottle*) correspondant au but de l'intention créée par le module «Génération des intentions». Ses pré-conditions correspondent aux pré-conditions du premier sous-but de l'ex-schéma de haut niveau et ses post-conditions aux post-conditions du dernier sous-but. Deux stratégies permettent de répondre au but de l'intention correspondant à la tâche. La stratégie 1 se décompose en quatre sous-buts (les mêmes que l'ex-schéma planifié) alors que la stratégie 2 n'a pas de sous-buts. Nous avons introduit cette dernière pour pouvoir tester la fonction d'évaluation des stratégies. Les succès et échecs de deux stratégies sont initialisés pour que la stratégie 1 soit gagnante par rapport à la stratégie 2. En d'autres termes les succès de la stratégie 1 sont beaucoup plus nombreux que pour la stratégie 2. La première suite de schémas de niveau intermédiaire a été transformée en une série de schémas de haut niveau. Ils n'ont plus de lien entre eux dans le CS (ces liens étaient justement assurés par le schéma de haut niveau supprimé). Ce sera l'agenda des schémas, construit par le SAS, qui permettra de lier ces schémas entre eux.

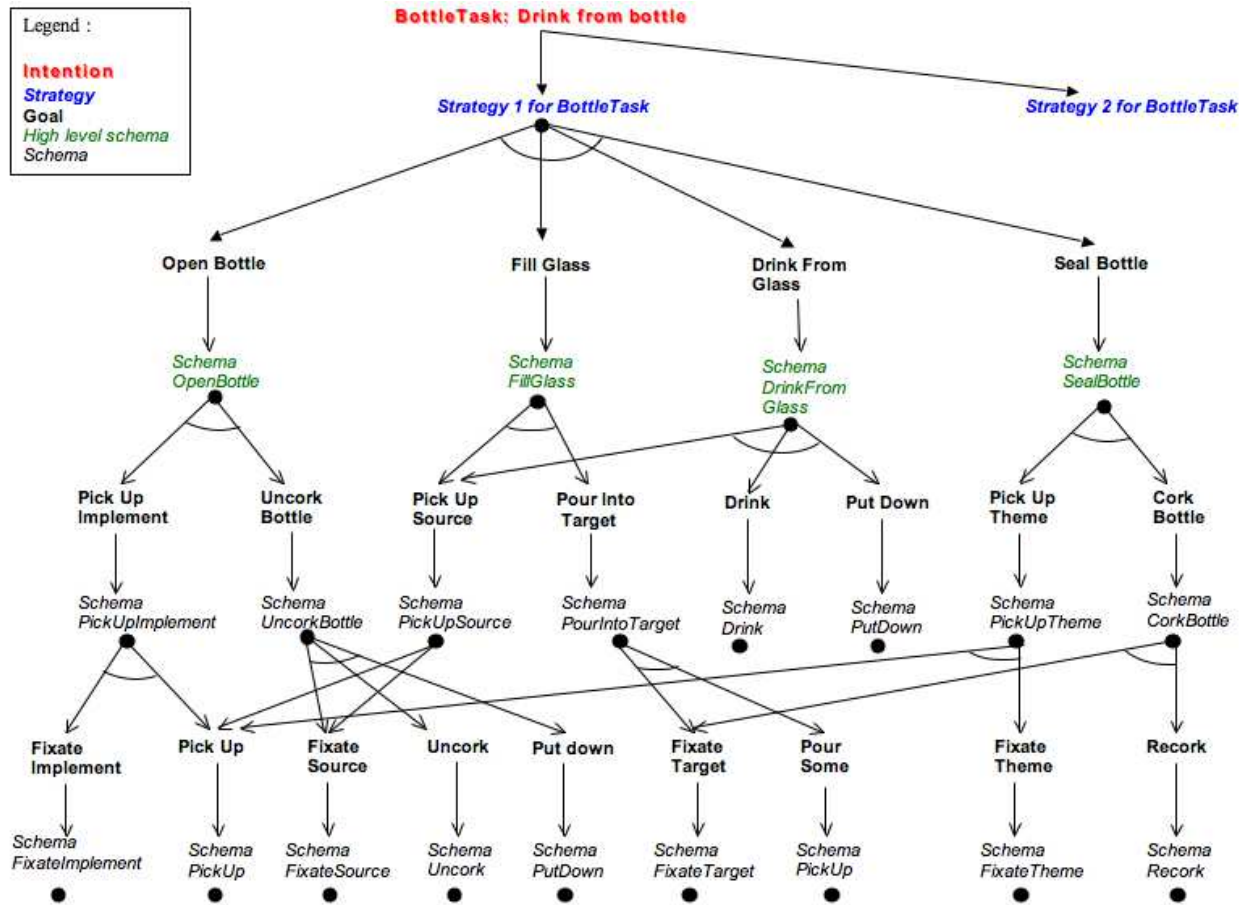


Figure 9.5 – Décomposition de la tâche en buts / stratégies / schémas

Pour pouvoir tester les mécanismes de contrôle, il faut d'abord pouvoir simuler des erreurs. Pour obtenir des comportements semblables à ceux observés par les patients apraxiques, Cooper (2007) introduit des schémas «distracteurs» dans la hiérarchie de schémas. Par exemple, pour la tâche «presser une orange», la définition de plusieurs schémas «couper» permet d'utiliser le couteau de différentes manières et de simuler des erreurs de type mauvaise utilisation d'un ustensile. De la même façon, nous introduisons deux schémas différents pour déboucher la bouteille. Un de ces schémas ne débouche pas correctement la bouteille, et a pour conséquence de laisser la bouteille dans l'état «fermé» à la fin de l'exécution de l'action correspondante. Nous définissons une petite tâche annexe («déboucher correctement la bouteille») dont la stratégie n'est définie que par un seul sous-but atteignable par un schéma de bas niveau «déboucher correctement».

Le détail de la définition des stratégies, des schémas et des buts pour la tâche complète est

donné en Annexe D.

9.2.2 Simulation

Dans la simulation, les consignes données pour la tâche (nom de l'intention : «*BottleTask* : *Drink from a bottle*» ; but de l'intention : «*goalBottleTask*», éléments essentiels : «*bottle, glass*») sont placées dans le buffer monde (*WORLD*) de manière à déclencher la génération de l'intention correspondante.

Deux simulations différentes ont été réalisées : la première correspond au déroulement normal de la tâche (*BottleTask*), la deuxième correspond au déroulement de la tâche avec introduction d'une situation non prévue (*BottleTaskWithErrors*). C'est grâce à la définition des différents schémas pour déboucher la bouteille et à la stratégie pour ouvrir correctement la bouteille que nous pouvons simuler les mécanismes de contrôle et d'ajustement.

Les valeurs des paramètres du questionnaire des conflits sont celles qui sont préconisées dans les recherches précédentes (Cooper *et al.*, 2005) pour reproduire un comportement bien structuré et cohérent. Nous ne faisons varier que les paramètres du système attentionnel superviseur pour pouvoir observer les différents types de comportement souhaités. À la manière de Cooper *et al.*, nous avons ajusté la valeur des paramètres en fonction des résultats de simulation pour obtenir le meilleur résultat possible. Les valeurs des paramètres sont présentées en annexe (cf. annexe D).

9.2.2.1 Déroulement normal de la tâche

La première simulation permet d'observer le fonctionnement des différents processus du modèle dans le déroulement normal de la tâche. Grâce à la trace fournie en fin de simulation, on peut observer le traitement de chaque module de façon séquentielle. L'extrait de trace³ représenté par la figure 9.6 correspond au début du traitement du système. Les instructions de la tâche sont ajoutées au buffer monde (*WORLD*) et un événement est transmis aux modules écoutant ce buffer. Le module «Génération des intentions» exécute alors son traitement en générant une intention et en la plaçant dans la mémoire de travail (*Working Memory*). L'événement «intention générée» (*intention generated*) est transmis au module «Génération

³Pour des raisons de réutilisabilité du code, nous avons décidé de coder le système en anglais. Les traces de simulation sont aussi en anglais.

des stratégies». Ce dernier récupère dans la mémoire épisodique les deux stratégies accomplissant le but de l'intention courante (*strategy1 for BottleTask* et *strategy2 for BottleTask*). L'événement «stratégies générées» (*strategies generated*) est transmis au module d'évaluation des stratégies pour leur évaluation. C'est la stratégie 1, dont le nombre de succès est plus important que celui de la stratégie 2, qui a la valeur d'utilité la plus forte (1.9979 contre 1.0073) et qui est donc sélectionnée.

```

WORLD
--> Item Instructions for BottleTask: Drink from a bottle added in WORLD (c0)

-----
MODULE INTENTIONS_GENERATION
0: Intention generated
  ACCESS to WORKING MEMORY
  --> Item Intention BottleTask: Drink from a bottle added in Working Memory (c0)
0: Event fired from INTENTIONS_GENERATION to STRATEGIES_GENERATION with the operation: intention generated

-----
MODULE STRATEGIES_GENERATION
  ACCESS to WORKING MEMORY
  --> Retrieve current intention
0: 2 strategies have been generated (Strategy1 for BottleTask,Strategy2 for BottleTask)
0: Event fired from STRATEGIES_GENERATION to STRATEGIES_EVALUATION with the operation: strategies generated

-----
MODULE STRATEGIES_EVALUATION
0: Strategies evaluation:
  ACCESS to WORKING MEMORY
  --> Retrieve strategies
  Strategy1 for BottleTask: 1.997938286297282
  ACCESS to WORKING MEMORY
  --> Retrieve strategies
  Strategy2 for BottleTask: 1.00737150351919
  Chosen strategy: Strategy1 for BottleTask
  ACCESS to WORKING MEMORY
  --> Item Strategy Strategy1 for BottleTask added in Working Memory (c0)
0: Event fired from STRATEGIES_EVALUATION to PLAN_CONSTRUCTION with the operation: strategy chosen

```

Figure 9.6 – Détail de la trace de la simulation du déroulement normal : génération de l'intention et des stratégies

Un événement «stratégie choisie» (*strategy chosen*) est transmis au module «Construction du plan». Les schémas de haut niveau permettant d'atteindre chaque sous-but de la stratégie 1 sont récupérés en mémoire épisodique («ouvrir la bouteille», «remplir le verre», «boire le contenu du verre» et «reboucher la bouteille»). Le module d'implémentation de l'agenda est alors chargé de placer dans le gestionnaire des conflits chaque schéma planifié selon l'index de réalisation de la tâche. La figure 9.7 illustre le changement de schéma planifié. Une fois que

la dernière action du schéma planifiée a été exécutée dans le gestionnaire des conflits, le but du schéma planifié est atteint. Le module contrôle vérifie que l’agenda des schémas ne soit pas achevé et donne l’ordre au module d’implémentation de l’agenda de passer au schéma de haut niveau suivant.

```
CS: 102      +schemaPutDown
CS: 102      PutDown      Putting down bottle_opener with rightHand

-----
MODULE CONTROL
102: Agenda execution checkout
      ACCESS to WORKING MEMORY
      --> Retrieve current agenda
102: Event fired from CONTROL to AGENDA_IMPLEMENTATION with the operation: intended schema completed

-----
MODULE AGENDA_IMPLEMENTATION
      ACCESS to WORKING MEMORY
      --> Retrieve current agenda
102: new intended schema: schemaFillGlass
      CS: 112      -schemaPutDown
      CS: 113      -schemaUncorkBottle
      CS: 113      -schemaOpenBottle
      CS: 116      +schemaFillGlass
```

Figure 9.7 – Détail de la trace de la simulation du déroulement normal : passer au schéma planifié suivant

Les schémas de haut niveau qui n’avaient pas lien entre eux dans le gestionnaire des conflits s’enchaînent bien de façon cohérente dans le gestionnaire des conflits. Lorsque le dernier élément de l’agenda des schémas est terminé, l’agenda est considéré comme achevé et la tâche peut se terminer. La figure 9.8 illustre le traitement final du déroulement de la tâches. Le module d’évaluation finale envoie un événement «arrêter l’intention courante» (*stop current intention*) au module «Monitoring des intentions» pour qu’il finalise la tâche (le statut de l’intention est mis à jour et l’exécution du gestionnaire des conflits est arrêtée via le module d’implémentation de l’agenda).

Une comparaison avec le déroulement de la tâche obtenu dans les premières implémentations du gestionnaire des conflits par Cooper (2007) permet de vérifier la cohérence de la simulation et de valider l’implémentation de notre modèle, notamment celle du gestionnaire des conflits et de l’activation des schémas. Les courbes d’activation des schémas au cours des cycles d’exécution suivent le même profil pour les deux implémentations (cf. figure 9.9). À noter que les deux derniers sous-buts de la tâche («boire le contenu du verre» et «reboucher la bouteille») n’ont pas de priorité d’exécution l’un par rapport à l’autre. Au cours de la

```

CS: 369                                RecorkBottle  Recorking bottle with cork (held by leftHand)

-----
MODULE CONTROL
369: Agenda execution checkout
      ACCESS to WORKING MEMORY
            --> Retrieve current agenda
369: Event fired from CONTROL to FINAL_EVALUATION with the operation: agenda completed

-----
MODULE FINAL_EVALUATION
      ACCESS to WORKING MEMORY
            --> Retrieve current intention
      ACCESS to WORKING MEMORY
            --> Retrieve suspended intentions
369: Event fired from FINAL_EVALUATION to INTENTIONS_MONITORING with the operation: stop current intention

-----
MODULE INTENTIONS_MONITORING
      ACCESS to WORKING MEMORY
            --> Retrieve current intention
369: Event fired from INTENTIONS_MONITORING to AGENDA_IMPLEMENTATION with the operation: stop CS

-----
MODULE AGENDA_IMPLEMENTATION
369: stop the CS
Running 30 more cycles for schemas deselection
      CS: 379      -schemaRecork
      CS: 385      -schemaCorkBottle

End of process... cycle = 399

```

Figure 9.8 – Détail de la trace de la simulation du déroulement normal : évaluation finale

simulation de l'implémentation de Cooper (en haut), c'est le sous-but «reboucher la bouteille» qui est exécuté avant «boire le contenu du verre», alors que dans la simulation de notre modèle (en bas), c'est l'inverse.

La figure 9.10 présente un extrait de la sélection des schémas dans le déroulement de la tâche simulé par l'implémentation de Cooper (2007) à gauche et par notre modèle à droite. L'extrait présente la sélection et désélection des schémas de haut niveau «ouvrir la bouteille» et «remplir le verre», et la réalisation des actions correspondantes.

Dans la simulation de Cooper, la tâche est effectuée en 394 cycles, 17 actions sont accomplies et la tâche est terminée avec succès (le but du schéma planifié est atteint). Dans notre simulation, la tâche est effectuée avec succès en 399 cycles et les 17 mêmes actions sont accomplies. L'objectif de la tâche est lui aussi considérée comme atteint par le module d'évaluation finale. La trace complète de la simulation est présentée dans l'annexe E.1.

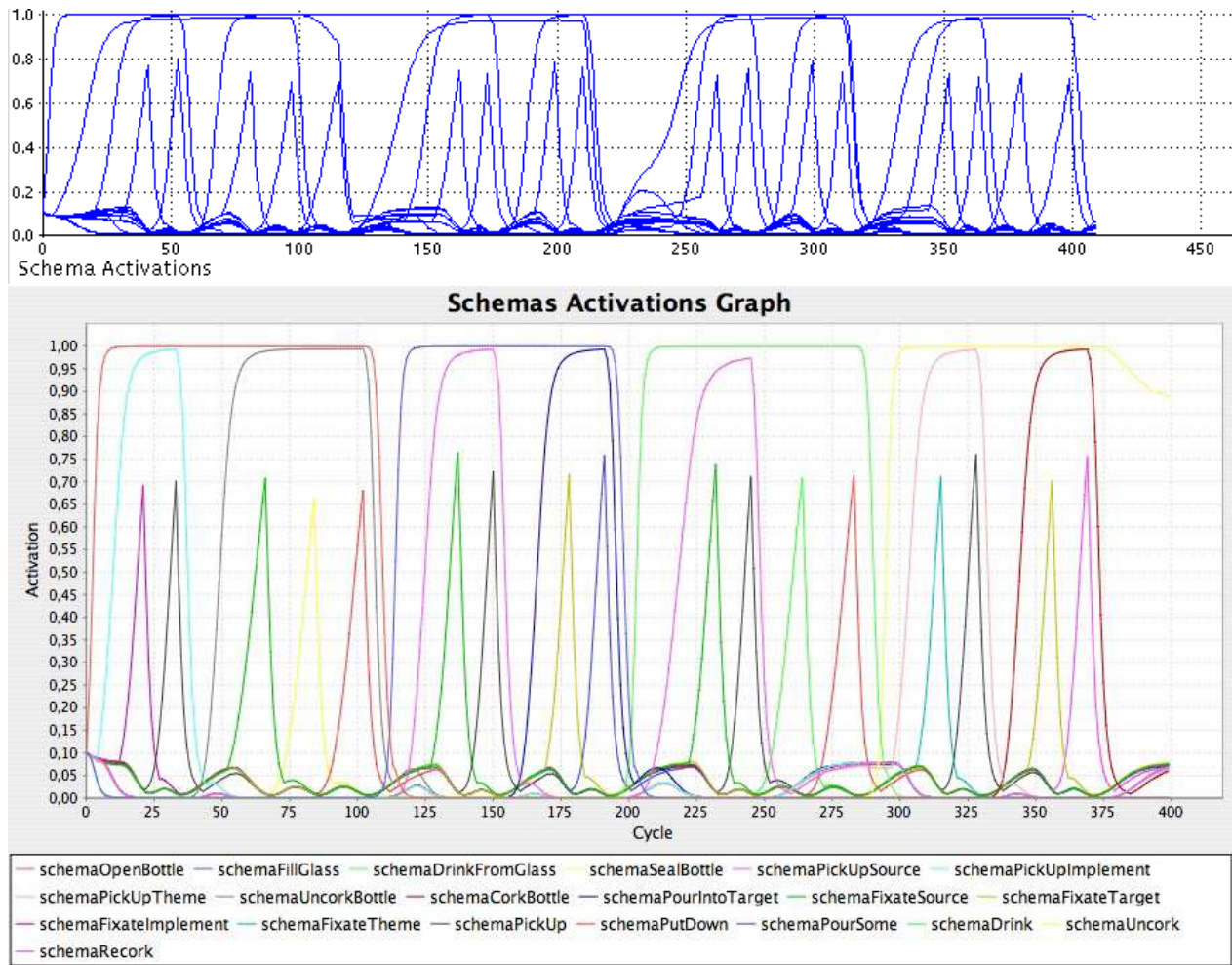


Figure 9.9 – Activation des schémas dans l'implémentation de Cooper (2007) (en haut) et dans notre modèle pour le déroulement normal (en bas)

→ Cette première simulation permet donc de montrer que le déroulement de la tâche peut être reproduit dans notre modèle, de la même façon qu'il était reproduit dans l'implémentation de Cooper (2007).

