



HAL
open science

Différences individuelles dans les processus de contrôle attentionnel chez des personnes jeunes et âgées : approches expérimentale et computationnelle

Stéphane Deline

► **To cite this version:**

Stéphane Deline. Différences individuelles dans les processus de contrôle attentionnel chez des personnes jeunes et âgées : approches expérimentale et computationnelle. Psychologie. Université Rennes 2, 2011. Français. NNT : . tel-00960549

HAL Id: tel-00960549

<https://theses.hal.science/tel-00960549>

Submitted on 18 Mar 2014

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.



THESE / UNIVERSITE RENNES 2

sous le sceau de l'Université Européenne de Bretagne

pour obtenir le titre de :

DOCTEUR de l'Université de Rennes 2

Mention : Psychologie différentielle

Ecole doctorale Sciences Humaines et Sociales

présentée par

Stéphane Deline

Préparée au sein du CRPCC (EA 1285)

Université Rennes 2

Centre de Recherche en Psychologie, Cognition
et communication

**Différences
individuelles dans
les processus de
contrôle attentionnel
chez des personnes
jeunes et âgées :
approches
expérimentale et
computationnelle**

Thèse soutenue le 19 décembre 2011
devant le jury composé de :

Pierre-Yves GILLES

Professeur des Universités,
Université de Provence / *Rapporteur*

Thierry LECERF

Maître d'Enseignement et de
Recherche, Université de Genève /
Rapporteur

Eric RAUFASTE

Professeur des Universités,
Université Toulouse Le Mirail /
Examinateur

Jacques JUHEL

Professeur des Universités,
Université Rennes 2 / *Directeur de
thèse*

SOUS LE SCEAU DE L'UNIVERSITÉ EUROPÉENNE DE BRETAGNE

UNIVERSITÉ RENNES 2

École Doctorale – Sciences Humaines et Sociales

Unité de Recherche – CRPCC (EA 1285)

Centre de Recherche en Psychologie, Cognition et Communication

**Différences individuelles dans les processus de contrôle attentionnel chez
des personnes jeunes et âgées : approches expérimentale et
computationnelle**

Thèse de Doctorat

Discipline : Psychologie

Présentée par Stéphane DELINE

Sous la direction du Professeur Jacques Juhel

Soutenue le 19 Décembre 2011

Jury :

Professeur Pierre-Yves GILLES, Université de Provence (Rapporteur)

Docteur Thierry LECERF, Université de Genève (Rapporteur)

Professeur Eric RAUFASTE, Université Toulouse Le Mirail (Examineur)

Professeur Jacques JUHEL, Université Européenne de Bretagne - Rennes 2 (Directeur de thèse)

Remerciements

Mes remerciements vont d'abord à mon directeur de thèse Jacques Juhel pour m'avoir accompagné tout au long de cette aventure. Merci pour les encouragements et l'enthousiasme communicatif qui a été un moteur essentiel pour mener à terme ce travail.

Je voudrais remercier les membres de mon jury de thèse, Pierre-Yves Gilles, Thierry Lecerf et Eric Raufaste, pour avoir accepté de faire partie de ce jury et pour le temps consacré à la lecture du manuscrit.

Mes remerciements s'adressent aussi à toutes les personnes qui ont -de près ou de loin- participé à la réalisation de ce travail. Merci aux établissements d'accueil pour personnes âgées et à leur résidents qui m'ont gentiment ouverts leurs portes : la résidence d'automne de Cesson-sévigné, les maisons de retraite le Clos Saint-Martin, Saint François et Le Gast, la résidence Le Colombier, et le foyer logement Léon Grimault à Rennes. Merci aussi à toutes celles et ceux qui ont accepté de prendre part volontairement aux études qui constituent ce travail de thèse, pour le temps consacré mais aussi pour leur aimable participation.

Merci également aux membres du laboratoire de psychologie expérimentale pour leurs conseils et leur bonne humeur.

Merci à Dom, Lisa, Jean-Luc et Julie pour leur soutien, conseils et relecture. Un grand merci à tous les miens, qui m'ont accompagné et soutenu tout au long de ce périple. Merci à mes parents et à mes frères et sœurs pour leur soutien. Merci à Jean-Luc et Sandy pour leurs encouragements et leur soutien dans les moments difficiles. Merci à toute la tribu de la Valette... *Merci à tous pour votre soutien et vos encouragements.*

Enfin, Merci Holly, ces mots n'auraient simplement jamais été inscrits sans toi. Merci de m'avoir soutenu durant ce long périple.

« Notre bonheur dépend de notre capacité à être satisfait. »

Dalai Lama

Table des matières

Introduction générale.....	11
Partie 1 - Le Vieillessement cognitif normal, attention et contrôle cognitif.....	12
Introduction.....	13
1. Le contrôle cognitif.....	15
1.1. Le centre exécutif dans les modèles de la mémoire de travail.....	18
1.1.1. Introduction au concept de mémoire de travail.....	18
1.1.2. Le modèle en « composants multiples » de Baddeley (1974).....	19
1.1.3. Le modèle de contrôle de l'attention de Norman et Shallice (1980, 1986).....	21
1.1.4. Le modèle des processus emboîtés de Cowan (1988).....	22
1.1.5. Le modèle d'Oberauer (2002).....	24
1.1.6. Le modèle d'Engle (1999).....	25
1.2. Fonctions et processus de contrôle exécutif et attentionnel.....	27
1.2.1. La fonction de planification.....	28
1.2.2. La fonction de coordination.....	29
1.2.3. La fonction de Mise à jour.....	31
1.2.4. La fonction de flexibilité cognitive.....	33
1.2.5. La fonction d'inhibition.....	39
1.2.6. Le Contrôle attentionnel.....	43
1.2.7. La Métacognition.....	47
Synthèse.....	48
2. Les ressources et mécanismes impliqués dans les anomalies cognitives observées chez les personnes âgées.....	50
2.1. Vieillessement et fonctions exécutives.....	50
2.1.1. Vieillessement et planification.....	50
2.1.2. Vieillessement et fonction de coordination.....	53
2.1.3. Vieillessement et Mise à jour.....	56
2.1.4. Vieillessement et flexibilité cognitive.....	57
2.1.4.1. Effet du vieillessement sur la flexibilité spontanée.....	57
2.1.4.2. Effet du vieillessement sur la flexibilité réactive.....	58
2.1.5. Effet du vieillessement sur l'inhibition.....	62
2.1.6. Vieillessement, contrôle attentionnel et métacognition.....	64

2.2.	Hypothèses explicatives avancées	67
2.2.1.	La diminution des ressources de traitement.....	68
2.2.1.1.	La diminution de la vitesse de traitement (Salthouse, 1996)	68
2.2.1.2.	La diminution des ressources attentionnelles	70
2.2.2.	Hypothèse d'un déclin différencié des processus de contrôle cognitif.	71
2.2.2.1.	Atteinte des processus inhibiteurs.....	71
2.2.2.2.	Atteinte de l'attention exécutive	73
2.2.2.3.	La négligence de but.....	74
2.2.3.	Apports de la neuropsychologie.....	75
2.2.3.1.	L'hypothèse frontale	75
2.2.3.2.	Hypothèses de dédifférenciation et de compensation.....	76
2.2.3.3.	Des mécanismes duels de contrôle cognitif.....	77
	Conclusion	78
	Partie 2 - Etudes expérimentales, modélisation et simulations.....	79
1.	L'architecture cognitive ACT-R	79
1.1.	Introduction.....	79
1.2.	Un système modulaire	81
1.2.1.	Les modules centraux.....	82
1.2.1.1.	Le module et le buffer de but (« Goal buffer »)	82
1.2.1.2.	Le module déclaratif et le buffer de récupération (« retrieval-buffer »).....	83
1.2.1.3.	Le module procédural	83
1.2.1.4.	Le module et buffer « Imaginal »	84
1.2.2.	Les modules perceptifs et moteurs.....	85
1.2.2.1.	Le module manuel.....	86
1.2.2.2.	Le module vocal.....	86
1.3.	Un système hybride.....	86
1.3.1.	L'activation	87
1.3.1.1.	Le niveau d'activation de base	88
1.3.1.2.	La diffusion de l'activation (« Spreading-activation »).....	89
1.3.1.3.	L'appariement partiel (« Partial-matching »).....	90
1.3.1.4.	Le bruit.....	91
1.3.2.	L'approche utilitaire des procédures.	93
1.4.	Compléments et extensions d'ACT-R 6	94
2.	Etude 1	95

2.1.	Introduction.....	95
2.2.	Protocole	96
2.2.1.	Participants et critères d’inclusion	96
2.2.2.	Matériel et procédure	97
2.2.2.1.	Matériel	97
2.2.2.2.	Procédure	97
2.2.2.3.	Déroulement de l’expérimentation.....	97
2.2.3.	Analyses statistiques : Brève présentation des modèles à effets mixtes et précisions sur le logiciel utilisé.	99
2.3.	Analyse des résultats empiriques.....	100
2.3.1.	Examen des données.....	100
2.3.2.	Analyse des temps de réponse.....	101
2.3.2.1.	Etapes préalables	101
2.3.2.2.	Application des modèles linéaires à effets mixtes (LMM)	103
2.3.2.2.1.	Structure des effets fixes.....	106
2.3.2.2.2.	Structure des effets aléatoires	111
2.3.3.	Analyse de la précision	115
2.3.3.1.	Etude de l’effet du rang.....	115
2.3.3.2.	Structure des effets fixes.....	116
2.4.	Modélisation de la tâche d’alternance.....	120
2.4.1.	Processus impliqués dans la résolution de la tâche d’alternance.....	120
2.4.1.1.	Traitement des essais et effets contextuels.....	121
2.4.1.1.1.	Traitement d’un essai : étapes et composantes communes.....	121
2.4.1.1.2.	Dépendance sérielle des essais.	125
2.4.1.1.3.	Spécificités de la tâche et effets théoriques	129
2.4.1.2.	Détection de conflit et ajustements contrôlés réactifs.....	137
2.4.1.2.1.	Surveillance et régulation de l’activité cognitive : implication des processus métacognitifs.....	138
2.4.1.2.2.	Inhibition du schéma de tâche interférent	139
2.4.1.2.3.	Contrôle de la réponse sélectionnée.....	141
2.4.1.2.4.	Exécution de la réponse et feedback associé.....	143
2.4.1.3.	Des modes de fonctionnement différenciés	145
2.4.1.3.1.	Ajustement du niveau de contrôle cognitif.....	145
2.4.1.3.2.	Représentation de la tâche récupérée	146
2.4.1.3.3.	Conséquence d’une représentation de la tâche hautement informative.....	149

2.4.2.	Choix théoriques et processus implémentés	153
2.4.2.1.	Le traitement de l'indice	154
2.4.2.1.1.	Représentations de la tâche	154
2.4.2.1.2.	Représentation de la tâche récupérée et encodage du stimulus	156
2.4.2.1.3.	Erreur d'encodage d'une représentation de la tâche	157
2.4.2.1.4.	Interférence proactive.....	158
2.4.2.2.	Traitement du stimulus et sélection de la réponse.....	158
2.4.2.2.1.	Encodage du stimulus.....	158
2.4.2.2.2.	Sélection de la réponse	159
2.4.2.3.	Processus et mécanismes métacognitifs et contrôlés	162
2.4.2.3.1.	Inhibition du schéma précédent	163
2.4.2.3.2.	Ajustement du niveau de contrôle cognitif.....	163
2.4.2.3.3.	Inhibition d'une réponse erronée	165
2.4.2.4.	Autres mécanismes implémentés	166
2.4.3.	Le modèle computationnel CF	168
2.4.3.1.	Introduction.....	168
2.4.3.1.1.	Les modules.....	168
2.4.3.1.2.	Les chunks insérés dans le modèle.....	169
2.4.3.1.3.	Les paramètres de l'architecture utilisés	170
2.4.3.2.	Les procédures	172
2.4.3.2.1.	Traitement de l'indice	172
2.4.3.2.2.	Traitement du stimulus, récupération d'une réponse et son exécution	177
2.4.3.2.3.	Mécanismes contrôlés proactifs	187
2.4.3.2.4.	Autoévaluations et retours sur la performance.....	190
2.5.	Analyse des simulations	193
2.5.1.	Paramètres	194
2.5.1.1.	Paramètres fixé	194
2.5.1.2.	Valeur d'utilité fixée	194
2.5.2.	Simulations des effets simples	196
2.5.2.1.	Simulation 1 : Effet simple du facteur latence (<i>lf</i>).....	196
2.5.2.2.	Simulation 2 : effet simple du facteur diffusion de l'activation <i>ga</i>	197
2.5.2.3.	Simulation 3 : Effet simple du malus d'interférence proactive (IP)	198
2.5.2.4.	Simulation 4 : Effet de l'« inhibition du schéma interférant » (<i>l°</i>).	199
2.5.2.5.	Simulation 5 : Effet simple du signal de biais (S).....	200

2.5.2.6.	Simulation 6 : Effet simple du paramètre bruit (ans).....	201
2.5.2.7.	Simulation 7 : Effet simple de la modification de la valeur du malus attribué au chunk non pertinent.....	202
2.5.3.	Reproduction des patterns empiriques.....	204
2.5.3.1.	Reproduction du pattern du groupe contrôle.....	205
2.5.3.2.	Reproduction du pattern de performances du groupe de personnes âgées et test des hypothèses théoriques.	207
2.5.3.2.1.	Hypothèse ralentissement	207
2.5.3.2.2.	Hypothèse de la diminution de la capacité de la mémoire de travail.....	209
3.	Etude 2	213
3.1.	Introduction.....	213
3.2.	Protocole	213
3.2.1.	Participants et critères d'inclusion	213
3.2.2.	Matériel et procédure	214
3.2.2.1.	Matériel	214
3.2.2.2.	Procédure	214
3.2.2.3.	Analyses statistiques : Brève présentation des modèles à effets mixtes et précisions sur le logiciel utilisé.	217
3.2.3.	Analyse des résultats.....	217
3.2.3.1.	Statistiques descriptives.....	217
3.2.3.2.	Etapes préalables	218
3.2.3.3.	Application des modèles linéaires à effets mixtes (LMM)	220
3.2.3.3.1.	Etude des effets temporels.	220
3.2.3.3.2.	Structure des effets fixes.....	222
3.2.3.3.3.	Structure des effets aléatoires	227
3.2.3.4.	Etude de la précision	230
3.3.	Modélisation de la tâche d'alternance : le modèle WB	233
3.3.1.1.	Les chunks	235
3.3.1.2.	Les procédures	236
3.3.1.2.1.	Description des étapes	237
3.3.1.2.2.	Traitement de l'indice	238
3.3.1.2.3.	Traitement du stimulus, sélection de la réponse	239
3.3.2.	Processus contrôlés.....	243
3.3.3.	Spécificités du modèle WB : le chevauchement des réponses	244
3.4.	Analyse des simulations	246

3.4.1.	Paramètres	246
3.4.1.1.	Paramètres fixés	246
3.4.1.2.	Valeur d'utilité fixée	247
3.4.2.	Simulations des effets simples	248
3.4.2.1.	Simulation 0 : Modèle de base	248
3.4.2.2.	Simulation 1 : Effet simple du facteur latence (If).....	249
3.4.2.3.	Simulation 2 : Effet simple du facteur diffusion de l'activation <i>ga</i>	249
3.4.2.4.	Simulation 3 : Effet simple de la procédure de coactivation (Cv)	250
3.4.2.5.	Simulation 4 : Effet simple du malus d'interférence proactive (IP)	250
3.4.2.6.	Simulation 5 : Effet de l'« inhibition du schéma interférent » (Is).....	251
3.4.2.7.	Simulation 6 : Effet simple du signal de biais (S).....	251
3.4.2.8.	Simulation 7 : Effet simple du paramètre bruit (ans).....	252
3.4.2.9.	Simulation 8 : Effet simple de la modification d'un facteur « préparation pré-tâche des représentations schématiques » (Pr).....	253
3.4.3.	Reproduction des patterns empiriques individuels et tests d'hypothèses.....	254
3.4.3.1.	Reproduction du pattern du groupe contrôle.....	255
3.4.3.2.	Reproduction du pattern de performances individuels et test des hypothèses théoriques.	256
3.4.3.2.1.	Hypothèse du ralentissement de la vitesse de traitement	256
3.4.3.2.2.	Hypothèse de la diminution de la capacité de la mémoire de travail.....	257
Partie 3 - Discussion générale, conclusion et perspectives de recherche.....		261
Discussion.....		262
Conclusion et perspectives de recherches.....		270
Références Bibliographiques.....		272
Annexe.....		291
Annexe 1 : Le modèle CF de la tâche de commutation AB (3 ^e bloc).....		291
Index des figures et des tables.....		311
Index des figures		311
Index des tables.....		314

Introduction générale

Depuis plusieurs décennies, devant l'allongement de la vie et l'augmentation croissante de la proportion des individus âgés, la recherche sur le vieillissement a connu un réel essor dans nos sociétés contemporaines. Le travail de recherche réalisé s'inscrit dans cette dynamique et vise à mieux comprendre quels sont les effets du vieillissement sain sur les fonctions cognitives. Plus spécifiquement, cette recherche se donne pour objectif d'essayer de mieux comprendre et de préciser quelles sont les causes probables des anomalies cognitives observées chez les personnes âgées par l'étude des processus de contrôle attentionnel mis en jeu dans des tâches d'alternance. Plusieurs hypothèses tentent d'expliquer ce phénomène. Elles portent soit sur des atteintes de la capacité générale des personnes âgées soit sur des atteintes de processus spécifiques. Nous essayons dans ce travail d'analyser le pouvoir explicatif de certaines hypothèses sur les différences interindividuelles d'efficacité observées au niveau des processus de contrôle attentionnel.

La démarche est la suivante : tout d'abord, ces processus de contrôle attentionnel sont mesurés à l'aide de deux tâches simples de commutation attentionnelle administrées à des individus jeunes et âgés. Ensuite et afin de mieux comprendre les anomalies cognitives observées chez les participants âgés, un modèle computationnel est développé pour chacune des tâches à l'aide de l'architecture cognitive ACT-R. L'architecture ACT-R est un outil de simulation du fonctionnement cognitif utilisé pour modéliser le fonctionnement cognitif dans des tâches aussi diverses que des tâches de calcul arithmétique, de raisonnement ou de pilotage d'avion. Il est utilisé dans cette étude pour modéliser le fonctionnement cognitif mis en œuvre dans les deux tâches d'alternance administrées aux participants. Enfin, des simulations sont effectuées afin de tester la capacité de certaines hypothèses théoriques du vieillissement à pouvoir reproduire les effets du vieillissement observés empiriquement.

La première partie de ce travail présente une introduction théorique sur le vieillissement cognitif et les processus de contrôle attentionnel et cognitif. La seconde partie présente ensuite le travail expérimental et celui de modélisation effectué à l'aide de l'architecture ACT-R.

**Partie 1 - Le Vieillissement
cognitif normal, attention et
contrôle cognitif.**

Introduction

Le vieillissement normal a de nombreux effets sur le fonctionnement cognitif. Dans ce travail nous nous intéressons plus spécifiquement aux troubles occasionnés par le vieillissement cognitif au niveau des fonctions et processus de contrôle exécutif.

Avant d'aller plus loin, il est nécessaire de préciser ce que l'on entend par processus et fonction. Ces termes sont employés pour identifier différents niveaux d'une hiérarchie de mécanismes qui sous-tendent le fonctionnement cognitif en général. La distinction consiste à différencier le niveau d'action de ces mécanismes dans le fonctionnement cognitif. Ainsi, par fonction sont entendus des concepts abstraits relativement généraux ayant un rôle central dans l'activité cognitive (fonction d'inhibition, fonction de coordination). Les processus sont les mécanismes au niveau d'action plus spécifique qui sous-tendent ces fonctions.

Notre attention s'est focalisée dans ce travail sur un certain type de fonctions soutenues par le centre exécutif (Baddeley et Hitch, 1974 ; Norman et Shallice, 1986). Les fonctions exécutives ont un rôle d'adaptation aux contraintes endogènes et exogènes et de contrôle des actions et comportements. Elles sont initiées quand les mécanismes automatisés du fonctionnement cognitif ne suffisent pas pour adapter son raisonnement, son comportement à la situation. Ces fonctions sont ainsi généralement sollicitées dans des environnements complexes ou nouveaux.

Bien que certaines de ces fonctions semblent relativement préservées chez la personne âgée, la littérature indique que les effets du vieillissement sont multiples et multidimensionnels. Les effets du vieillissement sur ces fonctions ont été mis en évidence dans de nombreuses recherches employant par exemple des tâches de coordination (par exemple, Mayr et Kliegl 1993 ; pour une méta-analyse, voir Verhaeghen et al., 2003b), des tâches de commutation (par exemple, Mayr et al., 2001, pour une méta-analyse, voir Wasylshyn, Verhaeghen, & Sliwinski, 2011) ou des tâches d'inhibition (par exemple, Hasher et Zacks, 1988 ; Hasher et al., 1999 ; pour une méta-analyse, voir Verhaeghen et de Meersman, 1998a, 1998b).

Plusieurs hypothèses proposent d'expliquer les effets du vieillissement sur le fonctionnement cognitif : une réduction des ressources de la mémoire de travail (par exemple Craik et Byrd, 1982), un ralentissement de la vitesse de traitement (Salthouse 1996) ou par exemple une diminution de l'efficacité du contrôle inhibiteur (Hasher et al. 1999, Hasher et Zacks, 1988).

Nous décrivons, dans cette partie, l'effet du vieillissement sur les processus exécutifs. Nous aborderons dans un premier temps, le contrôle cognitif et les principales fonctions sous-jacentes, puis, dans un second temps, les effets du vieillissement sur les fonctions exécutives et les principales hypothèses qui ont été émises pour en rendre compte.

1. Le contrôle cognitif

Posner et Snyder (1975) ont été les premiers à utiliser la dénomination « cognitive control » dans un chapitre de l'ouvrage « Attention and cognitive control ». Le contrôle cognitif est un construit de neurosciences et de psychologie cognitive qui n'a cessé depuis plus d'une trentaine d'années d'être au centre d'un nombre croissant de recherches portant sur l'étude des processus et mécanismes cognitifs responsables de la régulation et du contrôle de notre activité cognitive et de nos comportements. Néanmoins, bien que le concept de contrôle cognitif soit extrêmement étudié et central dans ces disciplines, les mécanismes qui le caractérisent sont encore mal compris tant la masse importante de fonctions et de processus qui y sont associés est importante et complexe, le contrôle cognitif étant impliqué dans les domaines de l'attention, la mémoire, la compréhension verbale, le raisonnement et les émotions.

Broadbent (1950) est le premier à avoir relevé une distinction centrale au sein des processus cognitifs en distinguant deux catégories de processus attentionnels : ceux conscients qui facilitent l'orientation de certaines actions et en inhibent d'autres, et ceux automatiques, non conscients qui n'ont pas d'effet sur les autres actions. Cette distinction entre mécanismes contrôlés et automatiques a été reprise depuis par un grand nombre de chercheurs (par ex., Shiffrin et Schneider, 1977 ; Norman et Shallice, 1986) qui en ont fait un soubassement du concept de contrôle cognitif. Ce concept réfère ainsi à l'ensemble des processus contrôlés qui suppléent les habiletés cognitives automatisées quand celles-ci sont jugées insuffisantes pour répondre efficacement aux demandes situationnelles et aux buts individuels. D'un point de vue général, le concept de contrôle cognitif renvoie aux mécanismes et processus qui permettent d'adopter de manière contrôlée, certains traitements cognitifs plutôt que d'autres selon les buts actuels, et en fonction des contraintes situationnelles. Cette capacité est soutenue par le contrôle exécutif qui comprend de multiples fonctions complexes chargées de superviser, contrôler et réguler le déroulement et la dynamique des traitements cognitifs.

Le contrôle exécutif¹ réfère à « l'ensemble des habiletés requises pour guider le comportement vers un but avec un certain effort, particulièrement dans des situations non routinières » (traduit de Banich, 2009). Cette proposition présente l'intérêt d'aborder certaines notions

¹ Les termes « executive control » et « executive central » réfèrent également au control exécutif et sont issus des travaux de Broadbent (1950), Posner & Snyder (1975), Shallice (1978) et Baddeley (1986), chercheurs en neurosciences et neuropsychologie auprès de jeunes adultes et de patients cérébrolésés.

centrales du concept de contrôle exécutif : le guidage du comportement vers un but précis, l'effort ou le coût cognitif occasionné par l'exécution des processus exécutifs, et son caractère adaptatif, utile dans les situations nouvelles ou non routinières. Premièrement, la capacité de guidage du comportement renvoie à la capacité d'orientation des processus perceptif et moteur afin d'initier des comportements en accord avec le but poursuivi (van der Linden, Frese et Meijman, 2003) et cela en dépit des autres stimulations environnementales interférentes. Deuxièmement, un coût cognitif est généralement associé à l'usage de processus contrôlés, ces processus requérant une part des ressources attentionnelles. Enfin, le contrôle exécutif est adaptatif étant donné qu'il est requis en condition peu familières ou complexe dans lesquelles un traitement automatique n'est pas adapté.

Rabbitt (1997) a tenté de spécifier quels sont les contextes dans lesquels un recours au contrôle exécutif est théoriquement envisagé. Le contrôle cognitif est supposé nécessaire (1) lors de la réalisation d'une tâche nouvelle pour laquelle aucun schéma d'action préétabli n'est disponible ou applicable, (2) lors de la recherche stratégique et délibérée d'informations en mémoire, (3) pour initier de nouvelles séquences de comportements tout en sélectionnant l'arrêt ou la continuation des séquences en cours, (4) pour empêcher la production de réponses inappropriées dans un contexte particulier, (5) pour gérer la coordination de deux tâches, (6) pour l'exécution des plans d'action, que ce soit pour la planification de séquences de comportements sélectionnées visant à atteindre un but, sa mise en œuvre ou la supervision de son efficacité, et (7) quand un maintien de son attention est nécessaire pour contrôler le déroulement de longues séquences de comportements.

Smith & Jonides (1999) ont décrit le contrôle exécutif comme un concept hétérogène qui implique cinq principales composantes. Tout d'abord, le contrôle attentionnel qui correspond à la capacité d'orientation de l'attention vers des informations se révélant pertinentes pour la tâche en cours. Cette aptitude est contrôlée par deux fonctions distinctes et complémentaires : la focalisation de l'attention sur les informations appropriées et l'inhibition des informations non pertinentes. Une seconde composante est la gestion de tâche. Elle comprend la programmation des processus permettant sa réalisation et la commutation attentionnelle entre ces processus. Le contrôle exécutif inclut également la planification. Elle correspond à la génération de séquences de sous-tâches secondaires pour accomplir un but. Enfin, Smith et Jonides (1999) décrivent deux dernières composantes du contrôle exécutif : la mise à jour du contenu de la mémoire de travail pour déterminer l'étape suivante intervenant dans une tâche séquentielle, et le codage des représentations du contexte en mémoire de travail.

Les fonctions sous-tendues par le contrôle exécutif sont donc très variées. Celles qui se distinguent par leur rôle essentiel dans le contrôle de notre activité cognitive sont les fonctions exécutives (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter, 2000). Les fonctions exécutives sont liées à l'intelligence générale (g), à l'intelligence fluide (gf), au raisonnement et à la vitesse de traitement. Elles sont impliquées dans de nombreux mécanismes cognitifs tels que la génération de séquences de comportements, l'inhibition de comportements automatiques, le maintien actif d'informations ou l'alternance entre plusieurs opérations mentales. Les mécanismes de planification de séquences d'actions, d'attention contrôlée (Engle, Kane, & Tuholski, 1999), d'inhibition d'informations non pertinentes (Miyake et al., 2000), de maintien des représentations accessibles, de commutation entre représentation de tâche (Engle et al., 1999 ; Miyake et al., 2000 ; Rogers & Monsell, 1995) et de mise à jour du contenu de la mémoire de travail (Miyake et al., 2000) sont des mécanismes centraux du contrôle exécutif.

D'un point de vue adaptatif, les fonctions exécutives et le contrôle exécutif jouent un rôle central dans la vie quotidienne. Par exemple, en situation de conduite automobile, lors de la survenue d'un événement inattendu distracteur, un maintien de la focalisation de l'attention sur sa conduite permet de réagir de manière plus adaptée qu'en état de somnolence ou au téléphone. Les processus contrôlés d'inhibition et de contrôle attentionnel notamment, assurent le maintien des représentations pertinentes en mémoire de travail face aux perturbations et distractions externes, afin de satisfaire les buts en cours. Plus généralement, le contrôle exécutif permet ainsi de maintenir les buts et représentations actives dans les situations complexes ou nouvelles (Miller & Cohen, 2001). A l'inverse, si l'évènement s'avère important (par exemple indiquant qu'un piéton s'engage sur la chaussée), le système exécutif permet également de moduler des schémas de niveau inférieurs selon les intentions du sujet (Norman et Shallice, 1986) et ainsi de réagir selon les priorités de l'individu (freiner et l'éviter). En l'absence d'un système exécutif, les informations sont traitées automatiquement par des schémas (Posner, DiGirolamo, & Fernandez-Duque, 1997) et par conséquent le traitement de l'information perd de sa flexibilité et devient dépendant des stimuli externes. Le contrôle exécutif s'avère donc nécessaire pour maintenir les buts actifs dans les situations complexes ou nouvelles mais également pour en changer dans les situations où le comportement automatiquement activé ne serait pas pertinent. Ces deux dimensions sont centrales dans la compréhension du rôle du contrôle exécutif dans l'adaptation de l'activité cognitive de l'individu aux variations de contraintes environnementales.

Dans cette section, nous présentons le concept de mémoire de travail à travers différents modèles. Nous décrivons ensuite les principales fonctions exécutives et certaines tâches permettant de les mesurer. Enfin, une brève synthèse viendra clore ce chapitre.

1.1. Le centre exécutif dans les modèles de la mémoire de travail

1.1.1. Introduction au concept de mémoire de travail.

Depuis plus d'une trentaine d'années, la mémoire de travail s'est avérée être un concept central pour appréhender notre fonctionnement dans des situations diverses. Préparer une recette de cuisine, écrire un SMS tout en écoutant une conversation, calculer la monnaie qui doit nous être rendue, sont autant de situations quotidiennes qui demandent de maintenir les résultats d'étapes intermédiaires pour les utiliser lors des prochains traitements (Miyake & Shah, 1999). Généralement, la mémoire de travail (MT) est définie comme étant impliquée dans le traitement cognitif dès qu'une tâche nécessite un traitement complexe ou non automatisé. Elle serait ainsi nécessaire dans les tâches qui demandent l'exécution de plusieurs traitements différents et un maintien accessible de l'information pendant la réalisation de ces traitements. La notion ambivalente « de maintien et de traitement des informations » est l'un des critères centraux du concept de mémoire de travail. Il suppose la nécessité de recourir à la MT pour garder suffisamment actives certaines informations pendant le ou les traitement(s) concurrent(s) comme pour un calcul mental complexe.

De nombreuses fonctions sont attribuées à la mémoire de travail, cependant celles-ci varient selon le modèle de référence. Trois grandes fonctions sont néanmoins consensuelles : le stockage temporaire d'informations présentées dans un contexte de traitements concurrents, la supervision définie comme le contrôle des processus cognitifs et des actions dans des conditions d'interférence et de compétition, et la coordination définie comme la formation de nouvelles relations et structures (Oberauer, Süß, Wilhelm, & Wittman, 2003). Ces fonctions résultent de la dissociation en MT de modules de haut niveau qui contrôlent, supervisent et coordonnent des modules plus élémentaires. Le modèle de Baddeley (1986) par exemple intègre une composante de contrôle exécutif, l'administrateur central, qui gère deux sous-

systèmes esclaves (la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial) et permettent de traiter en parallèle différentes informations. D'autres fonctions sont souvent associées à la mémoire de travail, cependant elles sont moins consensuelles et dépendent également du modèle de référence.

Différents types de tâches sont utilisés pour mesurer la capacité de la mémoire de travail. Beaucoup d'entre elles présentent la caractéristique de nécessiter deux traitements parallèles et concurrents. Par exemple, dans le test d'empan de lecture de Daneman et Carpenter (1980), des phrases non reliées sémantiquement sont présentées au participant. Il doit les lire à haute voix et en mémoriser le dernier mot. A mesure de l'avancée dans l'exercice, le nombre de phrases lues (et donc de mots à retenir) augmente progressivement. L'empan de lecture est le nombre maximal de mots rappelés.

Plusieurs modèles de MT existent (Miyake & Shah, 1999) mais leur pertinence diffère en fonction du domaine d'étude. Aussi, dans cette partie seront décrits les modèles présentant un intérêt pour la compréhension du fonctionnement cognitif sous-tendant la résolution des tâches de commutation attentionnelle. Suite à une présentation succincte du modèle de Baddeley (1974), les modèles de Norman et Shallice (1980), de Cowan (1988), d'Oberauer (2002) et d'Engle (1999) sont successivement décrits. Ils permettent d'appréhender le rôle des ressources et mécanismes attentionnels dans le fonctionnement de la MT.

1.1.2. Le modèle en « composants multiples » de Baddeley (1974)

Baddeley et Hitch (1974) proposent le concept de MT comme alternative à la notion de mémoire à court terme (en anglais « short term memory »). Alors que le modèle de la mémoire à court terme d'Atkinson et Shiffrin (1968) prédominait, il était insuffisant pour rendre compte de nombreuses observations relatives au fonctionnement cognitif normal ou pathologique. Le modèle de MT de Baddeley suscita un grand intérêt puisqu'il parvenait à expliquer que la réalisation simultanée de deux tâches soit facilitée si les deux tâches sont de nature différente, l'effet de longueur de mot et de similarité phonologique ou encore les troubles dissociés de la MCT et de la MLT (Baddeley, Thomson, & Buchanan, 1975).

Dans la conception de Baddeley et collaborateurs (Baddeley, 1986, 1996, 2000, Baddeley et Hitch, 1974), la MT est conçue comme un système de capacité limitée, qui permet le maintien temporaire et la manipulation de l'information pour la réalisation de tâches cognitives

complexes. C'est un système hiérarchisé comprenant plusieurs composantes, l'administrateur central ou centre exécutif (traduit de l'anglais « central executive ») et au moins deux systèmes dits esclaves, la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial dédiés au maintien de l'information dans le domaine verbal et spatial respectivement.

Le fonctionnement de ces deux systèmes esclaves a été longuement étudié. Il a ainsi pu être mis en évidence, que la boucle phonologique est composée d'un stock phonologique passif dans lequel l'information verbale est temporairement conservée, et d'un mécanisme actif de répétition articulatoire qui rafraîchit des informations par un mécanisme d'autorépétition subvocale (Baddeley, 1986). Le calepin visuo-spatial présente un fonctionnement basé sur deux sous-systèmes, un sous-système visuel dans lequel l'information décline relativement rapidement et un sous-système spatial qui permet le rafraîchissement des informations visuelles et la génération d'images mentales. Plus récemment, le rôle exclusif de stockage passif de ces deux systèmes a été remis en question. Le discours interne (« inner speech ») lié à la boucle phonologique par exemple est particulièrement utile dans la régulation de la pensée et dans le contrôle de l'action (Emerson & Miyake, 2003).

En comparaison aux systèmes esclaves, le centre exécutif est bien moins connu dans la mesure où Baddeley et collaborateurs ont privilégié l'étude de ces sous-systèmes, plus abordables. Le centre exécutif est perçu comme un système attentionnel de capacité limitée impliqué dans la régulation et le contrôle des processus cognitifs. Il est responsable de la coordination des flux d'informations provenant des sous-systèmes asservis, de la sélection des stratégies et du contrôle de leur mise en œuvre, de l'orientation de l'attention sur les informations appropriées et de la suppression des informations ou actions non pertinentes. Enfin, les capacités de l'administrateur central sont considérées comme étant limitées, la rétention d'informations par les deux systèmes esclaves réduisant ainsi la charge du centre exécutif.

Dans les développements ultérieurs du modèle, Baddeley (1999, 2000) a introduit une nouvelle composante, le buffer épisodique. Comme les deux autres systèmes asservis, le buffer épisodique est un système de stockage limité et temporaire. Il est contrôlé par l'administrateur central et permet l'intégration d'informations multimodales (provenant des systèmes asservis et du centre exécutif) en une représentation épisodique unitaire. Il sert ainsi d'interface entre l'administrateur central, les systèmes asservis et la mémoire à long terme.

Le modèle de Baddeley (Baddeley et Hitch, 1974 ; Baddeley, 1986) représente encore aujourd'hui une conception de la MT parmi les plus influentes pour en décrire son

fonctionnement et son organisation. Avec ce modèle, Baddeley et collaborateurs ont mis au centre du fonctionnement cognitif, le système exécutif central dédié au traitement et au maintien simultané des représentations. Son étendue fut spécifiée à travers l'analogie faite entre le centre exécutif et le SAS du modèle de Norman et Shallice (1986).

1.1.3. Le modèle de contrôle de l'attention de Norman et Shallice (1980, 1986)

Le modèle « Attention-to-Action » de Norman et Shallice (1980, 1986) a été très souvent évoqué dans l'étude des mécanismes de contrôle cognitif et plus particulièrement ceux de contrôle attentionnel. L'idée centrale de ce modèle est que de nombreuses activités de la vie quotidienne peuvent être réalisées de façon automatique via des routines, mais qu'en revanche, dans le cas où ces routines d'actions automatiques s'avèrent insuffisantes pour répondre de manière adaptée à la situation, des processus de contrôle attentionnel sont alors sollicités.

Le modèle est composé de trois systèmes : le Répertoire de schémas d'action, le Gestionnaire des Priorités de Déroulement (« contention scheduling » ; GPD) et le Système Attentionnel Superviseur (SAS) localisé au niveau du cortex préfrontal. Ces systèmes interagissent en MT afin de répondre efficacement au problème. En fonction du niveau de contrôle attentionnel exigé par la situation, l'un ou l'autre de ces systèmes est requis pour réaliser la tâche en cours. Le premier système, le répertoire de schéma d'actions, dispose des routines d'actions sur-apprises et automatisées. Il accomplit les actions et comportements usuels des activités cognitives de notre quotidien ayant une faible demande en contrôle attentionnel. Ces routines sont activées automatiquement, en l'absence d'attention délibérée. En revanche, dans les situations plus particulières, un contrôle peut être requis. Le GPD et le SAS sont susceptibles d'être alors sollicités.

Les situations demandant de recourir au GPD sont des situations plus ou moins familières dans lesquelles un choix en termes de procédure doit être réalisé. Le GPD est un système semi-automatique qui intervient rapidement et inconsciemment quand plusieurs séquences d'actions (ou routines) sont en compétition. Il permet la sélection du schéma d'action le plus pertinent évitant ainsi les actions inappropriées. Le GPD prévient ainsi des conflits entre les schémas potentiellement pertinents (Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001). Cependant, lors de combinaisons de tâches inhabituelles, nouvelles ou complexes, gérer les

compétitions n'assure pas toujours l'émission d'un comportement adapté. Le SAS est alors requis.

Le SAS (souvent assimilé à l'administrateur central du modèle de Baddeley, 1974) guide le comportement plus lentement que le gestionnaire, mais de manière flexible et délibérée. Au moyen d'un système de détection de conflit (monitoring), il est chargé de surveiller les processus de GPD impliqués dans la sélection des séquences d'actions, intervenant quand ces processus s'avèrent inadaptés. Le SAS est utilisé quand un contrôle des traitements ou de l'exécution de certains processus est essentiel pour répondre de manière adaptée aux demandes situationnelles. Il agit quand la situation nécessite une planification, une prise de décision ou l'adaptation à une situation nouvelle, dangereuse ou complexe, ainsi que pour corriger une erreur. Dans de telles situations, le SAS peut activer une séquence d'actions particulière et rompre les routines d'actions. Son action ne consiste pas en un contrôle direct des procédures utilisées, mais davantage en une modulation des seuils d'activation des séquences d'actions en compétition afin de rendre plus probables certaines représentations (Gaonac'h et Larigauderie, 2000). Enfin, il contrôle l'efficacité des traitements réalisés et assure éventuellement la sélection stratégique (i.e. changement de procédure de traitement afin de l'adapter aux contraintes situationnelles).

Dans ce modèle, le centre exécutif représenté par le SAS est modélisé comme un système coordonnant et supervisant l'activité cognitive, agissant en cas d'absence de schéma d'actions adéquat pour la réalisation du comportement escompté. Il est responsable de la régulation des traitements et des processus employés ainsi que des mécanismes de surveillance et de contrôle stratégique. Pour Shallice (2006), un apport théorique important de ce modèle est la distinction de systèmes plus ou moins contrôlés, le SAS et le GPD, dont l'intervention est fonction de la pertinence des séquences automatisées, le premier agissant à travers la modulation du second.

1.1.4. Le modèle des processus emboîtés de Cowan (1988)

Initialement le modèle de Cowan visait à rendre compte des mécanismes liés aux processus attentionnels mais sa proximité avec la conception de la MT en a fait un modèle de référence dans ce domaine. Dans ce modèle, la MT est constituée de trois types d'éléments : des unités activées de la mémoire à long terme, des ressources et des processus attentionnels. Pour Cowan, la MT réfère aux processus cognitifs qui maintiennent les unités d'information dans

un état exceptionnellement accessible. Le contenu de la MT se limite ainsi à une partie activée de la mémoire à long terme (MLT) rendue accessible par le gain d'activation provenant des processus attentionnels.

Le modèle de Cowan est constitué de trois « modules » emboîtés qui se différencient par la quantité d'éléments pouvant être contenus et l'activation de ses éléments. Le premier module correspond à la mémoire à long terme (MLT) qui stocke l'ensemble des informations. Elles y sont maintenues dans un état latent qui représente une activation faible. Dans ce module, les informations (ou caractéristiques liées aux informations) traitées de manière sensorielle sont d'abord récupérées (grâce à des marqueurs contextuels), puis elles peuvent gagner en activation. Ce gain d'activation les fait entrer dans le second registre : le registre à court terme (équivalent à la mémoire à court terme). Ainsi, le registre à court terme correspond à la partie activée de la MLT activée dans laquelle seules les informations possédant une certaine quantité d'activation sont stockées. La particularité de ce registre est que le nombre d'éléments qui y sont stockés est limité. Parmi les informations présentes dans le registre à court terme, certaines passent dans le troisième et dernier registre : le focus attentionnel (Cowan, 1988, 1993). Celui-ci correspond à la partie en cours de traitement. Il est une partie activée de la mémoire à court terme (MCT) et sa capacité est limitée, il peut contenir 4 éléments selon Cowan (1995). Les informations présentes dans le focus attentionnel sont les plus actives et conscientes mais elles sont soumises à l'interférence et leur activation est limitée dans le temps (déclin rapide), ce qui contribue aux limites pratiques du nombre d'éléments pouvant y être conservés (Verhaeghen & Hoyer, 2007).

Les éléments présents dans le focus attentionnel contribuent de manière importante à l'activation d'informations en mémoire (davantage que ceux restés au niveau du second registre). Le focus attentionnel est dirigé de manière automatique ou contrôlée. Il peut être dirigé d'une part de manière automatique par des événements ou stimuli saillants exogènes (déplacement d'éléments dans l'environnement, flash). Dans ce cas, cette orientation du focus attentionnel est provoquée par les processus automatiques de capture attentionnelle. Il peut être d'autre part contrôlé intentionnellement par l'utilisation de processus endogènes liés au système exécutif central (équivalent à l'administrateur central du modèle de Baddeley, 1974). Ce système exécutif central a deux rôles complémentaires et spécifiques : d'une part il contrôle l'orientation de l'attention sur les informations de l'environnement ayant une certaine pertinence pour l'individu (par un mécanisme de contrôle descendant, i.e top-down) et, d'autre part, il peut orienter l'attention hors de portée de sources perturbatrices

environnementales grâce à des mécanismes de contrôle inhibiteurs, évitant qu'elles soient traitées.

L'ensemble de cette structure hiérarchisée aboutit à un système dynamique dans lequel la pertinence des informations est évaluée en fonction de leur niveau d'activation. Le modèle d'Oberauer (2002) s'appuie sur une structure similaire et apporte de nouvelles hypothèses quant au fonctionnement d'un tel système.

1.1.5. Le modèle d'Oberauer (2002)

Dans ce modèle inspiré principalement du modèle de Cowan (1988 ; 1995), la MT est pensée comme un système permettant la construction de représentations en MLT disponibles pour des traitements intentionnels. La MT ne serait dès lors pas un système mnésique en lui-même mais « un système attentionnel dédié à la mémoire » (traduit de l'expression « a system for attention to memory », extrait de Oberauer, Süß, Wilhelm, & Sander, 2007). Il suppose que la MT est essentiellement la capacité limitée de construction et de maintien de liens temporaires entre des informations (contextuelles) pour former de nouveaux objets et de nouvelles structures. Sur la base du modèle de Cowan, Il propose une architecture qui consiste en 3 composantes emboîtées (Oberauer, 2002, 2005) : une partie activée de la mémoire à long terme, une région d'accès direct et le focus attentionnel.

Comme pour le modèle de Cowan, on peut distinguer ces différentes composantes en fonction du niveau d'activation des représentations qui y siègent. Dans la partie activée de la MT, l'activation au-dessus d'un niveau de base est issue des « inputs » perceptifs (ascendants) ou bien de la diffusion d'activation (selon des associations) provenant des représentations de la zone d'accès direct (descendant). Ces représentations permettent de récupérer facilement des informations potentiellement pertinentes. Dans la région dite d'accès direct, un sous ensemble de représentations activées est conservé. La principale fonction de cette région est de construire et maintenir de nouveaux liens entre les éléments présents formant ainsi de nouvelles structures. Pour Oberauer, « les représentations sont ici temporairement fixées à certaines positions dans un système cognitif coordonné » (traduit d'Oberauer, 2005) et peuvent être utilisées pour le traitement en cours (Cette région correspond au focus attentionnel du modèle de Cowan décrit précédemment). Enfin, le focus attentionnel dans ce modèle est une zone plus exiguë que dans celui de Cowan puisqu'il ne contient à tout moment qu'un seul élément (ou bien un groupe d'éléments rassemblés) sélectionné qui est choisi comme objet pour la prochaine opération cognitive (Oberauer, 2003, 2009). Notons que pour

la manipulation d'item ou pour un rappel, un item doit être dans le focus attentionnel (Oberauer, 2002). Une information présente dans le focus attentionnel peut alors directement récupérer des items de la région d'accès direct. En revanche, un chunk, une connaissance, hors de la zone d'accès direct ne peut être extrait par le focus attentionnel. Ainsi, en situation de rappel par exemple, les items hors de la zone d'accès direct doivent d'abord y passer pour pouvoir accéder au focus attentionnel. Ce passage est médiatisé par des mécanismes de récupération (Oberauer, 2002). Selon Oberauer, la principale fonction de la MT est d'apporter les représentations nécessaires à la résolution de tâches cognitives complexes. Cela induit la sélection de représentations en MLT, la construction de nouvelles combinaisons et structures ainsi que l'accès à ces représentations de manière sélective.

1.1.6. Le modèle d'Engle (1999)

Dans le modèle d'Engle et associés (Engle, Kane, & Tuholski, 1999 ; Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999) l'accent est mis sur les aspects fonctionnels de la MT. Dans leur modèle, Engle et collaborateurs décrivent le fonctionnement de la MT en s'appuyant sur des processus attentionnels se rapprochant de ceux impliqués dans le SAS de Norman et Shallice (1986). Ils considèrent que la MT n'est par ailleurs engagée que dans les situations qui requièrent un contrôle attentionnel (Engle et al., 1999). Différents développements du modèle ont mis en exergue un processus attentionnel, l'attention exécutive, dont le rôle et l'importance a fortement évolué. Au premier développement du modèle, l'attention exécutive était présentée comme étant la capacité à maintenir temporairement actives et facilement accessibles les informations pertinentes pour la tâche en cours (Cantor et Engle, 1993 ; Cantor, Engle, et Hamilton, 1991; (Engle, Cantor, & Carullo, 1992)). Ensuite, Engle a plutôt considéré l'attention exécutive comme une fonction de résistance à l'interférence et d'inhibition des informations non pertinentes (Conway & Engle, 1994 ; Engle, 1996 ; Engle, Conway, Tuholski, & Shisler, 1995 ; Rosen & Engle, 1997 ; Rosen & Engle, 1998). Enfin, récemment avec le développement de la théorie bifactorielle du contrôle cognitif (« The Two-factor theory of cognitive control »), Engle et associés (Engle, 2002 ; Engle & Kane, 2004a) considèrent que l'attention exécutive supporte à la fois le maintien actif des informations pertinentes pour la tâche en cours, et la résolution de conflits entre informations non pertinentes et pertinentes (Engle & Kane, 2004a). Ces différents développements ont mené Engle et Kane à postuler que la capacité de la MT (CMT) serait relative à une capacité exécutive-attentionnelle générale (Engle & Kane, 2004a). Cette capacité serait le corps du

construit de l'intelligence fluide et serait la cause principale des différences individuelles dans la CMT.

Une méthode quasi-expérimentale est employée par Engle et ses collaborateurs pour étudier la validité des hypothèses émises. Elle repose sur l'analyse des performances de deux groupes d'individus (« High span » et « Low span ») répartis selon leur CMT (mesurée antérieurement grâce à plusieurs tâches de MT). Engle et ses collaborateurs observent que les individus qui ont une CMT plus importante (les « High Span ») présentent généralement de meilleures performances que les Low span sur des tâches par exemple de résistance à l'interférence (par ex, (Kane & Engle, 2000 ; Rosen & Engle, 1998). Cependant, les High Span présentent des performances équivalentes aux Low Span dans des tâches demandant un traitement automatique (Kane, Bleckley, Conway, & Engle, 2001; Kane & Engle, 2003), et alors même que les performances des High Span sont meilleures que celles des Low Span en situation simple, celles-ci sont comparables en situation d'attention divisée (Conway, Tuholski, Shisler, & Engle, 1999 ; Kane & Engle, 2000). Pour Engle, les résultats récoltés indiquent que des différences individuelles dans la CMT (i.e. dans l'attention exécutive) sont associées à des différences non seulement quantitatives mais également qualitatives dans le traitement cognitif.

Les variations de la CMT rendraient compte de la tendance individuelle à pouvoir initier des processus de traitement contrôlés plutôt qu'automatisés quand un plus grand recrutement attentionnel est requis. Ces variations expliqueraient également une part des différences interindividuelles observées dans de nombreuses tâches comme les tâches de raisonnement (Kane et al., 2004) ou de compréhension verbale (Engle & Conway, 1998). La MT apparaît dès lors comme une mesure des capacités générales d'un sujet et Engle rapproche sa conception de la MT de la notion d'intelligence fluide (Engle & Kane, 2004b). Les analyses structurales effectuées en 2004 sur une importante batterie de tests appuient ce rapprochement, une part de variance significative de Gf étant expliquée par l'attention exécutive mesurée (Engle & Kane, 2004b).

Pour Engle et ses collègues, ce qui constitue la spécificité de la MT n'est donc pas un système exécutif central qui régule l'activité cognitive comme le centre exécutif du modèle de Baddeley (1974) ou de Norman et Shallice (1980) mais une fonction au cœur du système, l'attention contrôlée, qui a un rôle central pour gérer un traitement efficace en situation d'interférence. Les capacités d'attention contrôlée et donc la CMT rendraient compte de

l'ensemble des différences interindividuelles de performances observées dans les tâches cognitives complexes.

Conclusion

Les différents modèles de MT présentés apportent des informations sur les propriétés des mécanismes dont résulte la CMT. Le modèle de Baddeley et Hitch (1974) nous informe sur le fonctionnement de la MT de par l'intégration dans un système unifié de plusieurs composantes dont les interactions et l'utilisation coordonnée rendent compte des traitements réalisés dans de nombreuses tâches complexes. Le modèle de Norman et Shallice (1986) met en exergue le rôle central du contrôle attentionnel et des processus sous-jacents dans le contrôle des comportements automatisés, la régulation de l'activité cognitive. Les modèles de Cowan (1988) ou d'Oberauer (2002) contribuent pour leur part à l'intellection de la dynamique du flux d'information à l'aide d'une métaphore énergétique. Enfin, le modèle d'Engle (1999) apporte des explications sur les liens existant entre l'attention exécutive, la CMT et l'intelligence fluide ainsi que sur l'origine des différences interindividuelles de CMT. En revanche, ces modèles apportent relativement peu d'information sur les mécanismes et processus de haut niveau impliqués dans le fonctionnement de la MT, notamment ceux impliqués dans la gestion et le contrôle des actions et des comportements. D'autres chercheurs (par exemple, Miyake et al., 2000) ont néanmoins porté leur attention sur les mécanismes et processus impliqués dans le contrôle cognitif en employant des approches différentielles permettant de distinguer certaines grandes fonctions exécutives de contrôle.

1.2. Fonctions et processus de contrôle exécutif et attentionnel

Le concept de fonction exécutive est issu de la neuropsychologie (Luria, 1966). Les fonctions exécutives sont des fonctions cognitives supérieures (également nommées « processus de contrôle ») desquelles dépendent notre adaptabilité aux situations nouvelles ou complexes et la régulation de nos comportements. Elles sont caractérisées par une forte utilité quand pour réaliser une tâche, un contrôle des actions ou des opérations mentales est nécessaire. Sous le terme de fonctions exécutives, sont rassemblés des fonctions et des processus ayant des rôles très hétérogènes qui peuvent opérer de manière relativement indépendante ou combinée, selon

la demande exécutive de la situation. Dans cette partie, nous présentons les grandes fonctions exécutives ainsi que certaines tâches fréquemment utilisées pour les mesurer en psychologie et en neuropsychologie.

1.2.1. La fonction de planification

Un aspect important du fonctionnement exécutif est la planification. La planification est généralement définie comme la capacité à organiser ses actions et ses comportements en suivant une séquence d'opérations déterminées de manière à réaliser un but spécifique (Luria, 1978). Elle réfère ainsi à la capacité d'un individu à pouvoir penser son propre raisonnement, ses pensées, ses buts pour compléter une tâche (Hong & O'Neil, 2001). Les tâches qui mesurent cette fonction imposent aux participants d'ordonner les différentes étapes du traitement pour la réalisation de la tâche. Deux épreuves sont couramment utilisées : l'épreuve de la Tour de Hanoï et celle la Tour de Londres.

Le dispositif de la tour de Hanoï se compose de trois emplacements sur lesquelles n disques (généralement 3, 4 ou 5 disques) de diamètres variables sont disposés. Un arrangement des disques de départ est présenté au participant (généralement les disques sont tous empilés sur un emplacement, par ordre décroissant de taille, le plus grand étant en bas), la tâche est de changer cet état initial pour aboutir à un état final (généralement tous les disques placés sur un autre emplacement dans le même ordre), le plus rapidement possible et en faisant le minimum d'erreur de déplacement. Trois règles régissent les déplacements : (1) il n'est possible de déplacer qu'un seul disque à la fois, (2) les disques ne peuvent être déplacés que sur un emplacement et (3) un disque ne peut être posé sur un disque plus petit que lui. La complexité de la tâche réside dans la nécessité de devoir réaliser un plan mental des déplacements respectant les trois règles énoncées. Avec l'augmentation de la complexité des situations (par exemple entre la version à 3 et 4 disques) et le nombre de déplacements devant être réalisés, le plan mental est de plus en plus compliqué et des déplacements menant à des impasses sont fréquemment observés. Pour accomplir l'objectif de manière adaptée, il est nécessaire de générer des séquences de sous-buts secondaires et d'inhiber certains déplacements erronés. Le paradigme de la Tour de Londres ressemble au paradigme de la Tour de Hanoï (il faut reproduire une situation à partir d'une situation initiale) excepté que les objets à déplacer sont de même taille et que la 3^e règle n'est donc pas instruite. Cette différence dans la structure du paradigme a pour effet de diminuer les contraintes de déplacements et donc de changer les stratégies de résolution utilisées (Goel & Grafman, 1995).

Le modèle théorique de Shallice (1982) suggère que la planification peut être décrite comme un processus à deux niveaux : le niveau formulation et le niveau exécution. Le niveau formulation porte sur la capacité à développer mentalement une stratégie logique visant à prédéterminer une séquence d'action pour réaliser un but spécifique. Le second niveau, le niveau d'exécution concerne le guidage et le contrôle de l'exécution du plan, du début à son terme. Une tâche écologique contribue à distinguer ces deux niveaux : le test de « Carte de Zoo » (« Zoo Map Test ») d'Allain, Nicoleau, Pinon, Charry-Bouyx, Barré, Berrut, Dubas et Legall (2005), une tâche écologique. Dans ce test, il est demandé au participant de tracer sur la carte d'un zoo un itinéraire passant par une liste de lieux (par ex., la cage aux lions) en suivant certaines règles (point de départ et arrivée, un seul passage par chemin). Ce test comprend deux conditions : dans une première condition dite « à forte demande », le participant doit planifier son itinéraire pour minimiser les erreurs, dans la seconde condition dite « à faible demande », il doit suivre un itinéraire donné passant par les différentes localisations. La différence de difficulté entre ces deux conditions permet de dissocier le niveau formulation et le niveau d'exécution : la condition à forte demande permet d'évaluer l'efficacité spontanée de planification (et d'exécution) alors que la condition à faible demande mesure seulement la capacité à exécuter une stratégie imposée. Une comparaison entre ces deux conditions apporte, par la distinction des niveaux de formulation et d'exécution, une évaluation plus fine de l'aptitude générale de planification.

La fonction de planification rend compte de la difficulté rencontrée pour pouvoir organiser ou construire une représentation mentale des différentes actions devant être successivement réalisées dans des situations plus ou moins complexes.

1.2.2. La fonction de coordination

La fonction de coordination soutient la capacité de maintien temporaire et de manipulation d'information pendant la réalisation de tâches cognitives diverses. Elle permet de coordonner deux tâches ou deux opérations mentales réalisées simultanément (Baddeley, 1986, 1996). De nombreuses études ont porté sur la fonction de coordination chez des adultes jeunes (Engle et Kane, 2004a ; Oberauer et al., 2003) et âgés (Salthouse et al. 1984 ; de Ribaupierre et Ludwig, 2003), ou chez les patients atteints de la maladie d'Alzheimer (Baddeley, della Sala, & Spinnler, 1991 ; Baddeley, Logie, Bressi, et Sala, 1986 ; Collette, Van der Linden, & Salmon, 1999) ou de la maladie de Parkinson (Dujardin, Defebvre, Grunberg, Becquet, & Destée, 2001).