9.2.2.2 Déroulement de la tâche avec situation non prévue

La deuxième simulation permet d'observer le fonctionnement de certains mécanismes de contrôle et d'ajustement lors d'une situation non prévue. On introduit la perturbation dans le premier sous-but de la tâche «ouvrir la bouteille». Les actions sont modélisées par leurs conséquences sur les objets de l'environnement ou sur les effecteurs du système. Normalement, pour ouvrir la bouteille, l'action correspondant au schéma de bas niveau «déboucher» (*un-*

cork) se traduit par le changement d'état de la bouteille (passage de «fermée» à «ouverte»). Nous introduisons donc dans la modélisation de la tâche deux actions pour déboucher la bouteille : une action *uncork*, qui ne change pas l'état de la bouteille, et une action *uncorkOK* qui, elle, change l'état de la bouteille. Dans le premier cas, les post-conditions du but du schéma associé à l'action ne sont pas vérifiées lors de la désélection du schéma. Un diagnostic est directement défini dans la vérification des post-conditions. À noter que, comme nous l'avons préconisé dans le modèle théorique, nous utilisons un raccourci pour la modélisation du diagnostic de l'erreur. Le diagnostic de contrôle pour ce problème est «action non réalisable». Dans le deuxième cas, les post-conditions sont vérifiées. La sélection de ce deuxième schéma ne peut se faire qu'après un passage en macro re-planification, ou plus concrètement après la génération d'une nouvelle intention pour ouvrir correctement la bouteille. La stratégie *strategyForUncorkTask* conduira à la sélection du bon schéma et l'exécution de la tâche principale pourra être reprise.

La figure 9.12 montre l'extrait de trace concernant la tentative de micro re-planification et le


```
CS: 87          UncorkBottle  Uncorking bottle1 with bottle_opener (held by rightHand)
CS: 107         -schemaUncork
107: schema schemaUncork deselected - postconditions not ok: NON_EXECUTABLE_ACTION

-----
MODULE CONTROL
Problem has been detected - Micro planing is initiated
  ACCESS to WORKING MEMORY
  --> Item goalUncork added in Working Memory (c107)
  ACCESS to WORKING MEMORY
  --> Item schemaUncork[] added in Working Memory (c107)
107: Event fired from CONTROL to MICRO_RE_PLANING with the operation: action change

-----
MODULE MICRO_RE_PLANING
107: Change action
  ACCESS to WORKING MEMORY
  --> Retrieve erroneous schema
107: Selection of the same schema: schemaUncork
  ACCESS to WORKING MEMORY
  --> Item schemaUncork[] added in Working Memory (c107)
CS: 112         +schemaUncork
CS: 112         UncorkBottle  Uncorking bottle1 with bottle_opener (held by rightHand)
CS: 133         -schemaUncork
```

Figure 9.11 – Détail de la trace de la simulation du déroulement avec situation non prévue : micro re-planification

basculement vers une phase de macro re-planification. Le même schéma a été re-sélectionné et l'action exécutée ne permet toujours pas de satisfaire les post-conditions. Le module contrôle met à jour sa valeur de micro re-planification (micro-planing value = 0.664), calculée en fonction du facteur d'altération cognitive et du nombre d'essais déjà effectués. La valeur de micro re-planification dépasse le seuil (fixé à 0.6), une phase de macro re-planification est donc initiée. Le module contrôle demande l'inhibition du schéma correcteur au module «Micro re-planification» et passe le relais (via l'événement *generate new intention*) au module «Monitoring des intentions». Avant de passer le relais au module «Génération des intentions» pour «ouvrir correctement la bouteille», le module suspend la tâche principale. Pour cela, le schéma planifié est inhibé et les schémas sélectionnés dans le gestionnaire des conflits sont désélectionnés.

La trace complète de la simulation de la tâche pour un sujet âgé est donnée en annexe (cf. annexe E.2) et les résultats obtenus pour chaque catégorie de sujets sont présentés dans le tableau 9.1. On peut remarquer que le nombre d'essais en micro re-planification augmente avec l'altération cognitive, faisant logiquement augmenter le nombre d'actions réalisées et le nombre de cycles d'exécution.

```

CS: 112      +schemaUncork
CS: 112      UncorkBottle  Uncorking bottle1 with bottle_opener (held by rightHand)
CS: 133      -schemaUncork
133: schema schemaUncork deselected - postconditions not ok: NON_EXECUTABLE_ACTION

-----
MODULE CONTROL
Problem not solved ---- Micro-planing value: 0.6642160385424042
Switch to macro-Planing phase
  ACCESS to WORKING MEMORY
    --> Erase informations (goal to solve and erroneous schema) for micro planing purpose
133: Event fired from CONTROL to MICRO_RE_PLANING with the operation: correcting schema inhibition

-----
MODULE MICRO_RE_PLANING
133: inhibit correcting schema
  ACCESS to WORKING MEMORY
    --> Erase informations (correcting schemas) for micro planing purpose
133: Event fired from CONTROL to INTENTIONS_MONITORING with the operation: generate new intention

-----
MODULE INTENTIONS_MONITORING
133: Suspension of current intention
  ACCESS to WORKING MEMORY
    --> Retrieve current intention
133: Inhibition of intended schema
133: Event fired from INTENTIONS_MONITORING to AGENDA_IMPLEMENTATION with the operation: intended schema inhibition

-----
MODULE AGENDA_IMPLEMENTATION
133: inhibition of the intended schema
Deselection of selected schemas after intended schema inhibition
  CS: 133      -schemaUncorkBottle
  CS: 133      -schemaOpenBottle
133: New intention solicitation
133: Event fired from INTENTIONS_MONITORING to INTENTIONS_GENERATION with the operation: generate new intention

```

Figure 9.12 – Détail de la trace de la simulation du déroulement avec situation non prévue : passage de micro à macro re-planification

	Jeune	Âgé	MCI-MA
Déroulement normal			
Nombre de cycles	399	399	399
Nombre d'actions	17	17	17
Déroulement avec problème			
Nombre de cycles	497	566	596
Nombre d'actions	19	22	23
Nombre d'essai en micro re-planification	1	3	4

Tableau 9.1 – Résultats obtenus par les simulations de notre modèle

La modélisation de ce problème et de son ajustement est inspirée des observations faites dans la première partie de ce travail de recherche lorsque la perturbation du stylo est introduite.

Le stylo fourni pour l'expérience ne marche pas (action «écrire» non réalisable). Les sujets essayent d'écrire une ou plusieurs fois (micro re-planification) puis génèrent une nouvelle intention «trouver un moyen pour écrire» (macro re-planification). L'altération cognitive accentue la persistance à rester en micro re-planification au lieu de basculer vers une phase de macro re-planification. En d'autres termes, les sujets âgés et MCI-MA essayent de faire marcher le stylo (micro ajustement) plus longtemps avant de prendre un autre stylo (macro ajustement).

→ *Avec cette deuxième simulation, nous montrons que les mécanismes de contrôle, et plus particulièrement ceux de détection d'un problème et d'ajustement, peuvent être reproduits par notre modèle. Le modèle permet de simuler le type de comportements observés dans l'expérimentation, à savoir le passage d'un micro ajustement qui ne marche pas à l'exécution d'une tâche secondaire permettant de résoudre le problème. Les phénomènes de persistance en mode micro re-planification observés dans l'altération cognitive lors de notre expérimentation ont eux aussi pu être reproduits grâce à l'introduction du paramètre d'altération cognitive dans le calcul de la valeur de re-planification.*

Quatrième partie

PERSPECTIVES ET CONCLUSION

CHAPITRE 10

Discussion

Le vieillissement et les démences de type Alzheimer entraînent une dégradation des processus exécutifs. Pour assister efficacement les personnes atteintes de cette maladie, dans le contexte du maintien à domicile et notamment dans celui des *habitats intelligents pour la santé*, il est essentiel d'identifier les difficultés auxquelles ces personnes se confrontent dans leur vie quotidienne. Une meilleure utilisabilité des systèmes d'aide à la tâche doit commencer par une meilleure compréhension des handicaps cognitifs. L'étude que nous proposons a pour but de contribuer à la documentation de la perte d'autonomie des personnes atteintes de troubles exécutifs pour améliorer les systèmes d'assistance domotique ou robotique. Elle répond à deux objectifs complémentaires : (1) observer et qualifier les processus exécutifs et leur dégradation au cours de l'altération cognitive (vieillissement naturel ou lié à une maladie de type Alzheimer), et (2) proposer un modèle théorique et computationnel, basé sur l'analyse de ces observations et sur les spécifications du modèle de contrôle attentionnel de l'action proposé par Norman et Shallice.

La discussion qui suit s'articule autour de deux points : d'une part elle permet de résumer les travaux réalisés dans ce travail de recherche, les conclusions que l'on peut en tirer, d'autre part elle ouvre la réflexion sur la place de la modélisation cognitive dans les habitats intelligents pour la santé et plus particulièrement dans les systèmes d'aide à la tâche.

10.1 Retour sur le travail réalisé

10.1.1 Discussion sur l’observation et l’analyse des processus exécutifs

Le premier objectif fixé dans ce travail de recherche était d’observer les mécanismes mis en jeu dans la réalisation d’activités de la vie quotidienne et leur dégradation au cours de l’altération cognitive liée au vieillissement et à une maladie de type Alzheimer. L’expérimentation mise en place visait donc à étudier (1) l’implication des processus exécutifs, en particulier ceux liés au contrôle exécutif, pendant la réalisation des AVQ, et (2) leur dégradation au cours de l’altération cognitive liée au vieillissement et à la maladie. Fondée sur les évaluations en ergothérapie, l’expérimentation a été menée auprès de trois groupes différents de sujets : les sujets jeunes adultes, les sujets âgés et les sujets diagnostiqués MCI-MA (Mild Cognitive Impairment et Maladie d’Alzheimer). Nous avons demandé aux sujets jeunes et âgés de réaliser deux activités spécifiques (*remplir un formulaire pour le poster* et *rempoter une plante*), et aux sujets MCI-MA de réaliser la première activité (la seconde n’étant pas réalisable dans l’enceinte de l’hôpital). Au cours de la réalisation de ces activités, nous avons introduit des perturbations (situations non prévues ou anormales). L’introduction de celles-ci avait pour objectif de faciliter l’observation et la qualification des capacités des sujets à contrôler leurs actions, à s’adapter et à se corriger. Les outils d’analyse mis en place ont permis d’étudier les résultats obtenus de façon quantitative (système de cotation tenant compte de la nature de l’assistance de l’examinateur) et qualitative (classification des erreurs, grille d’analyse et arbres de réalisation).

Comme nous l’avons présenté au Chapitre 6, l’analyse quantitative de la première tâche montre une différence significative entre les différents groupes de sujets et une diminution des performances au cours du vieillissement normal ou lié à la démence. Nous ne pouvons cependant pas conclure de façon catégorique à une détérioration des processus exécutifs liée à l’altération cognitive à cause du manque d’appariement entre les différents groupes de sujets. En effet, les groupes ne sont pas comparables par rapport à leur niveau scolaire et à la familiarité avec la tâche. Nous avons quand même observé, au cours de l’altération cognitive, un besoin d’assistance qui se fait plus important. Les sujets ont du mal à trouver des solutions adaptées à la situation ou à changer de stratégie, ils commettent plus d’erreurs et ont besoin de plus de temps pour exécuter la tâche. Contrairement à ces résultats positifs, l’analyse quantitative de

la deuxième tâche ne révèle pas de différence significative entre les sujets jeunes et les sujets âgés. Les deux groupes sont, dans l'ensemble, indépendants, ou ont besoin d'incitations par rapport à la perturbation introduite. Ces résultats peuvent être liés à la connaissance de la tâche, qui est plus routinière pour les sujets âgés que pour les sujets jeunes. Le choix des tâches à réaliser et des perturbations introduites est donc très important. Les processus exécutifs, et plus particulièrement le contrôle exécutif, sont facilement évaluable dans la première tâche, alors qu'ils sont plus difficiles à observer dans la deuxième. Il aurait été intéressant d'étudier les sujets MCI-MA pour pouvoir conclure au rejet ou non de cette deuxième tâche comme point d'observation de la dégradation des processus exécutifs.

Le système de cotation utilisé pour analyser les performances des sujets a été largement inspiré de l'outil «le profil des AVQ» en ergothérapie (Dutil *et al.*, 1996). Cependant l'originalité de notre protocole expérimental réside dans l'introduction des perturbations. Les distracteurs sont largement utilisés en psychologie expérimentale. Comme leur nom l'indique, les distracteurs ont pour but de distraire ou détourner l'attention ou la pensée. Habituellement, ils sont introduits pour tester les capacités d'inhibition des sujets ou pour provoquer des erreurs précises comme la confusion entre deux items. Dans notre étude, les perturbations introduites ne visent pas simplement à provoquer des erreurs. Elles ont pour objectif de mettre le sujet en situation d'utiliser ses mécanismes d'ajustement et d'adaptation à la nouvelle situation. Ces perturbations nous permettent ainsi de pouvoir observer les processus dans leur intégralité (génération d'intention, élaboration de stratégies et du plan, etc.). Cette distinction par rapport aux distracteurs classiques nous a conduit à aménager les systèmes de cotations en fonction de ces éléments particuliers. Aussi, l'échelle de cotation, la nature des interventions fournies par l'examineur et la classification des erreurs (type A *versus* type P) différencient les difficultés liées à la dégradation des processus exécutifs des difficultés liées aux conditions expérimentales. L'assistance est également échelonnée afin de ne pas gêner l'observation des mécanismes exécutifs et vise à bien identifier les difficultés des personnes. Pour chaque type d'assistance (confirmation, incitation et guidage), le premier pallier fait référence aux consignes données au sujet avant qu'il ne commence la tâche. L'examineur demande à la personne de se référer à la consigne ; il peut aussi directement la lui rappeler. On sait que dans le vieillissement, qu'il soit normal ou associé à une démence, apparaissent très souvent des troubles de la mémoire. Cette précaution permet de ne pas faire l'amalgame entre les erreurs dues à des dysfonctionnements exécutifs et celles qui pourraient être causées par un déficit mnésique.

Les résultats obtenus dans l'analyse quantitative sont prometteurs. Cette expérimentation

pourrait être utilisée comme nouvelle méthode d'évaluation du degré d'autonomie (ou de dépendance). Avant de valider cette méthode, il conviendrait de réaliser un certain nombre de vérifications de façon à respecter une démarche scientifique rigoureuse.

En premier lieu, il faudrait observer et analyser un plus grand nombre de sujets. Dans ces travaux, nous avons mobilisé un total de 30 sujets, tous groupes confondus. Nous n'avons pu observer que 7 sujets atteints des troubles cognitifs étant donné la difficulté de trouver des patients volontaires pour participer à ce genre d'étude lorsque l'on ne travaille pas directement dans un hôpital. Nous avons pu les observer pour la réalisation de la première tâche uniquement, la deuxième ne pouvant se faire dans l'enceinte de l'hôpital pour raison d'hygiène. Il faut aussi, comme précisé précédemment, appairer les sujets des différents groupes pour pouvoir les comparer et conclure à la détérioration (ou non) des processus exécutifs avec l'âge ou la maladie.

Il faudrait donc, en second lieu, pouvoir observer tous les sujets sur différentes tâches. La plupart des évaluations utilisées en ergothérapie proposent l'observation de la réalisation de plusieurs tâches. Dans le profil des AVQ (Dutil *et al.*, 1996), l'évaluation est réalisée sur un ensemble de 26 tâches. Une version révisée de cet outil propose l'observation de 9 tâches différentes, allant de préparer un repas ou faire le ménage à gérer ses finances. Toujours dans l'objectif d'évaluer l'autonomie des personnes et donc indirectement leur sécurité à leur domicile, il serait intéressant d'intégrer dans le protocole expérimental une tâche de cuisine. Une altération du contrôle exécutif et des capacités à s'ajuster peut être particulièrement dangereuse dans les tâches de cuisine à cause de la manipulation de certains ustensiles ou de l'utilisation du gaz.

En troisième lieu, il faudrait tester la fidélité inter-juges du score attribué aux sujets. C'est nous qui avons mis au point le protocole expérimental et les outils d'analyse. Pour éviter toute subjectivité dans l'analyse des résultats, il serait donc normal de faire évaluer le comportement des sujets par des observateurs extérieurs et de comparer les scores ainsi obtenus pour chaque sujet. La validation des échelles de cotations serait alors renforcée. Enfin, les évaluations en ergothérapie reprochent souvent aux tests en neuropsychologie de ne pas être d'assez bon prédicteurs des capacités des sujets dans la vie quotidienne (Baum et Edwards, 1993). Dans l'évaluation de la cognition au cours d'une tâche de cuisine chez des patients cérébrolésés, Baguena *et al.* (2006) ne trouvent aucune corrélation entre les performances à la génération et l'exécution d'un script de cuisine et le bilan neuropsychologique des patients. Il serait intéressant de vérifier la corrélation de nos résultats avec les résultats obtenus aux

tests neuropsychologiques utilisés habituellement pour évaluer les processus exécutifs. Est-ce que, par exemple, il existe un lien entre l'observation des mécanismes de planification lors de l'introduction de la sous-tâche «obtenir une information» et la mesure des capacités de planification par un test neuropsychologique comme la tour de Londres ou le Wisconsin Card Sorting Test ?

L'analyse qualitative a été effectuée uniquement sur la première tâche et sur 9 sujets (3 sujets pour chaque groupe). Elle permet d'étudier et de qualifier plus en profondeur les mécanismes utilisés dans la réalisation de la tâche et permet ainsi de faire le lien avec le deuxième objectif de notre travail de recherche, qui est de modéliser les processus exécutifs et leur dégradation au cours du vieillissement. Cette analyse confirme ce que nous avons déjà observé dans l'analyse statistique : les difficultés d'ordre exécutif sont plus importantes avec l'altération cognitive. Les sujets ont besoin d'assistance pour contrôler une ou plusieurs actions, pour évaluer le résultat de la tâche, pour élaborer/changer de stratégie, pour planifier une ou plusieurs actions en mode micro, etc. L'étude des arbres de réalisation de la tâche ont permis d'étudier notamment les mécanismes de contrôle et de re-planification (choix de l'ajustement en fonction du diagnostic de contrôle et passage de micro à macro re-planification). Le formalisme de description des arbres de réalisation des tâches a été mis au point par nos soins. Là encore, il faudrait pouvoir valider nos arbres par des observateurs extérieurs pour s'assurer de l'objectivité de notre travail. Cette perspective semble plutôt optimiste car la grille d'analyse, qui sert de base à l'élaboration des arbres, a été testée et validée par des ergothérapeutes du centre de réadaptation de Montréal (à l'origine de l'outil «Le profil des AVQ»).

→ *En résumé, l'objectif d'observer les processus exécutifs et leurs dysfonctionnements a pu être atteint grâce à l'observation de la tâche «remplir un formulaire pour le poster». L'expérimentation peut être améliorée en élargissant le nombre et la nature des tâches à observer pour devenir, à part entière, un outil de mesure de l'autonomie (ou de la dépendance) des personnes dans leur quotidien. La détérioration des processus exécutifs liée au vieillissement normal ou accompagné de démence doit être vérifiée en appariant les différents groupes de sujets.*

10.1.2 Discussion sur la modélisation des processus exécutifs

Le deuxième objectif fixé dans ce travail de recherche était de modéliser, de façon théorique puis informatique, les processus exécutifs et leur dégradation liée au vieillissement et à la

démence de type Alzheimer.

10.1.2.1 Spécifications du modèle

Nous avons choisi le cadre de la théorie du contrôle attentionnel proposée par Norman et Shallice (Norman et Shallice, 1980, Norman et Shallice, 1986) pour spécifier notre modèle des processus exécutifs impliqués dans la réalisation des activités de la vie quotidienne. Cette théorie du contrôle attentionnel s'articule autour de deux composants : le gestionnaire des conflits et le système attentionnel superviseur (SAS). Le SAS, rassemblant les processus exécutifs, est chargé de planifier et contrôler les tâches tandis que le gestionnaire des conflits s'occupe d'exécuter les séquences d'actions planifiées par le SAS.

Notre modèle a été construit en s'inspirant de la proposition de Shallice et Burgess de fragmenter le SAS en plusieurs sous-processus complémentaires (Shallice et Burgess, 1996) et sur la proposition de Glasspool et Cooper d'utiliser l'architecture de l'agent décisionnel en intelligence artificielle, Domino (Fox et Das, 2000), pour modéliser les processus du SAS (Glasspool, 2000, Glasspool et Cooper, 2002, Glasspool, 2005). Nous nous sommes aussi basés sur l'analyse des observations réalisées dans la première partie du travail, et notamment sur le dictionnaire des mécanismes et des comportements déviants associés que nous avons établi. Le modèle proposé est ainsi composé de dix modules («Génération des intentions», «Génération des stratégies», «Évaluation des stratégies», «Construction du plan», «Implémentation de l'agenda des schémas», «Contrôle», «Micro re-planification», «Monitoring des intentions» et «Évaluation finale») et du gestionnaire des conflits. Les spécifications de notre modèle sont composées de 7 définitions concernant les données manipulées par le gestionnaire des conflits (schéma, but, objet) et par le système attentionnel superviseur (intention, stratégie, agenda des schémas), de 2 espaces de stockages (mémoire épisodique et mémoire de travail), de 20 spécifications et 13 algorithmes expliquant le fonctionnement des différents modules du modèle. Plutôt que de revenir sur le fonctionnement de chaque module, nous dresserons ici la liste des principales modifications ou améliorations apportées par rapport aux spécifications existantes :

- Dans le SAS que propose Shallice et Burgess (1996), les processus utilisent la mémoire épisodique dans la phase de résolution de problème et de génération des stratégies. Cette notion n'apparaît pas dans l'implémentation de Glasspool et Cooper (2002). Nous avons ré-introduit ce concept dans notre modèle. La mémoire épisodique est utilisée dans la phase de planification par les modules «Génération des stratégies», «Évaluation des stratégies»

et «Construction du plan». Les stratégies et les schémas de haut niveau connus par le sujet y sont stockés. On associe aux stratégies leurs précédents succès et/ou échecs, informations utiles au processus d'évaluation des stratégies. La mémoire épisodique permet donc, comme le précisait Schank (1982), de fournir le matériel nécessaire pour confronter la situation aux expériences passées.

- Une de nos priorités concernant le modèle était de spécifier les mécanismes de contrôle exécutif, qui ne sont que très peu spécifiés dans les modèles existants. Shallice et Burgess (1996) soulignent l'importance de surveiller le déroulement des séquences réalisées mais ne proposent qu'un simple mécanisme d'acceptation ou de rejet du schéma temporaire. Glasspool et Cooper (2002) proposent dans leur module de génération des intentions un suivi très simple concernant le changement de stratégie. Lorsqu'un feedback négatif de l'examineur est reçu (élément placé en mémoire de travail), une nouvelle intention est générée, qui déclenchera elle-même la génération d'une nouvelle stratégie.

Dans notre modèle, les différents mécanismes réunis sous l'appellation «réalisation effective» par Lezak, donnent lieu à plusieurs modules, à savoir : «Contrôle», «Micro re-planification», «Monitoring des intentions» et «Évaluation finale». Le pilier central de cet ensemble est le module «Contrôle». C'est lui qui reçoit les informations du monde extérieur et des autres modules et qui vérifie le déroulement des séquences d'actions. S'il détecte un problème, il aiguillera les traitements d'ajustement et de correction soit à l'échelle de l'action intentionnelle (micro re-planification), soit à l'échelle des processus de volonté et de planification (macro re-planification). Enfin, lorsque les schémas de l'agenda des schémas ont été réalisés, le module «Évaluation finale» prend la décision d'arrêter ou de reprendre l'intention courante. Les spécifications de ces modules se fondent notamment sur les observations faites dans la première partie du travail concernant l'absence de correction de certaines erreurs, et de la persistance des sujets âgés et MCI-MA à rester en mode micro au lieu de passer en mode macro en cas de problème. Le fractionnement des processus d'ajustement selon leur niveau de portée est une innovation dans le modèle. La distinction entre portée locale (micro) et globale (macro) s'inspire de la littérature en planification, en intelligence artificielle, selon laquelle les planificateurs vont chercher une solution à partir de l'état actuel pour rejoindre l'ancien plan plutôt que de relancer tout le processus de planification (Russell et Norvig, 2003). On retrouve aussi la distinction entre micro et macro étapes dans la réalisation d'activités de la vie quotidienne dans certaines études (Semkowska *et al.*, 2004).

- Un autre avantage que possède notre modèle par rapport au modèle de Glasspool et Cooper

(2002), concerne la communication entre les modules du SAS et le gestionnaire des conflits. Glasspool (2005) insiste sur l'importance du travail de spécification des interactions entre système attentionnel superviseur et gestionnaire des conflits. Il précise notamment le besoin d'enlever le schéma planifié et de désélectionner les schémas du gestionnaire des conflits pour laisser du temps au SAS lorsqu'une situation anormale est détectée (Glasspool, 2005). Dans notre modèle, le module «Implémentation de l'agenda des schémas» gère les interactions avec le gestionnaire des conflits. Il permet de maintenir le schéma de haut niveau pertinent, planifié par le SAS, pour qu'il reçoive l'excitation nécessaire à sa sélection par le gestionnaire des conflits. Il permet aussi de gérer les interruptions et reprises d'intentions. Lorsque la situation courante est modifiée et qu'elle demande un ajustement, l'intention courante est suspendue. Le schéma planifié est inhibé et les schémas sélectionnés pourront alors être désélectionnés. Parallèlement, lorsqu'une intention est reprise, l'indice de réalisation associé à l'agenda des schémas permet de reprendre la tâche là où elle avait été suspendue. Le module propose alors au gestionnaire des conflits le nouveau schéma planifié.

- Pour que le SAS puisse influencer la sélection des schémas dans gestionnaire des conflits lors d'une phase d'ajustement qui n'implique que l'action intentionnelle (micro re-planification), nous introduisons un nouveau concept : le schéma correcteur. Le schéma sélectionné par le module «Micro re-planification» recevra une excitation *top-down*, ou influence parentale, très forte qui permettra sa sélection. Ce fonctionnement est directement inspiré du fonctionnement du schéma planifié (appelé *schéma source* dans le modèle original de Norman et Shallice).
- Les spécifications et algorithmes que nous proposons pour définir notre modèle sont hautement différenciés du contexte, en d'autres termes de la tâche à exécuter. Notre modèle présente donc un avantage certain sur le travail réalisé par Cooper et Glasspool (2002). Ils soulignent d'ailleurs ce point faible dans leur modèle, en précisant qu'un modèle des fonctions de supervision plus satisfaisant devraient clairement distinguer les processus exécutifs des connaissances utilisées lorsqu'une tâche est réalisée (Glasspool et Cooper, 2002).

Nous ne discuterons pas ici des choix que nous avons fait pendant le travail de définition de notre modèle puisqu'ils ont été justifiés tout au long du processus de spécification. Nous sommes bien sûr conscients que le fonctionnement d'un certain nombre de modules reste encore à préciser. Notre attention a été portée tout particulièrement sur les mécanismes d'action intentionnelle et de réalisation effective, simplifiant volontairement les mécanismes de volonté et de planification (cf. figure 8.1 qui décrit l'architecture globale du système en utilisant la

catégorisation de Lezak). Il faudrait par exemple améliorer le module «Génération des stratégies». L’heuristique que nous proposons est très simple : les stratégies générées sont celles utilisées dans le passé (accessibles via la mémoire épisodique). C’est une façon de modéliser la proposition de Shallice et Burgess selon laquelle une solution peut venir spontanément à l’esprit (Shallice et Burgess, 1996). Comme le suggèrent Shallice et Burgess, un vrai travail relevant de l’intelligence artificielle et de la résolution de problème pourrait apporter de nettes améliorations à ce module. En s’inspirant des études menées en neuropsychologie et des méthodes proposées en intelligence artificielle, les processus de construction du plan et de génération des intentions pourraient eux aussi être améliorés.

Une autre voie d’amélioration du modèle concerne les espaces de stockage de l’information, ou systèmes de mémoire. Dans notre modèle nous faisons appel à deux types de mémoire : la mémoire de travail et la mémoire épisodique. Les modules du système attentionnel superviseur y ont accès pour récupérer les informations dont ils ont besoin. Nous n’avons pas spécifiés de mécanismes particuliers concernant cette récupération d’information ou concernant la façon de stocker les données. Pourtant, plusieurs études ont montré l’étroite relation qu’il existe entre mémoire et processus exécutifs (Isingrini, 2004). C’est notamment le cas de Baddeley, pour qui le centre exécutif de la mémoire de travail est étroitement impliqué dans le contrôle exécutif de l’action (Baddeley, 1996). Parallèlement, il a été montré que les capacités d’inhibition de la mémoire de travail sont altérées dans le vieillissement et qu’une quantité importante d’informations distrayantes pourraient interférer avec la tâche en cours (Hasher et Zacks, 1988). De façon plus générale, les processus exécutifs interviendraient sur les processus stratégiques qui accompagnent l’activité mnésique, à savoir sur l’initiation, l’exécution et le contrôle des stratégies permettant de coder et de récupérer l’information (Moscovitch, 1992). Des études ont d’ailleurs montré que le vieillissement altérerait de façon sélective la mémoire épisodique lorsque celle-ci repose sur une récupération contrôlée de l’information cible (Anderson et Craik, 2000, Prull *et al.*, 2000)¹. Les mécanismes de stockage et de récupération de l’information sont très simples dans notre modèle. Dans le prototype, l’accès à une information spécifique est basé sur une simple recherche par critère. Quand les processus du SAS n’ont plus besoin de l’information en mémoire de travail, ils ordonnent leur suppression. Il serait donc intéressant de s’orienter vers une modélisation plus poussée des mécanismes associés à nos espaces mémoires. Concernant le stockage de l’information, des travaux pourraient être entrepris pour étudier comment modéliser l’altération des processus de mise à

¹Pour une vue d’ensemble des études concernant les processus exécutifs et les mémoires dans le vieillissement, voir Isingrini (2004).

jour de l'information en mémoire de travail, notamment de la suppression si l'on se base sur l'étude de Hasher et Zacks (1988). Concernant la récupération d'information, on pourrait imaginer un accès contrôlé par un système subsymbolique, comme le propose l'architecture cognitive ACT-R (Anderson et Lebiere, 1998). Chaque item stocké en mémoire est associé à une valeur d'activation et ne peut être récupéré que si son activation dépasse un certain seuil. Nous avons montré, dans un modèle précédemment développé avec l'architecture cognitive ACT-R, que la dégradation des capacités de mémoire de travail associée à la démence de type Alzheimer pouvait être modélisée et simulée grâce à ce système subsymbolique (Serna *et al.*, 2007b, Serna *et al.*, 2007a). Les mémoires de travail et épisodique dotées d'un système d'accès subsymbolique, la simulation pourrait alors s'enrichir des difficultés et erreurs observées dans les études précédemment citées.

Une des principales difficultés dans la modélisation des processus exécutifs réside dans la définition même de ces derniers. En effet, on les définit comme les processus de haut niveau contrôlant et supervisant les autres processus cognitifs. Des études ont montré l'existence d'une dissociation des performances obtenues dans les test neuropsychologiques évaluant les capacités exécutives et les performances dans les activités de la vie quotidienne (voir (Van der Linden *et al.*, 1999) pour plus de détails). Il est donc difficile d'isoler chaque processus exécutif, puis de les rassembler dans une théorie fédératrice. Pour cette raison, lorsqu'on établit un modèle des processus exécutifs, une des préoccupations majeures concerne sa validation.

Les progrès réalisés dans le domaine de l'imagerie cérébrale ont permis de mener une multitude d'études sur l'activation des zones cérébrales lors de différents tests neuropsychologiques. La technique de tomographie à émission de positons (TEP) a mis en évidence des activations dans différentes régions des lobes frontaux lors de la réalisation de tâches cognitives diverses (Van der Linden *et al.*, 1999). Ces découvertes favorisent le fractionnement des processus exécutifs en différents modules. Il reste bien sûr à étudier plus en profondeur les correspondances, si elles ont lieu, entre les modules que nous proposons dans notre modèle et les zones du cerveau excitées lors de la performance de tâches sollicitant ces processus.

Toujours concernant la validation des modèles, Shallice, par exemple, utilise deux types de validation : la voie directe et la voie indirecte (Shallice et Burgess, 1993, Van der Linden *et al.*, 1999). La première s'oriente sur l'étude du comportement des patients frontaux dans les tâches qui demandent des capacités exécutives, alors que la deuxième porte sur la comparaison entre les comportements des patients frontaux et les comportements attendus si le gestionnaire des conflits fonctionnait sans la supervision du SAS. Pour spécifier notre modèle, nous nous

sommes basés sur les observations réalisées sur des sujets âgés et atteints de troubles cognitifs légers (sujets MCI-MA). Nous utilisons donc la validation directe puisque les comportements des sujets sont explicables par notre modèle. Cependant, cette validation n'a qu'une faible valeur puisque ce sont ces mêmes données qui ont servi à élaborer le modèle. Il faudrait donc poursuivre la validation du modèle en confrontant les données d'expérimentations ou d'études sur les processus exécutifs avec notre modèle et en regardant si les comportements observés lors de ces tests peuvent être expliqués par notre modèle.

Enfin, nous voudrions revenir sur le choix d'utiliser le modèle de Norman et Shallice, ou théorie du contrôle attentionnel, pour développer notre modèle des processus exécutifs. C'est l'une des théories les plus utilisées en neuropsychologie. Elle présente l'avantage d'être assez spécifiée pour son implémentation informatique. Il existe pourtant d'autres cadres de développement de modèles cognitifs informatiques, à savoir les architectures cognitives. EPIC (Executive Process/Interactive Control) (Meyer et Kieras, 1997a, Meyer et Kieras, 1997b), par exemple, propose un système de production permettant de gérer l'allocation des ressources et l'interaction de différents modules perceptuels et moteurs. EPIC est d'ailleurs préconisé pour jouer le rôle d'interface avec des systèmes pour lesquels la vitesse d'exploitation est critique et où les modalités motrices et multi-perceptuelles sont impliquées (système de Cockpit par exemple). Bien qu'elle comporte le terme «exécutif» dans son nom, cette architecture est trop éloignée des processus de haut niveau utilisés dans les activités de la vie quotidienne. L'architecture cognitive la plus importante est ACT-R (Anderson et Lebiere, 1998). Nous l'avons utilisée pour développer un premier modèle d'une activité de cuisine. Nous en avons tiré la conclusion que si ACT-R est efficace pour la modélisation des erreurs liées à la mémoire de travail, elle paraît mal adaptée pour des processus comme la planification ou le contrôle exécutif (Serna *et al.*, 2007b, Serna *et al.*, 2007a). C'est aussi le constat que font Glasspool et Cooper dans leur travail sur la modélisation des processus exécutifs (Cooper, 2002). Leur modèle a été spécifiquement conçu pour décrire les processus exécutifs. Bien que des modèles des tests neuropsychologiques concernant les processus exécutifs existent, comme par exemple celui du test de Stroop (Lovett, 2005), les processus exécutifs dans leur ensemble ne sont que très peu abordés dans ACT-R. Ce sont les travaux de Kimberg et Farah (1993) qui s'en rapprochent le plus. Ces auteurs expliquent l'atteinte des lobes frontaux par l'affaiblissement des relations entre les différentes représentations en mémoire de travail (buts, stimuli de l'environnement et connaissances déclaratives). Ils proposent un modèle développé avec ACT-R qui permet de simuler les erreurs observées chez les patients frontaux pour quatre tests, dont notamment les erreurs de persévération observées dans le Wisconsin Card Sor-

ting Test (Kimberg et Farah, 1993). Premièrement, les erreurs de persévération du WCST peuvent être expliquées par le SAS. Glasspool (2000) propose différentes façons de modéliser ces erreurs comme par exemple une mauvaise évaluation des stratégies candidates (la stratégie précédemment utilisée serait alors encore choisie) ou une déficience dans le processus de désélection du schéma planifié dans le gestionnaire des conflits. Ces propositions peuvent être appliquées dans notre modèle. C'est le module «Monitoring des intentions» qui donne l'ordre au module «Implémentation de l'agenda des schémas» d'inhiber le schéma planifié dans le gestionnaire des conflits. Une mauvaise communication entre ces deux modules, par exemple, pourrait modéliser ces erreurs de persévération. Deuxièmement, si le travail de Kimberg et Farah propose une alternative pour la modélisation des lobes frontaux, il ne permet pas la modélisation des processus exécutifs tels que nous les entendons dans notre travail de recherche. Les observations que nous avons faites dans notre expérimentation, comme par exemple les erreurs de contrôle, seraient difficilement explicables dans leur modèle. Comment modéliser par exemple les mécanismes de contrôle mis à jour dans notre expérimentation uniquement en se basant sur la mémoire de travail et les représentations qu'elle contient ? Leur proposition peut, par contre, être utile pour la définition des accès en mémoire de travail que nous avons suggérés dans le paragraphe précédent.

Les architectures cognitives et théories unifiées de la cognition sont adaptées à la modélisation des processus cognitifs spécifiques (notamment les mécanismes liés à la mémoire) mais ne conviennent pas au développement d'un modèle des processus exécutifs tels qu'ils sont utilisés dans les activités de la vie quotidienne². Le modèle que nous proposons dans ce travail permet de modéliser les processus exécutifs, et grâce à son implémentation informatique, de simuler leur dégradation dans une activité de la vie quotidienne.

10.1.2.2 Implémentation du prototype

Le prototype informatique a été développé sur la base du modèle théorique proposé dans la deuxième partie du travail de recherche. L'architecture du système se décompose en modules communiquant entre eux par émission d'événements. Chaque module correspond aux modules fonctionnels du modèle théorique : génération d'intentions, génération de stratégies, évaluation des stratégies, construction du plan, implémentation de l'agenda, gestionnaire des conflits, contrôle, micro re-planification, monitoring des intentions et évaluation finale. Le

²Distinction importante avec la modélisation des tests en neuropsychologie comme le Wisconsin Card Sorting Test.

fonctionnement des modules correspond aux algorithmes spécifiés dans le modèle théorique. Le système de sélection, de désélection des schémas et d'exécution des actions est basé sur l'implémentation du gestionnaire des conflits par Cooper et al. (Cooper et Shallice, 2000, Cooper *et al.*, 2005, Cooper, 2007). Les types de données représentants les schémas, les objets et les effecteurs du système sont organisés en réseaux et sont associés à des valeurs d'activation. Les données utilisées par les modules du système attentionnel superviseur sont stockées dans les buffers : mémoire épisodique, mémoire de travail et représentation du monde extérieur.