La capacité de coordination est généralement mesurée par les tâches dites de coordination qui nécessitent l'intégration de l'information en provenance de différentes sources. Les multitâches (principalement des tâches duelles ou doubles-tâches) demandent par exemple de coordonner deux tâches indépendantes en parallèle (par exemple, le paradigme de Brown-Peterson) après les avoir généralement réalisées de manière isolée. Baddeley et al. (1991) fut d'un des premiers chercheurs à utiliser une tâche duelle pour mesurer cette fonction. Cette tâche était constituée d'une épreuve de poursuite de cible visuo-motrice et d'une épreuve d'empan de chiffre. De nombreuses double-tâches en sont inspirées. Par exemple, la tâche de Brown-Peterson dans laquelle les individus doivent maintenir active une séquence d'items (lettres) puis la restituer après avoir effectué une tâche perturbatrice de type comptage à rebours (Dujardin et al., 2001). Dans le paradigme original (Brown, 1958 ; Peterson et Peterson, 1959), la tâche consiste à présenter une suite de consonnes devant être rappelées soit immédiatement soit après une tâche de comptage à rebours. Le comptage à rebours, en interférant avec le processus de répétition articulatoire, impacte le processus de mémorisation de la liste de consonnes. Les performances sont largement diminuées dans cette seconde condition.

Différents critères permettent de différencier les tâches de coordination. Une première différenciation concerne les opérations devant être réalisées (double traitement, double stockage ou plus classiquement stockage et traitement). Une seconde distinction concerne la similarité des opérations devant être réalisées dans les deux tâches. Les deux sous-tâches peuvent porter soit sur le même type d'information (par ex., tâche d'empan de lecture, « reading span »), soit sur des informations différentes (par ex, paradigme de Brown-Peterson). Une troisième distinction porte sur la nature des opérations demandées, verbale, visuospatiale ou numérique par exemple. Une dernière différenciation porte sur le mode de présentation des tâches selon qu'elles sont alternées de façon régulière ou présentées l'une après l'autre.

Différencier ainsi les protocoles a permis d'explorer plus spécifiquement les conditions dans lesquelles le centre exécutif s'avérait être impliqué. Les résultats classiquement observés sur l'ensemble des tâches de coordination sont une diminution des performances quand les deux tâches sont effectuées simultanément plutôt qu'individuellement. Ce coût supplémentaire est interprété comme la nécessité de recourir à des processus de coordination pour gérer l'augmentation du flux d'informations en MT. Une autre interprétation porte sur le concept de charge cognitive. De nombreuses études ont montré que la charge mnésique était à l'origine

d'une augmentation du temps de réaction dans des tâches aussi simples que des tâches de recherche visuelle (par exemple, Logan, 1979). La coordination est souvent associée à un coût cognitif attribué à la capacité limitée de la MT (Daily, Lovett, et Reder, 2001 ; Just et Carpenter, 1992). En effet, la limite de la CMT rend problématique la gestion simultanée de deux tâches quand les demandes contextuelles sont cognitivement exigeantes. Certaines études ont par ailleurs montré que les différences de performances observées entre tâche simple et complexe (qui nécessitent le stockage et le traitement d'information) étaient significatives seulement si les informations portaient sur le même domaine (Myerson, Hale, Rhee, & Jenkins, 1999). Dans ces situations, la charge cognitive liée au maintien d'une information supplémentaire en mémoire s'ajouterait à la charge cognitive liée au traitement de l'autre tâche (Borst, Taatgen, & van Rijn, 2010a). Salvucci et Taatgen (2008) ont récemment essayé d'expliquer ce coût de « coordination » par la théorie de chaînage cognitif (« threaded cognition »). Cette théorie suppose qu'en situation multitâches, les coûts observés seraient causés par l'incapacité de pouvoir utiliser simultanément une même ressource cognitive pour les deux tâches (Salvucci et Taatgen, 2008 ; Borst, Taatgen, et van Rijn, 2010b). Leur théorie s'appuie sur les résultats d'une modélisation qu'ils ont réalisée avec l'architecture cognitive ACT-R (Anderson, 1983), dans laquelle certains mécanismes ne peuvent être utilisés qu'une seule fois dans un temps donné. Ce phénomène conduit alors au décalage temporel des traitements pour l'une des sous-tâches, ce qui permet de rendre compte des coûts observés.

1.2.3. La fonction de Mise à jour

Un des processus impliqués dans le fonctionnement de la MT consiste à mettre à jour les informations au fur et à mesure des traitements. Par exemple, une simple tâche de comptage d'éléments nécessite d'actualiser un nombre en MT à chaque fois qu'un objet est compté (Garavan, 1998). De même, en lisant une histoire, le lecteur suit le déroulement de l'histoire et construit un modèle situationnel qui au fur et à mesure, est mis à jour selon les événements décrits. Cette fonction de Mise à Jour (MAJ) des informations présentes en MT est essentielle dans la vie de tous les jours. Elle est par ailleurs l'un des trois facteurs qui capturent les différences interindividuelles de fonctionnement exécutif (Miyake et al., 2000). D'un point de vue général, cette fonction sous-tend « le désengagement des informations actives en MT, pour pouvoir activer de nouvelles informations pertinentes ». Différents tests mesurent cette fonction dont les tests de séquences aléatoires et le « n-back task ». Ces derniers permettent de distinguer certains processus sous-jacents à la fonction de MAJ.

Selon Baddeley (1996), les tests de production de séquences aléatoires constituent une activité qui requiert les ressources de l'administrateur central (i.e. centre exécutif). En effet, quand un sujet essaie de produire des séquences aléatoires de lettres ou de chiffres, il doit sélectionner de nouvelles stratégies, empêcher l'apparition de séquences schématiques (par exemple, des séquences alphabétiques telles que "LMN"), contrôler si les réponses sont suffisamment aléatoires et sinon, changer de séquence (Collette et al., 2007). Une grande variété de processus semble donc sous-tendre la fonction de MAJ (Meiran, Kessler, & Adi-Japha, 2008). Cette fonction demande le contrôle et le codage d'informations entrantes pertinentes d'une part et la révision et le remplacement des informations qui ne le sont plus par celles plus récentes d'autre part (Morris et Jones, 1990). En ce sens, la MAJ ne consiste pas en un mécanisme passif, mais au contraire en un mécanisme de maintien actif et dynamique de l'information (Morris & Jones, 1990).

Les recherches ont exploré le processus de MAJ avec des tâches de mémoire dans lesquelles les participants observent des séquences d'items (des lettres ou des chiffres) de longueur inconnue puis rappellent dans l'ordre un certain nombre d'items récents. Une tâche de ce type utilisée par Van der Linden, Brédart, & Beerten (1994) et Dubus, Belleville et Cotton (1997), consistait en un rappel des six dernières consonnes de listes composées de six à douze consonnes. La difficulté est pour l'individu de mémoriser les six dernières consonnes qui lui sont présentées sans savoir quand cette liste se termine. Pour réaliser cette tâche, l'individu doit effectuer une mise à jour dynamique des six dernières consonnes présentées.

Un autre paradigme utilisé est le « n-back task ». Dans ce paradigme, le participant doit déterminer si l'item présenté à un moment donné est similaire à l'item présenté n items auparavant. Oberauer (2010) suggère que les opérations nécessaires dans les tâches de Mise à jour de la MT peuvent être décomposées en 3 principales composantes processuelles : la récupération de l'information, la transformation de l'information et sa substitution à celle préalablement pertinente, chacune contribuant de manière distincte et indépendante à la performance de MAJ.

Notons, que le processus de MAJ du contenu de la MT demande implicitement par nature l'élimination dynamique des items n'étant plus pertinents -a priori- par substitution. Des processus d'inhibition semblent donc être implicitement impliqués lors de la réalisation de tâche de MAJ afin que les informations non pertinentes stockées en mémoire n'interfèrent pas avec le traitement courant. De la même façon, ce mécanisme d'inhibition et mise à jour semble être impliqué dans la réalisation d'autres tâches comme dans la tâche de commutation

attentionnelle par exemple. Lors des essais alternés, il permettrait d'actualiser le contenu de la MT pour que les informations relatives au schéma ou à la sous- tâche pertinente soient les plus accessibles.

1.2.4. La fonction de flexibilité cognitive.

La flexibilité cognitive peut être définie comme l'aptitude à pouvoir changer de comportement ou le fil de ses pensées, en fonction des contraintes situationnelles et du but poursuivi (Monsell, 1996) ; Miyake et al., 2000). C'est un processus de changement adaptatif. Il intervient dans des situations généralement complexes qui nécessitent un changement rapide et fluide d'opérations cognitives. L'initiation de cette fonction est généralement associée aux limites de capacité de la MT. En effet, alors que dans ce genre de situation dynamique, les demandes contextuelles sont diversifiées et exigeantes temporellement, cette limitation écarte la possibilité de pouvoir maintenir actives les représentations en MT. Le traitement étant alors plus problématique, les processus de flexibilité cognitive et de mise à jour du contenu de la MT sont initiés pour pouvoir adapter au mieux le traitement aux demandes contextuelles. Cette mise à jour est réalisée par un déplacement du focus attentionnel (commutation attentionnelle) sur de nouvelles représentations cognitives telles qu'une nouvelle catégorie de connaissances ou un autre schéma cognitif par exemple, et l'inhibition ou le désengagement de celles non pertinentes. Cette commutation est exécutée de manière volontaire guidée par les buts poursuivis, ou de manière exogène en réaction aux contraintes environnementales.

Le concept de flexibilité cognitive apporte beaucoup à la compréhension des échecs de contrôle cognitif chez les patients atteints d'une lésion cérébrale et dans les tâches de laboratoire qui exigent des participants qu'ils alternent entre différentes tâches (Monsell, 1996). Elle est étudiée dans divers domaines et sur différentes populations comme les traumatisés crâniens (Monsell, 1996), les patients schizophréniques (Kieffaber, 2007) mais également chez l'enfant (Chevalier, 2006) ou chez la personne âgée (Kramer, Hahn, et Gopher, 1999 ; Kray et Lindenberger, 2000 ; (NachshonGotler Meiran & Gotler, 2001). Les modèles de contrôle attentionnel comme le SAS de Norman et Shallice (1986) confèrent à la capacité d'alternance entre tâches ou schémas mentaux un rôle essentiel dans le contrôle exécutif (Miyake et al., 2000). Eslinger et Grattan (1993) ont par ailleurs proposé de distinguer deux composantes de la flexibilité cognitive : une composante spontanée ou auto-générée et une composante réactive, l'initiation de la première est guidée par des stimulations

environnementales (exogène) alors que la seconde est initiée spontanément par l'individu (endogène).

La flexibilité spontanée

La composante spontanée renvoie à la capacité de génération de réponses diverses portant sur un domaine particulier dans un environnement stable (Salicé et Juhel, 2003). Elle est mesurée par des tâches de fluidité verbale ou par des tâches de production aléatoire de chiffres ou de lettres. Les tâches de fluence verbale² consistent à demander au sujet de produire le plus grand nombre d'éléments en un temps déterminé (généralement une minute), soit des mots commençant par une lettre donnée (tâche de fluence lexicale littérale ou phonémique), soit des items appartenant à une classe spécifique tels que les animaux (tâche de fluence lexicale catégorielle ou sémantique). Notons que les sous-systèmes de MT du modèle de Baddeley (1974), la boucle phonologique et le calepin visuospatial, ont été identifiés comme contribuant de manière importante respectivement, à la performance dans l'épreuve de flexibilité phonémique et dans celle de flexibilité sémantique. Les tests de génération aléatoire de chiffre ou de lettre consistent à demander au sujet de produire à intervalle régulier (toutes les 1, 2 ou 4 secondes) un chiffre ou une lettre en évitant les séquences sur-apprises (par exemple 1-2-3 ou 9-8-7 pour les chiffres).

La réalisation des tâches de fluidité verbale et de production aléatoire d'items suppose l'implication du centre exécutif (Baddeley, Emslie, Kolodny, et Duncan, 1998 ; Rende, 2002), par la mise en œuvre de stratégie de recherche et de récupération d'éléments en MLT mais également pour l'inhibition, d'items antérieurement récupérés ou de séquences sur-apprises (Rende et al. 2002).

La flexibilité réactive

Contrairement à la composante spontanée qui (par sa mesure) suggère des changements dans des « espaces » relativement limités (une catégorie sémantique, des chiffres ou des lettres), la composante réactive est plus variée car guidée en réponse à des changements exogènes. Cette composante réactive de la flexibilité cognitive est décrite comme la capacité d'adaptation cognitive et comportementale en réponse à des changements de contraintes situationnelles selon Salicé et Juhel (2003). Elle nécessite, face à des changements de contraintes exogènes, d'activer de nouvelles représentations cognitives adaptées, et d'en inhiber volontairement

² Les tests de fluence verbale sont parmi les plus largement utilisés dans les études expérimentales ou dans les évaluations de neuropsychologie clinique.

d'autres antérieures non pertinentes, le but étant d'alterner entre représentations le plus rapidement et le plus efficacement possible. Les tâches classiquement utilisées pour mesurer cette composante sont la forme B du test de Trail-Making³ (TMT) et les tâches de commutation attentionnelle (le task-switching test) par exemple.

Le TMT est constitué de deux parties (A et B) dans lesquelles il est demandé au sujet de relier le plus rapidement possible des stimuli répartis sur une feuille. Dans la partie A, le sujet doit relier des nombres dans l'ordre croissant et dans la partie B, des nombres et des lettres alternativement, de manière croissante pour les nombres et dans l'ordre alphabétique pour les lettres (1-A-2-B-3-C-4...). Le score sur chaque partie du TMT est le temps exigé pour compléter la tâche. Pour une réalisation optimale de la partie B, il est nécessaire de maintenir actives les représentations mentales relatives à chacune des sous-tâches afin de faciliter la commutation entre ces deux représentations. La forme B du test présente donc l'intérêt de refléter l'implication de la flexibilité cognitive. Remarquons que d'autres processus de contrôle exécutif sont impliqués dans la réalisation de la forme B du TMT : des processus de contrôle inhibiteur (pour éviter de continuer avec la même règle) et métacognitifs (mise en place de procédures de recherche visuelle).

Le paradigme d'alternance de tâche (task-switching) ou de commutation attentionnelle est une méthode utilisée pour mesurer les processus de contrôle exécutifs dont la flexibilité cognitive (A. Allport & Wylie, 1999) ; (Meiran, 1996) ; Rogers & Monsell, 1995). Le paradigme de tâche d'alternance consiste généralement en une épreuve dans laquelle le sujet devra alterner entre des séquences de deux tâches différentes. Le sujet doit répondre aux stimuli en accord avec la consigne d'une tâche jusqu'à ce qu'il lui soit indiqué d'appliquer la seconde. Ce principe est la base des paradigmes de tâche d'alternance. Un coût cognitif d'alternance (« switching cost », Allport, Styles, et Hsieh, 1994 ; Jersild, 1927 ; Meiran, 1996) ; Rogers & Monsell, 1995 ; Spector et Biederman, 1976 ; voir aussi le bénéfice de répétition (« task repetition benefit »), Sohn & Anderson, 2003) lié au fait de devoir changer de tâches est mesuré par comparaison entre les performances en condition de changement de tâche et de répétition de tâche. Il consiste en une augmentation des latences et une légère baisse de la précision en situation alternée. Le coût de commutation se manifeste par des latences plus importantes et un plus grand nombre d'erreurs pour les essais alternés (essai BA) que pour les essais répétés d'une même tâche (essai AA).

³ Reitan, 1958

Différentes méthodes existent pour initier le changement de tâche : le paradigme avec instruction par intermittence (« intermittent-instruction paradigm »), le paradigme dit de « séries alternatives » (« alternating-runs procedure ») et la tâche d'alternance indicée (« task-cueing paradigm »). La première méthode avec instruction par intermittence est assez rarement utilisée. Les consignes relatives à chaque tâche sont intégrées au début de chaque séquence d'essais (Gopher et al., 2000 ; Altmann & Gray, 2008, exp. 1). Initiée par Rogers et Monsell (1995), la seconde méthode, celle de séries alternatives, est plus utilisée et consiste à alterner des séquences courtes et constantes. Dans ce paradigme, l'alternance est réalisée entre deux tâches à intervalles réguliers, tous les deux essais (AABBAABB...), rendant ainsi prévisible l'alternance de tâche. Les stimuli présentés sont constitués de deux caractères : une lettre et un chiffre. La première sous-tâche consiste à définir si un nombre affiché est pair ou impair, la seconde à classer la lettre affichée comme étant une consonne ou une voyelle. Enfin, dans le troisième type de paradigme d'alternance, celui dit « indicé » introduit par Shaffer (1965), un indice est présenté au sujet, -généralement- préalablement au stimulus, indiquant quelle tâche doit être exécutée pour l'essai ou les essais suivants (par ex, Meiran, 2000 ; Rubinstein, Meyer & Evans, 2001). Dans le paradigme utilisé par Meiran et collaborateurs (Meiran, 2000, Meiran, Chorev & Sapir, 2000 ; (Gotler Meiran & Gotler, 2001)), une grille de 4 cases (2x2 cases) est présentée au sujet dans laquelle apparaît un stimulus cible (l'émoticône : « ☺ »). Le sujet doit désigner l'emplacement du stimulus dans la grille, en haut ou en bas pour la première tâche (A) et à droite ou à gauche pour la seconde tâche (B) en appuyant sur des boutons mis à leur disposition. Les indices sont représentés par deux flèches verticales (tâche A) et deux flèches horizontales (tâche B).

Le paradigme de Meiran et collaborateurs a suscité de nombreuses interrogations quant aux mécanismes cognitifs impliqués et en particulier ceux à l'origine du coût d'alternance. Pour certains chercheurs, le coût de commutation est lié à un processus de reconfiguration des représentations de la tâche (Rogers & Monsell, 1995 ; Allport et al., 1994). Pour d'autres, il est issu de la dissipation passive des représentations de la tâche concurrente (TSI, task-set-inertia). Selon cette interprétation, l'augmentation des latences ne représente pas l'implication de processus contrôlé de préparation, mais un processus cognitif passif lié à l'activité rémanente des représentations de la tâche précédemment activée. De nombreuses études discutent encore la vraisemblance de l'une ou l'autre de ces interprétations à propos du coût de commutation (par exemple, Brown, 2007 ; Logan, Schneider, & Bundesen, 2007) mais aussi selon un résultat récurrent dans la littérature : le coût d'alternance résiduel (Allport et al., 1994; de Jong, 2000 ; Meiran, 1996 ; Meiran et al., 2000 ; Meiran, 2001, Meiran et al.,

2008), 2002 ; Rogers et Monsell, 1995 ; Sohn, Ursu, Anderson, Stenger, et Carter, 2000). Ce coût d'alternance résiduel observé principalement avec les tâches d'alternance indicées réfère à l'observation d'un coût de commutation persistant en condition de commutation malgré l'utilisation de temps de préparation longs (supérieurs ou proches d'une seconde). Les deux théories évoquées rendent difficilement compte de ce phénomène. D'une part, à propos de la théorie TSI, la dissipation est considérée passive. Par conséquent au bout d'un certain temps, elle devrait être sans effet ou nulle. D'autre part, en ce qui concerne la théorie de reconfiguration, la préparation devrait être terminée après un laps de temps relativement court a priori, et donc permettre un traitement efficient du stimulus. Ces hypothèses théoriques ont été reprises pour expliquer ce phénomène. Ainsi, la théorie TSI associative explique que le phénomène est peut-être plus généralement dû à l'interférence provoquée par les représentations de la tâche concurrente (buts, stimuli, réponses) qui sont réactivées par amorçage associatif pendant le traitement⁴. En ce qui concerne la théorie de la reconfiguration, une composante exogène (provenant du stimulus) serait nécessaire pour que la préparation soit complète (Rubinstein, Meyer, et Evans, 2001 ; Rogers et Monsell, 2003). Différentes hypothèses complémentaires ont été également proposées comme celle d'un échec de la préparation à certains essais (de Jong, 2000) et celle d'inhibition proactive (Mayr et Keele, 2000).

Logan et collaborateurs (Arrington et Logan, 2004 ; Logan et Bundesen, 2003 ; Logan, Schneider et Bundesen, 2007 ; Logan et Schneider, 2010) ont récemment suggéré qu'une confusion était faite entre le coût cognitif nécessaire pour alterner entre deux tâches et le bénéfice extrait des répétitions consécutives d'une tâche. Pour ces chercheurs, le bénéfice associé aux essais répétés comparés aux essais alternés serait pour une grande part occasionné par les mécanismes d'amorçage par répétition (« repetition priming ») de l'indice. Pour étudier ces effets, Logan et collaborateurs ont légèrement modifié les paradigmes d'alternance de tâche indicés en associant à chaque sous-tâche, au moins deux indices (Arrington et Logan, 2004 ; Logan, 2003 ; Logan et Bundesen, 2003 ; Logan, Schneider et Bundesen, 2007 ; Schneider et Logan, 2005). Les résultats obtenus indiquent que lors d'essais répétés (i.e. la sous-tâche demandée est la même qu'à l'essai précédent), si l'indice est changé, un coût substantiel est observé. Pour Logan et collaborateurs (Logan et Bundesen, 2003 ; Logan et al, 2007), le bénéfice associé à la répétition de la tâche serait principalement la conséquence de la répétition de l'indice plutôt que celui de la répétition de la tâche. A l'inverse, le coût de

⁴ Pour plus de détails sur ces hypothèses, se reporter à la section (voir chapitre 3).

commutation de tâche serait davantage lié à l'alternance d'indice qu'à l'alternance de tâche. La part attribuée au changement d'indice (ou à sa répétition) dans le coût d'alternance reste néanmoins toujours discutée (Monsell et Mizon, 2006 ; Logan et al, 2007). Certaines études récentes remettent en question les interprétations de Logan (par exemple, Altmann, 2007 ; Kleinsorge, 2011 ; Monsell et Mizon, 2006) en s'interrogeant sur l'effet des modifications apportées au paradigme utilisé (effet de l'augmentation du nombre d'indice, Kleinsorge, 2011) et sur l'insuffisance de cette hypothèse pour interpréter certains résultats de la littérature (Altmann, 2007).

La théorie de Logan et associés (2004 ; 2007) bien que sujette à de fortes critiques, a su mettre en exergue le fait que le bénéfice observé lors d'essais répétés (comparativement aux essais alternés) semble être dépendant de mécanismes ou caractéristiques de base associés à la répétition des conditions expérimentales. Au final, le coût de commutation ne dessinerait pas tant un coût cognitif lié à l'inertie ou à la préparation de représentations de la tâche, mais davantage un simple écart entre essai répété et alterné liés aux gains de la répétition des représentations en condition répétée. Plusieurs facteurs sous-jacents sont distingués : l'amorçage des réponses ou le faible nombre de possibilités de réponses (consonnes ou voyelles chez Rogers et Monsell, 1995), l'amorçage lors de la sélection des stimuli ou de la catégorie de stimuli (Sohn et Anderson, 2003) et plus généralement, la répétition des procédures et indices du schéma de tâche. Ils excluent ainsi le besoin de recourir à des mécanismes contrôlés dans ce genre de tâche.

En résumé, alterner entre des tâches est cognitivement coûteux. Or de nombreux auteurs pensent que c'est l'intervention de processus contrôlés qui permet l'alternance. Pour que l'alternance soit aussi efficiente qu'une répétition, il serait donc nécessaire de conserver les représentations de chaque sous-tâche actives et accessibles en MT (Oberauer, 2002). Les limites de la capacité de la mémoire de travail (CMT) rendent improbable ou rare une telle conservation. Dès lors, quand une alternance est nécessaire, certains processus et mécanismes sont « chargés » de récupérer les informations en MLT avec plus ou moins de facilité, selon leur niveau d'activation et les influences des représentations concurrentes. Des processus contrôlés liés à la flexibilité cognitive et à la mise à jour par exemple seraient éventuellement réquisitionnées pour faciliter le traitement.

1.2.5. La fonction d'inhibition

L'inhibition cognitive est une fonction de contrôle cognitif importante dans le fonctionnement exécutif. Dans la littérature, un déficit des mécanismes inhibiteurs a classiquement été associé à des lésions frontales (Shallice, 1988) qui se traduisent par des difficultés à inhiber des routines d'actions automatiques (Luria, 1978). Cependant d'autres recherches issues de la neuroimagerie (Collette et Van der Linden, 2002) indiquent que d'autres régions cérébrales seraient également impliquées, suggérant ainsi l'implication d'autres fonctions cérébrales.

La fonction d'inhibition ne présente pas de définition consensuelle entre les chercheurs, certainement en raison de l'importante diversité des contextes dans lesquels l'inhibition est étudiée. La littérature dans ce domaine s'accorde néanmoins sur le fait que l'inhibition renvoie à des concepts et mécanismes différents en fonction des situations rencontrées (Friedman et Miyake, 2004 ; Hasher et Zacks, 1998). Par exemple, Nigg (2000) propose une première taxonomie des processus inhibiteurs, les classifiant en quatre types d'inhibition contrôlée : (1) le contrôle de l'interférence, correspondant à la suppression de l'interférence provoquée par la compétition entre ressources cognitives ou stimuli, (2) l'inhibition cognitive, référant à la suppression des informations non pertinentes de la mémoire de travail, (3) l'inhibition comportementale référant à la suppression de réponse motrice fortement automatisée par le contrôle intentionnel de cette réponse lors de changements contextuels, (4) l'inhibition oculomotrice, référant à l'inhibition de réponse oculomotrices reflexes⁵. Nigg souligne également l'existence de formes automatiques de processus inhibiteurs attentionnels dans le contexte de l'orientation attentionnelle (inhibition de retour) classiquement étudiés avec le paradigme de Posner.

Dans la même optique, une seconde classification de référence des fonctions de l'inhibition est celle de Hasher, Zacks et May (1999). Ces auteurs distinguent trois fonctions principales des processus inhibiteurs sur le contenu de la mémoire de travail: (1) le contrôle de l'accès d'informations non pertinentes (activées automatiquement) en MT par un blocage à l'entrée de la MT, (2) l'inhibition d'informations activées en MT non pertinentes et (3) l'inhibition de réponses fortement automatiques non pertinentes pour la tâche en cours en empêchant celle-ci de s'exprimer. Les processus inhibiteurs permettraient ainsi de contrôler le flux d'information entrant (1) et présent (2) en MT (Head, Kennedy., Rodrigue & Raz, 2009).

La fonction d'inhibition d'accès des informations

⁵ Souvent appréhendée par des tâches de type antisaccade

Suite aux processus initiaux d'activation des représentations (présumés automatiques), la fonction d'inhibition liée au contrôle de l'accès des informations détermine quelle représentation entrera dans le focus attentionnel (ou dans la zone d'accès direct, si l'on se réfère au modèle d'Oberauer, 2002) en fonction des buts poursuivis. Le rôle des mécanismes inhibiteurs (également impliqués dans l'attention sélective) est de filtrer l'accès des informations perturbatrices en MT et ainsi favoriser la sélection des informations pertinentes. Selon Hasher et collaborateurs (2007), quand cette fonction est efficiente, toutes les représentations non pertinentes sont supprimées et le contenu de la conscience reste étroitement lié aux buts. Un exemple probant pour ces auteurs est l'effet d'aveuglement attentionnel (traduit de « attentional blink ») lorsque des items présents dans l'environnement ne sont pas précisément perçus (Mack et Rock 1998, issu de Hasher et al., 2007). Le maintien des informations non pertinentes hors de la MT évite que ces informations interfèrent avec les traitements postérieurs dont en particulier la récupération de connaissances en mémoire à long terme.

La fonction de suppression des informations

La fonction d'inhibition est également chargée de la suppression des informations activées en MT quand elles ne sont plus pertinentes. En effet, des informations non pertinentes peuvent être activées dans un premier temps à cause d'un échec de la fonction d'accès (causé par une perte de contrôle ou par la non correspondance entre les buts de l'individu et ceux fixés par la situation ou l'expérimentateur) ou du fait de la structure d'activation en MLT qui n'est pas pertinente dans le contexte actuel. Cette fonction est alors cruciale pour que les représentations non pertinentes soient écartées du focus attentionnel et que les traitements à effectuer soient basés sur des représentations pertinentes pour les buts en cours. Cette fonction est également censée déplacer les informations qui ne sont plus pertinentes hors de la zone d'accès direct, suite à un changement de contexte ou de demandes situationnelles (Hasher et al., 2007).

L'inhibition Restrictive (en anglais, « Restraint »)

L'inhibition restrictive réfère aux mécanismes inhibiteurs qui évitent aux réponses dominantes d'être produites (Hasher et al., 2007). Selon Miyake (2000), ce processus est le plus largement étudié et c'est généralement celui auquel les chercheurs réfèrent quand ils évoquent l'inhibition. La restriction a été étudiée au travers de multiples paradigmes tels que

le test de Stroop (et ses dérivés), les tests d'inhibition de retour (paradigme de Posner), et les tâches de type stop-signal (par exemple le test « go – no-go »).

Les taxonomies de mécanismes inhibiteurs d'Hasher et associés (Hasher et al., 1999, Hasher et Zacks, 2007) et Nigg (2000) apportent une représentation relativement globale et simplifiée de la variété des processus inhibiteurs pouvant intervenir dans le contrôle des comportements et des informations traitées. Elles indiquent également que l'inhibition n'est pas un construit unitaire (Nigg, 2000) et que des processus distincts sont à différencier. Dans la présente étude, nous nous concentrerons plus spécifiquement sur les mécanismes inhibiteurs impliqués dans le contrôle de l'activité cognitive en situation d'interférence comme dans le test de Hayling, le test Stroop ou les tâches d'amorçage négatif.