Une tâche simple, «boire le contenu d'une bouteille», a été implémentée et simulée dans ce prototype. Deux scénarios ont été testés en simulation : le déroulement normal de la tâche et le déroulement de la tâche avec situation non prévue.

Le premier scénario permet de montrer que les comportements observés lors du déroulement normal de la tâche peuvent être reproduits par notre prototype. La suite d'actions réalisées est cohérente avec celle obtenue lors de la simulation de l'implémentation de Cooper (2007). La comparaison entre les résultats des deux implémentations nous permet d'une part de valider notre implémentation du gestionnaire des conflits, et d'autre part de valider l'architecture globale de notre système. Elle nous permet notamment de vérifier la séquentialité du traitement global en terme de communication et d'enchaînement des traitements par les différents modules du système attentionnel superviseur. Elle permet aussi de valider les interactions entre le gestionnaire des conflits et le système attentionnel superviseur. Les travaux d'implémentation du modèle de Norman et Shallice menés jusqu'à présent ne travaillaient jamais sur l'ensemble du modèle, mais étaient concentrés sur un module en particulier. L'implémentation du SAS dans Cogent (Glasspool, 2000, Glasspool et Cooper, 2002, Glasspool, 2005) proposait un fonctionnement très basique du gestionnaire des conflits : les interactions entre les deux modules se limitaient à donner le schéma planifié au gestionnaire des conflits. Dans le prototype que nous proposons, les deux modules interagissent entre eux et les modules du système attentionnel superviseur sont capables de prendre le contrôle, suspendre l'exécution du gestionnaire des conflits, et proposer un autre schéma planifié lorsque la situation le requiert. Si l'on fait le lien avec la catégorisation des processus exécutifs de Lezak (1995), ces mécanismes correspondent à ceux du groupe «action intentionnelle» (à savoir initier, maintenir, changer et arrêter des séquences de comportement de façon ordonnée et intégrée). En plus du fonctionnement complet du gestionnaire des conflits, notre implémentation présente un autre avantage par rapport au SAS implémenté en Cogent. Dans notre prototype, il existe une séparation très nette entre l'implémentation des modules du système et la modélisation de la tâche. Dans l'implémentation en Cogent, le modèle est hautement dépendant de la tâche

implémentée (*Wisconsin Card Sorting Test*). En effet, les règles qui composent le traitement des modules sont écrites directement en fonction des données relatives à cette tâche. Par exemple, leur module de génération des stratégies est constitué d'une seule règle qui spécifie que *si le but est de trier un élément dans une catégorie, et si cet élément a des caractéristiques perceptibles, alors cet élément doit être trié selon l'une de ces caractéristiques*. La simulation d'une autre tâche serait fastidieuse puisqu'elle demanderait la réécriture des règles des modules. À l'inverse, dans notre prototype la simulation d'autres tâches ne demande que la modélisation de la tâche en elle-même. Il faut cependant être prudent sur la généralisation de notre prototype étant donné qu'une seule tâche a été modélisée et testée.

Le deuxième scénario de simulation permet de tester les mécanismes de contrôle exécutif lorsqu'une situation non prévue survient. Nous introduisons dans ce scénario une perturbation de façon à tester les mécanismes de contrôle exécutif en cas de détection d'un problème. Lorsque le problème est détecté, une phase de re-planification est initiée pour pouvoir s'adapter à la nouvelle situation. Les résultats de la simulation montrent que les comportements d'ajustement peuvent être reproduits par notre prototype lorsqu'un problème de type «action non réalisable» est détecté. Les mécanismes de détection du problème et de re-planification sont plus élaborés que ceux proposés dans les versions précédentes d'implémentation du modèle de Norman et Shallice. Dans ses travaux sur l'implémentation du gestionnaire des conflits, Cooper (2005) propose un système basique de contrôle. Il précise qu'un système plus complexe doit être intégré dans le système attentionnel superviseur. Dans sa proposition, il utilise un système de pré et post conditions associées à chaque but pour vérifier leur état lors de la désélection des schémas. Si les post conditions ne sont pas vérifiées, le système considère qu'un problème est survenu. Le but du schéma est réinitialisé afin que le schéma puisse être sélectionné à nouveau. Dans le modèle que nous proposons, c'est le système de contrôle qui détecte les problèmes éventuels. La détection est elle aussi fondée sur le système de pré et post conditions. Elle permet d'établir un diagnostic de l'erreur commise ou du problème rencontré. Pour ne pas compliquer d'avantage le modèle, un raccourci de modélisation a été pris pour établir ce diagnostic. Il nous évite entre autre d'entrer dans la modélisation de la perception et de l'interprétation de l'erreur. En fonction du diagnostic établi à la vérification des conditions du but, le module «Contrôle» peut initier une phase de re-planification et décider de passer d'un niveau micro à un niveau macro si le problème persiste. Nous montrons d'ailleurs dans la simulation du deuxième scénario que le prototype est capable de reproduire le passage d'un micro ajustement qui ne marche pas à l'addition d'une tâche secondaire qui permettra de résoudre le problème (macro re-planification). Grâce à l'introduction d'un

système subsymbolique dans le mécanisme de passage de micro à macro re-planification³, le prototype permet de reproduire le phénomène de persistance en mode micro re-planification observé dans l'altération cognitive lors de notre expérimentation. Les sujets jeunes passent beaucoup plus vite en macro re-planification que les sujets âgés et MCI-MA.

Les résultats obtenus dans les deux scénarios de simulations sont donc prometteurs, et le prototype est un premier pas vers la validation du modèle théorique que nous proposons. Le prototype est, par définition, une version réduite du système. Il est par conséquent limité, que ce soit au niveau de son implémentation ou à celui de sa validation.

Concernant l'implémentation du modèle théorique, il reste encore beaucoup de points à développer ou à améliorer. Nous ne citerons ici que quelques exemples puisque le travail de réflexion doit avoir été fait en amont dans le modèle théorique. Premièrement, la structure globale de l'architecture du système a été développée. Tous les modules sont capables de communiquer entre eux et de se passer le relais dans le traitement et le suivi de la tâche. Le développement du prototype, à l'image du modèle théorique, a été concentré sur les mécanismes de contrôle. De ce fait, les algorithmes de certains modules sont volontairement très simples, alors qu'ils supporteraient d'avantage de complexité. C'est le cas, par exemple, de l'évaluation des stratégies ou de la construction du plan. Deuxièmement, dans ce prototype, le traitement global du système est séquentiel. À leur tour, les différents modules exécutent un certain traitement puis passe le relais au module suivant. Pour améliorer le fonctionnement du système, une implémentation en parallèle peut être envisagée. Dans sa définition des fonctions psychiques supérieures de l'homme, Luria précise que ces dernières doivent leur existence à l'interaction des structures cérébrales hautement différenciées, dont chacune apporte son action spécifique dans un ensemble dynamique et participe au système fonctionnel dans ses rôles propres (Luria, 1966). En s'inspirant de cette définition, les modules de notre système pourraient fonctionner comme *threads*⁴ indépendants travaillant en parallèle. C'est d'ailleurs de cette façon que sont implémentés les modules du système attentionnel superviseur dans Cogent (Glasspool et Cooper, 2002). En effet, à chaque cycle d'exécution, les modules effectuent tous les traitements qu'ils peuvent étant donné l'état des buffers (sélection des règles pertinentes). Troisièmement, tous les diagnostics d'erreur et les traitements associés en re-planification n'ont pas été implémentés. C'est en les développant que l'on pourra réellement tester la modélisation des mécanismes de contrôle et d'ajustement

³Paramètre d'altération cognitive dans le calcul de la valeur de re-planification

⁴En informatique, les thread sont des unités d'exécution qui permettent le traitement en parallèle de plusieurs opérations simultanées.

définis dans le modèle théorique. L'implémentation du diagnostic «action non réalisable» et les résultats de simulation obtenus sont néanmoins prometteurs.

Le dernier point à discuter concerne la validation du modèle informatique, et par conséquent celle du modèle théorique. Premièrement, il faudrait augmenter le nombre d'essais réalisés en simulation. Pour l'instant, le prototype ne permet de faire qu'une simulation à la fois. Il faudrait pouvoir lancer l'exécution du prototype plusieurs fois à la suite. À la façon des simulations réalisées avec l'architecture ACT-R, il serait intéressant d'intégrer dans ces essais une analyse statistique des résultats (par exemple : nombre moyen de cycles d'exécution, nombre moyen d'interruptions du gestionnaire des conflits par les modules du système attentionnel superviseur, ou encore nombre moyen de phases de re-planification initiées en cours de réalisation de la tâche, etc.). Ces indications permettraient entre autre de pouvoir affiner le choix des valeurs des paramètres du système. Dans son implémentation la plus récente, Cooper explique que pour trouver la meilleure valeur des paramètres, il fait tourner le prototype 100 fois par essai, en faisant varier pour chaque essai la valeur d'un paramètre dans une fourchette de 0,05 à 0,50 avec un intervalle de 0,05. Il compare ensuite les résultats obtenus entre le modèle et le comportement de deux patients (racine carrée de la différence entre les deux ensembles de variables dépendantes) et choisi la valeur du paramètre qui permet au système de se rapprocher le plus des comportements observés chez les patients (Cooper, 2007).

Deuxièmement, et dans la continuité de la remarque précédente, il faudrait pouvoir intégrer l'analyse du déroulement de la tâche et l'assistance dans le prototype. Pour pouvoir simuler les mêmes résultats que ceux observés dans notre expérimentation, il faut modéliser les interventions de l'examineur puisqu'elles sont comptabilisées pour l'attribution du score de la tâche. Un premier modèle d'un test en ergothérapie, que nous avons réalisé avec l'architecture cognitive ACT-R, intégrait déjà la modélisation de l'assistance (Serna *et al.*, 2007b). Cooper intègre lui aussi dans son implémentation du gestionnaire des conflits une analyse du déroulement de la tâche. Le système détecte et comptabilise les erreurs référencées dans les travaux de Rumiati *et al.* (2001). L'intégration de la détection des erreurs dans le système informatique (telle que le ferait l'examineur du test) et leur comptabilisation dans le système permettraient d'améliorer la comparaison des résultats obtenus par le prototype avec les résultats obtenus par les sujets humains observés.

10.1.2.3 Modélisation de la dégradation des processus exécutifs

Le deuxième objectif de ce travail concernait non seulement la modélisation des processus exécutifs mais aussi la modélisation de leur dégradation. Au cours de l'expérimentation (première partie du travail), nous avons observé plusieurs difficultés caractéristiques d'un trouble des processus exécutifs. Le modèle théorique proposé intègre ces difficultés dans la définition de ses spécifications. C'est ainsi que sont construites les théories en neuropsychologie (Luria, 1966) : les erreurs observées chez les patients permettent de mettre à jour certains composants (qui fonctionnent mal) du système étudié. Parallèlement, si une erreur ou un comportement observé chez un patient est explicable par le modèle que l'on veut tester, alors la validité du modèle pour ce type d'erreur est vérifiée. Dans notre expérimentation, par exemple, les sujets ont parfois des difficultés à évaluer le résultat de leur performance. Notre modèle intègre donc un module d'évaluation de la tâche qui, par son mauvais fonctionnement, permettrait de simuler les erreurs d'évaluation. En d'autres termes, la comparaison entre le résultat obtenu et le résultat espéré, exprimé en terme de post-conditions du but de l'intention, ne serait pas ou mal faite. Le système considérerait la tâche comme achevée même si elle ne répond pas aux attentes fixées par l'intention, et cette dernière serait arrêtée au lieu d'être recommencée. Le modèle théorique intègre donc les connaissances liées à la dégradation des mécanismes exécutifs mais ne propose pas une modélisation à proprement parler pour chacune d'elles. Nous proposons dans notre modèle, deux pistes pour la modélisation des erreurs exécutives. Elles concernent toutes deux les mécanismes liés au contrôle exécutif.

Premièrement, nous nous sommes aperçus que les sujets ne contrôlaient pas toujours bien leurs actions et ne corrigeaient pas certaines de leurs erreurs. Ce phénomène est visible dans l'analyse statistique puisque le nombre moyen d'erreurs augmente alors que le nombre moyen d'erreurs corrigées spontanément par les sujets diminue. Dans le modèle théorique, nous proposons un système subsymbolique, la force de signal, associé aux messages reçus par le module «Contrôle» (cf. Spécification 13). Il permet d'introduire la notion d'attention portée aux messages reçus. Les messages ne seront traités que si l'intensité de leur signal dépasse un certain seuil d'attention porté à la tâche en cours (cf. Spécification 14). La force de signal varie selon plusieurs informations : elle augmente si le signal provient de l'extérieur (si l'examineur porte l'attention du sujet sur une erreur par exemple), elle augmente si le système est en mode re-planification (l'attention est plus soutenue lors d'un ajustement) et enfin elle augmente si le schéma en cours demande un niveau d'attention élevé (cf. Spécifications 15 et 16). Dans le prototype, nous proposons un ensemble d'équations mathématiques qui permet

d'implémenter ces notions (cf. Équations 9.4 à 9.9). La force de signal se calcule à partir d'une base fixe pour tous les messages additionnée des facteurs qui l'influencent. La valeur des facteurs est simplement calculée en fonction de leurs conditions (1 si les conditions sont vérifiées, 0 sinon) et l'attention reçue selon le niveau d'attention du schéma traité est calculée en fonction du niveau d'attention spécifié pour les schémas parents (cf. Équation 9.9). Nous ne proposons ici qu'un système basique, qui pourrait être amélioré. L'architecture cognitive ACT-R est l'un des outils les plus solides pour développer des modèles cognitifs grâce au système subsymbolique qui complète le système de production. Les équations composant le système subsymbolique ont été spécifiées à partir de nombreuses observations et d'expérimentations en psychologie cognitive. De la même façon, il serait bon de pouvoir mettre en place de petites expérimentations qui viendraient vérifier et compléter les équations que nous proposons. Par exemple, pour le calcul de l'augmentation de la force de signal en fonction du niveau d'attention que demande le schéma en cours, on pourrait demander à des sujets d'exécuter des scripts demandant différents niveau d'attention. En introduisant en parallèle une tâche dualiste de type Go/NoGo et en mesurant le temps de latence avant d'obtenir la réponse, nous pourrions obtenir des informations concernant le degré d'attention monopolisé par l'exécution de chacun de ces scripts. Ces informations pourraient alors être utilisées et retraduites en termes d'équations mathématiques.

Deuxièmement, lorsqu'une situation imprévue survient, les sujets âgés et MCI-MA ont tendance à essayer de résoudre le problème en mode micro re-planification et ne pas passer tout de suite ou spontanément à un mode macro re-planification comme le font les sujets jeunes. Encore une fois, c'est grâce aux mécanismes du système subsymbolique que nous proposons une modélisation de cette persistance à rester en mode micro. Une valeur et un seuil de reconduite de micro re-planification permettent au module «Contrôle» de décider quand passer d'un ajustement local (micro re-planification) à un ajustement global (macro re-planification) (cf. Spécifications 17 et 18). Cette valeur de reconduite de micro re-planification est calculée en fonction de différents facteurs, mais nous proposons pour l'instant, dans le prototype, une version simplifiée. Elle est calculée en fonction du nombre de tentatives de micro re-planification déjà effectuées et d'un facteur représentatif de l'altération cognitive (cf. Équation 9.10). Plus la valeur du facteur est petite, plus la valeur aura du mal à atteindre le seuil de basculement vers une macro re-planification. La fonction logarithmique permet de renforcer cette idée de stagnation et donc de modéliser la dégradation de ce mécanisme. Les simulations réalisées avec différentes valeurs du paramètre d'altération cognitive permettent d'obtenir des résultats de persistance à rester en mode micro re-planification (cf. Tableau 9.1). Comme nous

l'avons déjà expliqué dans la discussion sur la validation du prototype, il faudrait réaliser plus de simulations et comparer les résultats ainsi obtenus avec les résultats observés lors de la passation de l'expérimentation pour pouvoir affiner les valeurs des paramètres. Les équations pourraient aussi être améliorées en s'appuyant sur des expérimentations complémentaires.

Les deux pistes que nous proposons donc pour modéliser les erreurs liées au contrôle exécutif peuvent être améliorées, au niveau théorique en proposant des expérimentations complémentaires qui permettront d'affiner les spécifications de ces mécanismes, et au niveau informatique, en réalisant plus de simulations qui permettront, en les comparant aux observations réalisées sur de vrais sujets humains, de régler et d'ajuster les valeurs des paramètres des équations. Ces deux propositions ouvrent la voie de la modélisation de la dégradation des processus exécutifs dont il reste encore beaucoup à explorer.

→ *En résumé, nous proposons un modèle des processus exécutifs dans le cadre de la théorie du contrôle attentionnel de l'action de Norman et Shallice, qui permet d'expliquer les mécanismes de contrôle exécutif mis à jour dans la première partie du travail. Le prototype informatique développé permet une première validation partielle des spécifications proposées. Même si des améliorations restent à apporter à ce modèle, les objectifs fixés pour la deuxième partie de se travail peuvent être considérés comme atteints.*

La modélisation de la dégradation de ces processus liée au vieillissement et à la maladie est prometteuse, même si un travail plus approfondi reste à faire.

10.2 Réflexions sur la modélisation cognitive pour les systèmes d'aide à la tâche et pour la gérontechnologie

Modéliser et simuler les conséquences du vieillissement normal ou lié à une démence de type Alzheimer en termes de processus cognitifs présente un intérêt certain pour les habitats intelligents pour la santé, et en particulier pour les systèmes d'assistance. En effet, pour obtenir une assistance cognitive efficace et adaptée, une étape incontournable est de comprendre les troubles dont souffrent les personnes dépendantes et leurs conséquences sur la réalisation d'AVQ.

La modélisation cognitive peut jouer plusieurs rôles dans les systèmes d'aide à la tâche. Elle permet de décrire non seulement les processus cognitifs impliqués dans la réalisation des activités de la vie quotidienne, mais aussi les conséquences de la dégradation de ces processus sur le comportement humain. De plus, les modèles cognitifs informatisés sont capables de reproduire les comportements de ces personnes lorsqu'elles réalisent des tâches quotidiennes. C'est notamment cet aspect de simulation qui peut être mis à profit dans les systèmes d'aide à la tâche, que ce soit lors de la phase d'apprentissage ou de la phase d'assistance.

La phase d'apprentissage

Comme nous l'avons déjà introduit dans notre problématique, les systèmes d'assistance doivent différencier un comportement normal d'un comportement anormal lors de la détection de la réalisation d'une activité. Une étape antérieure, appelée phase d'apprentissage, est nécessaire pour la bonne reconnaissance des activités. Durant cette phase, le système va apprendre automatiquement les différentes façons d'exécuter les tâches, y compris lorsque les personnes commettent des erreurs. Certains systèmes utilisent les chaînes de Markov pour apprendre et classifier ces activités. Dans le cas d'une démence de type d'Alzheimer, les différents troubles et le caractère progressif de la maladie, renforcé par le nombre d'activités qui peuvent être réalisées dans une maison, génèrent une grande diversité dans les scénarios potentiellement observables. Construire une collection comprenant tous ces scénarios serait très lourd aussi bien en temps qu'en coût humain. L'utilisation de modèles profonds de la personne dépendante peut réduire ces coûts en générant, dans le cadre d'une théorie cognitive précise, les comportements normaux et anormaux que pourrait exécuter cette personne. La génération automatique et la classification des comportements peut alors être réalisée en grand nombre pour un coût relativement peu élevé. La phase d'apprentissage serait ainsi optimisée et la détection automatique d'activité améliorée.

La phase d'assistance

L'étape d'assistance à la personne intervient une fois que le système a détecté l'activité en cours de réalisation. En cas de difficulté, le système interagit avec l'occupant à travers l'environnement pour apporter une assistance adaptée à la situation. Pour analyser la justesse du comportement de l'occupant, le système doit détecter les éventuels problèmes ou les erreurs commises, puis identifier le ou les troubles cognitifs qui en sont à l'origine. Enfin, il doit sélectionner le support le plus adapté et le plus efficace pour l'occupant. En comparant une situation particulière aux scénarios anormaux connus (générés par le modèle cognitif), la

justesse et la rapidité du diagnostic du système peuvent être augmentées. D'autres domaines utilisent déjà la modélisation de l'utilisateur pour améliorer leur système de diagnostic. C'est le cas notamment de la simulation de vol et du système de détection des activités de l'équipage CATS (Crew Activity Tracking System) (Callantine, 2002). Ce système utilise un modèle prédisant les activités de l'opérateur pour interpréter les actions du vrai opérateur humain. Plus précisément, en se basant sur les informations contextuelles, CATS construit le contexte opérationnel courant et génère des prédictions concernant les activités de l'opérateur basé sur son modèle. CATS compare alors les actions détectées dans le monde réel avec les activités prédites pour donner son diagnostic.

Les systèmes d'aide à la tâche dotés d'un diagnostic dynamique peuvent proposer à l'occupant du logement un support adapté au handicap de ce dernier. L'assistance cognitive omniprésente (de l'anglais *pervasive assistance*) développée au laboratoire DOMUS est justement tournée vers une aide sélectionnée selon la nature des troubles de la personne. En s'appuyant sur un diagnostic, le système d'assistance sélectionne le support le plus adapté pour aider l'occupant. Quatre grands troubles cognitifs, identifiés par les aidants, sont pris en charge par DOMUS. Ces sont les troubles de l'initiation, de la planification, de l'attention et de la mémoire. Pour l'instant, chaque déficit est diagnostiqué grâce aux informations reçues par les capteurs et aux connaissances sur les habitudes de vie de la personne (Bauchet *et al.*, 2006). Un problème d'initiation est caractérisé par une longue période d'inaction. Pour pallier ce problème, le système d'assistance va encourager la personne à commencer l'activité en lui rappelant les objectifs sur un écran. Pour un trouble de la planification, caractérisé par une séquence d'actions inappropriée, le système va rappeler à la personne la prochaine étape de l'activité courante. Une approche pas à pas est proposée à la personne durant la réalisation de l'activité, en éclairant, par exemple, de façon séquentielle les objets significatifs à chaque étape ou en éclairant le prochain objet à utiliser. Un trouble de l'attention est diagnostiqué quand la personne montre des difficultés à se concentrer sur l'activité en cours et quand les actions réalisées ne sont pas pertinentes. Dans ce cas, le système rappelle le but de la tâche de façon à ce que la personne puisse garder sa concentration sur celle-ci. Enfin, les troubles de la mémoire sont traités de façon différente dans la mesure où c'est la personne elle même qui demande une assistance spécifique. Le système donne alors l'information perdue.

Le travail que nous venons de présenter a débouché sur la réalisation d'un prototype de modèle pouvant simuler les processus exécutifs impliqués dans la réalisation d'AVQ. Comme nous l'avons introduit dans la problématique, un premier modèle cognitif, reproduisant le comportement de malades Alzheimer lors de l'évaluation du Kitchen Task Assessment (KTA),

avait été développé avec l'architecture cognitive ACT-R. Ce modèle permet de simuler le déroulement d'une activité de cuisine, altérée par les différentes erreurs que pourraient commettre des sujets selon le stade de leur maladie. Les erreurs simulées sont classifiées selon les différents critères utilisés dans le KTA : initiation, omission, commission (ou confusion), performance de toutes les étapes, séquençage, jugement et sécurité, et complétion (Baum et Edwards, 1993).

Les deux modèles cognitifs peuvent être utilisés pour améliorer le diagnostic des systèmes d'assistance. L'activité simulée, générée automatiquement pendant la phase de reconnaissance, peut être comparée à celle qui est en cours de réalisation par le sujet humain. En effet, les modèles développés fournissent, dans leurs fichiers de sortie, une trace de la réalisation pas à pas de l'activité. Si un comportement anormal survient au cours de la simulation, le mécanisme cognitif responsable de l'erreur est reporté de façon à ce qu'un comportement spécifique soit attribué à un déficit spécifique. Par exemple, le modèle cognitif développé avec l'architecture ACT-R simule les différentes erreurs spécifiques à la démence de type Alzheimer, incluant les signes de troubles d'initiation, de planification et de mémoire correspondant respectivement aux critères «initiation», «séquençage» et «organisation». Cette expertise peut être très utile pour la phase de diagnostic.

Dans les futurs développements du laboratoire DOMUS, les scénarios générés par ce type de modèles pourront être intégrés au système d'assistance et comparés aux séquences d'actions réalisées par la personne dans le but d'identifier les troubles cognitifs et exécutifs associés à chaque comportement considéré comme anormal. À partir de ce diagnostic, un support adapté pourra être sélectionné et proposé à la personne (cf. tableaux 10.1 et 10.2). L'assistance proposée doit être personnalisée, simple, facilement acceptable et convenant au contexte particulier (Pigot *et al.*, 2005). Les interventions pourront alors être réalisées de différentes façons, selon les capacités et/ou préférences de l'occupant. Par exemple, si la personne utilise un objet de façon inappropriée ou dangereuse (erreur de confusion), le système d'assistance cognitive devra aider l'occupant à utiliser ou à choisir un outil plus approprié. Il pourra afficher un message texte indiquant quel outil utiliser ou il pourra monter une vidéo expliquant comment se servir de l'outil en question.

Diagnostic du modèle	Support fourni par le système d'assistance cognitive	Moyens d'interactions dans l'Habitat Intelligent
<i>Problème d'initiation :</i> La personne ne commence pas la tâche	Rappeler le but de la tâche	Envoyer un message vocal ou écrit
<i>Erreur d'omission :</i> La personne ne se rappelle pas des éléments à utiliser	Rappeler l'élément à récupérer	Éclairer l'élément cible dans l'environnement ou montrer une photo de cet élément
<i>Erreur de confusion :</i> La personne n'utilise pas les outils/ustensiles de la bonne façon	Aider la personne à utiliser ou à sélectionner l'outil approprié	Montrer une vidéo ou envoyer un message écrit
<i>Oubli d'une étape et problème de séquençage :</i> La personne n'exécute pas une étape de la tâche ou en exécute une autre	Rappeler l'étape à réaliser	Envoyer un message vocal ou écrit Montrer une vidéo si nécessaire
<i>Manque de jugement et de sécurité :</i> La personne ne manipule pas correctement des éléments dangereux (e four par exemple)	Prévenir l'occupant ou l'aider à utiliser correctement l'outil	Envoyer un message vocal ou montrer une vidéo
<i>Problème de complétion :</i> La personne ne se rend pas compte qu'elle a terminé la tâche	Indiquer que la tâche est terminée	Envoyer un message vocal ou écrit

Tableau 10.1 – Réponse du système d'assistance cognitive au diagnostic établi par le modèle développé en ACT-R.

Diagnostic du modèle	Support fourni par le système d'assistance cognitive	Moyens d'interactions dans l'Habitat Intelligent
<i>Problème de contrôle :</i> La personne ne s'aperçoit pas d'une erreur ou d'un problème	Signaler l'erreur ou le problème	Envoyer un message vocal ou écrit
<i>Problème de passage micro/macro :</i> La personne persiste à trouver une solution en mode micro	Encourager la personne à générer une intention pour une tâche secondaire	Envoyer un message vocal ou éclairer des éléments de solution dans l'environnement
<i>Problème d'évaluation finale :</i> La personne ne se rend pas compte qu'elle a terminé la tâche La personne pense avoir terminer la tâche alors que ce n'est pas le cas	Indiquer que la tâche est terminée Rappeler le but de la tâche et signaler qu'elle n'est pas terminée	Envoyer un message vocal ou écrit Envoyer un message vocal ou écrit

Tableau 10.2 – Réponse du système d'assistance cognitive au diagnostic établi par notre prototype.

CHAPITRE 11

Conclusion

Dans un contexte de vieillissement de la population, la question du maintien à domicile des personnes en perte d'autonomie est devenue une préoccupation majeure. L'essor sans précédent des nouvelles technologies de communication et de traitement de l'information peut contribuer à ce maintien à domicile. En agrémentant l'environnement par des dispositifs techniques innovants et adaptés, la sécurité d'une personne fragilisée par l'âge ou par une démence de type Alzheimer peut être augmentée de façon à lui rendre une certaine autonomie et à alléger la charge des aidants. L'efficacité et l'utilisabilité de ces systèmes d'assistance dépendent de la bonne compréhension des troubles dont souffrent ces personnes. La modélisation cognitive est un des moyens pour étudier les mécanismes mis en jeu dans la réalisation des activités de la vie quotidienne (AVQ).

Dans ce contexte, le travail que nous venons de présenter a pour objectif, d'une part d'observer et d'analyser les processus exécutifs impliqués dans la réalisation d'AVQ et leur dégradation dans le vieillissement (normal ou aggravé par une démence), et d'autre part, de proposer un modèle théorique et informatique capable de simuler les comportements observés. L'accent a été mis sur les mécanismes de contrôle exécutif, responsables du suivi du déroulement de l'action. En effet, c'est lorsque ces mécanismes sont altérés que la personne a des difficultés à s'adapter à des situations imprévues ou à corriger des erreurs qu'elle aurait commises, pouvant alors mettre en jeu sa sécurité à son domicile. Ce travail est donc à la croisée de plusieurs domaines, dont l'évaluation en psychologie cognitive, l'informatique cognitive et la modélisation des processus mentaux.

Dans la première partie de ce travail, nous avons proposé une manière originale d'évaluer le degré d'autonomie des personnes âgées et atteintes de troubles cognitifs (MCI et maladie d'Alzheimer). En introduisant des perturbations dans la tâche, on a pu observer et analyser les capacités des sujets à adapter leur comportement face à des situations imprévues. Dans la deuxième partie du travail, nous avons proposé un modèle des processus exécutifs fondé sur la théorie du contrôle attentionnel de Norman et Shallice (1980). Un prototype informatique du modèle a été développé, qui permet de simuler les comportements observés dans l'expérimentation.

La modélisation des processus mentaux, et notamment celle des processus exécutifs, présente un véritable défi. Les processus exécutifs rassemblent des fonctions de haut niveau responsables du comportement intentionnel. L'implication d'autres processus de plus bas niveau et la diversité des troubles exécutifs observés chez les patients font de la définition même des processus exécutifs un sujet complexe. Les nombreuses études en psychologie cognitive et les progrès réalisés en imagerie cérébrale permettent une meilleure compréhension des processus exécutifs et de leurs relations avec les autres domaines de la cognition. Les travaux en informatique cognitive et en intelligence artificielle apportent quant à eux un éclairage sur la modélisation de ces processus et sur le traitement de l'information. Le fonctionnement du cerveau humain n'a pas encore révélé tous ses secrets et assure à la recherche dans ce domaine un avenir prometteur.

Bibliographie

ABDI, H. (1993). *Intelligence Artificielle et Intelligence Naturelle*, chapitre Précis de Connexionisme. Paris : PUF.

ANDERSON, J. R. (1993). *Rules of mind*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale.

ANDERSON, J. R. et DOUGLASS, S. (2001). Tower of hanoi : Evidence for the cost of goal retrieval. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 27(6).

ANDERSON, J. R. et LEBIERE, C. (1998). *The atomic components of thought*. Mahwah, NJ : Erlbaum.

ANDERSON, N. D. et CRAIK, F. I. M. (2000). *The Oxford handbook of memory*, chapitre Memory in the aging brain., pages 411–425. Oxford University Press.

BADDELEY, A. (1990). *Human memory : Theory and practice*. Boston, Allyn and Bacon.

BADDELEY, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A:5–28.

BADDELEY, A. (2000). The episodic buffer : a new component of working memory ? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11):41–423.

BADDELEY, A. et SALA, S. D. (1996). Working memory and executive control. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 351(1346):1397–1404.

BAGUENA, N., THOMAS-ANTÉRION, C., SCIESSERE, K., TRUCHE, A., EXTIER, C., GUYOT, E. et PARIS, N. (2006). [ecologic evaluation in the cognitive assessment of brain injury patients : generation and execution of script]. *Ann Readapt Med Phys*, 49(5):234–241.

BAUCHET, J. et MAYERS, A. (2005). Modelisation of adls in its environment for cognitive assistance. In GIROUX, S. et PIGOT, H., éditeurs : *The 3rd International Conference On Smart homes and health Telematics*, pages 221–228. IOS Press.

- BAUCHET, J., VERGNES, D., GIROUX, S. et PIGOT, H. (2006). A pervasive cognitive assistant for smart homes. *In International Conference on Aging, Disability and Independence (ICADI)*, page 228, St Petersburg, Florida.
- BAUM, C. et EDWARDS, D. F. (1993). Cognitive performance in senile dementia of the alzheimer's type : The kitchen task assessment. *The American Journal of Occupational Therapy*, 47:431–436.
- BERG, L. (1988). Clinical dementia rating. *Psychopharmacol Bull*, 24:637–639.
- BOUCHARD, B., BOUZOUANE, A. et GIROUX, S. (2006). A smart home agent for plan recognition of cognitively-impaired patients. *Journal of Computers (JCP)*, 1(5):53–62.
- BUCKNER, R. L. (2004). Memory and executive function in aging and ad : Multiple factors that cause decline and reserve factors that compensate. *Neuron*, 44:195–208.
- CADET, B. (1998). *Psychologie cognitive*. In press éditions.
- CALLANTINE, T. (2002). Activity tracking for pilot error detection from flight data. *In The 21st European Annual Conference on Human Decision Making and Control.*, pages 16–26, Glasgow.
- CAOT (1991). *Occupational therapy guidelines for client-centred practice*. Canadian Association of Occupational Therapists, toronto, on : caot publications ace. édition.
- CARPENTER, P. A., JUST, M. A. et REICHLE, E. D. (2000). Working memory and executive function : evidence from neuroimaging. *Current Opinion in Neurobiology*, 10:195–199.
- CHEVIGNARD, M., PILLON, B., PRADAT-DIEHL, P., TAILLEFER, C., ROUSSEAU, S., BRAS, C. L. et DUBOIS, B. (2000). An ecological approach to planning dysfunction : script execution. *Cortex*, 36(5):649–669.
- COMYN, G., OLSSON, S., GUENZLER, R., ÖZCIVELEK, R., ZINNBAUER, D. et CABRERA, M. (2006). User needs in ict research for independent living, with a focus on health aspects. Official reports and studies, EU Institutions - eHealth / eGovernment Services for Citizens.
- COOPER, R. et SHALLICE, T. (2000). Contention scheduling and the control of routine activities. *Cognitive Neuropsychology*, 17:297–338.
- COOPER, R., SHALLICE, T. et FARRINGDON, J. (1995). Symbolic and continuous processes in the automatic selection of actions. *In HALLAM, J., éditeur : Hybrid Problems, Hybrid Solutions*, pages 27–37. IOS Press. Amsterdam.
- COOPER, R. P. (2002). *Modeling high-level cognitive processes*. Lawrence Erlbaum Associates : Mahwah, NJ. (With contributions from P. Yule, J. Fox & D. W. Glasspool.).
-

- COOPER, R. P. (2007). Tool use and related errors in ideational apraxia : the quantitative simulation of patient error profiles. *Cortex*, 43(3):319–337.
- COOPER, R. P., SCHWARTZ, M. F., YULE, P. et SHALLICE, T. (2005). The simulation of action disorganisation in complex activities of daily living. *Cognitive Neuropsychology*, 22(8):959–1004.
- COUTURIER, P. (2006). Place des gérontechnologies dans la prise en charge du patient âgé. *La Revue francophone de gériatrie et de gérontologie*, 13(127):346–351.
- CRUM, R. M., ANTHONY, J. C., BASSETT, S. S. et FOLSTEIN, M. F. (1993). Population-based norms for the mini-mental state examination by age and educational level. *JAMA*, 269(18):2386–2391.
- DAILY, L. Z., LOVETT, M. C. et REDER, L. M. (2001). Modeling individual differences in working memory performance : A source activation account in act-r. *Cognitive Science*, 25:315–353.
- DAMASIO, A. R. (1995). *L'erreur de Descartes, la raison des émotions*. Editions Odile jacob.
- DAS, S. K., FOX, J., ELSDON, D. et HAMMOND, P. (1997). A flexible architecture for autonomous agents. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 9(4):407–440.
- DUKE, L. M. et KASZNIAK, W. A. (2000). Executive control functions in degenerative dementias : A comparative review. *Neuropsychology Review*, 10(2):75–99.
- DUTIL, E., FORGET, A., VANIER, M., LAMBERT, J., GAUDREAU, C., AUGER, C. et LABELLE, J. (1996). Le profil des avq : un outil d'évaluation pour les personnes ayant subi un traumatisme cranio-encéphalique. *Revue québécoise d'ergothérapie*, 5:121–125.
- EDWARDS, M. (1990). The reliability and validity of self-report activities of daily living scales. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 57(5):273–278.
- FLICKER, C., FERRIS, S. H. et REISBERG, B. (1991). Mild cognitive impairment in the elderly : predictors of dementia. *Neurology*, 41(7):1006–1009.
- FOLSTEIN, M. F., FOLSTEIN, S. E. et MCHUGH, P. R. (1975). "mini-mental state". a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res*, 12(3):189–198.
- FORDE, E. M. E. et HUMPHREYS, G. W. (2002). Dissociations in routine behaviour across patients and everyday tasks. *Neurocase*, 8:151–167.