Un premier exemple de paradigme illustrant le recours à des mécanismes inhibiteurs est le test de Hayling (Burgess et Shallice, 1996). Il se compose d'une série de phrases dans lesquelles manque le dernier terme (par exemple : « quand on a mal aux dents on va chez le ... »). Le test comporte deux parties distinctes : dans la première condition dite d'initiation, le sujet doit compléter les phrases par le mot spécifiquement approprié, dans la seconde condition dite d'inhibition, le sujet doit fournir un mot n'ayant aucune relation de sens avec la phrase. Dans cette seconde condition, le sujet doit délibérément supprimer la réponse automatique. Burgess et Shallice (1996) montrent que dans la seconde condition, les patients frontaux présentent des latences plus longues et des erreurs plus fréquentes que les sujets contrôle. Les auteurs interprètent leurs performances comme reflétant une atteinte du SAS, perturbant les capacités de mise en œuvre de stratégies de réponse et de suppression de réponses sur-apprises.

Un paradigme couramment utilisé pour mesurer les capacités inhibitrices des individus est le test Stroop (Stroop, 1935). Il comprend généralement trois conditions : une condition neutre de dénomination de couleurs dans laquelle une série de caractères imprimés à l'encre colorée est présentée (par exemple, XXX en bleu), une condition congruente dans laquelle la signification du mot et la couleur de l'encre concordent (par exemple, le mot ROUGE écrit en rouge) et une condition incongruente dans laquelle la signification du mot et la couleur avec laquelle il est imprimé diffèrent (par exemple, le mot ROUGE écrit en bleu). Pour chaque mot présenté, il est demandé au sujet de dénommer la couleur de l'encre avec laquelle il est écrit. Une augmentation des temps de réponse est classiquement observée entre la condition neutre et la condition incongruente. Cet effet, appelé effet d'interférence, est expliqué par l'activation automatique du schéma de lecture de mots durant la phase de dénomination de la

couleur de l'encre. L'interférence est occasionnée du fait qu'une réponse incorrecte est déclenchée par le stimulus distractif (le mot), cette réponse interfère alors avec la réponse correcte déclenchée par le stimulus cible (la couleur de l'encre). Le rôle des mécanismes inhibiteurs consiste dans ce test à empêcher l'expression de la tendance dominante de lecture. Ce test mesure en particulier la capacité de résistance à l'interférence produite par des réponses automatique dominantes (composante 1 de Nigg, 2000 et composante 3 de Hasher). Certains paradigmes ont également démontré l'action des processus inhibiteurs sur les représentations inhibées, l'effet d'amorçage négatif en est l'exemple le plus célèbre. Cet effet réfère au ralentissement du temps d'identification d'un stimulus cible précédemment ignoré. Prenons pour illustrer cet effet le paradigme de Stroop précédemment présenté. Dans certaines versions de ce paradigme, les stimuli successifs sont ordonnés de sorte que le nom de couleur écrit pour former le premier stimulus (« BLEU » écrit en vert) soit utilisé comme couleur d'encre pour écrire le nom de couleur suivant (« ROUGE » écrit en bleu). De nombreux travaux ont montré qu'un temps supplémentaire est nécessaire pour dénommer la couleur de l'encre du mot si celle-ci correspond au mot venant d'être ignoré (Fox, 1995). Une explication satisfaisante de ce phénomène est qu'un mécanisme d'inhibition serait affecté au distracteur lors de l'essai précédent, ce distracteur générerait alors la dénomination de la couleur de l'encre du stimulus. Ce phénomène est appelé l'interférence proactive (en anglais, « backward inhibition »).

Les fonctions d'inhibition sont également impliquées dans des tâches évaluant d'autres fonctions exécutives comme la flexibilité cognitive. Dans le test de classement de cartes de Wisconsin (WCST, Wisconsin Card Sorting Test, de Milner, 1963), le sujet doit classer des cartes selon différents critères que sont la couleur, la forme ou le nombre des stimuli présents sur chaque carte. Le sujet doit découvrir un critère de changement puis en changer en fonction des indications données par l'expérimentateur. La réalisation de cette tâche nécessite d'inhiber la règle de classement antérieur dominante et d'initier un nouveau schéma de réponse adapté. Les processus inhibiteurs sont aussi impliqués dans le paradigme de la tâche de commutation attentionnelle par exemple, quand il est nécessaire d'inhiber le schéma précédemment exécuté et dominant, pour faciliter l'activation du schéma pertinent de la tâche en cours.

1.2.6. Le Contrôle attentionnel

Le contrôle attentionnel est une des fonctions fondamentales du contrôle exécutif. Il peut être défini comme référant aux différents mécanismes qui contrôlent et orientent l'attention sur les informations pertinentes pour les buts en cours. Dans cette partie, après une brève description de ce concept, deux aspects différenciés du contrôle attentionnel sont exposés. Nous nous intéresserons aux processus contrôlés attentionnels dont l'attention exécutive et la commutation du focus attentionnel sont deux exemples.

Généralités

Les modèles de MT d'Engle (1999) ou de Norman et Shallice (1986) comportent une composante attentionnelle qu'il est possible d'identifier comme étant le contrôle attentionnel. Celui-ci est impliqué dans une grande partie des fonctions exécutives présentées précédemment (par ex, la flexibilité cognitive, l'inhibition, la planification) et est donc une fonction majeure du contrôle cognitif. Il est engagé dans des situations complexes qui nécessitent la sélection et le contrôle des informations traitées. Plus précisément, le contrôle attentionnel comprend d'une part les processus qui visent à sélectionner les stimulations externes traitées ultérieurement par le système, et d'autre part, les mécanismes qui permettent d'orienter les traitements cognitifs en accord avec les buts spécifiques de la tâche en cours.

Engle et collaborateurs (Engle et al. 1999 ; Engle et Tuholsky, 1999) ont fortement ciblé leurs recherches sur la compréhension des mécanismes liés au contrôle attentionnel. Ils distinguent 7 différentes conditions dans lesquelles un contrôle attentionnel est nécessaire : (1) lorsque les buts et objectifs de la tâche courante doivent être activement maintenus en mémoire de travail, (2) quand des actions ou des réponses sont programmées, (3) quand différentes actions sont en compétition, afin de sélectionner l'une ou l'autre d'entre elles et d'éviter des erreurs, (4) quand, tout en faisant face aux distractions et interférences, il est nécessaire de maintenir certaines informations actives durant une courte période (5), lorsque l'information non pertinente pour la tâche courante doit être supprimée, (6) lorsque le contrôle ou la correction des erreurs est coûteux ou, (7) quand il est nécessaire d'effectuer une recherche stratégique contrôlée en mémoire.

Deux aspects du contrôle attentionnel

Le contrôle attentionnel comprend deux phénomènes distincts : la sélection contrôlée des stimuli de l'environnement et le contrôle attentionnel des traitements cognitifs.

Intéressons nous dans un premier temps au premier phénomène, la sélection contrôlée. Elle survient principalement lorsque des stimuli non pertinents sont présents dans l'environnement et que leur effet distracteurs est suffisamment saillant pour attirer l'attention de l'individu automatiquement par un phénomène de capture attentionnelle. La capture attentionnelle est donc ici à opposer à la dimension sélective du contrôle attentionnel dont le rôle est de sélectionner de manière contrôlée les informations pertinentes de l'environnement, et ainsi éviter ce phénomène de capture. La capture attentionnelle est automatique et exogène. Elle est réalisée par un processus ascendant (bottom-up) tandis que la seconde, la sélection attentionnelle contrôlée est délibérée et endogène. Elle est opérée via un processus de contrôle descendant (top-down).

Le premier aspect du contrôle attentionnel impliqué dans la sélection des stimuli est capital. Le phénomène de capture lors de la survenue d'évènements saillants est fondamental en tant que processus adaptatif, mais le fait de pouvoir y échapper l'est également puisque cela évite d'être distrait par des évènements n'ayant pas ou peu d'intérêt. Cette première dimension du contrôle attentionnel est à distinguer de la seconde conception qui porte sur la gestion et la régulation des ressources attentionnelles. Le premier modèle ayant porté un intérêt central sur cette seconde dimension du contrôle de l'attention est le modèle de Norman et Shallice (1980). Comme il a été décrit antérieurement, ce modèle propose deux systèmes de contrôle en interaction : le Gestionnaire des Priorités de Déroulement (GPD) et le système attentionnel superviseur (SAS). Il suppose que dans des situations où les processus automatiques se heurtent à certaines difficultés, la possibilité existe de recourir à l'un ou l'autre de ces systèmes pour contrôler le bon déroulement de nos actions : le GPD pour sélectionner un schéma d'action parmi d'autres et le SAS pour planifier de nouvelles séquences d'actions ou inhiber certains schémas automatisés, par exemple. Ce modèle souligne le caractère adaptatif du contrôle attentionnel et le fait que l'intervention de processus contrôlés ou automatiques varie en fonction du degré de familiarité de la situation.

Mécanismes impliqués dans le contrôle attentionnel

L'attention sélective et l'attention exécutive

Un premier processus gère l'orientation de l'attention par un mécanisme de contrôle top-down qui permet d'éviter la capture attentionnelle automatique⁶ des stimuli saillants non pertinents de l'environnement. Ce processus réfère à l'attention sélective endogène et intentionnelle

⁶ Mécanisme automatique relatif à l'attention sélective exogène, dépendant des propriétés physiques de la stimulation et contrôlé par des processus attentionnels ascendants « bottom-up ».

souvent caractérisée comme un système de filtrage en fonction des buts poursuivis. Selon Hunt (2007), ce mécanisme utilise les attentes relatives aux caractéristiques perceptives de la cible, pour augmenter l'importance de certains canaux visuels par rapport à d'autres, et isoler la cible du reste de l'affichage. Un second mécanisme fortement associé au contrôle attentionnel est l'attention exécutive⁷. Selon Engle et Kane (2004), cette fonction et les processus qui y sont liés ont deux rôles majeurs bien distincts dans le contrôle cognitif : (1) maintenir actives et facilement accessibles les informations pertinentes pour la tâche en cours⁸ face à l'interférence et (2) la résolution de conflit entre deux tâches ou deux réponses en compétition (ex: dénomination de la couleur du mot vs lecture du mot), si la réponse dominante est non pertinente.

La composante de maintien a un rôle important quand les tâches nécessitent de maintenir actives les informations pour la tâche en cours. Lors de tâche d'alternance par exemple, en parallèle à la réalisation d'une séquence relative à une première sous-tâche, il est important de maintenir suffisamment actives les représentations ou informations relatives à la seconde tâche non pertinente, afin de ne pas avoir à effectuer une récupération coûteuse en mémoire à long terme. Par exemple, dans le test de Rogers et Monsell (1995) (présenté précédemment), les sous-tâches alternent régulièrement et rapidement. Si les ressources attentionnelles sont suffisantes, les informations relatives à chaque sous-tâche peuvent demeurer suffisamment actives en MT pendant la réalisation de l'autre sous-tâche et ainsi permettre d'éviter de recourir à une récupération (coûteuse en temps) en MLT.

La seconde composante de l'attention exécutive est la résolution de conflit. Des conflits apparaissent dans des situations d'interférence quand des comportements habituels ou dominants entrent en concurrence avec les comportements pertinents relatifs au but de la tâche en cours (Engle et Kane, 2004). Par exemple, dans le test du Stroop, lors d'un item incongruent (« rouge » écrit en bleu), la réponse liée au processus automatique de lecture du mot peut interférer avec la dénomination de la couleur de l'encre. Dans ce genre de situation interférente, une compétition émerge entre les réponses automatiquement activées par l'environnement, mais non pertinentes (« rouge »), et celles qui sont adéquates, mais qui nécessitent un recrutement attentionnel pour être sélectionnées (« bleu »). Cette composante de l'attention exécutive permet alors de résoudre, à un niveau local, ce genre de compétition (Engle et al., 2004). Elle aboutit à la récupération de la réponse pertinente par le focus

⁷ Nous privilégierons dans cette section la description de l'attention exécutive, cette composante est moins bien connue et présente un fort intérêt dans la suite du travail présenté.

⁸ Dans la zone d'accès direct selon le modèle d'Oberauer (2002).

attentionnel. Ainsi, dans cette conception, le contrôle attentionnel en condition de conflit (nouveau ou complexe) pourrait être perçu comme « le pouvoir décisionnaire » qui vise à s'assurer que le traitement allant être exécuté est en accord avec les représentations et buts en cours.

Les deux composantes de l'attention exécutive (maintien de l'information et résolution de conflit) sous-tendent respectivement deux types de processus attentionnels : des processus attentionnels « soutenus », mis en jeu lors de situations dans lesquelles un maintien et un traitement contrôlés de l'information sont nécessaires tout au long de la tâche, et des processus attentionnels « transitoires » qui interviennent dans des situations passagères, inattendues ou interférentes.

La commutation du focus attentionnel (en anglais, « focus switching »)

La commutation du focus attentionnel (CFA) est un mécanisme dont les implications dans le fonctionnement de la MT et dans les troubles cognitifs liés au vieillissement ont été récemment mises en évidence (Unsworth et Engle, 2008 ; Vaughan et al. 2008 ; Zhang et Verhaeghen, 2009 ; Verhaeghen et Basak, 2005 ; Verhaeghen et al., 2005).

Si l'on se réfère au modèle de Cowan (1988), la CFA serait responsable du déplacement du focus attentionnel (FA) sur de nouveaux éléments quand trop d'éléments sont présents en MT. La CFA étant limitée (Cowan, 1988 ; Oberauer, 2002), si la quantité d'informations devant être maintenues en mémoire de travail (MT) est inférieure à la capacité du FA, ces derniers sont alors tous accessibles et le temps mis pour y accéder est court (Vaughan et al., 2008 ; Zhang et Verhaeghen, 2009). En revanche, quand cette quantité excède la capacité limitée du FA, les informations en excès sont stockées à l'extérieur du FA dans un état plus accessible que ceux de la mémoire à long terme car maintenues dans des structures de stockage spécialisées (Baddeley, 1986 ; Baddeley et Hitch, 1974) ou conservant une activation résiduelle (par exemple, Anderson, 1983 ; Cowan, 1995). Dans le cas où un accès à ces éléments est nécessaire, une opération de récupération est réalisée. Cette opération temporellement coûteuse en comparaison à un accès direct au FA correspondrait au temps nécessaire au système pour faire commuter le FA vers ces informations (McElree, 2001). Le coût associé à cette opération (ou coût de commutation du FA) serait principalement dû au processus de récupération (Voigt and Hagendorf, 2002, cité par Vaughan et al., 2008). La CFA consisterait à déplacer le FA sur des éléments actifs situés à l'extérieur du FA quand les informations devant être simultanément traitées sont trop nombreuses pour être maintenues suffisamment actives.

1.2.7. La Métacognition

La Métacognition est un concept relativement abstrait puisqu'elle réfère « aux connaissances de l'individu de son fonctionnement et de celui des autres en tant qu'individus traitant de l'information » (traduit de Corkill, 1996). Elle comprend d'une part les connaissances métacognitives relatives « aux variations de son propre fonctionnement, des différences de fonctionnement entre soi et les autres, et de la cognition en général » (Juhel, 2008). Elle réfère d'autre part aux processus de régulation de l'activité cognitive également appelée contrôle métacognitif et stratégies d'autorégulation. Ces processus font référence aux expériences cognitives et affectives de l'individu et incluent les activités mentales impliquées dans la régulation de l'apprentissage (Juhel, 2008). Par exemple, cela comprend la capacité de l'individu à planifier ses buts, penser son propre raisonnement, ses stratégies et ses pensées, mais aussi sa capacité à pouvoir évaluer l'efficacité des procédures employées. La régulation métacognitive inclut également des processus ascendants, responsables de la surveillance cognitive (par exemple, la détection de conflit et d'erreur, la surveillance des récupérations en mémoire) et des processus descendants, relatifs au contrôle cognitif (par exemple, la résolution de conflit, la correction d'erreur, le contrôle inhibiteur, la planification) (Fernandez-Duque et Baird et Posner, 2000 ; Nelson et Narens, 1990 ; Reder et Schunn, 1996 ; cités par Fernandez-Duque et al., 2000).

Nelson et Narens (1994) définissent principalement la métacognition par les processus cognitifs de surveillance et de contrôle. Ils décrivent la métacognition comme étant à l'intermédiaire de deux niveaux de traitement de l'information : un niveau « objet » et un niveau « meta ». Le niveau « objet » réfère aux composantes spécifiques des fonctions cognitives (reconnaissance d'objet, codage phonologique, représentation spatiale, traitement sémantique) qui agissent de manières relativement indépendantes. Ces composantes seraient supervisées par des processus de niveau « meta » qui évaluent les actions effectuées et seraient susceptibles d'initier des contrôles en retour (feedback contrôlés).

Les méta-connaissances acquises par expérience autorégulent et organisent les stratégies et mécanismes devant être employés pour répondre de manière adaptée aux demandes situationnelles (par exemple pour la planification, définir les objectifs avant de commencer à planifier les étapes intermédiaires). Ils comprennent les mécanismes de régulation de l'activité cognitive et de surveillance du déroulement de l'activité cognitive (monitoring). Ils sont impliqués par exemple dans la détection d'erreur et dans les jugements rétroactifs de la qualité

des procédures employées ou des apprentissages réalisés (Corkill, 1996). Les mécanismes métacognitifs associés au contrôle cognitif responsables de la détection de conflits entre processus ou représentations, semblent être principalement à l'origine du recrutement du contrôle attentionnel et de l'initiation de processus contrôlés en situation de conflit (Botvinick et al., 2001). Les mécanismes métacognitifs régulent et supervisent le déroulement des traitements et déclenchent l'initiation de processus stratégiques et contrôlés adaptés aux contraintes situationnelles. Ainsi, une part non moins essentielle des processus impliqués dans le contrôle cognitif a pour rôle de rectifier les traitements cognitifs (réalisés ou futurs) en accord avec les buts poursuivis.

D'un point de vue général, la métacognition regroupe les connaissances introspectives et conscientes de ses propres états et processus cognitifs ainsi que les capacités de contrôle et de régulation, de planification de ses propres processus cognitifs (Flavell, 1979 ; Gombert, 1990). La métacognition est par conséquent essentielle pour la régulation de nos perceptions, pensées et actions.

Conclusion

Cette partie ne se veut pas une revue exhaustive des fonctions exécutives –ni même des tâches permettant de les mesurer-, néanmoins elle apporte une vision globale du rôle essentiel des fonctions, mécanismes et processus contrôlés dans la gestion de l'activité cognitive. Les processus contrôlés sont responsables de l'organisation des conduites (planification), de la gestion simultanée d'activités (coordination), du rafraichissement des informations en mémoire de travail (mise à jour), de la capacité à alterner entre représentations (flexibilité cognitive), du filtrage des informations (inhibition) et du contrôle et de la régulation des informations traitées et de l'activité mentale (contrôle attentionnel et métacognition).

Mises bout à bout ces fonctions –bien que d'autres fonctions puissent être rajoutées- décrivent les différents rôles du contrôle cognitif dans le fonctionnement cognitif.

Synthèse

Nous avons précisé dans la section précédente les « concepts » de la mémoire de travail (MT) et du contrôle exécutif nécessaires à la compréhension des traitements réalisés dans des tâches nécessitant du contrôle cognitif. Les modèles de la mémoire de travail (MT) dont nous avons présenté certaines caractéristiques essentielles nous apportent des informations d'ordre

structural (Baddeley et Hitch, 1974). Ils nous informent aussi sur le rôle joué par le contrôle attentionnel dans la régulation de l'activité cognitive (Norman et Shallice, 1986), sur la dynamique des connaissances disponibles en mémoire de travail et sur les contraintes pesant sur ces dernières en situation complexe ou d'interférence (Cowan, 1988 ; Oberauer, 2002). Ces modèles contribuent ainsi à penser la mémoire de travail comme un outil conceptuel relativement unitaire et homogène utile à l'explication des différences interindividuelles de performance.

Les fonctions exécutives apparaissent néanmoins relativement hétérogènes. Leur implication conjointe dans la résolution de certaines tâches conduit à penser que ces fonctions relèvent d'une structure emboîtée en fonction du niveau d'observation. L'analyse détaillée des processus exécutifs –supposés– impliqués dans le traitement d'une tâche d'alternance constitue une bonne illustration de cette structuration emboîtée. Premièrement, la commutation du focus attentionnel (CFA) sous-tend le processus nécessaire à la commutation attentionnelle. Ces processus de CFA sont indispensables au changement de représentations de but lors de l'alternance de tâche. Deuxièmement, l'efficacité du traitement est fonction des composantes de l'attention exécutive de maintien actif des représentations et de la résolution de conflit (Friedman, Miyake, Corley et al., 2006). La composante de maintien sous-tend la capacité à pouvoir conserver suffisamment accessibles les représentations des sous-tâches (buts, schémas) alors que la composante transitoire permet de gérer les conflits entre réponses (Engle et Kane, 2004). Troisièmement, les fonctions de mise à jour et d'inhibition sont impliquées dans le processus de désengagement du schéma de tâche de la MT et dans celui de récupération et d'activation de celui pertinent pour l'essai en cours (Monsell, 2003). Quatrièmement, la capacité de planification peut être également perçue comme impliquée dans le traitement à un niveau métacognitif, de par l'élaboration des buts de la tâche et pour la mise en place d'un mode de fonctionnement adapté. Ce paradigme permet enfin d'évaluer une importante fonction exécutive, la flexibilité cognitive, qu'il est possible de mesurer par un coût de commutation ou différence de performance entre des essais répétés et alternés.

Ainsi, l'hétérogénéité apparente des fonctions exécutives peut être plutôt conceptualisée comme un emboîtement hiérarchique de ces fonctions avec au niveau plus général le contrôle attentionnel et métacognitif. Bien que ces fonctions impliquent des processus plus ou moins similaires selon les tâches employées, elles peuvent correspondre à des niveaux d'observation différents de ceux des processus qui sous-tendent le contrôle cognitif.

2. Les ressources et mécanismes impliqués dans les anomalies cognitives observées chez les personnes âgées

Les années 1990 ont vu se multiplier les études cherchant à mieux comprendre les effets du vieillissement sur la cognition. Issues de la neuropsychologie et de la psychologie cognitive, les connaissances dont nous disposons aujourd'hui apportent une vue d'ensemble sur les anomalies cognitives associées au vieillissement. Les troubles du fonctionnement cognitif liés au vieillissement ont été mis en évidence dans une grande variété de tâches comme les tâches de mémoire épisodique (voir pour revue Balota, Dolan, et Duchek, 2000), de mémoire de travail (Van der Linden, Bredart et Beerteen, 1994) ou de raisonnement (Van der Linden, Bredart et Beerteen, 1994). Nous résumerons dans cette partie les principaux résultats concernant les effets du vieillissement cognitif sur les fonctions cognitives de haut niveau. Nous envisagerons dans un second temps les principales hypothèses explicatives proposées.

2.1. Vieillissement et fonctions exécutives

2.1.1. Vieillissement et planification

Un nombre restreint d'études s'est intéressé à la performance de planification des individus âgés sains (Allain et al., 2005 ; Andrés et Van der Linden, 2000 ; Brennan, Welsh, et Fisher, 1997 ; Phillips, Kliegel et Martin, 2006 ; Sorel et Pennequin, 2008). Leurs résultats sont relativement contrastés en fonction des situations expérimentales (laboratoire ou écologique) et de la complexité de la tâche.

Par exemple, pour étudier l'impact du vieillissement sur la fonction de planification, Alain et al. (2002) ont utilisé le test de la « Tour de Londres » (TOL, voir chapitre 1). Cette étude a permis de mettre en évidence des capacités de planification semblables chez les jeunes

adultes et chez les adultes âgés. Ils n'observent pas de différence de performance liée au vieillissement. Andrés et Van der Linden (2000) observent sur le même test, des performances diminuées chez les personnes âgées par rapport aux personnes jeunes, en termes de nombre de déplacements et de temps de réponse moyen pour remplir l'objectif. Cependant cet effet ne résiste pas au contrôle du ralentissement. Ils supposent donc que les processus de planification mesurés par TOL ne sont pas affectés par l'âge. Avec le test de la « Tour de Hanoï » (TOH), les recherches ayant étudié l'effet du vieillissement sur la fonction de planification (Brennan, Welsh, et Fisher, 1997 ; Sorel et Pennequin, 2008) ont mis en évidence des différences liées à l'âge au niveau des latences et des déplacements illégaux avec la version à 4 disques mais seulement des résultats contradictoires pour la version à 3 disques. Dans l'étude de Brennan et al. (1997), 3 groupes d'individus ont été comparés sur les deux épreuves : le groupe « jeune » constitué de 12 adultes jeunes de 20 ans d'âge moyen, le groupe « adultes âgés » constitué de 9 adultes âgés en moyenne de 65 ans et le groupe « adultes plus âgés » formé de 10 adultes de 75 ans de moyenne d'âge. L'analyse de variance des performances de ces trois groupes a montré que les deux groupes plus âgés (groupes 2 et 3) avaient des performances amoindries sur la version du test TOH à 4 disques contrairement au groupe « jeune ». De même, Sorel et Pennequin (2008) mesurent la performance de 3 groupes d'individus aux caractéristiques comparables, sur un protocole contenant les deux versions de TOH, et observent un déclin des performances des seniors sur la version à 4 disques. Cependant, en ce qui concerne la version de TOH à 3 disques, les résultats de ces deux études sont moins consensuels : Sorel et Pennequin (2008) observent une diminution significative des performances avec la version de TOH à 3 disques alors que Brennan et al. (1997) relèvent des performances semblables entre les groupes « jeune » et « adultes âgés » mais des performances amoindries pour le groupe « adultes plus âgés ». Une explication avancée par Sorel et Pennequin (2008) sur l'origine de ces résultats divergents est de nature méthodologique : dans l'étude Brennan et al. (1997), les deux épreuves étaient réalisées consécutivement, alors que dans l'étude de Sorel et Pennequin (2008) des tâches exécutives étaient présentées entre les deux versions du test et le premier mouvement devant être effectué pour chaque version était différent, afin de contrôler un éventuel effet d'apprentissage.

Les études ayant utilisées des tâches écologiques avec des participants âgés sains sont relativement rares. Des résultats contradictoires sont également observés (Allain et al., 2005 ; Godbout, Doucet et Fiola, 2000 ; Phillips et al., 2006). Godbout et al. (2000) ont constaté que sur une tâche de préparation de repas, les participants âgés ont des performances amoindries dans la dimension planification par anticipation et dans leur capacité à alterner les tâches.

Allain et al. (2005) observent que les personnes âgées présentent davantage de difficultés au niveau de la détermination des étapes de la planification plutôt que dans le contrôle de son exécution. Dans cette étude, Allain et collaborateur (2005), évaluent la fonction de planification avec le test de Carte de Zoo (Zoo Map Test ; voir chapitre 1). Cette tâche comprend deux conditions qui mesurent deux facettes de la capacité de planification : le niveau de formulation (c'est-à-dire la capacité à pouvoir préparer leur itinéraire à l'avance) et le niveau d'exécution (c'est-à-dire la capacité à suivre un itinéraire donné par les chercheurs). Les résultats de l'analyse de variance réalisée par ces chercheurs indiquent que les personnes âgées sont moins efficaces que les personnes jeunes. Dans leur étude, les participants âgés présentaient des difficultés pour développer des stratégies logiques et pour construire un plan, tandis qu'ils pouvaient suivre des plans complexes prédéterminés. Notons qu'en opposition avec l'étude de Godbout et al. (2000) et de Phillips et associés (2006) n'observe pas de différences de performances de planification entre un groupe d'adultes jeunes et de seniors sur une tâche écologique de planification d'un programme de travail. Les auteurs en concluent que sur des tâches écologiques, les adultes âgés peuvent compenser la diminution de leur aptitude cognitive par une sélection des informations pertinentes pour la tâche et ainsi combler leur différence.

D'un point de vue général, une diminution de la capacité de planification liée à l'âge est observée dans la littérature (Brennan et al., 1997 ; Sorel et Pennequin, 2008 ; Allain, Nicoleau, Pinon, Charry-Bouyx, Barré, Berrut, Dubas et Legall, 2005) mais ces résultats semblent contrastés en fonction du type de tâche et de la complexité de la tâche. D'une part, les études portant sur des tâches écologiques laissent supposer un effet du vieillissement sur la capacité de planification (Allain et al., 2005 ; Godbout et al., 2000 ; mais Phillips et al., 2006). Celui-ci se traduirait par une diminution de la capacité à pouvoir déterminer la succession des étapes de la planification et par une diminution moins importante de la capacité à pouvoir contrôler l'exécution de ces étapes. D'autre part, la capacité de planification mesurée par les tâches de laboratoire demeure relativement stable entre jeunes adultes et adultes âgés, sur la tâche TOL et la version à 3 disques de TOH (Brennan et al., 1997), mais des difficultés sont relevées sur la version à 4 disques (Sorel et Pennequin, 2008).

Sorel et Pennequin (2008) expliquent les différences observées entre les deux versions de la TOH par le fait que la version à 3 disques ne nécessite pas de réelle planification mais juste la formation d'un plan complexe, alors que la version à 4 disques nécessite, elle, la mise en

place d'une stratégie à but récursif (*recursive-goal*), consistant à planifier en avance les mouvements devant être effectués. Pour Humes, Welsh, Retzlaff et Cookso (1997), dans ce genre de tâche, d'autres processus exécutifs, en particulier l'inhibition, sont également nécessaires et pourraient être à l'origine des difficultés rencontrées par les personnes âgées. S'intéressant au rôle des fonctions exécutives et du ralentissement de la vitesse de traitement dans la planification, Sorel et Pennequin (2008) ont effectué une analyse régressive de leurs données. Cette analyse indique d'une part que la vitesse de traitement rend compte de 49,8% de la variance des performances sur la version à 3 disques de TOH contre 36,9% sur la version à 4 disques, et que la combinaison de la vitesse de traitement et de la flexibilité rend compte de 58,3% contre 40,5% de la variance sur la version de la Tour à 3 et 4 disques respectivement. Elle indique d'autre part que l'inhibition n'apparaît pas être prédictive des performances. Sorel et Pennequin (2008) s'inspirent des résultats d'Allain et collaborateurs (2005) pour expliquer que la vitesse de traitement et les fonctions exécutives, telle que la flexibilité cognitive, jouent un rôle qui doit être différencié en fonction de la complexité de la tâche de planification. Dans les conditions complexes (par ex, condition à 4 disques), la vitesse de traitement joue un rôle significatif dans le développement d'une stratégie de planification avancée alors que dans les situations plus simples, le recours à une planification complexe n'étant pas nécessaire (7 mouvements), d'autres fonctions comme la flexibilité sont requises pour exécuter les plans prédéterminés. Leurs résultats semblent donc indiquer que la vitesse de traitement joue un rôle prépondérant dans l'habileté de planification, mais variable en fonction de la complexité de la situation et de la nécessité de recourir à des stratégies.