- FOX, J. et DAS, S. (2000). *Safe and Sound : Artificial Intelligence in hazardous applications*. Cambridge, Mass. : MIT press.
- GILBERT, S. J. et SHALLICE, T. (2002). Task switching : a pdp model. *Cognitive Psychology*, 44(3):297–337.
- GIROUX, S., PIGOT, H., MAYERS, A., LEFEBVRE, B., RIALLE, V. et NOURY, N. (2002). Smart house for frail and cognitive impaired elders. *In UbiCog '02 : First International Workshop on Ubiquitous Computing for Cognitive Aids. Göteborg (Gothenburg) , Sweden*.
- GIROUX, S., PIGOT, H., MOREAU, J. et SAVARY, J. P. (2006). Distributed mobile services and interfaces for people suffering from cognitive deficits. *In IBRAHIM, I. K., éditeur : Handbook of Research on Mobile Multimedia*, pages 544–554. Idea Group Publishing.
- GLASSPOOL, D. W. (2000). The integration and control of behaviour : Insights from neuroscience and ai. *In Symposium "How to design a functional mind". Proceedings of the Artificial Intelligence and Simulation of Behaviour (AISB) symposium on designing a functioning mind.*, pages 77–84. AISB Convention.
- GLASSPOOL, D. W. (2005). *Vision of Mind : Architectures for cognition and affect.*, chapitre The integration and control of behaviour : Insights from neuroscience and AI., pages 176–203. Hershey, PA : Idea Group Inc.
- GLASSPOOL, D. W. et COOPER, R. (2002). *Modeling high-level cognitive processes*, chapitre Executive processes, pages 313–362. Lawrence Erlbaum Associates : Mahwah, NJ.
- GODEFROY, O., ROUSSEL-PIERRONNE, A., ROUTIER, A. et DUPUY-SONNTAG, D. (2004). *Neuropsychologie des fonctions exécutives*, chapitre Étude neuropsychologique des fonctions exécutives, pages 11–23. Solal.
- GRAFMAN, J. (1995). Similarities and distinctions among current models of prefrontal cortical functions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 769:337–368.
- GRANT, S. (1996). Developing cognitive architecture for modelling and simulations of cognition and error in complex tasks. Paper presented at a meeting of the RoHMI project, Valenciennes.
- HAIGH, K. et YANCO, H. (2002). Automation as caregiver : A survey of issues and technologies. *In AAAI-02 Workshop on Automation as Caregiver : The Role of Intelligent Technology in Elder Care*, pages 39–53, Edmonton, Alberta. AAAI Press.
- HARLOW, J. M. (1968). Recovery from the passage of an iron bar through the head. *Publications of the Massachusetts Medical Society*, 2:327–347.

-
- HARNISHFEGER, K. (1995). *Interference and inhibition in cognition.*, chapitre The development of cognitive inhibition. Theories, definitions, and research evidence., pages 176–206.
- HASHER, L. et ZACKS, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging : A review and a new view. *The Psychology of Learning and Motivation*, 22:193–225.
- HERSH, N. et TREADGOLD, L. (1994). Neuropage : The rehabilitation of memory dysfunction by prostheticmemory and cueing. *NeuroRehabilitation*, 3(4):187–197.
- HOPFIELD, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proc Natl Acad Sci USA*, 79(8):2554–2558.
- HORN, D., RUPPIN, E., USHER, M. et HERRMANN, M. (1992). Neural network modeling of memory deterioration in alzheimer’s disease.
- ISINGRINI, M. (2004). *Neuropsychologie des fonctions exécutives*, chapitre Fonctions exécutives, mémoire et métamémoire dans le vieillissement normal, pages 79–108. Solal.
- KATZ, S., FORD, A. B., MOSKOWITZ, R. W., JACKSON, B. A. et JAFFE, M. W. (1963). Studies of illness in the aged. the index of adl : A standardized measure of biological and psychosocial function. *JAMA : the journal of the American Medical Association*, 185:914–919.
- KIMBERG, D. Y. et FARAH, M. J. (1993). A unified account of cognitive impairments following frontal lobe damage : the role of working memory in complex, organized behavior. *Journal of Experimental Psychology : General.*, 122(4):411–428.
- KINSELLA, K. et VELKOFF, V. (2001). An aging world : 2001. u.s. census bureau, series p95/01-1. Rapport technique, U.S. Government Printing Office, Washington , DC.
- KOCH, S. (2006). Home telehealth—current state and future trends. *Int J Med Inform*, 75(8):565–576.
- LAWTON, M. P. et BRODY, E. (1969). Assessment of older people : Self maintaining and instrumental activities of daily living. *The Gerontologist*, 9:179–786.
- LE GALL, D., AUBIN, G., ALLAIN, P. et GUYARD, H. (1993). Résolution de problèmes et manipulation des scripts : Contribution à la compréhension des syndromes frontaux. *Tétralogiques*, 8:64–104.
- LEVINSON, R. (1995a). A computer model of prefrontal cortex function. *Annals of the New York Academy of Sciences : Structure and Function of the Human Prefrontal Cortex.*, 769.
- LEVINSON, R. (1995b). A general programming language for unified planning and control. *Artificial Intelligence*, 76:319–375.
-

- LEVINSON, R. (1997). The planning and execution assistant and trainer (peat). *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*.
- LEZAK, M. D. (1995). *Neuropsychological Assessment*. Oxford University Press, third edition édition.
- LO PRESTI, E. F., MIHAILIDIS, A. et KIRSCH, N. (2004). Assistive technology for cognitive rehabilitation : state of the art. *Neuropsychological Rehabilitation*, 14(1/2):5–39.
- LOVETT, M. C. (2005). A strategy-based interpretation of stroop. *Cognitive Science*, 29:493–524.
- LURIA, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. New York : Basic Books.
- LURIA, A. R. (1973). *The Working Brain : An Introduction to Neuropsychology*. New York : Basic Books.
- LURIA, A. R. (1978). *Les fonctions corticales supérieures de l'homme*. Presses Universitaires de France.
- LUSSIER-DESROCHERS, D., LACHAPELLE, Y., PIGOT, H. et BAUCHET, J. (2007). Apartments for people with intellectual disability : Promoting innovative community living services. In *2nd International Conference on Intellectual Disabilities/Mental Retardation*.
- MEULEMANS, T., COLLETTE, F. et VAN DER LINDEN, M. (2004). *Neuropsychologie des fonctions exécutives*. Solal.
- MEYER, D. E. et KIERAS, D. E. (1997a). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance : Part 1. basic mechanisms. *Psychological Review*, 104:3–65.
- MEYER, D. E. et KIERAS, D. E. (1997b). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance : Part 2. accounts of psychological refractory-period phenomena. *Psychological Review*, 104:749–791.
- MICHEL, B. et BECKER, H. (2002). Mild cognitive impairment : Stage précoce de la maladie d'alzheimer ? *Neurologies*, 5:125–129.
- MILLER, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two : some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63:81–87.
- MORRIS, J. (1993). The clinical dementia rating (cdr) : Current version and scoring rules. *Neurology*, 43:2412–2414.
- MOSCOVITCH, M. (1992). Memory and working-with-memory : A component process model based on modules and central systems. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4:257–267.

-
- NEWELL, A. (1990). *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA : Harvard University Press.
- NORMAN, D. A. et SHALLICE, T. (1980). Attention to action : Willed and automatic control of behavior. Rapport technique 99, Centre for Human Information Processing, University of California, San Diego, CA, USA.
- NORMAN, D. A. et SHALLICE, T. (1986). Attention to action : Willed and automatic control of behavior. In DAVIDSON, R., SCHWARTZ, G. et SHAPIRO, D., éditeurs : *Consciousness and Self Regulation : Advances in Research and Theory*, volume 4, pages 1–18. Plenum, New York, NY.
- PERRY, R. J. et HODGES, J. R. (1999). Attention and executive deficits in alzheimer's disease : A critical review. *Brain*, 122(3):383–404.
- PIGOT, H., BAUCHET, J. et GIROUX, S. (2006). *Computing and Engineering Design and Applications*, chapitre Assistive Devices for People with Cognitive Impairments. In Smart Technology for Aging, Disability and Independence (Volume II). Wiley and Sons, publishers.
- PIGOT, H., LEFEBVRE, B., MEUNIER, J., KERHERVÉ, B., MAYERS, A. et GIROUX, S. (2003). The role of intelligent habitats in upholding elders in residence. In *5Th international Conference on Simulations in Biomedicine*, pages 497–506.
- PIGOT, H., SAVARY, J., J.L., M., ROCHON, A. et BEAULIEU, M. (2005). Advanced technology guidelines to fulfill the needs of the cognitively impaired population. In GIROUX, S. et PIGOT, H., éditeurs : *The 3rd International Conference On Smart homes and health Telematics*, pages 221–228. IOS Press.
- PRULL, M. W., GABRIELI, J. D. E. et BUNGE, S. A. (2000). *Handbook of aging and cognition II*, chapitre Age-related changes in memory : A cognitive neuroscience perspective., pages 91–153. Mahwah, NJ : Erlbaum.
- RAHAL, Y., MABILLEAU, P. et PIGOT, H. (2007). Anonymous localization in a smart home. In *2nd International Conference on Technology and Aging (ICTA)*.
- REISBERG, B., FERRIS, S., de LEON, M. et CROOK, T. (1982). Global deterioration scale. *American Journal of Psychiatry*, 139:1136–1139.
- RIALLE, V. (2007a). *Technologie et Alzheimer. Appréciation de la faisabilité de la mise en place de technologies innovantes pour assister les aidants familiaux et pallier les pathologies de type Alzheimer*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble.
-

- RIALLE, V. (2007b). Technologies nouvelles susceptibles d'améliorer les pratiques gérontechnologiques et la vie quotidienne des malades âgés et de leur famille. Rapport technique, Ministère de la Santé et des Solidarités.
- RIALLE, V., DUCHÊNE, F., NOURY, N., BAJOLLE, L. et J., D. (2002). Health 'smart' home : Information technology for patients at home. *Telemedicine Journal and E-Health*, 8(4):395–409.
- RIALLE, V. et OLLIVET, C. (2007). *Alzheimer : repenser le soin.*, chapitre Nouvelles technologies de l'information et de la communication : Quelle place peuvent-elles avoir face à la maladie ? Comment les mettre au service des malades et des familles ? Paris, Vuibert.
- RIALLE, V., RUMEAU, P., CORNET, G. et FRANCO, A. (2007). Les gérontechnologies : au coeur de l'innovation hospitalière et médico-sociale. *Techniques Hospitalières*, 703:53–58.
- ROCHON, A., PIGOT, H. et BEAULIEU, M. (2005). Étude des besoins technologiques favorisant l'autonomie des personnes ayant des déficits cognitifs. Rapport de recherche 12, Université de Sherbrooke.
- RUMIATI, R., ZANINI, S., VORANO, L. et SHALLICE, T. (2001). A form of ideational apraxia as a selective deficit of contention scheduling. *Cognitive Neuropsychology*, 18:617–642.
- RUSSELL, S. J. et NORVIG, P. (2003). *Artificial Intelligence : A Modern Approach*. Series in Artificial Intelligence. Prentice Hall.
- SALVUCCI, D. (2002). Modeling driver distraction from cognitive tasks. In MAHWAH, N. L. E. A., éditeur : *Proceedings of the 24th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, pages 792–797.
- SCHANK, R. C. (1982). *Dynamic memory*. Cambridge : Cambridge University Press.
- SCHANK, R. C. et ABELSON, R. P. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding*. Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates.
- SCHWARTZ, M. F., MONTGOMERY, M. W., BUXBAUM, L. J., LEE, S. S., CAREW, T. G., COSLETT, H. B., FERRARO, M., FITZPATRICK-DESALME, E., HART, T. et MAYER, N. (1998). Naturalistic action impairment in closed head injury. *Neuropsychology*, 12(1):13–28.
- SCHWARTZ, M. F., REED, E. S., MONTGOMERY, M. W., PALMER, C. et MAYER, M. H. (1991). The quantitative description of action disorder after brain damage : A case study. *Cognitive Neuropsychology*, 8:381–414.
- SELMÈS, J. et DEROUESNÉ, C. (2004). *La maladie d'Alzheimer au jour le jour*. Montrouge, France, John Libbey.

-
- SEMKOVSKA, M., BEDARD, M., GODBOUT, L., LIMOGÉ, F. et STIP, E. (2004). Assessment of executive dysfunction during activities of daily living in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 69(2-3):289–300.
- SERNA, A., PIGOT, H. et RIALLE, V. (2007a). A computational model of activities performance decrease in alzheimer's disease. *International Journal of Medical Informatics*, 76 Suppl 3:S377–S383.
- SERNA, A., PIGOT, H. et RIALLE, V. (2007b). Modeling the progression of alzheimer's disease for cognitive assistance in smart homes. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 17(4):415–438.
- SHALLICE, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 298(series B):199–209.
- SHALLICE, T. et BURGESS, P. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe lesions. *Brain*, 114:727–741.
- SHALLICE, T. et BURGESS, P. (1993). *Attention : Selection, awareness, and control : A tribute to Donald Broadbent*, chapitre Supervisory control of action and thought selection, pages 171–187. Oxford University Press.
- SHALLICE, T. et BURGESS, P. (1996). The domain of supervisory processes and temporal organization of behaviour. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 351:1405–1412.
- STIP, E. et RIALLE, V. (2005). Environmental cognitive remediation in schizophrenia : Ethical implications of "smart home" technology. *Canadian Journal of Psychiatry*, 50(5): 281–291.
- STOUT, B. (1996). Smart moves : Intelligent path-finding. *Game Developer Magazine*.
- STROOP, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 1935, 18(6):643–662.
- TANG, P. et VENABLES, T. (2000). 'smart' homes and telecare for independent living. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 6(1):8–14.
- TULVING, E. (2004). Episodic memory : from mind to brain. *Revue Neurologique (Paris)*, 160(4 Pt 2):S9–23.
- Van der LINDEN, M., SERON, X., LE GALL, D. et ANDRÉS, P. (1999). *Neuropsychologie des lobes frontaux*. Solal : Marseille.
-

VERGNES, D., GIROUX, S. et D., C.-T. (2005). Interactive assistant for activities of daily living. *In* GIROUX, S. et PIGOT, H., éditeurs : *The 3rd International Conference On Smart homes and health Telematics*, pages 221–228. IOS Press.

WELD, D. S. (1999). Recent advances in AI planning. *AI Magazine*, 20(2):93–123.

WILSON, B. (1987). *Rehabilitation of memory*. Gilford.

WOOLDRIDGE, M. et JENNINGS, N. R. (1995). Intelligent agents : Theory and practice. *Knowledge Engineering Review*, 10(2):115–152.

ZHANG, Y., PIGOT, H. et MAYERS, A. (2004). Attention switching during interruptions. *In the Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, pages 276–281, Shanghai, China.

ANNEXE A

FORMULAIRE D'ADHESION AU CCSTI ET FICHE D'ÉVALUATION DES SUJETS

FICHE D'ÉVALUATION

SUJET n°

☐ Jeune

☐ Âgé

☐ Avec syndrome dysexécutif (MCI-MA)

Score MMSE :

Cotations tâche 1 :

- niveau de dépendance :
- niveau d'assistance:
- catégories de difficultés rencontrées :

Cotations tâche 2 :

- niveau de dépendance :
- niveau d'assistance:
- catégories de difficultés rencontrées :

Sexe :

Âge :

Profession :

Niveau d'étude :

Nationalité :

Ville de résidence :

Durée de résidence dans la ville :

Type de résidence : ☐ Campagne ☐ Ville

Habitudes de vie:

- Pour obtenir un renseignement, utilisation de :

Le téléphone? :

L'annuaire ? :

Internet ? :

- Est-ce que le sujet à un jardin ? des plantes d'intérieur ?

- Est-ce le sujet jardine ou s'occupe de ces plantes ?

Remarques additionnelles :

COTATIONS / CLASSIFICATIONS

Cotation de la tâche :

0. Réussie de façon indépendante

Le sujet effectue la tâche en un temps convenable, sans intervention de l'examineur. Il peut hésiter, commettre des erreurs, se corriger, recommencer la tâche. La tâche doit être accomplie de façon à ce qu'elle réponde aux critères d'acceptation.

0.5. Réussie avec demande de confirmation

Au cours de la tâche, le sujet demande l'accord ou l'avis de l'examineur par rapport aux décisions qu'il a prises (En général, l'examineur renvoie le sujet à la consigne en lui précisant qu'il veut l'observer dans son quotidien). Le sujet effectue la tâche en un temps convenable. La tâche doit être accomplie de façon à ce qu'elle réponde aux critères d'acceptation.

1. Réussie avec intervention(s) de type *incitation* de l'examineur

Le sujet a besoin de l'incitation de l'examineur face à certaines perturbations. Souvent le sujet exprime oralement ses intentions mais ne passe pas à l'action (par exemple « *chez moi j'aurai chercher l'adresse dans l'annuaire* »). La tâche accomplie doit répondre aux critères d'acceptation. Le sujet fini la tâche dans un temps convenable.

2. Réussie avec intervention(s) de type *guidage* de l'examineur

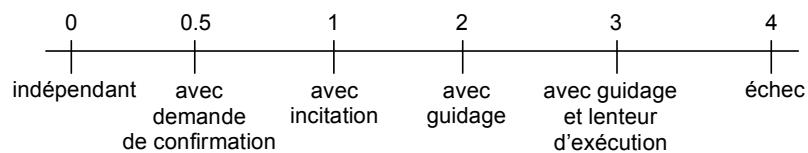
Le sujet commet des erreurs ou ne réagit pas (ou mal) aux perturbations introduites en cours de tâche. Il a besoin de l'intervention de l'examineur de façon à ce que la tâche accomplie réponde aux critères d'acceptation. Le sujet fini la tâche dans un temps convenable.

3. Réussie avec intervention(s) de type *guidage* de l'examineur et lenteur d'exécution

Le sujet commet des erreurs ou ne réagit pas (ou mal) aux perturbations introduites en cours de tâche. Il a besoin de l'intervention de l'examineur de façon à ce que la tâche accomplie réponde aux critères d'acceptation. Le sujet fini la tâche dans un temps beaucoup plus long que la moyenne (tps > 25 minutes).

4. Echec

Même avec l'intervention de l'examineur, le sujet n'est pas capable d'accomplir la tâche de façon à ce qu'elle réponde aux critères d'acceptation.



Niveaux d'assistance:

Demande de confirmation

C0. Se rapporter à la consigne.