2.1.2. Vieillesse et fonction de coordination.

La capacité de pouvoir coordonner deux activités de manière simultanée est primordiale dans le fonctionnement de la mémoire de travail (MT) et du centre exécutif. Afin de mieux comprendre son fonctionnement, de nombreuses études se sont intéressées à l'influence de l'âge sur la fonction de coordination.

L'étude de l'effet du vieillissement sur la capacité de coordination en situation dite de double tâche a abouti jusqu'ici à des résultats divergents. Certaines études observent des performances amoindries chez les personnes âgées (Carpenter, Miyake et Just, 1994 ; Craik et Jennings, 1992 ; McDowd et Shaw, 2000 ; Mayr et Kliegl, 1993 ; Salthouse, 1994), alors que d'autres constatent une stabilité de la performance (Baddeley et Della Sala, 1996 ; Somberg et

Salthouse, 1982) ou une diminution spécifique de la performance à certaines tâches (Ribaupierre et Ludwig, 2003). Les méta-analyses réalisées effectuées suggèrent néanmoins que le vieillissement est associé à un déficit spécifique de la capacité de coordination (Bopp et Verhaeghen, 2005 ; Riby, 2004 ; Verhaeghen et Cerella, 2002 ; Verhaeghen, Marcoen et Goossens, 1993 ; Verhaeghen, Steitz, Sliwinski et Cerella, 2003). La méta-analyse de Verhaeghen et collaborateurs (2003) a révélé que l'étape supplémentaire exigée par la gestion simultanée de deux tâches prenait plus de temps chez les adultes âgés que chez les adultes jeunes après la prise en compte du ralentissement estimé sur des tâches simples. Dans une autre méta-analyse, Riby, Perfect et Stollery, (2004) ont aussi trouvé un effet de l'âge sur la capacité de coordination en situation de tâche duelle tout en constatant que le domaine de tâche semblait médier le coût lié à la coordination (Salthouse et al., 1995).

Les tâches de MT qui exigent simultanément le maintien et le traitement d'informations, montrent aussi des différences importantes liées à l'âge ; cependant ces différences semblent dépendre du domaine (verbal, spatial) de la tâche (Salthouse et al., 1995 ; Hale, Rose, Myerson, Strube, Sommers, Tye-Murray et Spehar, 2011). En comparant les performances obtenues par des adultes jeunes et âgés sur des tâches de mémorisation simple d'une part, et de maintien et traitement d'information d'autre part, plusieurs études ont observé un effet de l'âge sur la capacité de coordination verbale (Babcock et Salthouse, 1990 ; pour des résultats contradictoires voir Belleville, Rouleau et Caza, 1998 ; Hale et al., 2011). Belleville et ses collègues (1998) supposent que la divergence des résultats observée est liée - au moins en partie - aux différentes méthodologies employées dans les études (voir aussi Salthouse, Fristoe et al., 1995). Les différences de niveau de performance de base entre personnes jeunes et âgées pourraient en effet jouer en la défaveur des personnes âgées en situation complexe et être ainsi la cause de l'effet observé. Pour contrôler ce biais, les auteurs manipulent les conditions de passation en ajustant la difficulté de l'épreuve en fonction du niveau de base des individus recueilli sur des tâches d'empan simple (Belleville et al., 1998). Dans cette situation, aucune différence n'est observée entre personnes jeunes et âgées. Pour Belleville et collaborateurs (1998), cette étude montre que les individus âgés présentent des empan généralement moins importants que les adultes jeunes, quand dans les tâches de coordination un traitement supplémentaire est nécessaire. Cet écart pourrait être à l'origine d'une adaptabilité moins efficace des individus âgés en cas d'accroissement des contraintes contextuelles. Les résultats de Belleville et al. (1998) laissent supposer que la fonction de coordination relative à la manipulation et au traitement d'information verbale ne semble pas être affectée par le vieillissement quand un ajustement de la tâche est effectué en fonction du

niveau de base des individus. En revanche, en ce qui concerne la capacité à pouvoir coordonner le stockage et le traitement d'informations visuo-spatiales, de nombreuses études ont observé que les personnes âgées présentaient plus de difficultés que les jeunes adultes sur les tâches de MT à contenu spatial que sur celles à contenu verbal (Bopp et Verhaeghen, 2007 ; Hale et al., 2011 ; Jenkins, Myerson, Hale et Fry, 1999 ; Jenkins, Myerson, Joerdin et Hale, 2000 ; Myerson, Hale, Rhee et Jenkins, 1999 ; Verhaeghen et Cerella, 2002). Cependant Jenkins et collaborateurs (2000) supposent que ce résultat serait le résultat d'une plus grande sensibilité au vieillissement du domaine visuo-spatial que verbal. Dans ce sens, un nombre important d'études a montré un déclin de l'aptitude spatiale avec le vieillissement (voir Van der Linden et Hupet, 1994), ce qui laisse supposer que « l'âge aurait un effet différentiel dans l'une ou l'autre de ces dimensions » (traduit de Bopp et Verhaeghen ; 2007).

Les études s'étant intéressées à l'effet du vieillissement sur la fonction de coordination sont donc relativement contradictoires. Plusieurs facteurs semblent être à l'origine de la divergence des résultats observés dont en particulier les dimensions sur lesquelles porte la tâche. En effet, les études de Belleville et collaborateurs (1998) et Hale et al. (2011) laissent supposer que l'aptitude à pouvoir coordonner la manipulation et le traitement d'informations verbales ne semble pas être affectée par le vieillissement quand le niveau de base des individus ou le ralentissement est contrôlé. En revanche, la capacité de coordination dans le domaine visuo-spatial semble davantage sensible au vieillissement (Hale et al., 2011). Ces observations conduisent à penser que le vieillissement a un impact spécifique sur la capacité de coordination selon le domaine d'étude, rejetant par la même occasion l'hypothèse d'une capacité générale de coordination (Ribaupierre et Ludwig, 2003). La méta-analyse de Bopp et Verhaeghen (2005) portant sur des tâches duelles indique néanmoins un effet de l'âge sur la capacité à pouvoir coordonner des tâches. D'autres facteurs semblent influencer l'observation d'un effet de l'âge et pourraient expliquer la diversité des résultats : la méthode de calcul des coûts employée et la complexité de la tâche. D'une part, selon Somberg et Salthouse (1982), le coût cognitif mesuré varie si le niveau de performance des individus âgés dans les conditions de base est pris en compte. Des coûts supérieurs sont mesurés si le calcul repose sur une différence plutôt que sur un ratio ou des scores résiduels par exemple (Ribaupierre et Ludwig, 2003). D'autre part, la différence de niveau de difficulté des paradigmes semble pouvoir expliquer une part de la diversité des résultats observés (McDowd et Craik, 1988). Quand un traitement contrôlé ou des composantes motrices plus exigeantes sont nécessaires pour la réalisation de la tâche, le déficit qui est observé est plus important qu'en situation de traitement plus automatisé.

2.1.3. Vieillessement et Mise à jour.

La fonction de Mise à jour et son rôle central dans le fonctionnement exécutif (Miyake et al., 2000 ; Friedman et al., 2006) ont suscité de nombreuses recherches explorant l'impact du vieillissement sur cette capacité. D'un point de vue général, malgré la diversité des paradigmes utilisés, un déclin de la capacité de Mise à jour (MAJ) semble être observé lors du vieillissement (Chen et al., 2007 ; Dubus et al., 1997 ; Sorel et Pennequin, 2008 ; Van der Linden, Brédart et Beerten, 1994 ; mais Verhaeghen et Basak, 2005).

L'étude de Van der Linden et associés (1994) est l'une des premières études à avoir analysé la relation existant entre vieillissement et la capacité de MAJ. Les auteurs utilisent la tâche de rappel de Morris et Jones (1990) qui consiste à rappeler les dernières consonnes de listes de consonnes. Ils observent un effet du vieillissement seulement dans les conditions présentant une demande de MAJ suffisamment importante (i.e. rappel de 6 plutôt que 4 consonnes). Ces premiers résultats indiquent que les sujets âgés se révèlent plus sensibles que les jeunes adultes à la longueur des listes d'items présentés. Ainsi, le vieillissement serait associé à une diminution de la CMAJ. Cependant, selon Dubus et al., (1997), certaines variables telles que la taille des listes administrées influencent la performance dans les tâches de MAJ. Dubus et al. (1997) ont étudié les performances des sujets âgés avec une tâche de rappel similaire à celle précédente mais dans laquelle une mesure de l'empan mnésique des individus était ajoutée, afin de contrôler les éventuelles différences interindividuelles d'empan. Dans leur protocole, en fonction de la performance obtenue sur la tâche d'empan, un nombre d'item égal à leur empan moins un item était administré à chaque individu. Un effet du vieillissement est néanmoins observé sur la CMAJ (Dubus et al., 1997). Plus récemment, plusieurs études ont quantifié l'effet du vieillissement sur la CMAJ en contrôlant les facteurs liés à la vitesse (Chen et al. 2007 ; Salthouse et al., 2003 ; Verhaeghen et Basak, 2005 ; Van der Linden et Adam, 2006). Par exemple, Chen et associés (2007) ont analysé la dépendance entre les variables vitesse et MAJ à travers plusieurs tâches mesurant la vitesse de traitement et la mise à jour. Chen et al. (2007) observent que les performances sur les tâches de MAJ sont au moins en partie indépendantes des différences de vitesse liées à l'âge. En opposition avec les résultats précédents, Verhaeghen et Basak (2005) n'observent pas de sensibilité particulière liée à l'âge sur la CMAJ mesurée, après contrôle de la vitesse. Enfin, notons que certaines études ont exploré le lien existant entre la CMAJ et la composante fluide de l'intelligence (Chen et al. 2007 ; Hull et al., 2008 ; Salthouse et al., 2003). Les résultats obtenus indiquent que la CMAJ, indépendamment de la vitesse de traitement, est un facteur ou un médiateur

important de l'intelligence fluide (Chen et al., 2007 ; Hull et al., 2008). La diminution de l'aptitude de MAJ du contenu de la MT pourrait être une fonction responsable de la diminution de l'efficacité de la MT (Hull et al., 2008), « elle se manifesterait particulièrement par la réduction de la capacité à pouvoir maintenir l'intégrité des représentations mentales en compétition » (traduit de Hull et al., 2008, p. 520).

Hormis l'étude de Verhaeghen et Basak (2005), l'impact du vieillissement sur la CMAJ est relativement consensuel. Il apparaît que les capacités de MAJ sont altérées, et que ces déficits ne s'expliquent pas par une diminution de la vitesse de traitement. De plus, les études portant sur l'effet du vieillissement montrent que cette fonction serait susceptible d'être compromise dans les difficultés rencontrées par les personnes âgées.

2.1.4. Vieillesse et flexibilité cognitive

Concernant l'effet de l'âge sur la fonction de flexibilité cognitive, les données sont relativement divergentes. Elles diffèrent d'ailleurs selon la composante mesurée, réactive ou spontanée.

2.1.4.1. Effet du vieillissement sur la flexibilité spontanée

Les études ayant évalué l'effet du vieillissement sur la composante spontanée de la flexibilité cognitive avec des tâches de fluidité verbale n'observent pas de résultats convergents. Un consensus relatif concerne néanmoins les tâches de fluidité sémantique puisque dans une majorité d'études, les personnes âgées produisent moins de mot que les jeunes (Auriacombe Fabrigoule, Lafont, Amieva, Jacquemin-Gadda & Dartigues, 2001 ; Brickman, Paul, Cohen, Williams, MacGregor, Jefferson, Tate, Gunstad, Gordon, 2005 ; Troyer et al., 1997 ; pour un résultat contraire voir Mejia, Pineda, Alvarez et Ardila., 1998). Concernant les performances des personnes âgées aux tâches de fluence phonémique, les résultats sont plus divergents. Certains relèvent une différence de performances entre jeunes et âgés (Auriacombe et al., 2001 ; Brickman et al., 2005 ; la méta-analyse de Loonstra, Tarlow et Sellers, 2001), d'autres non (Bryan et al., 1997⁹ ; Mejia et al., 1998 ; Tomer et Levin, 1993 ; Troyer et al., 1997). Pour certains auteurs (Auriacombe et al., 2001 ; Loonstra et al., 2001), ces résultats contradictoires pourraient être expliqués par des facteurs liés à l'échantillonnage, et à la

⁹ Notons que Bryan et al. (1997) observent un faible déclin de la performance sur une tâche de fluence littérale pour un groupe constitué d'individus âgés de 72 à 95 ans. Ils interprètent ce résultat comme indiquant que la performance aux tâches de fluence phonémique est maintenue avec l'âge, à l'instar d'autres aptitudes verbales.

variabilité interindividuelle observée chez les seniors au niveau de l'aptitude verbale (Boone et al., 1999, cité par Loonstra et al., 2001).

Troyer et associés (1997) se sont intéressés à d'autres critères que celui communément utilisé du nombre de mots produits et ont porté leur attention d'une part, sur les groupes de mots issus d'une même sous-catégorie sémantique ou phonémique, et d'autre part, sur le nombre de changements de catégorie effectués. Ils ont ainsi identifié deux critères de stratégie dans la résolution de ces tâches : le « clustering » consistant à évoquer des éléments d'une même catégorie et qui dépendrait du stock de mots disponibles, et le « switching » référant à un processus stratégique de recherche et de passage d'un regroupement à un autre. L'analyse des productions effectuée par Troyer et al. (1997) révèle que les productions effectuées dans les tâches de fluence sémantique sont fonction du « clustering » et du « switching » alors que celles de fluence phonémique sont reliées au « switching » seulement. Ils observent que les participants âgés produisent moins de mots et de changement de catégorie que les sujets jeunes sur la tâche de fluence sémantique¹⁰. Le fait que les performances sur la tâche de fluidité sémantique soient plus affectées que celles de fluence phonémique (Brickman et al., 2005) peut indiquer que les personnes âgées ont plus de difficulté à trouver de nouvelle catégorie (Bryan et Luszcz, 2000) et suggère donc un déclin de la capacité de recherche stratégique. Notons qu'on a relevé un effet du niveau d'éducation sur la performance des âgés dans les tâches de fluence verbale (Crossley et al., 1997 ; Brickman et al., 2005).

La relation entre le vieillissement et la flexibilité cognitive mesurée par des tâches de génération aléatoire est moins bien documentée. Sur ces tâches, les seniors présentent des performances amoindries comparativement aux sujets jeunes, ce qui laisse supposer un impact négatif de l'âge (par exemple Heuer, Janczyk et Kunde, 2010 ; Van der Linden, Beerten, et Pesenti, 1998). Notons que davantage de réponses stéréotypées sont observées (Fisk et Warr, 1996 ; Heue et al., 2010 ; Van der Linden, Beerten et Pesenti, 1998) suggérant que les âgés présentent des troubles de l'inhibition des réponses « dominantes » (Heuer et al., 2010).

2.1.4.2. Effet du vieillissement sur la flexibilité réactive

De nombreuses études ont rapporté un effet du vieillissement sur la composante réactive de la flexibilité cognitive mesurée par le TMT ou par les tâches de commutation.

Le Trail Making Test (TMT)

¹⁰ Dans la tâche de fluence phonétique, Troyer et al. (1997) observent que les personnes âgées produisent de plus larges regroupements (« clustering »).

Concernant Le TMT classiquement utilisé pour les évaluations cliniques en neuropsychologie, les adultes âgés ont un temps de réalisation plus long que les adultes jeunes dans la condition d'alternance (forme B) du TMT (Hamdam et Hamdam, 2009 ; Periañez, Ríos-Lago, Rodríguez-Sánchez, Adrover-Roig, Sánchez-Cubillo, Crespo-Facorro, Quemada et Barceló, 2007 ; Salthouse et Fristoe, 1995 ; Salthouse, Fristoe et Rhee, 1996 ; Tombaugh, 2004 ; Wecker, Kramer, Wisniewski, Delis et Kaplan, 2000). Cependant pour certains auteurs, l'effet du vieillissement sur certaines composantes non exécutives pourrait être la cause des différences de performances observées (i.e. Salthouse et al., 2000 ; Wecker et al., 2000), et non les processus de contrôle exécutif. Plusieurs chercheurs ont avec différentes méthodes¹¹ essayé de contrôler les facteurs non-exécutifs (vitesse visuelle, vitesse motrice, etc.) impliqués dans la réalisation de la forme B, afin d'extraire la part liée aux processus de contrôle exécutif. Avec la prise en compte de ces facteurs, l'effet du vieillissement observé disparaît (Salthouse et al., 2000 ; Wecker et al., 2000 ; mais Periañez et al., 2007 ; Salthouse, Fristoe et Rhee, 1996). Notons qu'un autre facteur semble également influencer la performance des individus : il s'agit du niveau d'éducation (Hamdam et Hamdam, 2009 ; Tombaugh, 2004). Wecker et ses collègues (2000) se sont intéressés non plus au temps de réponse obtenu mais aux erreurs commises au test. Ces auteurs ont observé un accroissement du taux d'erreur chez les seniors comparés à des adultes jeunes, dans la forme B du TMT. Cependant ce résultat présente une pertinence relative étant donné le faible nombre d'erreurs individuelles commises (rarement supérieur à 1). D'autres études ont comparé l'effet des différences d'âge sur la performance au TMT seulement entre individus âgés (Hashimoto, Meguro, Lee, Kasai, Ishii et Yamaguchi, 2006 ; Rasmusson, Zonderman, Kawas, and Resnick, 1998). Ces études indiquent un déclin des performances chez les plus âgés par rapport à celles des moins âgés, dans une étude transversale (Hashimoto et al., 2006) et dans une étude longitudinale (Rasmusson et al., 1998).

La tâche de commutation

La tâche de commutation est un paradigme couramment utilisé pour mesurer les effets de l'âge sur les processus de flexibilité cognitive. Un nombre important de recherches a été effectué sur ce sujet. Dans ces études un coût de commutation, correspondant au ratio ou à la différence de performance entre tous les essais de l'épreuve de commutation (AABBAA) et ceux des épreuves simples (AAAAA), est calculé. Généralement les coûts de commutation

¹¹ Les méthodes employées pour contrôler les facteurs non-exécutifs sont le calcul de la différence de latence entre les deux conditions (TMT B – TMT A) (Arbuthnott & Frank, 2000), leur ratio (B/A) (Periañez et al., 2007), l'analyse régressive (Wecker et al., 2000) ou l'analyse structurale (Salthouse et al., 2000).

(coût de mixage ou « mixingcosts » pour Los, 1999) relevés chez les personnes âgées sont plus importants que ceux observés chez des adultes jeunes (Cepeda, Kramer et Gonzalez de Sather 2001 ; Kramer et al, 1999, Kray, Eber et Lindenberger, 2004 ; Kray, Li et Lindenberger, 2002 ; Kray et Lindenberger, 2000 ; Mayr 2001 ; Sorel et Pennequin, 2008). Cette différence liée à l'âge a été interprétée comme reflétant le déclin du contrôle exécutif avec le vieillissement (Cepeda et al., 2001) ou des difficultés spécifiques chez les personnes âgées pour inhiber un schéma de réponse non pertinent précédemment exécuté (Hasher et Zacks, 1999). Cependant dans le calcul de ce coût de mixage, différents effets sont confondus. Pour remédier à cette confusion, un certain nombre d'études ont porté leur attention sur des coûts d'alternance distincts et plus facilement interprétables (par exemple, Mayr 2001). Deux coûts, le coût local (spécifique) et le coût global (général), ont été différenciés du coût de mixage usuel. Le premier réfère au coût de commutation proprement dit, il réfère à la capacité d'alternance de plan (ou de schéma) mental. Il est calculé par différence entre les performances des essais de commutation (AABBAA) et celles de répétition (AABBAA) en condition mixée c'est-à-dire, dans l'épreuve de commutation. Le deuxième, le coût global¹² est défini comme étant associé à une situation impliquant une potentielle commutation. Il correspond à la différence de performance entre les essais répétés de l'épreuve de commutation (AABBAA) et ceux des épreuves simples (AAAAA). Ce dernier serait lié à la capacité de maintien actif des représentations des tâches en MT.

Les études qui se sont intéressées aux effets du vieillissement sur la réalisation de tâches de commutation attentionnelle ont généralement relevé peu ou pas d'impact du vieillissement sur le coût de commutation local (Kramer, Hahn, et Gopher, 1999 ; Kray et Lindenberger, 2000 ; Mayr, 2001 ; Mayr et Kliegl, 2000 ; Salthouse, Fristoe, McGuthry, et Hambrick, 1998 ; van Asselen et Ridderinkhof, 2000 ; coût local inférieur chez les personnes âgées voir Kray, 2006). En revanche, une augmentation du coût de commutation global (ou général) chez les adultes âgés comparativement aux adultes jeunes est observé au niveau des latences et de la précision (Cepeda et al. 2001 ; Kray et Lindenberger, 2000 ; Lien et al. 2008 ; Mayr 2001 ; Verhaeghen et al. 2005 ; pour revue voir Verhaeghen et Cerella 2002 ; mais Kray, Li et Lindenberger 2002). De plus, ce coût est proportionnellement supérieur à celui attendu par le ralentissement général (Verhaeghen et al., 2005) et demeure significatif après plusieurs sessions d'entraînement (Kray et Lindenberger, 2000 ; mais Kramer et al., 1999). Ce coût de commutation global supérieur chez les personnes âgées est relativement robuste dans la

¹² Le coût global diffère du coût de mixage puisqu'il exclut du calcul les performances aux essais alternés de la tâche de commutation (AABBAA).

littérature et est associé par certains auteurs au coût de « coordination » supérieur observé chez les individus âgés dans les tâches duelles (Verhaeghen et Cerella, 2002).

Néanmoins, la performance des seniors en comparaison à celle d'individus jeunes semble être différemment affectée selon les paradigmes. Ces résultats doivent donc être interprétés avec prudence. Parmi les facteurs avancés, le chevauchement entre les tâches (Mayr, 2001), la prédictibilité de l'alternance et la présence d'un indice (Kray et al., 2002), ou encore le temps de préparation à l'alternance (Cepeda et al., 2001) sont autant de variables semblant affecter de manière disproportionnée les personnes âgées. Le recouvrement entre les tâches (i.e. quand les tâches présentent des traitements, des stimuli ou des réponses en commun) semble les mettre particulièrement en difficulté. Mayr (2001) a été l'un des premiers à étudier l'effet du chevauchement des stimuli entre les tâches. Le paradigme employé distingue deux types de condition en fonction des propriétés du stimulus : dans une première condition, le stimulus présenté n'est pertinent que pour l'une des deux tâches (stimulus univalent), alors que dans la seconde, les stimuli sont bivalents (i.e. ils sont aussi adaptés aux deux tâches, et donc n'informent pas le sujet du traitement devant être réalisé). Mayr manipule également le recouvrement des réponses par l'utilisation d'un mode de réponse bivalent (i.e. les mêmes réponses sont utilisées dans les deux tâches) vs celle d'un mode de réponse distinct pour chaque tâche (réponse univalente). Les observations effectuées montrent que le coût global est très largement supérieur chez les adultes âgés comparativement aux adultes plus jeunes en situation d'item bivalent et de chevauchement des réponses (et cela malgré la présence d'un indice permettant une certaine préparation). Plusieurs études ont également observé des coûts d'alternance plus importants quand les stimuli sont associés aux deux tâches (stimuli bivalents) en comparaison aux situations dans lesquelles le stimulus est univalent (Lien, Ruthruff et Kuhns, 2006 ; Lien, Ruthruff et Kuhns, 2008 ; Ruthruff, Remington et Johnston, 2001).

La prédictibilité de l'alternance (i.e. l'incertitude quant à la tâche à suivre) semble aussi affecter positivement la performance des personnes âgées. Certaines études indiquent que lorsque la tâche est fortement prévisible, les différences de performance entre jeunes et âgés peuvent disparaître (Kray et al., 2002 ; Verhaeghen et Hoyer, 2007). Kray (2006) constate que la manipulation de la prévisibilité de l'alternance par la présence ou non d'indice, influence le coût d'alternance. Cet auteur observe qu'en situation non indicée, les âgés présentent des coûts d'alternance supérieurs à ceux observés en situation indicée. Selon Kray (2006), l'imprédictibilité de l'alternance (i.e. sans indice) rendrait les individus âgés plus

conservateurs, dans le sens où ils auraient moins tendance à totalement s'engager dans la nouvelle tâche. Ainsi, quand l'alternance est incertaine, les âgés mettraient un biais moins important entre les tâches que les jeunes¹³.

La performance des personnes âgées est aussi influencée par la durée du temps de préparation. Une réduction des coûts d'alternance des adultes âgés est observée avec l'augmentation du temps de préparation pour les tâches indicées et non indicées (Cepeda et al., 2001 ; Kramer et al., 1999 ; Mayr and Liebscher, 2001 ; Meiran et al., 2001 ; Kray, 2006 ; De Jong, 2001 ; Kray and Lindenberger, 2000). Notons que Kramer (1999) manipule parallèlement la prévisibilité et la présence d'indice, et observe une réduction du coût d'alternance chez les adultes âgés en condition prévisible-indicée mais pas en condition prévisible-non indicée.

2.1.5. Effet du vieillissement sur l'inhibition

L'effet du vieillissement sur la capacité d'inhibition a été étudié dans de nombreuses études et sur une grande diversité de tâches. On observe généralement des performances d'inhibition moins efficaces chez la personne âgée que chez l'adulte jeune (par exemple, Hasher et Zacks, 1988 ; McDowd, 1997 ; Treitz, Heyder et Daume 2007 ; Verhaeghen et De Meersman, 1998 ; Wecker et al., 2000).

Plusieurs études portant sur l'amorçage négatif ont mis en évidence une réduction, et même une absence d'effet d'amorçage négatif chez les sujets âgés (McDowd et Oseas-Kreger, 1990)¹⁴. De même, les études portant sur le test du Stroop ont également relevé des performances amoindries indiquant une difficulté pour les personnes âgées à supprimer les réponses sur-appriées (Rouleau et Van der Linden, 2006 ; Rush, Barch et Braver, 2006 ; Sorel et Pennequin, 2008 ; West et Alain, 2000). Ce résultat est interprété comme relevant une sensibilité plus importante à l'interférence chez les personnes âgées. Les études utilisant la tâche de lecture avec distracteurs ont également observé un déclin de cette capacité chez les individus âgés (par exemple, Kim, Hasher, et Zacks, 2007 ; mais Salthouse et al., 2003). Ainsi, en comparaison aux adultes jeunes, le vieillissement semble être accompagné d'une

¹³ Plus généralement des coûts différenciés ont également été observés chez des individus jeunes selon la présence d'un indice ou non : en condition indicée, le coût est observé sur le premier essai de la série, en situation non indicée, le coût est aussi présent sur les suivants (Monsell, 2003).

¹⁴ Notons que l'interprétation des résultats du paradigme de l'amorçage négatif est originale puisque plus la capacité d'inhibition d'un individu est importante, plus l'interférence proactive sera élevée et donc l'amorçage négatif important (McDowd, Oseas-Kreger et Filion, 1995). Par conséquent, paradoxalement, les adultes âgés présentent un ralentissement de leur performance plus faible que de jeunes adultes.

plus grande sensibilité aux stimuli distracteurs de l'environnement. Les études ayant porté sur la tâche d'anti-saccade ont observé que les seniors présentaient plus de difficultés que des adultes jeunes pour lutter contre la capture attentionnelle par un stimulus saillant apparu (Butler et al. 1999, cité par Hasher et al., 2007). Ils auraient donc des difficultés pour restreindre le processus automatique d'orientation attentionnelle (Butler et al. 1999, cité par Hasher et al., 2007). Les adultes âgés produisent également davantage de réponses liées au contexte des phrases dans le test de Hayling (Andrés et Van der Linden, 2000 ; Rouleau et Van der Linden, 2006). Un effet délétère de l'avancée en âge sur le fonctionnement inhibiteur n'a pas été systématiquement rapporté, certains travaux ne retrouvant pas ces résultats. Concernant l'effet d'amorçage négatif, certaines études montrent soit un effet équivalent entre individus jeunes et âgés (Kramer et al., 1994) , soit un effet moins marqué chez les individus âgés (voir méta-analyse de Verhaeghen et De Meersman, 1998). En ce qui concerne l'épreuve du Stroop, les effets d'interférence ne sont également pas toujours observés (Verhaeghen et Cerella, 2002). Plusieurs facteurs semblent pouvoir expliquer ces divergences de résultats comme les stratégies mises en œuvre pour compléter l'exercice ou la diversité des matériels utilisés. Par exemple, selon la version du test de Stroop utilisé, le traitement des stimuli cible peut être facilité par des propriétés perceptives saillantes des stimuli (sa couleur, sa localisation spatiale), qui permettent de réduire l'interférence provoquée par la caractéristique non pertinente (Hasher et al., 1999). Ce genre de différence de matériel et les différences dans les protocoles induiraient (également) une « disparité » quant aux mécanismes inhibiteurs associés. Certaines études ont également observé dans une tâche de lecture avec distraction différente une certaine stabilité des performances entre les adultes âgés et des adultes plus jeunes (Zacks et al., 2008). Zacks et al. (2008) ont utilisé non plus des paragraphes mais juste des phrases et n'ont pas observé de différences, ce qu'ils expliquent par le fait que la distraction apparaît quand le temps de l'intégration et de la compréhension des informations est venu, ce qui n'arrive pas avec des phrases. D'autres études utilisant des tâches d'inhibition telles que le paradigme du « Garden path sentence » (Zacks et al, 2008 ; Rush et al., 2006) ou l'épreuve du Go-nogo (Rush et al., 2006) n'ont pas observé de différences de performance liées à l'âge après la prise en compte du ralentissement.

Friedman et associés (2004) expliquent cette divergence de résultats par le manque de validité de certains outils présumés mesurer certaines fonctions inhibitrices (exemple, la tâche d'amorçage négatif), le manque de fidélité de la mesure de l'inhibition et le fait que les tâches sont relativement impures, mesurant par conséquent toujours d'autres processus. D'autres auteurs postulent que cette hétérogénéité est la conséquence d'un effet du vieillissement

différencié qui affecterait seulement certains mécanismes inhibiteurs (Andrés, Guerrini, Phillips et Perfect, 2008 ; Kramer et al. 1994 ; voir aussi Connelly et Hasher, 1993). L'étude de Kramer et al. (1994) montre que les seniors présentent plus de difficultés que les adultes plus jeunes dans un paradigme stop-signal, mais que les deux groupes présentent des effets d'amorçage négatif et d'inhibition de retour équivalents. Les résultats d'Andrés et collaborateurs (2008) indiquent que les processus inhibiteurs impliqués dans la résolution de tâches comme celles du Stroop ou du « Stop-signal » sont affectés par le vieillissement dans une plus grande mesure que ceux engagés dans des tâches exigeant essentiellement des processus inhibiteurs automatiques (par ex, la tâche d'amorçage négatif). L'étude d'Andrés (2009) expose le fait qu'avec la tâche « part-set cueing » nécessitant l'intervention de mécanismes inhibiteurs automatiques, aucun effet de l'âge n'est observé entre jeunes et âgés. Enfin, d'autres études utilisant des tâches qui requièrent un traitement inhibiteur contrôlé (par ex, le test de Hayling) ont également montré des effets plus consistants du vieillissement sur la performance (Andrés et Van der Linden, 2000 ; Colette, 2009). Selon Andrés et associés (2008) et Kramer et collaborateurs (1994), l'élément principalement responsable de l'inconsistance des effets du vieillissement sur les mécanismes inhibiteurs serait ainsi le niveau de contrôle inhibiteur impliqué dans la tâche. Notons néanmoins que certaines études ont par ailleurs proposé une interprétation différente des difficultés rencontrées sur les tâches demandant un contrôle inhibiteur (Hasher et al., 1999 ; Hasher et Zacks, 1998). Ils supposent qu'un dysfonctionnement des mécanismes qui contrôlent l'accès et le maintien temporaire des informations non pertinente en mémoire de travail serait affecté par le vieillissement (Dempster, 1992 ; Hasher et al., 1999 ; Hasher et Zacks, 1998).

D'un point de vue général, même si l'inhibition semble être une fonction affectée par le vieillissement, les résultats dans la littérature sont trop divergents pour affirmer un effet général du vieillissement sur la fonction inhibitrice. Une tendance semble néanmoins être observée : le vieillissement paraît affecter l'inhibition « exécutive » dans une plus grande mesure que l'inhibition automatique (Kramer 1994 ; Andrés et al., 2008 ; Colette, 2009).

2.1.6. Vieillessement, contrôle attentionnel et métacognition

L'effet du vieillissement sur les fonctions de contrôle métacognitives est à notre connaissance, relativement peu documenté, certaines études ayant pourtant considéré que des

déficits liés à l'âge sont attribuables aux composantes métacognitives (Dempster, 1992 ; Shimamura, 1995). Les études qui se sont intéressées à cet effet, portent principalement sur la relation entre les processus métacognitifs et les processus mnésiques. Plusieurs auteurs ont par exemple suggéré que l'effet du vieillissement sur ces processus métacognitifs médiatiserait les différences de capacité mnésique liées à l'âge (Berry, West, et Dennehey, 1989). La méta-mémoire par exemple, est devenue intéressante de par son rôle possible dans l'explication du déclin de la mémoire épisodique observé avec le vieillissement (Souchay et al., 2004). Certaines études ont examiné l'effet de l'âge sur les composantes de contrôle métacognitif. Murphy, Sander, Gabriesheski et Schmitt (1981) ont étudié l'effet du vieillissement sur la capacité dans une tâche de rappel, à pouvoir ajuster sa stratégie en fonction des contraintes de la tâche et du jugement de son propre apprentissage. Dans ce paradigme, il était indiqué aux sujets de prendre autant de temps que nécessaire pour mémoriser les cibles afin d'assurer un taux de précision de rappel important. Les résultats indiquent que les individus âgés présentent un accroissement des temps de réponse (i.e. suite à l'étape de mémorisation) plus important que les adultes jeunes, à mesure que la difficulté de la tâche augmente. Les auteurs interprètent ce résultat par une moindre efficacité des adultes âgés comparé aux adultes plus jeunes pour ajuster leur temps d'étude aux demandes de la tâche. En complément, il a été demandé aux sujets d'étudier à *voix haute* des jeux d'images plus ou moins complexes. L'analyse des locutions indique que les jeunes adultes comparés aux adultes âgés, ont tendance à davantage utiliser la stratégie de répétition à mesure que la difficulté de la tâche augmente. Ces résultats suggèrent que les adultes âgés présentent une diminution de l'aptitude métacognitive d'attribution de temps supplémentaire pour l'étude de tâche plus difficile (Souchay et Isingrini, 2004).

L'effet du vieillissement sur la capacité de contrôle attentionnel est plus documenté, le contrôle attentionnel étant fortement impliqué dans l'exécution des fonctions exécutives de flexibilité cognitive, de mise à jour ou d'inhibition par exemple. L'effet du vieillissement sur le contrôle attentionnel a été par exemple évoqué comme influençant la résolution des tâches d'alternance. Par exemple, la composante de l'attention exécutive, responsable du maintien des représentations actives en mémoire de travail, est impliquée dans la résolution de la tâche de commutation. Cette composante de l'attention exécutive est évoquée comme pouvant rendre compte des difficultés rencontrées par les personnes âgées pour compléter efficacement ces tâches (Verhaeghen et Basak, 2005). L'hypothèse sous-jacente est que les

personnes âgées auraient plus de difficultés à maintenir suffisamment actives les représentations des différentes sous-tâches. L'attention exécutive serait ainsi la cause des accroissements des coûts globaux observés chez les personnes âgées dans les tâches d'alternance. Certaines études se sont spécifiquement intéressées à l'impact du vieillissement sur la composante de commutation attentionnelle. L'étude des liens entre la commutation du focus attentionnel (CFA) et le vieillissement cognitif est relativement nouvelle (Verhaeghen et Basak, 2005; Verhaeghen et Hoyer, 2007; Verhaeghen, Cerella, Bopp, et Basak, 2005; Van Gerven, Meijer, Prickaerts et Van der Veen, 2008 ; Vaughan et al. 2008), et ce n'est donc que récemment que ce processus a été ajouté à la gamme de mécanismes de contrôle cognitif susceptibles d'être affectés par le vieillissement. Les recherches étudiant l'effet du vieillissement sur le mécanisme de CFA sont dans l'ensemble convergentes. Elles indiquent des coûts de CFA équivalents entre adultes jeunes et âgés au niveau de la vitesse de réponse, une fois le ralentissement général pris en compte (transformation logarithmique). En revanche, un coût de CFA supérieur est observé chez les adultes âgés en comparaison aux adultes jeunes au niveau de la précision sur une tâche de calcul continu (Verhaeghen et Hoyer, 2007) et des versions modifiées du « N-back task » (Verhaeghen et Basak, 2005, Van Gerven et al, 2008). Ce coût peut être expliqué par la défaillance d'un mécanisme de CFA ou bien par l'augmentation de la charge de la MT (Verhaeghen et Basak, 2005). L'étude réalisée par Van Gerven et ses collègues (2008) a permis d'exclure cette seconde hypothèse. Dans la version du N-back task utilisée, une condition diffère : le retour N est égal à 1 et exceptionnellement la cible est constituée d'une paire formée de deux chiffres (au lieu d'un seul chiffre dans les versions traditionnelles). Cette configuration permet de distinguer les effets de CFA de l'augmentation de la charge cognitive confondus dans le N-back task traditionnel. Dans l'étude de Van Gerven et collaborateurs (2008 ; voir également exp 2, Vaughan et collaborateurs, 2008), une paire de stimuli (muni d'un seul chiffre) est utilisée afin d'augmenter « la charge cognitive » en comparaison aux situations avec un seul stimulus. Dans ces conditions, ils n'observent pas d'accroissement disproportionné des coûts de CFA, ce qui exclut que ce coût soit lié à l'augmentation de la charge cognitive. Dans l'étude de Verhaeghen et Hoyer (2007) la tâche utilisée est une tâche de calcul continu dans laquelle sont manipulées la CFA et l'alternance de tâche. Dans cette tâche, une série de nombres à un chiffre est présentée au participant, un par un. La consigne consiste à effectuer un calcul sur la première paire de nombre, taper sa réponse et ensuite combiner cette réponse avec l'item suivant. Les items sont présentés dans une colonne (condition simple) ou deux colonnes (condition duelle) sur un écran. Les règles de calcul sont les suivantes : quand la différence

entre le nombre présenté et le nombre précédent est égale à 2 (par exemple "5" et "7"), le participant tape la moyenne des deux (« 6 ») puis combine ce nombre avec le suivant (la règle du « milieu »). Si la différence entre les nombres est égale à 1 (par exemple « 5 » et « 4 », « 5 » et « 6 »), le participant doit reporter le nombre qui suit cette séquence (soit respectivement « 3 » pour le premier exemple et « 7 » pour le second), puis combine ce nombre avec le chiffre suivant (la règle est dite la règle « haut et bas »). La CFA est manipulée par la présentation de séries qui suivent une seule règle (condition simple sans CFA) ou deux séries (condition duelle, avec CFA). L'alternance de tâche est également manipulée par la création de séries de nombres qui nécessitent l'application d'une seule règle (« condition pure ») et de séries dites mélangées (« condition *mixée*»). L'étude de Verhaeghen et Hoyer (2007) corrobore les résultats de van Gerven et collaborateurs (2008). En revanche dans une autre étude, van Gerven et associés (2007) observent que des adultes dont l'âge moyen est de 56 ans, présentent également une diminution de la précision dans le N-back task. Ce résultat laisse supposer une diminution liée à l'âge de l'aptitude de CFA relativement précoce.

Plusieurs interprétations ont été apportées concernant l'origine du coût de CFA. Vaughan et al., (2008) distinguent deux facteurs sous-jacents du mécanisme de CFA : l'accessibilité et la disponibilité des informations. Ils argumentent en faveur de l'hypothèse d'une correspondance entre d'une part, précision et disponibilité, et d'autre part, temps de réponse et accessibilité. Les auteurs supposent que les personnes âgées gardent une bonne accessibilité aux informations hors du focus attentionnel mais en revanche une disponibilité diminuée. Ce serait donc plus spécifiquement la disponibilité des informations qui ferait défaut chez les personnes âgées en comparaison à leur accessibilité. Van Gerven et al. (2008) proposent une explication moins abstraite sur l'origine des erreurs : la cause d'une erreur serait la perte d'un item hors du focus attentionnel. Celle-ci serait provoquée par l'interférence entre les items. La sensibilité accrue à l'interférence observée chez les personnes âgées, serait ainsi à l'origine de la diminution du coût de CFA. Une autre hypothèse explicative de Van Gerven et al., (2008) est qu'avec le vieillissement, les items déclinent plus rapidement quand ils sont stockés à l'extérieur du focus attentionnel.

2.2. Hypothèses explicatives avancées

De nombreuses hypothèses explicatives ont tenté de rendre compte -de manière plus ou moins plausible- des anomalies cognitives observées chez les individus âgés. De par l'observation

des corrélations entre ces anomalies de nombreux chercheurs ont supposé qu'un facteur relativement général de la cognition pouvait être à l'origine des troubles observés (par exemple, Cerella, 1990 ; Hasher et Zacks, 1988 ; Salthouse, 1996). Ils ont tout d'abord postulé qu'une diminution des ressources de traitement, que ce soit en termes de rapidité de traitement ou de diminution des ressources attentionnelles (Birren, 1965 ; Craik et Byrd, 1982 ; Salthouse, 1996), pouvait rendre compte d'au moins une grande partie –si ce n'est la totalité- des anomalies observées. Cependant, l'examen plus fin des effets observés dans les tâches mesurant les fonctions exécutives de coordination (par exemple, Mayr et Kliegl, 1993), de commutation de tâche (par exemple, Mayr et al. , 2001) ou d'inhibition (par exemple, Hasher et Zacks, 1988), ont mis en exergue l'hétérogénéité des anomalies liées au vieillissement, ce qui rendait peu probable l'explication de l'ensemble des troubles par un seul facteur général. D'autres hypothèses sur l'origine des anomalies observées ont elles postulé plus spécifiquement un déclin d'aptitudes spécifiques associées aux processus exécutifs.

Dans cette partie nous décrivons tout d'abord, les différentes théories issues de la psychologie cognitive qui visent à expliquer le vieillissement cognitif. Nous rappelons ensuite certaines hypothèses en provenance de la neuropsychologie et susceptibles d'éclairer les observations effectuées chez la personne âgée.

2.2.1. La diminution des ressources de traitement

Une première explication du vieillissement cognitif consiste en une diminution des ressources générales de traitement des personnes âgées. Cette hypothèse est basée sur le constat de nombreux troubles du fonctionnement cognitif associés au vieillissement et l'observation de corrélation entre ces anomalies (Lindenberger et Baltes, 1994 ; Verhaeghen et Salthouse, 1997) qui suggèrent qu'un nombre relativement limité de facteurs puisse rendre compte des différences liées à l'âge. Plusieurs hypothèses ont été avancées : une diminution de la vitesse de traitement et une diminution des ressources attentionnelles.

2.2.1.1. La diminution de la vitesse de traitement (Salthouse, 1996)

L'une des plus importantes hypothèses visant à expliquer les troubles occasionnés par le vieillissement est celle de Salthouse (1996). Elle suppose que l'on peut expliquer une grande part des différences de performances entre individus jeunes et âgés par une diminution de la

vitesse de traitement. A la suite des travaux de Salthouse (Salthouse, 1996), le ralentissement de la vitesse de traitement constitue un des mécanismes associés au vieillissement, qui est supposé être en partie responsable des différences de performances observées chez l'individu âgé. Le rôle explicatif de la vitesse de traitement pour rendre compte des différences cognitives observées lors du vieillissement cognitif est basé sur le constat biologique d'un ralentissement général de la vitesse de transmission neuronale. L'idée derrière ce ralentissement de la vitesse avec l'âge est que ce phénomène résulterait en une diminution générale des performances cognitives sur l'ensemble des épreuves cognitives, des plus simples aux plus complexes. Selon cette théorie, non seulement le traitement des tâches simples est plus lent mais, le ralentissement affecterait également les tâches plus complexes en limitant d'une part, le temps passé sur certains processus pouvant être essentiels pour le traitement et d'autre part, la quantité d'information pouvant être disponible et traitée (Salthouse, 1996). Une diminution de la vitesse de traitement résulterait en une diminution des performances cognitives, les opérations cognitives seraient exécutées trop lentement pour pouvoir être effectuées en un temps donné ou de manière insuffisante pour pouvoir être efficaces. Certains résultats s'avèrent confirmer cette hypothèse. Le ralentissement général expliquerait une large proportion de la variance liée à l'âge pour des tâches de haut niveau cognitif (par exemple, Duverne et Lemaire, 2004). Cependant la part explicative de ce phénomène est très largement discutée. Le débat porte sur l'importance jouée par le ralentissement sur les performances cognitives en général. D'une part, la vitesse de traitement de l'information peut être considérée comme un aspect de fonctionnement cognitif qui est détérioré comme d'autres processus cognitifs le sont. Selon cette conception, le ralentissement de la vitesse de traitement ne serait que partiellement responsable des différences d'aptitudes observées entre jeunes et âgés. D'autres aptitudes seraient dès lors envisagées comme étant en déclin ou amoindries, ce qui expliquerait la diminution des performances des personnes âgées sur ces tâches. Selon le second point de vue, la vitesse de traitement est perçue comme une variable plus fondamentale qui pourrait expliquer une part importante des changements observés avec le vieillissement. Etant impliquée dans l'ensemble des mécanismes de traitement, elle serait ainsi pour une grande part responsable des différences d'efficacité des fonctions cognitives de haut niveau. Pour de nombreux chercheurs, malgré la vraisemblance du fait que la vitesse de traitement puisse expliquer l'ensemble des performances, il semble que ce phénomène ne puisse expliquer l'ensemble des déficits évalués chez la personne âgée en particulier lorsque les tâches sont plus complexes (Mayr et Kliegl, 1993 ; Kliegl et al., 1994). Cette théorie a néanmoins été adoptée par certains

auteurs, comme représentant l'hypothèse nulle pour expliquer les différences liées à l'âge sur les tâches cognitives (e.g. Cerella, 1990).

2.2.1.2. La diminution des ressources attentionnelles

L'hypothèse d'une diminution des ressources attentionnelles (Craik et Byrd, 1982) est également fortement répandue dans la littérature. Elle suppose que les différences de performance observées chez les individus âgés seraient causées par une réduction des ressources attentionnelles disponibles (Craik et Byrd, 1982) et que cette diminution rendrait les traitements moins efficaces. Cette hypothèse a été au fur et à mesure associée à l'hypothèse d'une diminution, associée au vieillissement, de la capacité de la mémoire de travail (CMT).

De nombreux chercheurs postulent que la CMT est à l'origine des différences interindividuelles de performance liées au vieillissement (Hasher and Zacks, 1988 ; Hasher et al., 1999 ; Oberauer et Kliegl, 2001), une grande part des anomalies de contrôle cognitif étant associées à une baisse de la CMT. Cette hypothèse a tout d'abord été soutenue par l'observation de différences liées à l'âge dans les tâches d'empan complexes comme dans les tâches d'empan de lecture ou d'opération (par exemple, Bopp et Verhaeghen, 2005 ; Verhaeghen et Salthouse, 1997). Ensuite, elle a également été soutenue par les études portant sur les fonctions complexes associées à la CMT. Par exemple, les études ayant porté sur la fonction de coordination, que ce soit du point de vue de la capacité à pouvoir coordonner un traitement et le stockage des informations (Mayr et Kliegl, 1993), soutiennent cette hypothèse. Enfin, les études ayant analysé les relations entre la MT et certaines aptitudes ont montré que la MT était par exemple un médiateur des relations entre l'âge et le raisonnement (Salthouse, 1991) ou qu'elle présentait de fortes relations avec l'intelligence fluide (par exemple, Conway et al., 2002 ; Engle, Kane et Tuholski, 1999). Cet aspect central et général de la MT a contribué à maintenir l'hypothèse d'une diminution de la CMT comme une explication vraisemblable des effets du vieillissement cognitif. D'autres explications partagent l'idée que les différences interindividuelles de CMT reflètent des différences interindividuelles de traitement attentionnel. Les mécanismes évoqués pour rendre compte de ces différences restent néanmoins très différents selon les auteurs (par exemple, Hasher et Zacks, 1988 ; Park et al., 2002).

2.2.2. Hypothèse d'un déclin différencié des processus de contrôle cognitif.

L'idée que le vieillissement puisse être associé à une diminution de l'efficacité de processus de contrôle cognitif a une longue histoire dans l'étude du vieillissement cognitif (Braver et al., 2001 ; Hasher and Zacks, 1979 ; West, 1996). Plusieurs hypothèses, que nous rappellerons dans cette partie, font du déclin des fonctions exécutives la cause essentielle des anomalies cognitives observées avec le vieillissement. Deux hypothèses principales sont le déclin des mécanismes attentionnels d'inhibition et celui de l'attention exécutive. L'hypothèse d'une diminution de la capacité de maintien des buts est également fréquemment évoquée.

2.2.2.1. Atteinte des processus inhibiteurs

Hasher et Zacks (1988) ont été parmi les premiers à postuler un déclin de l'efficacité des mécanismes inhibiteurs avec le vieillissement. Selon Hasher et Zacks (1988), les processus inhibiteurs jouent un rôle central dans la préservation du contenu de la MT, par le contrôle de l'accès et le maintien des informations pertinentes en MT. Avec le vieillissement, le dysfonctionnement de ces mécanismes aurait pour effet un encombrement de la MT par des informations non pertinentes qui perturberaient l'exécution de la tâche en cours ou limiteraient la CMT. Leur hypothèse suppose que le vieillissement serait associé à un trouble de la fonction inhibitrice¹⁵. Ce trouble aurait indirectement pour effet une diminution de l'efficacité de la MT. Cette hypothèse a été supportée par un nombre important de travaux dans lesquels les sujets âgés semblaient manifester un déficit des processus inhibiteurs (par exemple, Hasher et Zacks, 1988 ; Treitz 2007 ; Wecker et al., 2000). Néanmoins certaines études indiquent des résultats contradictoires (Kramer et al., 1994 ; Verhaeghen et Cerella, 2002). L'hypothèse d'un déclin général de la fonction d'inhibition lié à l'âge d'Hasher et Zacks (1988), semble donc à nuancer.

Une explication de la divergence des résultats observés, est apportée par Andrés et associés (2008). Ces auteurs ont tenté de capter les facteurs responsables de l'effet différencié du vieillissement sur les mécanismes inhibiteurs en se basant sur la distinction apportée par Nigg (2000) entre les concepts d'inhibition exécutive et automatique. Selon Nigg (2000 ; voir aussi Friedman et Miyake, 2004 ; Harnishfeger, 1995), en fonction du contrôle exécutif exigé, les

¹⁵ Hasher et al., (2007) considèrent aussi que le rythme circadien serait également un facteur qui amplifierait les difficultés rencontrées par les personnes âgées.

tâches d'inhibition varient d'une inhibition très automatique à une suppression très contrôlée. L'idée d'Andrés et al. (2008) est la suivante : les mécanismes inhibiteurs qui demandent un contrôle exécutif important -comme interdire délibérément des réponses ou des stimuli dominants par exemple- seraient plus sensibles au vieillissement que les mécanismes inhibiteurs automatiques. Certains travaux présentent des résultats allant dans le sens de cette hypothèse (Andrés, 2009 ; Andrés et al., 2008 ; Kramer et al., 1994 ; Collette, 2009).

Récemment, Hasher et collaborateurs (2007) ont repris leur théorie et ont supposé que le vieillissement affecterait spécifiquement la fonction d'accès des représentations en MT. Ils présument que les difficultés rencontrées par les seniors sur les tâches à forte demande en MT seraient les conséquences d'échec d'inhibition des représentations non pertinentes dont ils n'ont plus besoin et qui encombrant la MT. Par cette « nouvelle » théorie, ils suggèrent que le déclin des performances des individus âgés serait lié plus particulièrement à la fonction d'accès des représentations dans le focus attentionnel, responsable de la suppression de l'information distractive (Hasher et al., 1999, 2007). Le mécanisme sous-jacent qui expliquerait le déclin des performances des personnes âgées est la fonction d'accès (qui a pour fonction spécifique d'empêcher l'accès de l'information distractive dans le focus attentionnel) qui devient avec l'avancée en âge moins efficace, laissant davantage d'informations non pertinentes être traitées (Hasher et Zacks, 1988 ; Darowski et al., 2008). La présence de ces informations auraient pour conséquences d'augmenter la masse d'information présente en MT, elle serait ainsi davantage occupée et le traitement effectué probablement moins efficace, ce qui résulterait en un déclin des performances (Lustig, May, et Hasher, 2001).

Pour conforter leur thèse, Hasher et Zacks (2007) s'appuient sur le fait que la fonction d'accès est une fonction impliquée dans de nombreuses tâches cognitives. En effet, selon eux de nombreux paradigmes présentent des conditions dans lesquelles des stimuli ou des informations ne sont pas pertinentes pour la tâche en cours et interfèrent avec le traitement. Dans ce genre de paradigme, alors que l'hypothèse d'une diminution de la vitesse de traitement est souvent l'hypothèse soutenue pour expliquer les différences liées à l'âge (Salthouse 1996), un déclin de l'efficacité de la fonction d'accès pourrait également l'expliquer. Cette hypothèse est soutenue par de nombreuses études montrant que les processus cognitifs des personnes âgées sont influencés davantage que ceux de jeunes adultes par les informations qui ne sont pas (ou plus) appropriées (Stoltzfus, Hasher et Zacks, 1996). Elle est également secondée par l'hypothèse d'une sensibilité accrue des seniors à

l'interférence (Lustig, May et Hasher, 2001). La théorie de Hasher et collaborateurs (2007) suppose ainsi que la fonction d'accès qui détermine l'aptitude à pouvoir rester uniquement focalisé sur les items pertinents serait moins efficiente chez les personnes âgées. Ce déclin aurait pour résultat une plus grande propension à être perturbé par les informations non pertinentes de l'environnement (Lustig, May et Hasher, 2001).

Notons cependant que selon Hasher et collaborateurs, cette fonction ne serait pas uniquement la source des différences de performances observées entre âgés et jeunes, mais serait une source importante des variations de performances entre très jeunes, jeunes et âgés. Celle-ci n'exclut donc pas l'hypothèse d'Andrés et collaborateurs (2008) d'une sensibilité accrue des processus inhibiteurs contrôlés avec le vieillissement.

2.2.2.2. Atteinte de l'attention exécutive

Une autre explication porte sur la composante d'attention exécutive du contrôle attentionnel. Pour Engle et associés (2004 ; Kane et al., 2007), les différences de capacité de la MT et plus particulièrement de la variable latente d'attention exécutive rendraient compte des différences de performances interindividuelles observées dans de nombreuses tâches de nature attentionnelle (Kane et al. 2004). Selon cette théorie, la quantité de ressources attentionnelles disponible est à la base de la capacité limitée de la MT. Par exemple, un sujet capable de mobiliser efficacement ses processus attentionnels, activerait et traiterait en MT une quantité d'informations plus importante. Engle et al. (1999) suggèrent que le lien entre la MT et la composante fluide de l'intelligence est la demande en contrôle attentionnel pour maintenir les informations relatives au but de la tâche face à l'interférence produite par les représentations concurrentes ou à la distraction. Selon cette idée, l'effet du vieillissement sur la fonction d'attention exécutive se traduirait par une diminution de la CMT et de la capacité à pouvoir gérer l'interférence. L'attention exécutive permettrait de contenir l'interférence par le maintien actif des représentations pertinentes du contexte (e.g. les représentations de buts) et l'utilisation de ces représentations actives pour contrôler les informations contextuellement inappropriées (Braver et al., 2007). A l'inverse, un échec de ce mécanisme peut être perçu comme un échec de la capacité de maintien de but aussi appelé négligence de but (Braver et Barch, 2002 ; Braver et al., 2001, Paxton, Barch, Racine et Braver., 2008 ; Braver et al., 2008). Compte tenu des différences de performances interindividuelles observées dans divers aspects de la cognition, dont l'intelligence fluide. Cette attention exécutive est envisagée comme étant la principale source des différences de performances observées sur les tâches

cognitives, elle expliquerait également les différences de CMT observées chez les âgés (par exemple, Kane et al., 2007). Kane et associés (2007) appuient cette théorie sur les études réalisées par différents chercheurs sur les relations existant entre les performances aux tâches de MCT, MT et de raisonnement (Conway et al., 2002 ; Kane et al., 2004 ; Unsworth et Engle, 2006). De plus, des études portant sur les différences interindividuelles ont démontré que la CMT, l'intelligence fluide et les performances observées sur une vaste gamme de tâches de contrôle exécutives sont médiatisées par le construit de l'attention exécutive (par exemple, Kane et al., 2004). Enfin, elle est la composante de la MT mesurée par les tâches d'empan de MT, qui n'est pas médiatisé par la capacité de stockage de la MCT (Engle, Tuholski, Laughlin et Conway, 1999 ; Kane et Engle, 2002). Les différences interindividuelles de MT reflèteraient ainsi principalement les variations de la fonction d'attention exécutive (par exemple, Conway et al., 2002).

2.2.2.3. La négligence de but

Les difficultés rencontrées par les personnes âgées dans les tâches présentant une certaine interférence peuvent aussi s'expliquer par un déclin de la fonction exécutive chargée du maintien actif au cours du temps des informations relatives au but (Braver et Barch, 2002 ; Braver et al., 2001). Le maintien du but et des informations aurait un rôle majeur dans la performance que ce soit pour les tâches de MT, d'attention ou d'inhibition (Paxton et al., 2007). Un trouble du maintien des représentations des buts aurait pour conséquence une diminution des performances dans les tâches cognitives qui présentent des contextes interférents. Cette hypothèse est soutenue par les études portant sur la tâche AX-CPT (« AX version of the Continuous Performance Test », Braver et al., 2001).