Incitation :

i0. Demander vérification

Demander à la personne si elle est satisfaite de sa tâche. *«Qu'est-ce que vous avez écrit sur l'enveloppe. Est-ce que vous êtes satisfait, vous pensez que la plante a plus d'espace ?»*

i1. Poser le problème

Diriger la personne par rapport à la perturbation. *«Comment est-ce que vous feriez pour trouver l'adresse ? Comment faire pour que la plante ait plus d'espace?»*

i2. Demander l'exécution

La personne a exprimé oralement ses intentions mais ne passe pas à l'action. Demander à la personne de s'exécuter. *«Est-ce que je peux vous voir faire ? »*

Guidage :

G0. Refléter

Répéter ce que dit la personne. *«Vous me dites que vous avez mal aux genoux»*

G1. Poser le problème

Reformuler sous forme de question. *«Comment feriez vous pour vous sentir plus confortable ?»*

G2. Annoncer la solution

Donner un élément de réponse. *«Pensez vous que vous seriez mieux ailleurs ?»*

G3. Donner la solution

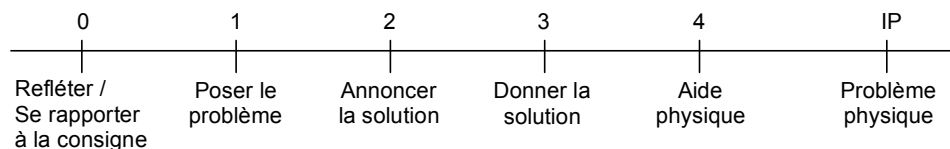
Proposer la solution. *«Mettez vous sur la table pour éviter d'avoir à vous pencher»*

G4. Aide physique

Aider la personne à exécuter une action. *«Mettre la plante sur la table»*

IP. Intervention face à un problème physique

Répond à un problème physique (pas considéré comme un niveau d'aide cognitive)



Difficultés rencontrées:

A. Erreur / Problème qui peut affecter la réalisation de la tâche et qui nécessite l'intervention de l'examineur (intervention de type guidage)

B. Erreur / Incident qui n'affecte pas la réussite de la tâche (pas d'intervention)

C. Erreur corrigée spontanément par le sujet

D. Action hors tâche

P. Mauvaise réaction face à une perturbation (intervention de type incitation, voire guidage)

TÂCHE 1: Remplir un formulaire et le poster	Perturbations : - Annuaire sur la chaise - Stylo qui ne marche pas - Adresse du CCSTI illisible - Prise ordinateur débranchée - Enveloppe non collante
Mécanismes exécutifs observés :	Cotation de la tâche :
	Niveau d'assistance :
Troubles exécutifs observés :	Nombre d'erreurs de catégorie: A. B. C. D. P.
Réactions face aux perturbations :	Temps de réalisation :

Déroulement de la tâche :

Stratégie mise en place pour trouver l'adresse du CCSTI :

PROJET « Modélisation des mécanismes et des troubles de l'autocontrôle lors de la réalisation d'activités de la vie quotidienne »

Critères d'acceptation de la tâche :

	Réussite	Réussite avec intervention	Echec	Difficultés rencontrées
Remplir Formulaire :				
Remplir le nom, prénom				
Remplir l'@, code postal, ville				
Cocher la case de catégorie pour la cotisation				
Choisir la condition de paiement si individuel				
Dater et signer				
Trouver l'adresse :				
Chercher l'@				
Obtenir l'@				
Préparer l'enveloppe :				
Ecrire le nom				
Ecrire l'@ obtenue + code postal et/ou ville				
Coller le timbre				
Fermer l'enveloppe :				
Mettre le formulaire dans l'enveloppe				
Fermer l'enveloppe				
Poster la lettre :				
Mettre l'enveloppe dans la boîte				

Description des problèmes survenus lors la réalisation de la tâche :

[illegible]

TÂCHE 2: Rempoter une plante	Perturbations : - Mode d'emploi erroné : pot conseillé trop petit et mauvaise quantité de terre indiquée - Distracteurs : louche, bouteille de thé, bouteille de jus de fruit
Mécanismes exécutifs observés :	Cotation de la tâche :
	Niveau d'assistance :
Troubles exécutifs observés :	Nombre d'erreurs de catégorie: A. B. C. D. P.
Réactions face aux perturbations : Réactions face aux distracteurs :	Temps de réalisation :

Déroulement de la tâche :

Choix du pot pour repoter la plante :

PROJET « Modélisation des mécanismes et des troubles de l'autocontrôle lors de la réalisation d'activités de la vie quotidienne »

Critères d'acceptation de la tâche :

	Réussite	Réussite avec intervention	Echec	Difficultés rencontrées
Rempoter la plante :				
Choisir le nouveau pot				
Dépoter la plante				
Mettre de la terre dans le nouveau pot				
Ajouter de la terre et stabiliser la plante				
Arroser la plante :				
Mettre de l'eau dans l'arrosoir				
Mettre une coupelle / papier journal				
Arroser				
Rangement :				
Ranger les ustensiles				
Enlever la terre / balayer				

Description des problèmes survenus lors la réalisation de la tâche :

[illegible]



ADHÉSION AU CCSTI-GRENOBLE

bulletin d'adhésion *

Je soussigné(e) Nom : _____ Prénom : _____

Organisme (le cas échéant) : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville _____

Tél. : _____ e-mail _____

Profession : _____

Date de naissance : _____

souhaite adhérer au CCSTI-Grenoble et verse le montant de ma cotisation pour 2005, soit :

> Merci de cocher ci-après la case correspondant à votre catégorie

ENTREPRISE

- ☐ moins de 10 salariés ▶ 100 €
- ☐ de 10 à 49 salariés ▶ 300 €
- ☐ de 50 à 100 salariés ▶ 500 €
- ☐ plus de 100 salariés ▶ 700 €

☐ INSTITUTIONNELS, COLLECTIVITÉS : ▶ 400 €

Une facture vous sera délivrée en _____ exemplaire(s)
après retour du bulletin d'adhésion, accompagné le
cas échéant d'un bon de commande.

INDIVIDUEL

- ☐ étudiants, apprentis, chômeurs ▶ 15 €
- ☐ autres, actifs ou retraités ▶ 30 €
- ☐ membres bienfaiteur ▶ contribution volontaire
à partir de 31 €

Un reçu de votre adhésion au CCSTI-Grenoble vous sera
adressé.

* Pour adhérer, il faut avoir 18 ans. L'adhésion d'un adulte lui donne droit de faire bénéficier ses enfants de tarifs réduits (justification par livret de famille).

Conditions de paiement de votre adhésion :

> Individuels :

Règlement par ☐ chèque bancaire ☐ chèque postal à l'ordre du CCSTI-Grenoble, à réception de facture.

> Entreprises, institutionnels, collectivités :

Règlement par chèque bancaire ou CCP (à l'ordre du CCSTI-Grenoble), ou par virement, à réception de facture.

DATE : _____

SIGNATURE : _____

▶ Bulletin d'adhésion à adresser à : CCSTI-Grenoble, La Douairolle, P. 100, 38000 Grenoble

ANNEXE B

RECAPITULATIF DES ERREURS OBSERVÉES POUR LA TÂCHE 1

Description de l'erreur	Sujets	Code
S'assoit sur l'annuaire	2 sujets âgés	PA-02 ; PA-06
N'arrive pas à écrire et veut abandonner la tâche	1 sujet âgé	PA-04
Poste l'enveloppe sans avoir écrit l'adresse du destinataire	5 sujets jeunes	J-11 ; J-14 ; J-17 ; J-18 ; J-20
	8 sujets âgés	PA-02 ; PA-03 ; PA-04 ; PA-06 ; PA-09 ; PA-15 ; PA-23 ; PA-24
	2 sujets MCI-MA	MCI-05 ; MCI-08
Marque une fausse adresse sur l'enveloppe	1 sujet jeune	J-10
Ne colle pas le rabat de l'enveloppe	2 sujets jeunes	J-10 ; J-14
	4 sujets âgés	PA-02 ; PA-06 ; PA-15 ; PA-22
	5 sujets MCI-MA	MCI-01 ; MCI-04 ; MCI-05 ; MCI-06 ; MCI-08

Tableau B.1 – Erreurs de type P pour la tâche 1

Description de l'erreur	Sujets	Code
Veut abandonner la tâche car il ne se rappelle plus le nom du destinataire	2 sujets âgés	PA-04 ; PA-06
Demande s'il doit faire le 12 pour obtenir les renseignements	1 sujet âgé	PA-02
Regarde à La Tronche / Echirolles	1 sujet âgé	PA- 04
Cherche le CCSTI à la rubrique "hôpitaux" dans les PJ	1 sujet âgé	PA-15
Le sujet fait semblant de coller un timbre mais ne le colle pas	1 sujet âgé	PA-06
Ne prend pas le matériel pour aller au bureau et attend devant le bureau	1 sujet MCI-MA	MCI-07
S'arrête ou dit qu'il a terminé la tâche alors qu'il n'a pas terminé	2 sujets MCI-MA	MCI-01 ; MCI-06
N'arrive pas à remplir le formulaire et a besoin d'aide	2 sujets MCI-MA	MCI-03 ; MCI-04
Inscrit un organisme et sa propre adresse sur l'enveloppe	1 sujet MCI-MA	MCI-07
Pense qu'il faut envoyer la lettre au service de gériatrie	1 sujet MCI-MA	MCI-04
Ne se rappelle pas où il faut envoyer la lettre	1 sujet MCI-MA	MCI-04
Cherche l'@ dans l'annuaire sous la dénomination "institut des sciences"	1 sujet MCI-MA	MCI-07
Identifie dans l'annuaire un guichet de la Villette pour envoyer l'@	1 sujet MCI-MA	MCI-08
Le sujet prend l'annuaire I à Z pour chercher dans les C	1 sujet MCI-MA	MCI-01
Cherche dans les PB comme si c'était des PJ (par rubriques)	1 sujet MCI-MA	MCI-08

Tableau B.2 – Erreurs de type A pour la tâche 1

Description de l'erreur	Sujets	Code
Le sujet jette le stylo qui ne marchait pas	1 sujet âgé	PA-22
Continue à lire la liste des rubriques après avoir trouvé l'adresse	1 sujet MCI-MA	MCI-08

Tableau B.3 – Erreurs de type D pour la tâche 1

Description de l'erreur	Sujets	Code
Le sujet ne marque pas le code postal après avoir eu l'adresse	1 sujet jeune 2 sujets âgés	J-20 PA-04 ; PA-24
Le sujet coche la case entreprise (en plus de la case retraité)	1 sujet âgé	PA-09
Le sujet choisit le crayon à papier pour remplir le formulaire	1 sujet âgé	PA-09
Le sujet remplit la case organisme avec le nom de sa maison de retraite	2 sujets âgés	PA-03 ; PA-04
Le sujet ne compose pas le "0" pour sortir lorsqu'elle téléphone	1 sujet âgé	PA-02
Le sujet marque un nom d'organisme (HLM) dans le formulaire	1 sujet MCI-MA	MCI-07
Le sujet marque un montant aléatoire de cotisation (100 euros) alors qu'elle a coché la catégorie retraité (30 euros)	1 sujet MCI-MA	MCI-07
Le sujet oublie de cocher la case catégorie	1 sujet MCI-MA	MCI-08
Le sujet coche "à la reception de la facture" pour la condition de paiement alors que ce n'est pas une case	2 sujets MCI-MA	MCI-02 ; MCI-08
Le sujet ne marque pas le nom de la ville de destination sur l'enveloppe	1 sujet MCI-MA	MCI-08

Tableau B.4 – Erreurs de type B pour la tâche 1

Description de l'erreur	Sujets	Code
Le sujet se trompe en remplissant un champ dans le formulaire (correction immédiate)	3 sujets jeunes	J-05 ; J-08 ; J-16
Le sujet ferme l'enveloppe sans y avoir mis le formulaire	1 sujet jeune	J-16
Le sujet ferme l'enveloppe sans avoir regarder le nom qu'il doit y inscrire	2 sujets jeunes 1 sujet âgé	J-05 ; J-17 PA-09
Le sujet se trompe en essayant de déchiffrer l'@ et écrit un nom erroné	1 sujet jeune	J-05
Le sujet ne cherche pas dans la bonne ville dans les PB (s'en aperçoit rapidement)	1 sujet jeune 2 sujets âgés	J-20 PA-02 ; PA-06
Le sujet fait une faute en remplissant son @, il se corrige immédiatement	2 sujets âgés	PA-04 ; PA-09
Le sujet utilise un crayon à papier pour remplir le formulaire	1 sujet âgé	PA-03
Le sujet n'écrit pas le destinataire sur l'enveloppe mais sur le dos du formulaire (colle aussi le timbre sur le formulaire)	1 sujet âgé	PA-04
Le sujet regarde dans la mauvaise rubrique mais s'en aperçoit tout de suite	1 sujet MCI-MA	MCI-01
Le sujet écrit son prénom sur la même ligne que le nom puis le réécrit sur la bonne ligne	1 sujet MCI-MA	MCI-04

Tableau B.5 – Erreurs de type C pour la tâche 1

ANNEXE C

RECAPITULATIF DES ERREURS OBSERVÉES POUR LA TÂCHE 2

Description de l'erreur	Sujets	Code
Le sujet repote la plante dans le pot A	2 sujets jeunes	J-08 ; J-10
	4 sujets âgés	PA-02 ; PA-03 ; PA-07 ; PA-09
Le sujet remplit le pot A à ras-bord puis met la plante dans le pot	2 sujet âgés	PA-02 ; PA-03

Tableau C.1 – Erreurs de type P pour la tâche 2.

Description de l'erreur	Sujets	Code
Le sujet prend le terreau dans le sac avec les mains	1 sujet jeune 1 sujet âgé	J-08 PA-09
Le sujet utilise la louche pour prendre la terre	1 sujet âgé	PA-22
Le sujet ne met pas de terreau neuf pour repoter la plante	4 sujets âgés	PA-02 ; PA-04 ; PA-09 ; PA-24
Le sujet arrose la plante avant de l'avoir dépotée	1 sujet âgé	PA-15
Le sujet verse l'eau mais le pommeau de l'arrosoir est mal orientée (l'eau coule par terre)	1 sujet jeune 1 sujet âgé	J-01 PA-03
Le sujet arrose la plante sans mettre de coupelle	5 sujets jeunes 3 sujets âgés	J-01 ; J-17 ; J-10 ; J-08 ; J-19 PA-02 ; PA-03 ; PA-07
Le sujet arrose la terre avant de placer la motte dans le pot	1 sujet jeune	J-10
Le sujet verse de l'eau avant d'avoir fini d'ajouter la terre	1 sujet âgé	PA-22
Le sujet utilise la louche pour verser de l'eau de la coupelle dans le pot	1 sujet âgé	PA-04
Le sujet arrose la plante avec un des distracteurs	1 sujet jeune 1 sujet âgé	J-01 PA-02
Le sujet nettoie la table avec un objet inadapté (le napperon, le balai)	2 sujets âgés	PA-15 ; PA-23
Le sujet ne nettoie pas correctement la table	1 sujet âgé	PA-24

Tableau C.2 – Erreurs de type B pour la tâche 2.

Description de l'erreur	Sujets	Code
Le sujet utilise la louche pour prendre la terre dans le sac de terreau	2 sujets jeunes	J-13 ; J-19
Le sujet arrose la plante sans mettre de coupelle	1 sujet âgé	PA-23
Le sujet repote la plante sur le sol et se plaint d'avoir mal aux genoux	1 sujet âgé	PA-02

Tableau C.3 – Erreurs de type C pour la tâche 2.

Description de l'erreur	Sujets	Code
Le sujet élague la plante	1 sujet jeune	J-08
Le sujet arrose les autres plantes de l'appartement	1 sujet jeune	J-10
Le sujet fait le ménage de l'appartement	1 sujet jeune 1 sujet âgé	J-13 PA-23

Tableau C.4 – Erreurs de type D pour la tâche 2.

ANNEXE D

MODÉLISATION DE LA TÂCHE ET PARAMÈTRES DU MODÈLE

D.1 Modélisation de la tâche «Boire le contenu d’une bouteille»

D.1.1 Instructions et Stratégies utilisées dans le modèle de la tâche

Les instructions de la tâche comportent les éléments utiles à la génération de l’intention. On y place le nom de l’intention, le but de l’intention et les éléments essentiels associés. Les buts sont définis par des pré-conditions et des post-conditions.

instructionsForBottleTask

Intention Name : BottleTask : Drink from a bottle

Goal : goalBottleTask

Pre : True

Post : usedBottleClosed

Essential Elements : bottle, glass

Les stratégies permettent d’atteindre le but d’une intention. Leur définition comprend un ensemble de sous-buts à atteindre et le nombre des précédents succès et échecs.

strategy1ForBottleTask atteint goalBottleTask
Subgoal : goalOpenBottle Pre : True Post : bottleOpen
Subgoal : goalFillGlass Pre : bottleOpen Post : glassFull
Subgoal : goalDrinkFromGlass Pre : glassFull Post : drinkConsumedAndGlassOnTable
Subgoal : goalSealBottle Pre : glassFull Post : usedBottleClosed
Succès : 100
Échecs : 0

strategy2ForBottleTask atteint goalBottleTask
Succès : 70
Échecs : 30

strategyForUncorkTask atteint goalUncorkTask
Subgoal : goalUncorkForAdjustment Pre : True Post : bottleOpen
Succès : 100
Échecs : 0

D.1.2 Schémas utilisés dans le modèle de la tâche

Les schémas de haut niveau et de niveau intermédiaire sont définis par le but auquel ils répondent et la liste des sous-buts à réaliser. Les schémas de haut niveau sont répertoriés en mémoire épisodique.

schemaOpenBottle atteint goalOpenBottle
Subgoal : goalPickUpImplement Pre : True Post : bottleOpenerHeld
Subgoal : goalUncorkBottle Pre : bottleOpenerHeld Post : bottleOpenAndOpenerOnTable

schemaFillGlass atteint goalFillGlass
Subgoal : goalPickUpSource Pre : True Post : openSourceHeld
Subgoal : goalPourIntoTarget Pre : openSourceHeld Post : glassFull

schemaDrinkFromGlass atteint goalDrinkFromGlass
Subgoal : goalPickUpSource Pre : True Post : currentSourceHeld
Subgoal : goalDrink Pre : currentSourceHeld Post : drinkConsumed
Subgoal : goalPutDown Pre : drinkConsumed Post : drinkConsumedAndGlassOnTable

schemaSealBottle atteint goalSealBottle
Subgoal : goalPickUpTheme Pre : True Post : corkHeld
Subgoal : goalCorkBottle Pre : corkHeld Post : bottleClosed

Les schémas de bas niveau correspondent aux actions, ils n'ont pas de sous-buts. Lorsqu'ils sont sélectionnés, ils déclenchent l'exécution de l'action associée.

schemaPickUpSource atteint goalPickUpSource

Subgoal : goalFixateSource Pre : True Post : currentSourceFixated

Subgoal : goalPickUp Pre : currentSourceFixated Post : currentSourceHeld

schemaPickUpImplement atteint goalPickUpImplement

Subgoal : goalFixateImplement Pre : True Post : currentImplementFixated

Subgoal : goalPickUp Pre : currentImplementFixated
Post : currentImplementHeld

schemaPickUpTheme atteint goalPickUpTheme

Subgoal : goalFixateTheme Pre : True Post : currentThemeFixated

Subgoal : goalPickUp Pre : currentThemeFixated Post : currentThemeHeld

schemaUncorkBottle atteint goalUncorkBottle

Subgoal : goalFixateSource Pre : True Post : currentSourceFixated

Subgoal : goalUncork Pre : currentSourceFixated Post : bottleOpen

Subgoal : goalPutDown Pre : bottleOpen Post : bottleOpenAndOpenerOnTable

schemaCorkBottle atteint goalCorkBottle

Subgoal : goalFixateTarget Pre : True Post : currentTargetFixated

Subgoal : goalRecork Pre : currentTargetFixated Post : bottleClosed

schemaPourIntoTarget atteint goalPourIntoTarget

Subgoal : goalFixateTarget Pre : True Post : currentTargetFixated

Subgoal : goalPourSome Pre : currentTargetFixated Post : currentTargetFull

schemaFixateSource atteint goalFixateSource

schemaFixateTarget atteint goalFixateTarget

schemaFixateImplement atteint goalFixateImplement

schemaFixateTheme atteint goalFixateTheme

schemaPickUp atteint goalPickUp

schemaPutDown atteint goalPutDown

schemaPourSome atteint goalPourSome

schemaDrink atteint goalDrink

schemaUncork atteint goalUncork

schemaRecork atteint goalRecork

D.1.3 Objets utilisés dans le modèle de la tâche

La modélisation de la tâche inclut aussi une représentation de tous les objets de l'environnement utiles à la réalisation de la tâche et de leurs caractéristiques. Ces objets sont archivés dans le réseau d'objets.

table

glass : IS_CONTAINER | IS_GLASS | IS_CYLINDRICAL | IS_MEDIUM

bottle : IS_CONTAINER | IS_GLASS | IS_CYLINDRICAL | IS_LARGE

State : Closed

Contents :

water : IS_FLUID

Attachement :

cork : IS_CYLINDRICAL | IS_SMALL

bottle_opener : IS_TOOL | IS_SHARP | IS_EXTENDED

D.2 Paramètres du modèle

Paramètres	Valeur
Activation de base	0.10
Seuil de sélection	0.60
Persistence	0.87
Bruit (déviation standard)	0.01
Influence propre	
pour les schémas	0.23
pour les objets	0.23
pour les effecteurs	0.23
Influence latérale	
pour les schémas	0.46
pour les objets	0.46
pour les effecteurs	0.46
Influence <i>top-down</i>	
pour les schémas	0.50
pour les objets	0.00
pour les effecteurs	0.00
Influence environnementale	
pour les schémas	0.10
pour les objets	0.40
pour les effecteurs	0.40

Tableau D.1 – Valeurs des paramètres du questionnaire de conflit

Paramètres	Jeune	Âgé	MCi-MA
Seuil de reconduite de micro re-planification	0.6	0.6	0.6
Facteur de dégradation cognitive pour la re-planification	2.0	0.8	0.6

Tableau D.2 – Valeurs des paramètres du système superviseur

ANNEXE E

TRACE DU MODÈLE

E.1 Trace pour la première simulation

Trace pour le déroulement normal de la tâche.