Dans cette tâche, on présente au sujet une série continue de stimuli constitués d'une seule lettre, parmi lesquels sont différenciés les indices (« A » ou « B ») et les cibles (« X » ou « Y »). Il est demandé au participant de répondre par la réponse « cible » quand la lettre « X » est présentée mais seulement si elle suit un indice « A » ; une réponse « non cible » devant être émise avec toute autre paire indice-lettre (les autres paires étant les conditions « AY », « BX » et « BY »). En condition BX, les informations contextuelles doivent être utilisées pour inhiber la tendance dominante, alors qu'en situation AY les informations contextuelles servent de « biais attentionnel » (traduit de Braver et al., 2007). Les performances des individus âgés sur cette tâche sont moins précises et plus lentes sur les essais « BX » comparées à des jeunes adultes, or c'est dans cette condition que la représentation de but doit

être préservée pour éviter les erreurs (Paxton et al, 2007). Ces résultats supportent donc l'idée selon laquelle le vieillissement serait associé à une diminution de la capacité de maintien des représentations de buts actives en condition d'interférence (Paxton et al, 2007 ; Braver et al., 2008).

Le maintien des représentations des buts liés au contexte étant central pour produire des comportements contrôlés, une diminution de son efficacité a également des conséquences en termes de capacité à initier des stratégies et des modes de fonctionnements contrôlés. Cette hypothèse conjugue ainsi un aspect de stockage (en MT) causé par le déclin de la capacité de maintien de but, et indirectement de contrôle (Paxton et al, 2007). Cette théorie se rapproche aussi des théories du traitement de contexte (Braver et Cohen, 2001) et de la théorie d'activation guidée (Miller et Cohen, 2001 ; cité par Braver et al., 2008). Enfin, elle est soutenue par les études et théories d'imagerie cérébrale qui supposent que la détérioration du cortex préfrontal (PFC) est à l'origine des changements fonctionnels cérébraux liés à l'âge, cette aire étant particulièrement affectée par le vieillissement (voir Buckner, 2004 ; Braver et al., 2008).

2.2.3. Apports de la neuropsychologie

La neuropsychologie a fourni plusieurs hypothèses explicatives des anomalies relevées chez les seniors. Celles-ci se basent sur les résultats d'un grand nombre d'études comportementales démontrant des diminutions de performance significatives chez les personnes âgées sur des tâches expérimentales ou neuropsychologiques telles que le WCST ou l'AX-CPT. Ces hypothèses ont été également soutenues par le développement de l'imagerie cérébrale et l'analyse de zones cérébrales activées lors de la résolution de ces tâches. Les hypothèses dominantes ou les plus pertinentes pour notre travail sont décrites dans cette section.

2.2.3.1. L'hypothèse frontale

L'hypothèse frontale est la plus connue. Selon cette hypothèse, les fonctions qui sont sous la dépendance du cortex frontal seraient les premières affectées par le vieillissement (West, 1996). Cette hypothèse est basée sur le constat de changements importants dans le cortex associés au vieillissement tels que la perte de densité dendritique et synaptique, ou la diminution des neurotransmetteurs dopaminergiques (par ex, Resnick et al., 2003 ; Treitz 2007). De nombreuses études rapportent également la perte de volume disproportionnée dans les lobes frontaux (Lemaire et Bherer, 2005). L'hypothèse frontale repose également sur des

arguments psychométriques. De nombreuses études utilisant de larges batteries de tests ont mis en évidence des déficits plus marqués dans les tâches de mémoire de travail ou demandant du contrôle. Une diminution des performances avec l'âge a été mise en évidence dans un grand nombre de tâches évaluant les fonctions cognitives de haut niveau que ce soit celles concernant les processus d'inhibition (Hasher et Zacks, 1988), la MT (Salthouse, 1991), le maintien actif de représentations de buts (Paxton, 2007, Braver et al., 2001) ou le rappel en mémoire épisodique (Craik et al., 1992). Les explications des différences d'âge dans les tâches cognitives complexes (par exemple, Balota et al., 1999 ; West, 1996, 2000) suggèrent que les différences de performances observées entre âgés et adultes jeunes sont liées au dysfonctionnement du lobe frontal (Braver et al., 2007).

Bien que le lobe frontal demeure théoriquement la zone du SAS de Norman et Shallice (1986), aujourd'hui, de nombreuses recherches ont montré que l'exécution de fonctions exécutives n'était pas sous la dépendance unique du lobe frontal mais que d'autres zones intervenaient par exemple la zone préfrontale (PFC) et le corps calleux (ACC).

2.2.3.2. Hypothèses de dédifférenciation et de compensation.

L'hypothèse de dé-différenciation (Antsey, Hofer, et Luszcz, 2003) porte sur la compréhension de l'évolution de la répartition des fonctions cérébrales avec le vieillissement. Selon cette hypothèse, le vieillissement serait associé à des changements anatomiques (dégénérescence neuronale ou diminution du volume) de certaines zones cérébrales ayant pour conséquence la diminution de certaines aptitudes spécifiques. Pour compenser ces modifications, l'hypothèse de dédifférenciation suppose qu'une réorganisation du cerveau serait réalisée de manière adaptative. Cette réorganisation consisterait en l'utilisation de fonctions cérébrales ou des processus cognitifs non utilisés en situation identique par des adultes jeunes. Cette hypothèse s'inspire des analyses en neuro-imagerie fonctionnelle qui ont observé l'activation de zones cérébrales différentes chez les adultes âgés comparé aux adultes jeunes lors de la résolution de la même tâche (Reuter-Lorenz et al., 2000). Dans l'étude de Reuter-Lorenz et al. (2000), un groupe d'adultes âgés et un groupe d'adultes jeunes ont complété des épreuves de mémoire à court terme. Les résultats des passations indiquent un pattern d'activation bilatéral au sein du cortex préfrontal (PFC) pour les sujets âgés alors que les sujets jeunes montrent une activation préfrontale exclusivement latérale (Collette, 2007). De tels résultats ont également été observés par Cabeza, Nyberg et Park (2005) sur des tâches

de MT verbales ou spatiales. Ainsi, une latéralisation des zones d'activation est constatée dans de nombreuses tâches chez l'adulte jeune, alors que les adultes âgés présentent une activation bilatérale des régions frontales (Cabeza, Nyberg et Park, 2005). La réorganisation adaptative résulte ainsi en une diminution de la latéralisation des fonctions, et par le recours à des régions supplémentaires ou plus étendues que celles reportées chez les jeunes adultes (Cabeza, Nyberg et Park, 2005).

Une hypothèse alternative et concurrente est celle de réserve cognitive (Stern, 2002). Selon cette hypothèse, les seniors utiliseraient des zones cérébrales supplémentaires pour compenser la diminution de l'efficacité d'autres aires cérébrales. La diminution de l'asymétrie fonctionnelle observée dans l'étude de Reuter-Lorenz et al. (2000) semble donc pouvoir être également interprétée comme un mécanisme compensatoire. Certaines études ont tenté de dissocier ces deux hypothèses en fonction de la performance des individus (Cabeza, 2002). Selon l'hypothèse de compensation, la réduction de l'asymétrie serait observée chez les individus présentant de bonnes performances, alors que selon l'hypothèse de différenciation, la réorganisation devrait intervenir chez les individus ayant de faibles performances (Collette, 2007). Les résultats sont en faveur de l'hypothèse de compensation. Les individus à faible performance utilisent le même réseau cérébral (mais moins efficacement) que les adultes jeunes, alors que cette activité est bilatérale chez les sujets âgés qui présentent des performances comparables à celle des adultes jeunes (Cabeza, 2002).

2.2.3.3. Des mécanismes duels de contrôle cognitif

Braver et al. (2007) ont fait l'hypothèse d'une dualité des mécanismes de contrôle cognitif (« *dual mechanism control* », DMC). Selon cette hypothèse, le contrôle cognitif est sous la dépendance de deux mécanismes de contrôle, le contrôle proactif et le contrôle réactif. Le contrôle proactif réfère à la capacité de maintien des représentations de but et aux biais descendants pouvant être engagés pour diriger les processus attentionnels et les actions devant être réalisées. Ce contrôle est engagé généralement par anticipation préalablement à la survenue d'un événement. Le contrôle réactif est lui davantage engagé après l'apparition de l'événement décisif. Avant cet événement, il demeure relativement inchangé et est davantage influencé par le contexte de manière ascendante. Il serait seulement réquisitionné en cas de nécessité. Le contrôle réactif serait transitoire et déclinerait rapidement alors que le contrôle proactif serait lui plus soutenu.

Selon ces auteurs, ces mécanismes duels expliqueraient les variations de la MT mais également les différences de performances observées chez les personnes âgées dans les tâches interférentes telles que le Stroop ou la tâche d'alternance (Braver et al., 2008). Cette théorie soutient en particulier l'hypothèse d'un déclin de la capacité de maintien des représentations de buts chez les personnes âgées (Braver et Barch, 2002 ; Braver et al., 2001 ; Paxton 2007 ; Braver et al., 2008). Selon cette hypothèse, le vieillissement serait associé à un déclin de la capacité de contrôle proactif qui serait lui-même causé par le déclin lié à l'âge du PFC (cortex préfrontal) latéral et du système dopaminergique (DA). Selon Braver et al. (2008), le PFC latéral aurait un rôle primordial dans le contrôle cognitif puisqu'il permettrait la représentation et le maintien actif des informations contextuelles¹⁶, et le DA serait chargé de réguler le maintien actif des représentations (ainsi que leur mise à jour) dans le PFC. Le DA permettrait l'entrée d'information dans le PFC (« gating »), de sorte que seules les informations contextuelles pertinentes de la tâche soient activement maintenues. La réduction du potentiel du PFC et du DA résulterait en une diminution spécifique de la capacité à pouvoir activement représenter et maintenir dans le temps les informations relatives au contexte chez les seniors (Braver et Barch, 2002 ; Braver et al., 2001 ; Braver, 2008). Cette hypothèse est soutenue par les résultats obtenus dans l'étude de Braver et associés (2001, 2002) portant sur l'AX-CPT (voir partie « négligence de but »).

Conclusion

Les effets du vieillissement présentent une certaine hétérogénéité du point de vue des anomalies cognitives observées au niveau des processus de contrôle exécutif. Les hypothèses mises en avant dans cette partie expliquent l'origine de ces anomalies par la diminution des ressources de traitement ou bien par l'atteinte spécifique de certains processus ou fonctions exécutives. Ces hypothèses ne s'excluant pas mutuellement, la part explicative des différentes hypothèses est ignorée. Nous présentons dans la partie suivante le travail expérimental et celui de modélisation que nous avons réalisés afin d'éclairer certaines des questions évoquées précédemment.

¹⁶ Le « contexte » est ici défini comme étant les informations pertinentes de la tâche. Elles constituent les représentations internes qui peuvent orienter le traitement pour compléter la tâche. D'une certaine manière les représentations du contexte sont similaires aux représentations de but (voir Norman et Shallice, 1986).

Partie 2 - Etudes expérimentales, modélisation et simulations

Cette partie présente le travail expérimental et le travail de modélisation réalisé pour essayer de mieux comprendre quels sont les effets du vieillissement sur les processus de contrôle attentionnel mis en jeu dans les tâches d'alternance. Dans ce but, deux tâches de commutation ont d'abord été administrées à des personnes jeunes et âgées. Nous avons ensuite cherché à modéliser à l'aide de l'architecture cognitive ACT-R le fonctionnement cognitif sous-tendant la réalisation de chaque tâche. Nous décrirons d'abord l'architecture cognitive ACT-R puis présenterons les deux études expérimentales dans lesquelles une tâche d'alternance a été administrée à des participants jeunes et âgés..

1. L'architecture cognitive ACT-R

Le travail de simulation présenté dans ce document est réalisé avec l'architecture cognitive ACT-R 6.0¹⁷. Nous décrirons dans cette section, après une courte introduction sur l'architecture ACT-R, les principes de base de cette architecture, ses principaux éléments et les mécanismes sous-jacents (Anderson et Lebiere, 1998 ; Anderson, 2007).

1.1. Introduction

ACT-R (« Atomic Component of Thought – Rational » ; Anderson, 2007) est une architecture cognitive qui simule le fonctionnement cognitif de l'individu. Pour Anderson, « une architecture cognitive est une spécification de la structure du cerveau à un certain niveau d'abstraction qui permet d'expliquer comment se réalise la cognition » (traduit de Anderson, 2007, p.7). L'architecture ACT-R peut être considérée comme une implémentation, dans un système complexe, des mécanismes et structures cognitives impliqués dans le traitement de

¹⁷ <http://act-r.psy.cmu.edu/>.

l'information, et dont les échanges et interactions simulent l'émergence de la cognition. Les mécanismes et structures implémentés dans l'architecture ACT-R sont basés sur une théorie unifiée de la cognition humaine générale issue de la psychologie expérimentale (Anderson et Lebiere, 1998 ; voir pour des théories alternatives SOAR proposé par Newell 1990, EPIC proposé par Meyer et Kieras, 1997 ; 3CAPS par Just et Carpenter, 1992). Cette théorie a été développée par Anderson (1976 ; 1983 ; 1990 ; 1993 ; Anderson et Liebere 1998) et élaborée à partir d'une théorie appelée Mémoire Associative Humaine (HAM, Anderson et Bower, 1973). La théorie ACT a ensuite évolué par reformulations successives (ACTE, ACTF, ACT*, ACT-R 4.0, ACT-R 5.0) dont la dernière version ACT-R 6.0 est la plus récente¹⁸.

La théorie ACT est une théorie unifiée qui tente de rendre compte d'un nombre maximal de phénomènes cognitifs avec un nombre minimal de postulats. L'idée directrice est que plusieurs principes généraux gouvernent le fonctionnement cognitif humain et qu'ils sont à la base d'une grande part des activités humaines. La modélisation des principes théoriques sous-tendant l'activité cognitive dans un système unifié cohérent, permettrait d'explorer et de mieux comprendre le fonctionnement de l'individu. L'architecture ACT-R a permis de simuler le traitement d'un grand nombre de tâches (tâche de mémorisation, test Stroop, test de la tour de Hanoi, tests arithmétiques, tests d'interface homme-machine ou le pilotage d'avion et de voiture par exemple) mais également des modèles d'apprentissage, de perception, d'attention ou de résolution de problèmes par exemple. Pour chaque type de tâche, les modèles sont programmés en « langage » ACT-R et suivent la théorie ACT-R tout en intégrant leurs propres postulats théoriques concernant la réalisation de la tâche. Chaque modèle créé incorpore ainsi des éléments généraux d'ACT-R et des hypothèses relatives au domaine de recherche. Les simulations effectuées à partir du modèle implémenté par le chercheur sont généralement comparées à des observations empiriques par exemple des performances d'individus sur une tâche donnée (temps de réaction, précision), des variables qualitatives telles que les stratégies utilisées ou plus récemment des données neurologiques issues d'IRMf (Anderson, Fincham, Qin et Stocco, 2008). La comparaison des performances empiriques aux performances simulées renseigne ainsi la façon dont nous manipulons l'information. Ces résultats peuvent ensuite servir à appuyer ou non les hypothèses théoriques du chercheur.

¹⁸ Dans la suite de ce travail, il sera fait référence à la version 6 de l'architecture.

Nous décrirons maintenant les éléments de l'architecture, leurs rôles, leurs relations et leurs dynamiques puis préciserons les deux niveaux d'abstraction, symbolique et subsymbolique, du fonctionnement de l'architecture.

1.2. Un système modulaire

Le fonctionnement de l'architecture est basé sur deux types de Savoirs : les connaissances déclaratives, autrement dit les connaissances factuelles (i.e. Paris est la capitale de la France, $2+3=5$), et les connaissances procédurales qui contiennent les règles de production « condition-action ». Ces deux types de connaissances sont unifiés par un système de production dans lequel des règles procédurales agissent sur les connaissances déclaratives (nommées chunks) par l'intermédiaire de modules centraux et perceptivo-moteurs. Ces connaissances sont contenues dans des modules ou bien maintenues momentanément accessibles dans des espaces de stockage temporaires, les « buffers »¹⁹ qui servent d'interfaces dédiées à chaque module.

L'architecture ACT-R est constituée de trois types de modules indépendants : les modules dits centraux, les modules perceptifs et moteurs. Les modules centraux sont responsables du traitement « cognitif » de l'information. Les modules perceptifs (visuel et auditif) permettent de recueillir des informations de l'environnement extérieur. Les modules moteurs (manuel et vocal) permettent au modèle de réaliser une action sur l'environnement. L'ensemble des modules forme le cadre du système²⁰, dans lequel les informations traitées (issue de l'environnement ou du traitement cognitif simulé) sont transférées d'un module (ou d'un buffer) à l'autre, chaque module (et chaque buffer associé) ayant une fonction qui lui est propre.

¹⁹ La traduction littérale est mémoire tampon, terme utilisé en informatique. Pour des raisons de commodité, nous conserverons l'appellation « buffer ».

²⁰ Ces différents modules ne représentent pas l'intégralité de ceux potentiellement à l'œuvre dans l'esprit humain, mais juste ceux implémentés dans ACT-R. Par exemple, l'architecture n'inclut pas de module de contrôle cognitif.

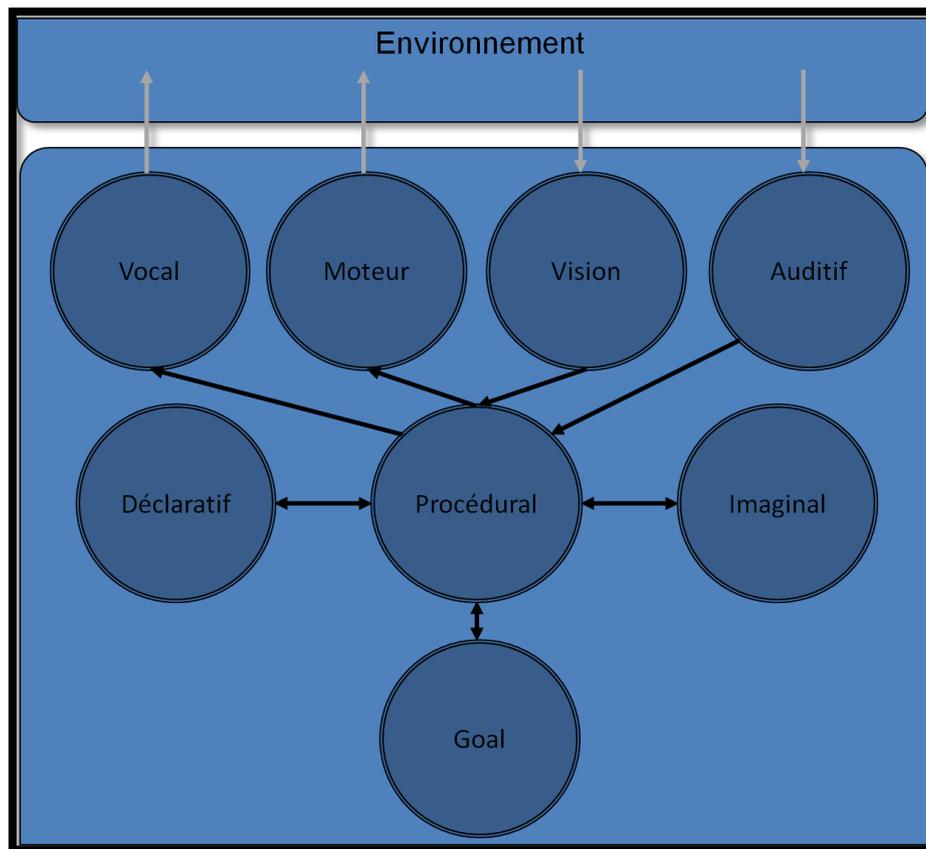


Figure 1 - Les différents modules implémentés dans ACT-R 6 et leurs voies d'échange d'informations.

1.2.1. Les modules centraux

1.2.1.1. Le module et le buffer de but (« Goal buffer »)

Le module de but apporte au système un espace tampon, le buffer de but qui a une place centrale (au sens propre comme au figuré) dans l'architecture. Premièrement, il est utilisé pour conserver l'état actuel du modèle. D'une part, il maintient les informations sur son propre état (i.e. buts de la tâche et informations relatives aux connaissances encodées) d'une production à l'autre. D'autre part, il intègre les renseignements concernant l'état des différents buffers et modules du système : la présence d'éléments dans les buffers, les états des buffers à un moment donné. Deuxièmement, le buffer de but est la source d'énergie à l'origine de l'activation diffusée vers les chunks en mémoire déclarative (MD) quand une tentative de récupération d'une connaissance dans la MD est effectuée. Cette quantité d'activation W est ajustée par le paramètre g_a de l'architecture et est considéré comme reflétant la CMT (Lovett, 1999). Dans ce sens Lovett (1999) a modélisé les différences interindividuelles de

performances sur une tâche arithmétique par des variations de la quantité d'énergie W. Enfin, troisièmement, le module de but fournit la capacité de créer de nouveaux chunks.

1.2.1.2. Le module déclaratif et le buffer de récupération (« retrieval-buffer »)

D'une part, le module déclaratif fournit au modèle, une MD qui stocke les connaissances déclaratives (ou factuelles) appelées « chunks » qui peuvent être utilisées par le modèle. Les chunks sont constitués de deux types d'informations : le type du chunk qui représente sa catégorie (par exemple, une forme géométrique) et les slots²¹ du chunk qui représentent ses propriétés (carré, rouge, taille)²². D'autre part, le module déclaratif apporte un mécanisme de récupération de ces chunks : le buffer de récupération (« retrieval buffer »). La récupération d'un chunk consiste en son extraction et à son placement dans le buffer, ce qui permet de le rendre accessible pour un traitement ultérieur. L'information présente dans le buffer de récupération peut ensuite être transférée au centre du système ou aux modules perceptivo-moteurs (visuels, auditif, manuel, vocal). Lors d'une demande de sélection d'un chunk, le choix réalisé entre les connaissances en compétition est fonction du niveau d'activation de chacune des représentations, celui possédant la plus grande activation sera extrait (voir partie niveau subsymbolique). Ce buffer est central dans le modèle puisqu'il permet la récupération d'information en mémoire.

1.2.1.3. Le module procédural

Le module procédural fournit au modèle l'espace de stockage des connaissances procédurales (également appelées règles de production ou productions). Les productions sont construites comme une paire « condition-action », associant à une condition, une action particulière. Le système fonctionne comme un tout, toute demande de récupération d'information en MD, visuelle ou auditive par exemple, est implémentée dans une production. Les productions constituent ainsi le « squelette » de chaque modèle et définissent l'action devant être opérée en fonction de l'état du système. Les productions sont à l'origine des actions et interactions entre les différents modules. Le module procédural coordonne ainsi l'activité des modules associés à la perception, la mémoire et l'action (Anderson 2007 ; Schneider et Anderson,

²¹ Un slot est un emplacement qui contient une information.

²² Les propriétés du chunk peuvent être elles-mêmes des chunks, elles ont dans ce cas, un rôle à jouer lors du processus de récupération d'un chunk.

2011). Par exemple, il fait appel au buffer de récupération pour effectuer des demandes de récupération de chunks dans le module déclaratif. Une fois présente dans le buffer de récupération, l'information peut être encodée dans le buffer de but ou réutilisée par un autre module pour continuer le traitement. Le module procédural sous-tend donc la communication entre les modules.

Succession sérielle des procédures.

A chaque instant, une seule procédure est exécutée (« fired » dans l'architecture)²³. Quand une production est exécutée, elle est suivie d'une action : par exemple, demande de récupération d'une connaissance en MD ou détection d'un stimulus visuel. Chaque action a pour effet de modifier le contenu du système : par exemple récupération d'un chunk déclaratif ou d'un chunk visuel dans le buffer adéquat. A partir des modifications apportées, le système aboutit à un nouvel état. Si une procédure concorde avec ce nouvel état, celle-ci peut être exécutée et ainsi de suite.

Les productions dans ACT-R

Le choix des procédures dans l'architecture ACT-R respecte la logique « If... Then ». Celle-ci suppose que si une condition est remplie, alors une action donnée est réalisée. Chaque production est ainsi constituée de deux parties, la première partie appelée la « Left Hand Side » (LHS), correspond à la condition devant être respectée et la seconde appelée « Right Hand Side » (RHS) est l'action réalisée. La LHS renseigne les spécificités de l'état du système pour que la production puisse être choisie. Elle peut prendre en compte par exemple les éléments du buffer de but et l'état de certains buffers (actif vs inactif ; occupé vs libre). La RHS indique les actions menées si la production est activée. Ces actions peuvent être l'encodage d'une information en MT, la construction d'un nouveau chunk, la recherche d'une information éventuellement présente dans un buffer ou un module.

1.2.1.4. Le module et buffer « Imaginal »

Le buffer imaginal est l'interface du module intentionnel. Il fournit au système le buffer imaginal usuellement employé pour maintenir le contexte de la tâche actuelle et le buffer « imaginal-action » qui manipule le contenu du buffer imaginal. Le buffer imaginal permet, comme le buffer de but, de diffuser de l'activation et de créer de nouveaux chunks. Toutefois

²³ Le temps d'exécution d'une procédure est par défaut de 50 ms.

le mécanisme de création diffère de celui du buffer de but puisqu'il nécessite un coût temporel (par défaut égal à 200 ms). Il permet aussi de faire des requêtes de modification de chunk. Il a généralement pour rôle de combiner des informations rencontrées pour créer de nouveaux chunks.

1.2.2. Les modules perceptifs et moteurs

Deux modules perceptifs sont intégrés dans l'architecture. Ils permettent l'interaction entre le modèle et l'environnement (virtuel). Selon le type d'information véhiculée par l'environnement, les modules perceptifs détectent et traitent les informations. Ces informations peuvent ensuite être transférées au buffer de but si une telle demande est réalisée. Les modules sensoriels sont le module visuel et le module auditif. Le module visuel est composé de deux espaces tampon, le premier dédié à la localisation des éléments (« visual-location buffer ») et le second à la reconnaissance de ces derniers (« visual-buffer »). Quand une demande est effectuée concernant un élément de l'environnement, le module de localisation visuelle retourne les informations s'ajustant à la demande. Il informe le système de la position exacte de l'objet dans l'environnement, sa couleur et sa taille par exemple. Si la demande est davantage spécifiée (par exemple, un objet d'une certaine couleur ou ayant une position particulière) et si un élément dans l'environnement visuel satisfait cette demande, le buffer de localisation récupère les informations le concernant. Quand une requête porte sur la représentation de l'objet (e.g. quel est cet objet), le buffer visuel saisit tout d'abord, une information du buffer de localisation concernant l'emplacement de l'objet, puis un déplacement attentionnel est effectué sur cette localisation, le traitement de l'objet est effectué et enfin, un chunk représentant l'objet est placé dans le buffer visuel. Le chunk encodé pourra alors être récupéré par le système pour des traitements ultérieurs.

Le module auditif est moins développé que le module visuel. Il permet au modèle de capter des sons de l'environnement et d'éventuellement distinguer leur puissance. Il peut en fonction du but en cours réagir à des sons ou encoder le son correspondant si c'est un mot, une phrase, etc. Le module auditif intègre deux buffers chargés respectivement de la détection des sons (« aural-localisation buffer » ou « audicon ») et de leur stockage (« aural buffer »). Le module auditif peut également entendre ses propres vocalisations.

1.2.2.1. Le module manuel

Le module manuel est un module bien développé dans la version ACT-R 6. La théorie de mouvement manuel incluse dans l'architecture est complexe. Elle intègre la préparation de l'action, la loi Fitts ainsi que les propriétés de l'environnement (ACT-R tutoriel). Une action manuelle est constituée de plusieurs étapes : la préparation du mouvement, son initiation, l'action elle-même, et sa finalisation. Les actions disponibles sont diverses et variées. Il est possible de dissocier l'action de chaque main et de chaque doigt sur un clavier ou de simuler le clic sur le bouton d'une « souris ». De même, des déplacements sont possibles : diriger une souris ou directement le curseur vers une position sur l'écran, déplacer les doigts ou au contraire appuyer directement sur une touche située sous un doigt donné (« punch »). Les temps relatifs à ces déplacements suivent la loi Fitts (Fitts, 1954). Les propriétés de l'environnement agissent également sur les mouvements simulés. Généralement dans les simulations effectuées avec l'architecture ACT-R, la situation est celle d'un individu devant un écran d'ordinateur, avec le clavier et la souris à portée de main. Néanmoins d'autres environnements plus complexes ont été simulés tels que le poste de conduite automobile (Salvucci, 2006) ou le cockpit d'un avion (Raufaste, 2006). L'intégration de l'environnement virtuel permet au modèle d'interagir avec cet environnement.

1.2.2.2. Le module vocal

Comme pour la modélisation d'une action manuelle, une verbalisation dans l'architecture est constituée de plusieurs étapes : la préparation de la verbalisation, son initiation et son exécution (temps de l'articulation). Le temps de préparation est de 150 ms, celui d'initiation de 50 ms et le temps d'articulation est fonction du nombre de syllabes du mot (par défaut une syllabe constituée de 3 lettres demande 150 ms pour être verbalisée). Notons que deux styles de verbalisation sont possibles, la verbalisation « normale » et la verbalisation subvocale. La verbalisation « normale » peut agir sur l'environnement tandis que la seconde fait référence au discours interne et au processus de répétition articulatoire.