EPISODIC MEMORY Update:

Hight Level Schema: schemaOpenBottle(goalOpenBottle; [goalPickUpImplement,goalUncorkBottle])

Hight Level Schema: schemaFillGlass(goalFillGlass; [goalPickUpSource,goalPourIntoTarget])

Hight Level Schema: schemaDrinkFromGlass(goalDrinkFromGlass; [goalPickUpSource,goalDrink,goalPutDown])

Hight Level Schema: schemaSealBottle(goalSealBottle; [goalPickUpTheme,goalCorkBottle])

Strategy: Strategy1 for BottleTask(goalBottleTask;
[goalOpenBottle,goalFillGlass,goalDrinkFromGlass,goalSealBottle])

Strategy: Strategy2 for BottleTask(goalBottleTask; [])

WORLD

--> Item Instructions for BottleTask: Drink from a bottle added in WORLD (c0)

MODULE INTENTIONS_GENERATION

0: Intention generated

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Item Intention BottleTask: Drink from a bottle added in Working Memory (c0)

0: Event fired from INTENTIONS_GENERATION to STRATEGIES_GENERATION with the operation: intention generated

MODULE STRATEGIES_GENERATION

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current intention

0: 2 strategies have been generated (Strategy1 for BottleTask,Strategy2 for BottleTask)

0: Event fired from STRATEGIES_GENERATION to STRATEGIES_EVALUATION with the operation: strategies generated

MODULE STRATEGIES_EVALUATION

0: Strategies evaluation:

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve strategies

Strategy1 for BottleTask: 1.997938286297282

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve strategies

Strategy2 for BottleTask: 1.00737150351919

Chosen strategy: Strategy1 for BottleTask

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Item Strategy Strategy1 for BottleTask added in Working Memory (c0)

0: Event fired from STRATEGIES_EVALUATION to PLAN_CONSTRUCTION with the operation: strategy chosen

MODULE PLAN_CONSTRUCTION

0: schemas agenda construction:

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current strategy

schemaOpenBottle added to the agenda

schemaFillGlass added to the agenda

schemaDrinkFromGlass added to the agenda

schemaSealBottle added to the agenda

agenda built

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Item Agenda agenda for Strategy1 for BottleTask added in Working Memory (c0)

0: Event fired from PLAN_CONSTRUCTION to AGENDA_IMPLEMENTATION with the operation: agenda built

MODULE AGENDA_IMPLEMENTATION
ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current agenda

0: new intended schema: schemaOpenBottle

CS: 4 +schemaOpenBottle
CS: 12 +schemaPickUpImplement
CS: 21 +schemaFixateImplement
CS: 21 Fixate Fixating bottle_opener
CS: 27 -schemaFixateImplement
CS: 33 +schemaPickUp
CS: 33 PickUp Picking up bottle_opener with rightHand
CS: 43 -schemaPickUp
CS: 44 -schemaPickUpImplement
CS: 52 +schemaUncorkBottle
CS: 66 +schemaFixateSource
CS: 66 Fixate Fixating bottle
CS: 73 -schemaFixateSource
CS: 84 +schemaUncork
CS: 84 UncorkBottle Uncorking bottle with bottle_opener
(held by rightHand)
CS: 91 -schemaUncork
CS: 102 +schemaPutDown
CS: 102 PutDownPutting down bottle_opener with rightHand

MODULE CONTROL

102: Agenda execution checkout

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current agenda

102: Event fired from CONTROL to AGENDA_IMPLEMENTATION with the operation: intended schema completed

MODULE AGENDA_IMPLEMENTATION
ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current agenda

102: new intended schema: schemaFillGlass

CS: 112 -schemaPutDown
CS: 113 -schemaUncorkBottle
CS: 113 -schemaOpenBottle
CS: 116 +schemaFillGlass
CS: 127 +schemaPickUpSource
CS: 137 +schemaFixateSource
CS: 137 Fixate Fixating bottle
CS: 144 -schemaFixateSource
CS: 150 +schemaPickUp
CS: 150 PickUp Picking up bottle with rightHand
CS: 160 -schemaPickUp
CS: 161 -schemaPickUpSource
CS: 169 +schemaPourIntoTarget
CS: 178 +schemaFixateTarget
CS: 178 Fixate Fixating glass
CS: 184 -schemaFixateTarget
CS: 191 +schemaPourSome

End of process... cycle = 399

E.2 Trace pour la deuxième simulation

Trace pour le déroulement de la tâche avec une situation imprévue.

Simulation d'un sujet âgé.

EPISODIC MEMORY Update:

Hight Level Schema: schemaOpenBottle(goalOpenBottle; [goalPickUpImplement,goalUncorkBottle])

Hight Level Schema: schemaFillGlass(goalFillGlass; [goalPickUpSource,goalPourIntoTarget])

Hight Level Schema: schemaDrinkFromGlass(goalDrinkFromGlass; [goalPickUpSource,goalDrink,goalPutDown])

Hight Level Schema: schemaSealBottle(goalSealBottle; [goalPickUpTheme,goalCorkBottle])

Hight Level Schema: schemaUncorkForAdjustment(goalUncorkForAdjustment; [goalUncorkOK])

Strategy: Strategy1 for BottleTask(goalBottleTask;
[goalOpenBottle,goalFillGlass,goalDrinkFromGlass,goalSealBottle])

Strategy: Strategy2 for BottleTask(goalBottleTask; [])

Strategy: Strategy for UncorkTask(goalUncorkTask; [goalUncorkForAdjustment])

WORLD

--> Item Instructions for BottleTask: Drink from a bottle added in WORLD (c0)

MODULE INTENTIONS_GENERATION

0: Intention generated

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Item Intention BottleTask: Drink from a bottle added in Working Memory (c0)

0: Event fired from INTENTIONS_GENERATION to STRATEGIES_GENERATION with the operation: intention generated

MODULE STRATEGIES_GENERATION

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current intention

0: 2 strategies have been generated (Strategy1 for BottleTask,Strategy2 for BottleTask)

0: Event fired from STRATEGIES_GENERATION to STRATEGIES_EVALUATION with the operation: strategies generated

MODULE STRATEGIES_EVALUATION

0: Strategies evaluation:

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve strategies

Strategy1 for BottleTask: 1.997938286297282

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve strategies

Strategy2 for BottleTask: 1.00737150351919

Chosen strategy: Strategy1 for BottleTask

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Item Strategy Strategy1 for BottleTask added in Working Memory (c0)

0: Event fired from STRATEGIES_EVALUATION to PLAN_CONSTRUCTION with the operation: strategy chosen

MODULE PLAN_CONSTRUCTION

0: schemas agenda construction:

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current strategy

schemaOpenBottle added to the agenda

schemaFillGlass added to the agenda

schemaDrinkFromGlass added to the agenda

schemaSealBottle added to the agenda

agenda built

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Item Agenda agenda for Strategy1 for BottleTask added in Working Memory (c0)

0: Event fired from PLAN_CONSTRUCTION to AGENDA_IMPLEMENTATION with the operation: agenda built

MODULE AGENDA_IMPLEMENTATION

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current agenda

0: new intended schema: schemaOpenBottle

CS: 4 +schemaOpenBottle
CS: 13 +schemaPickUpImplement
CS: 22 +schemaFixateImplement
CS: 22 Fixate Fixating bottle_opener
CS: 28 -schemaFixateImplement
CS: 35 +schemaPickUp
CS: 35 Pickup Picking up bottle_opener with rightHand
CS: 45 -schemaPickUp
CS: 46 -schemaPickUpImplement
CS: 54 +schemaUncorkBottle
CS: 68 +schemaFixateSource
CS: 68 Fixate Fixating bottle1
CS: 75 -schemaFixateSource
CS: 87 +schemaUncork
CS: 87 UncorkBottle Uncorking bottle1 with bottle_opener
(held by rightHand)
CS: 107 -schemaUncork

107: schema schemaUncork deselected - postconditons not ok: NON_EXECUTABLE_ACTION

MODULE CONTROL

Problem has been detected - Micro planing is initiated

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Item goalUncork added in Working Memory (c107)

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Item schemaUncork[] added in Working Memory (c107)

107: Event fired from CONTROL to MICRO_RE_PLANING with the operation: action change

MODULE MICRO_RE_PLANING

107: Change action

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve erroneous schema

107: Selection of the same schema: schemaUncork

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Item schemaUncork[] added in Working Memory (c107)

CS: 112 +schemaUncork
CS: 112 UncorkBottle Uncorking bottle1 with bottle_opener
(held by rightHand)
CS: 133 -schemaUncork

133: schema schemaUncork deselected - postconditons not ok: NON_EXECUTABLE_ACTION

MODULE CONTROL

Problem not solved ---- Micro-planing value: -0.2520746933317508

Micro-Planing phase - 2.0 attempt

133: Event fired from CONTROL to MICRO_RE_PLANING with the operation: action change

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current intention

185: Inhibition of intended schema

185: Event fired from INTENTIONS_MONITORING to AGENDA_IMPLEMENTATION with the operation: intended schema inhibition

MODULE AGENDA_IMPLEMENTATION

185: inhibition of the intended schema

Deselection of selected schemas after intended schema inhibition

CS: 185 -schemaUncorkBottle

CS: 185 -schemaOpenBottle

185: New intention solicitation

185: Event fired from INTENTIONS_MONITORING to INTENTIONS_GENERATION with the operation: generate new intention

MODULE INTENTIONS_GENERATION

185: Intention generated

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Item Intention Intention for goalUncorkTask added in Working Memory (c185)

185: Event fired from INTENTIONS_GENERATION to STRATEGIES_GENERATION with the operation: intention generated

MODULE STRATEGIES_GENERATION

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current intention

185: 1 strategy has been generated (Strategy for UncorkTask)

185: Event fired from STRATEGIES_GENERATION to STRATEGIES_EVALUATION with the operation: strategies generated

MODULE STRATEGIES_EVALUATION

185: Strategies evaluation:

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve strategies

Strategy for UncorkTask: 2.004168679641603

Chosen strategy: Strategy for UncorkTask

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Item Strategy Strategy for UncorkTask added in Working Memory (c185)

185: Event fired from STRATEGIES_EVALUATION to PLAN_CONSTRUCTION with the operation: strategy chosen

MODULE PLAN_CONSTRUCTION

185: schemas agenda construction:

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current strategy

schemaUncorkForAdjustment added to the agenda

agenda built

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Item Agenda agenda for Strategy for UncorkTask added in Working Memory (c185)

185: Event fired from PLAN_CONSTRUCTION to AGENDA_IMPLEMENTATION with the operation: agenda built

MODULE AGENDA_IMPLEMENTATION

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current agenda

```

185: new intended schema: schemaUncorkForAdjustment
      CS: 194 +schemaUncorkForAdjustment
      CS: 199 +schemaUncorkOK
      CS: 199          UncorkBottle      Uncorking bottle1 with bottle_opener
                                   (held by rightHand)

```

CS: 199 +schemaUncorkOK

CS: 199	UncorkBottle	Uncorking bottle1 with bottle_opener (held by rightHand)

199: Agenda execution checkout
ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current agenda

MODULE FINAL_EVALUATION

--> Retrieve current intention

--> Retrieve suspended intentions

MODULE INTENTIONS_MONITORING

--> Retrieve current intention

--> Retrieve suspended intentions

--> Change of current intention and agenda

MODULE AGENDA_IMPLEMENTATION

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current agenda

CS: 208 -schemaUncorkOK

CS: 208 -schemaUncorkForAdjustment

CS: 210 +schemaOpenBottle

CS: 217 + schemaUncorkBottle

CS: 257 +schemaFixateSource

CS: 257	Fixate	Fixating bottle_opener

CS: 263 -schemaFixateSource

CS: 272 +schemaPutDown

CS: 272 PutDownPutting down bottle_opener with rightHand

272: Agenda execution checkout
ACCESS to WORKING MEMORY

272: Agenda execution checkout

--> Retrieve current agenda

272: Event fired from CONTROL to AGENDA_IMPLEMENTATION with the operation: intended schema completed

MODULE AGENDA_IMPLEMENTATION

--> Retrieve current agenda

272: new intended schema: schemaFillGlass

CS: 282 -schemaPutDown
CS: 283 -schemaUncorkBottle
CS: 283 -schemaOpenBottle
CS: 286 +schemaFillGlass
CS: 298 +schemaPickUpSource
CS: 307 +schemaFixateSource
CS: 307 Fixate Fixating bottle1
CS: 313 -schemaFixateSource
CS: 320 +schemaPickUp
CS: 320 PickUp Picking up bottle1 with rightHand
CS: 330 -schemaPickUp
CS: 331 -schemaPickUpSource
CS: 339 +schemaPourIntoTarget
CS: 348 +schemaFixateTarget
CS: 348 Fixate Fixating glass
CS: 354 -schemaFixateTarget
CS: 360 +schemaPourSome
CS: 360 Pour Pouring water from bottle1 (held by rightHand)
into glass

MODULE CONTROL

360: Agenda execution checkout

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current agenda

360: Event fired from CONTROL to AGENDA_IMPLEMENTATION with the operation: intended schema completed

MODULE AGENDA_IMPLEMENTATION

ACCESS to WORKING MEMOR

--> Retrieve current agenda

360: new intended schema: schemaDrinkFromGlass

CS: 370 -schemaPourSome
CS: 371 -schemaPourIntoTarget
CS: 371 -schemaFillGlass
CS: 374 +schemaDrinkFromGlass
CS: 390 +schemaPickUpSource
CS: 400 +schemaFixateSource
CS: 400 Fixate Fixating glass
CS: 406 -schemaFixateSource
CS: 413 +schemaPickUp
CS: 413 PickUp Picking up glass with leftHand
CS: 420 -schemaPickUp
CS: 428 -schemaPickUpSource
CS: 432 +schemaDrink
CS: 432 Drink Drinking water from glass (held by leftHand)
CS: 440 -schemaDrink
CS: 450 +schemaPutDown
CS: 450 PutDownPutting down glass with leftHand

MODULE CONTROL

450: Agenda execution checkout

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current agenda

450: Event fired from CONTROL to AGENDA_IMPLEMENTATION with the operation: intended schema completed

MODULE AGENDA_IMPLEMENTATION

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current agenda

450: new intended schema: schemaSealBottle

CS: 460 -schemaPutDown

CS: 461 -schemaDrinkFromGlass

CS: 464 +schemaSealBottle

CS: 473 +schemaPickUpTheme

CS: 482 +schemaFixateTheme

CS: 482 Fixate Fixating cork

CS: 488 -schemaFixateTheme

CS: 495 +schemaPickUp

CS: 495 PickUp Picking up cork with leftHand

CS: 505 -schemaPickUp

CS: 506 -schemaPickUpTheme

CS: 513 +schemaCorkBottle

CS: 523 +schemaFixateTarget

CS: 523 Fixate Fixating bottle1

CS: 530 -schemaFixateTarget

CS: 536 +schemaRecork

CS: 536 RecorkBottle Recorking bottle1 with cork (held by leftHand)

MODULE CONTROL

536: Agenda execution checkout

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current agenda

536: Event fired from CONTROL to FINAL_EVALUATION with the operation: agenda completed

MODULE FINAL_EVALUATION

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current intention

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve suspended intentions

536: Event fired from FINAL_EVALUATION to INTENTIONS_MONITORING with the operation: stop current intention

MODULE INTENTIONS_MONITORING

ACCESS to WORKING MEMORY

--> Retrieve current intention

536: Event fired from INTENTIONS_MONITORING to AGENDA_IMPLEMENTATION with the operation: stop CS

MODULE AGENDA_IMPLEMENTATION

536: stop the CS

Running 30 more cycles for schemas deselection

CS: 546 -schemaRecork

CS: 552 -schemaCorkBottle

End of process... cycle = 566

Résumé

Pour assister efficacement les personnes en perte d'autonomie dans le contexte des habitats intelligents, il est essentiel d'identifier les difficultés auxquelles ces personnes sont confrontées dans leur quotidien. L'objectif de ce travail est d'observer les processus exécutifs durant les activités de la vie quotidienne, ainsi que leur dysfonctionnement lors du vieillissement cognitif (normal ou lié à la maladie d'Alzheimer), puis d'élaborer un modèle théorique et informatique capable de simuler les comportements observés. Une phase d'observation et de qualification des processus de contrôle exécutif (capacités de régulation de l'action, de correction et d'adaptation lors de situations imprévues) a d'abord été réalisée, donnant lieu à la spécification d'un modèle théorique fondé sur le modèle de contrôle attentionnel de l'action de Norman et Shallice. Le modèle théorique a ensuite été implémenté informatiquement et permet de simuler une activité quotidienne spécifique.

Mots-clés

Modélisation cognitive ; processus exécutifs ; vieillissement cognitif ; démence de type Alzheimer ; activités de la vie quotidienne ; aide technique ; Habitats intelligents pour la santé ;

Title

Observation and modelling of executive processes and associated dysfunction in ageing and dementia during the performance of daily activities. *Study for cognitive assistance systems design.*

Abstract

In order to assist patients who are losing their autonomy, smart homes and cognitive assistance systems have to be based on a good knowledge of people's disorders and on the difficulties they are likely to encounter in daily life. The specific objective of this PhD is to observe executive processes involved in the completion of daily activities and their impairment during ageing and dementia of the Alzheimer's type, and then to design both theoretical and computational models which are able to generate the observed behaviours. An observation and a qualification phase, allowing to observe executive control processes (action regulation, correction and adaptation when unexpected situations occur) have been first realized, leading to the specification of a theoretical model based on the Norman and Shallice model. This theoretical model has then been implemented to obtain a computational model, which allows the simulation of a specific activity of daily living.

Keywords

Cognitive modelling; executive processes; executive dysfunction; cognitive ageing; dementia of the Alzheimer's type; activities of daily living; assistive technology; smart homes.

Laboratoire TIMC-IMAG, faculté de médecine, 38706 La Tronche Cedex, France.
Laboratoire DOMUS, Université de Sherbrooke, J1K 2R1 (Québec), Canada.