1.3. Un système hybride

L'architecture ACT-R est un système hybride : elle différencie les niveaux symbolique et subsymbolique. Au niveau symbolique, le fonctionnement cognitif est implémenté sous la forme d'un réseau sémantique de connaissances déclaratives (la MD) et d'un ensemble de

règles de production (la mémoire procédurale). Le niveau symbolique dessine l'encodage des connaissances et l'exécution d'actions différentes grâce aux règles de production en fonction de l'état du système. Cependant la méthode de récupération des connaissances n'est pas explicitée : une connaissance est extraite parce qu'elle correspond à celle recherchée. Le fonctionnement du système est abstrait, déterminé et irrationnel. Alors que le niveau symbolique ne décrit que partiellement la façon dont le cerveau encode la connaissance, le niveau subsymbolique en simule les calculs connexionnistes. Il représente par des équations mathématiques les échanges neuronaux qui déterminent la disponibilité des connaissances. Chaque connaissance symbolique est associée à une quantité subsymbolique : les connaissances de la MD sont associées à un niveau d'activation qui rend compte de son accessibilité et chaque règle de production possède une valeur d'utilité qui peut affecter la probabilité de son exécution. Les calculs de ces quantités subsymboliques étant bruités, un même ensemble de connaissances et de règles données, peut ne pas générer les mêmes résultats. Le système est probabiliste. La conjugaison de ces deux niveaux fait de l'architecture ACT-R un système déductif dont le déroulement est non déterminé.

Dans cette partie nous décrivons les différents mécanismes intégrés dans l'architecture qui sont associés aux calculs subsymboliques.

1.3.1. L'activation

Le niveau d'activation d'une connaissance s'apparente à son niveau d'accessibilité à la « conscience ». D'un point de vue général, plus une connaissance possède un niveau d'activation important plus celle-ci sera accessible et rapidement récupérable.

L'activation d'un « chunk » est calculée selon plusieurs variables. L'équation (0002) est l'équation complète de l'activation A_i d'un chunk i dans laquelle, B_i représente le niveau d'activation de base, S_i l'activation diffusée au chunk i , P_i la valeur de l'ajustement du chunk i à la demande et ε , le bruit.

$$A_i = B_i + S_i + P_i + \varepsilon$$

Équation 1: Le niveau d'activation

1.3.1.1. Le niveau d'activation de base

Le niveau d'activation de base est le niveau d'activation du chunk seul c'est-à-dire sans prise en compte de l'influence des autres paramètres. Dans l'architecture, il peut être soumis à un déclin en fonction des paramètres *bbi* (*base level learning parameter*) et *ol* (*optimized learning parameter*). Quand le déclin est actif, il peut être paramétré et suivre une fonction exponentielle inversée qui est fonction, soit de l'historique entier des récupérations antérieures, soit du nombre total de récupérations effectuées soit de manière hybride, d'une association des dernières récupérations et du nombre total de récupérations (voir, Anderson et Lebiere, 1998). Cette dernière solution a été utilisée dans le modèle afin de prendre en compte la récence des dernières récupérations et non la totalité d'entre elles.

Le mode choisi d'implémentation du déclin suit l'équation 2 dans laquelle le niveau d'activation de base d'un chunk *i* est fonction de la fréquence et de la récence des récupérations du chunk. Selon cette équation, le déclin du niveau d'activation de chaque chunk *i* en compétition est calculé selon les temps *t* depuis sa création, le nombre *n* de récupérations du chunk, la récence des *k* dernières récupérations et le déclin *d* ajusté par le paramètre *bbi*²⁴.

$$B_i = \ln\left(\sum_{j=1}^k t_j^{-d} + \frac{(n-k)^* (t_n^{1-d} - t_k^{1-d})}{(1-d)^* (t_n - t_k)}\right)$$

Équation 2 - Calcul du niveau d'activation de base de chaque chunk (d= 0.53 ; k= 6)

²⁴ Une équation approximative est utilisée si le nombre *n* de références ne dépasse la valeur du paramètre *k* (voir manuel de référence ACT-R).

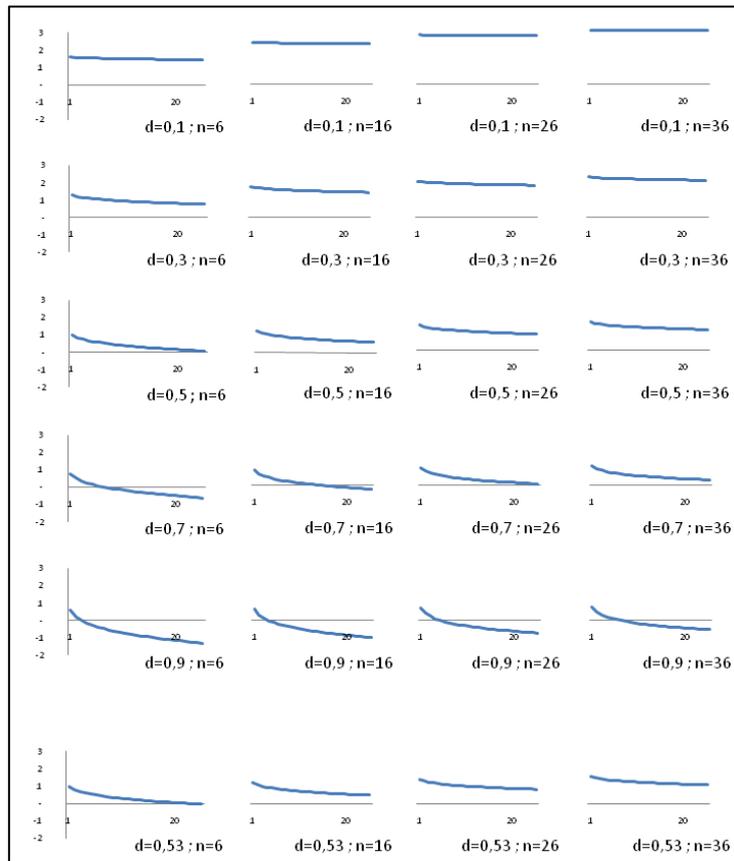


Figure 2 - Evolution du niveau d'activation de base des chunks (seconde après seconde) selon le paramètre d de déclin et le nombre n de récupération du chunk (la dernière correspond à la valeur du paramètre utilisée dans la modélisation : $d=0.53$).

L'intérêt de cette formule hybride est qu'elle rend possible la prise en compte de la récurrence des récupérations d'un chunk (des k dernières récupérations) sans ralentir le système.

1.3.1.2. La diffusion de l'activation (« Spreading-activation »).

Le processus de diffusion de l'activation opère quand une recherche en mémoire déclarative (MD) est effectuée par l'intermédiaire du buffer d'extraction (« retrieval »). Lors de cette recherche, les chunks de la MT (les « chunk-source ») diffusent une quantité d'activation aux chunks en MD qui présentent le chunk-source comme propriété (i.e. un slot du chunk doit correspondre au chunk-source). La diffusion contribue à l'augmentation de l'activation des chunks présentant les caractéristiques encodées en MT.

Plus un chunk i de la MD possède un nombre important de chunks correspondant au chunk-source j de la MT, plus l'activation globale S_i s'accroît selon l'équation 3. Dans cette

équation, W_j est la quantité d'activation²⁵ diffusée par le chunk-source j et S_{ji} la force d'association de la source j au chunk i .

$$S_i = \sum_j W_j S_{ji}$$

Équation 3 - La diffusion de l'activation

Voici quelques propriétés liées à ce processus :

- Premièrement, selon l'équation, si un chunk i en MD possède plusieurs des chunks-source encodés en MT, la quantité d'activation diffusée au chunk i est la somme des quantités diffusées par chacun des chunk-slot.
- Deuxièmement, la quantité d'activation totale diffusée W est fonction du nombre de chunk-source présent en MT. Plus ce nombre est important, plus elle sera divisée entre les chunk-source et donc moins la quantité d'activation diffusée par chaque chunk-slot sera importante.
- Troisièmement, l'activation n'est pas seulement diffusée au chunk 'correct' mais à l'ensemble des chunks possédant une similitude avec le chunk-source. Par exemple, si le système a encodé en MT deux informations par exemple, « carré » et « rouge », une quantité d'activation sera diffusée au chunk possédant l'une ou l'autre de ces informations quelle que soit la réponse correcte. L'activation diffusée au chunk incorrect n'étant pas diffusée au chunk diminue la probabilité de pouvoir le récupérer et augmente la probabilité d'extraire ceux incorrects.

1.3.1.3. L'appariement partiel (« Partial-matching »)

Le mécanisme d'appariement (de correspondance ou d'ajustement) partiel est un mécanisme qui influence le processus de sélection des chunks. Il oriente la sélection d'un chunk en fonction de la correspondance de ce dernier avec les spécificités de la demande effectuée en MT. Son action est de diminuer ou accentuer le niveau d'activation des chunks selon l'ajustement de leur propriété avec la requête. Quand un chunk possède une information (i.e. un slot) correspondant aux propriétés spécifiées dans la demande, un gain d'activation (positif

²⁵ La quantité totale W est divisée entre les chunks-source.

ou nul) lui est attribué, dans le cas contraire, une perte d'activation (négative ou nulle) lui est portée. Par exemple, lors d'une tentative de récupération d'un chunk (représentant un fruit, par exemple), si une information est spécifiée dans la demande (par exemple la couleur jaune), cette spécification affectera différemment les chunks (« fruit ») de la MD en compétition. Si un chunk donné possède ce critère (par exemple, le chunk « banane »), la valeur de similarité (nommée « *maximum similarity* ») paramétrée dans le modèle est ajoutée à son niveau d'activation. En revanche, si le chunk ne possède pas le slot en question (par exemple pour la connaissance « kiwi »), le niveau d'activation du chunk est réduit de la valeur de différence (« *maximum difference* ») également paramétrée²⁶.

La valeur de correspondance partielle P_i associée à un chunk i suit l'équation 4 avec P la part pondérée donnée à la similitude et M_{ki} la similitude entre la valeur k spécifiée pour la récupération et la valeur correspondante du chunk i .

$$P_i = \sum_k PM_{ki}$$

Equation 4 - Le mécanisme d'ajustement partiel.

Notons qu'implicitement, ce mécanisme rend possible la compétition entre les chunks potentiels (selon l'exemple précédent, la compétition s'effectue entre les chunks « fruit » et avec les chunks « légume ») et bien que certains ne correspondent pas à la demande. Il autorise ainsi la récupération de chunks non pertinents selon les critères demandés.

1.3.1.4. Le bruit

La composante du bruit de l'équation d'activation est la somme de deux sources de bruit : le bruit instantané calculé à chaque tentative de récupération et le bruit permanent qui est fixé pour un chunk donné. Le premier (ajusté par le paramètre ans) influence le niveau d'activation de manière aléatoire. Il peut ainsi faire qu'une représentation non pertinente soit plus active que celle actuellement pertinente, ou pousser tous les schémas de tâche en-dessous du seuil de récupération (rt), le système est alors transitoirement incapable de récupérer un chunk. Le bruit aléatoire suit une distribution logistique de moyenne 0 et dont la variance σ^2 est relative à s (la valeur du paramètre ans), selon l'équation suivante :

²⁶ Ces gains et pertes sont ajustables avec respectivement le paramètre ms (« *maximum similarity* ») et le paramètre md (« *maximum difference* »).

$$\sigma^2 = \frac{\pi^2}{3} s^2$$

Équation 5 - Le bruit

Le second bruit (réglé avec le paramètre pas) est un bruit fixé au chunk pour l'ensemble des essais. Il implique un malus ou un bonus d'activation pour un chunk donné. Dans le modèle, sa valeur est fixée de manière déterminée afin de simuler des niveaux de difficulté d'extraction différents selon les chunks.

Le temps de récupération

Le temps de récupération d'un chunk varie en fonction du niveau d'activation du chunk. Selon l'équation 6, la quantité d'activation A_i d'un chunk i détermine le temps pour compléter la demande.

$$Tr = Fe^{-A_i}$$

Équation 6 - Le temps de récupération Tr d'un chunk.

Selon cette équation, dans laquelle F est le facteur latence ajusté par le paramètre lf , plus le niveau d'activation d'un chunk est grand, moins le temps de récupération Tr est important²⁷.

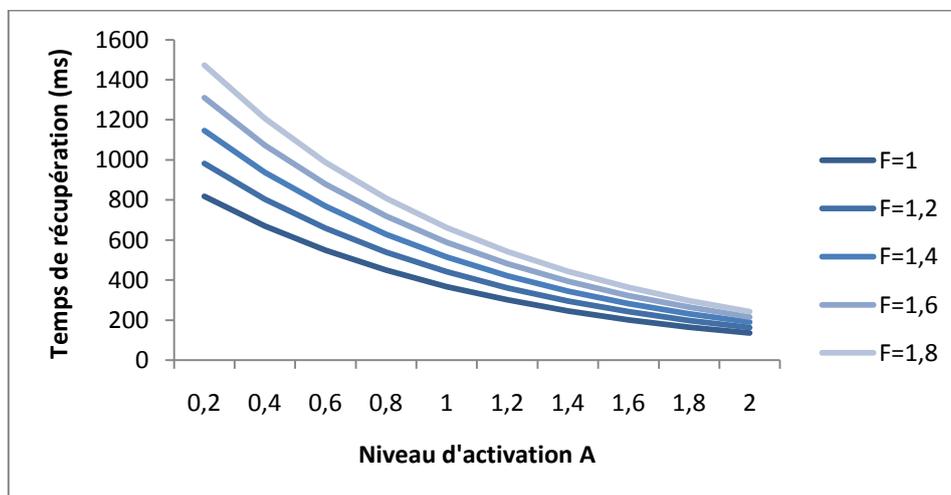


Figure 3 - Temps de récupération des chunks en fonction du niveau d'activation A des chunks et du facteur de ralentissement F.

Résumé

²⁷ A un niveau d'observation plus général, le temps de récupération des chunks affecte le temps de résolution de l'essai par exemple.

En fonction de l'ajustement d'un chunk avec la demande ou le contenu de la MT, les mécanismes de diffusion de l'activation ou de correspondance partielle peuvent modifier son niveau d'activation, ce qui affectera la probabilité de récupération du chunk ainsi que la rapidité de cette récupération. Ainsi, plus un chunk s'ajuste à la demande plus la probabilité de récupération de ce chunk sera forte. Cependant une source de bruit est associée au niveau d'activation ce qui rend possible l'extraction d'un chunk erroné. Pour une même condition simulée, il est donc possible d'extraire un chunk différent, ce qui peut affecter la suite du traitement.

1.3.2. L'approche utilitaire des procédures.

Le module procédural présente une dimension subsymbolique prise en compte pour départager des règles de productions quand plusieurs d'entre elles sont éligibles. Une sélection parmi celles en compétition est opérée (voir Anderson et Lebiere, 1998) selon la valeur d'utilité des procédures.

Le paramètre d'utilité consiste en l'attribution d'une valeur d'utilité aux procédures du modèle. Cette valeur est fonction du paramètre u (« utility ») qui peut être indépendamment ajustée à chaque procédure. Dans le cas où plusieurs procédures concordent avec l'état du système à un moment donné, comme le système ne peut activer qu'une seule procédure à la fois, le choix de l'une d'entre elles est nécessaire. Cette décision est effectuée en faveur de la procédure possédant la plus grande valeur d'utilité (Lovett, 2005)²⁸.

Différentes options liées aux paramètres du modèle peuvent influencer cette valeur. Cette valeur peut être soit fixée à une valeur donnée, soit fluctuante (i.e bruitée) d'un moment à l'autre, ou soit évolutive au cours de la simulation. Premièrement, si les valeurs d'utilité sont fixées (i.e si aucun paramètre de bruit n'intervient dans le calcul de l'utilité) alors la procédure qui possède la plus grande valeur d'utilité sera récupérée à chaque fois que cette situation sera rencontrée. Deuxièmement, la valeur de l'utilité de chaque procédure peut être soumise à un bruit aléatoire qui est fonction du paramètre egs ²⁹. Quand deux procédures peuvent être exécutées, l'intégration du bruit dans le calcul de la valeur d'utilité (voir équation 0015) conduit à rendre plus ou moins probable l'exécution de l'une ou l'autre des procédures.

²⁸ A la manière de la sélection des chunks selon le niveau d'activation.

²⁹ La valeur du paramètre egs détermine celle du paramètre s . Le paramètre egs a les mêmes effets dans le calcul de l'utilité d'une procédure que le paramètre s dans le bruit du niveau d'activation (Équation 1).

Une procédure ayant une valeur d'utilité de base supérieure à une autre sera plus probablement exécutée que la seconde. Cependant, la production choisie peut être différente d'un essai à l'autre. Enfin, troisièmement, une récompense (reward) peut être ajoutée à la valeur d'utilité de base d'une procédure donnée suite à son exécution. L'insertion d'une récompense a permis la simulation de mécanismes d'apprentissage (procédural). Ce mécanisme consiste à récompenser une procédure utilisée précédemment par une augmentation de sa valeur d'utilité. Ce mécanisme conduit à favoriser l'exécution de cette procédure lors de la survenue d'une condition équivalente (Lovett, 2005). Le calcul de la valeur d'utilité d'une procédure i lors de sa $n^{\text{ième}}$ utilisation suit l'équation 7 dans laquelle α est le taux d'apprentissage, $R_i(n)$ la récompense attribuée à la production i pour sa $n^{\text{ième}}$ utilisation, $U_i(0)$ étant paramétré.

$$U_i(n) = U_i(n-1) + \alpha [R_i(n) - U_i(n-1)]$$

Équation 7 : Calcul de l'utilité d'une procédure.

Le paramètre d'utilité permet de simuler des relations de dominance entre différents traitements. Pour le test Stroop (Stroop, 1935) par exemple, l'implémentation d'une plus forte utilité des procédures initiant la lecture du mot vis-à-vis de celles de dénomination de la couleur, contribue à simuler la tendance dominante de l'exécution des mécanismes de lecture plutôt que ceux de dénomination de la couleur de l'encre du mot.

1.4. Compléments et extensions d'ACT-R 6

L'architecture ACT-R présente différents modules qui interagissent entre eux au niveau symbolique et des mécanismes subsymboliques (activation, utilité) qui sous-tendent ces échanges. Ces modules et mécanismes sont associés à des zones cérébrales distinctes. Voici les différentes associations entre modules et aires cérébrales postulées :

- le module déclaratif est associé au lobe temporal (hippocampe)
- le module procédural aux ganglions de la base
- le module de buts au cortex cingulaire antérieur
- le module imaginal est associé à la région postérieure du cortex pariétal
- le module visuel au gyrus fusiform,
- le module auditif au cortex auditif

- les modules moteur et vocal au cortex moteur-sensoriel.

La mise en relation des modules avec des régions cérébrales a récemment permis de comparer l'activité cérébrale mesurée empiriquement lors de la réalisation de certains exercices, avec l'activité cérébrale simulée par le modèle computationnel ACT-R de ces exercices (par exemple, Anderson, Betts, Ferris et Fincham, in press).

L'architecture est toujours en développement et différentes fonctionnalités ou nouvelles possibilités d'application apparaissent régulièrement. Certains des derniers développements portent sur l'implémentation de l'architecture en langage Java, ou la construction de modèles capables soit de remplir plusieurs tâches indifféremment, soit d'interpréter directement les consignes de l'exercice.

2. Etude 1

2.1. Introduction

Cette étude porte sur l'effet du vieillissement sur les processus de contrôle attentionnel. Afin de comprendre les anomalies de contrôle cognitif observées chez les âgés, une tâche d'alternance, présentant la particularité d'être à réponse vocale, a été administrée à deux groupes d'individus : l'un composé de jeunes adultes, l'autre d'adultes âgés. Dans un premier temps, les données recueillies ont été analysées avec des modèles linéaires mixtes. Dans un second temps, un travail de modélisation du fonctionnement cognitif impliqué par la réalisation de la tâche a été réalisé à l'aide de l'architecture ACT-R, afin d'essayer de mieux comprendre par la modélisation cognitive quels sont les effets du vieillissement sur les processus cognitifs. Pour ce travail, une revue approfondie des processus et mécanismes théoriquement impliqués dans la tâche d'alternance est requise. Cette revue porte sur les processus pouvant être engagés dans les tâches d'alternance du même type que celle administrée (« alternating-run procedure »). Elle permet d'identifier précisément les processus prépondérants dans la résolution du paradigme expérimental utilisé pour la thèse et de décrypter les processus de contrôle attentionnels pouvant intervenir. Cette partie intègre ainsi une revue théorique des processus généraux et contrôlés engagés dans les tâches d'alternance indicée de type série alternée. La revue théorique permet dans un premier temps d'identifier les processus impliqués dans la tâche, puis de sélectionner les processus à implémenter dans le modèle de la tâche. Sur cette base, le travail de simulation réalisé permet d'étudier les effets

des variations des paramètres sur les performances simulées mais également de tester la validité de certaines hypothèses explicatives du vieillissement cognitif.

2.2. Protocole

2.2.1. Participants et critères d'inclusion

La cohorte est constituée de deux groupes, un groupe d'individus âgés et un groupe de sujets contrôle. Le groupe de sujet âgés est composé de 31 participants dont l'âge varie de 58 à 99 ans ($M = 79,3$; $E.T. = 11,0$) tandis que le groupe contrôle est composé de 31 sujets dont l'âge varie de 22 ans à 50 ans ($M = 30,7$; $E.T. = 5,7$). Tous les participants ont volontairement participé à l'étude et les passations ont été effectuées à leur domicile.

Les participants constituant le groupe contrôle sont 14 femmes et 17 hommes. 14 sujets sur 45 individus initialement évalués ont été exclus de l'échantillon principalement pour cause de perturbation environnementale (par exemple, interventions d'enfants, coups de téléphone imprévus, nuisance sonores etc..). Dans l'ensemble, les sujets ont été recrutés dans l'entourage de l'expérimentateur.

Le groupe de sujets âgés est composé de 23 femmes et 8 hommes. Les seniors étaient en relativement bonne santé au moment de l'expérience. Ils ne présentaient pas d'antécédent de maladie neurologique ou de désordre psychiatrique, ni de trouble majeur de la vision. Leurs scores au MMSE³⁰ allaient de 26 à 30 ($M : 27,8$; $E-T : 28,2$). Ce groupe est composé de 31 adultes âgés sur 44 initialement évalués. Certains participants ont été retirés de l'expérimentation n'étant pas assez précis (Précision inférieure à 50% sur certaines catégories d'essais), deux participants présentaient des troubles spécifiques (dépression, prescription médicamenteuse) et les passations de 11 individus ont été exclues de l'analyse pour des causes diverses (coups de téléphone, fatigue visuelle, nuisance sonore). Les individus étaient institutionnalisés à 65%. Ils étaient issus d'établissements pour personnes âgées de la région rennaise (foyer logement colombier (Rennes), maison de retraite Le Gast (Rennes) et maison

³⁰ Le mini-mental state examination (MMSE ; Folstein, Folstein et Mc Hugh, 1975) est un mini examen des fonctions cognitives et neuropsychologique des individus âgés. Il permet de vérifier que la performance des participants âgés est au-dessus du score seuil (27-29/30 selon le niveau d'éducation, e.g. Crum, Anthony, Bassett et Folstein, 1993) permettant de suspecter un vieillissement pathologique. Il est notamment employé dans le cadre d'un dépistage de la démence de type Alzheimer.

de retraite Saint-François (Rennes)). Les individus non institutionnalisés ont été recrutés dans l'entourage de l'expérimentateur.

2.2.2. Matériel et procédure

2.2.2.1. Matériel

La tâche d'alternance programmée est une tâche informatisée. L'ordinateur utilisé est un portable de type P.C., Asus X70S series, équipé d'un Pentium dual-core inside, exploité sous Windows Vista Premium, avec une carte graphique ATI radeon, HD 2400 et un écran 17". L'expérimentation a été programmée à l'aide du logiciel Inquisit, version 3.0 permettant l'enregistrement automatique de la réponse du sujet. Un casque audio du type Plantronics digital D.S.P 400 a également été utilisé pour recueillir les verbalisations.

2.2.2.2. Procédure

Une même tâche a été soumise à tous les sujets, le paradigme dit « Couleur-Forme » (CF). Dans cette tâche, après avoir lu oralement l'indice, le sujet doit dénommer la couleur ou la forme d'une forme géométrique colorée qui lui est présentée. Ce paradigme est une tâche d'alternance de type série alternées (« alternating run procedure ») indiquée, dans laquelle l'alternance de tâche est implémentée à intervalle régulier, tous les deux essais.

2.2.2.3. Déroulement de l'expérimentation

Ce paradigme est constitué de 6 blocs, effectués par tous les sujets dans le même ordre. Les deux premiers blocs sont des tâches simples composées d'essais homogènes relatifs à la sous-tâche « couleur » (1^{er} bloc) ou à la sous-tâche « forme » (2nd bloc). Les blocs suivants (3, 4, 5 et 6) constituent la tâche de commutation proprement dite, constituée de séquences alternées de deux essais de chaque sous-tâche (le 3^e bloc est un bloc de familiarisation). La figure 4 indique la succession des stimuli à l'écran.

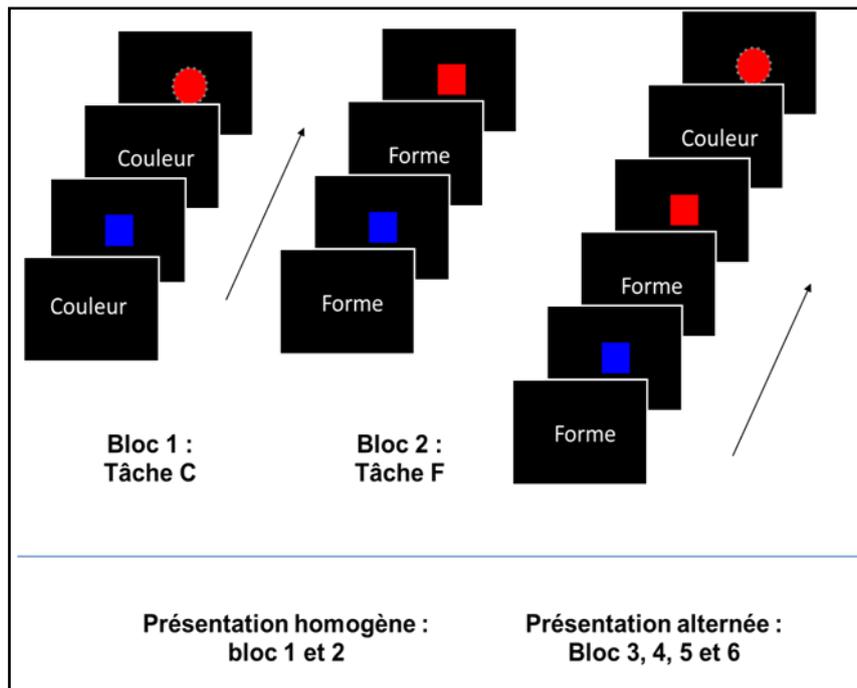


Figure 4 - Succession des stimuli dans les blocks de la tâche CF.

Le déroulement de chaque tâche est identique pour chaque essai de chaque bloc. Tout d'abord, l'indice (« couleur » ou « forme ») est présenté au centre de l'écran. Le sujet doit alors le lire oralement. Ensuite, après lecture de l'indice, il disparaît et la figure-cible (carré ou rond, rouge ou bleu) apparaît après un temps de latence (*Cue-Target Interval*, C.T.I.) d'une seconde. Enfin, après détection de la réponse vocale et après un temps de latence (*Response-Cue Interval*, R.C.I.) d'une seconde, un nouvel indice est présenté.

Avant de commencer chacun des 3 premiers blocs, une consigne écrite en blanc sur fond noir, est donnée au sujet. Pour les 3 derniers blocs, des temps de pause sont accordés entre les blocs. Les consignes sont présentées séquentiellement en appuyant sur la touche « espace » (étiquetée) relayant ainsi les instructions successives orales données par l'expérimentateur. Celle-ci indique les deux étapes de chaque essai : la lecture de l'indice et la sélection de la réponse (par exemple, si la figure est rouge dites, « rouge »). La consigne suivante est également donnée : « essayer de dénommer correctement et aussi rapidement que possible la couleur [ou la forme] de la figure ». En cours de consigne, les sujets sont invités à porter un casque audio (type Plantronics digital D.S.P 400) ou bien, si cela ne leur convient pas, à maintenir le micro à hauteur des lèvres, à une distance adaptée pour que les verbalisations puissent être détectées.

Le participant commençait la tâche en suivant les instructions de l'écran. La première tâche (C) tout d'abord, est une tâche de dénomination de la couleur. Suite à la lecture orale de l'indice « couleur », une figure apparaît (rond rouge, carré bleu, carré rouge ou rond bleu) dont le participant doit dénommer la couleur. La seconde tâche est une tâche de dénomination de la forme (F) présentant le même déroulement que la précédente ainsi que les mêmes stimuli. Enfin, la 3^e tâche (CF) est l'épreuve d'alternance proprement dite. La tâche de commutation suit une procédure de type série alternée (alternating-run procedure ; Rogers et Monsell, 1995 ; voir chapitre 1). Il s'agit d'exécuter la règle de la tâche C ou de la tâche F en fonction l'indice présenté au début de chaque essai. Concernant le stimulus-cible, c'est un carré ou un cercle, rouge ou bleu (voir figure 156). Tous les blocs sont constitués de 33 (32+1) essais excepté le bloc de familiarisation formé de 17 (16+1) essais. Le premier essai de chaque bloc a été exclu de l'analyse, n'étant précédé par aucun essai.

Les séquences d'essais analysées de chaque série ont été fixées et créées semi-aléatoirement afin de respecter certaines contraintes. Premièrement, les séquences d'essais de chaque bloc sont constituées d'une proportion égale de chaque type de stimuli : 25% sont des carrés rouge (CR), 25% carrés bleu (CB), 25% des ronds rouge (RR) et 25% des ronds bleu (RB). Deuxièmement, une même caractéristique et un même stimulus sont répétés consécutivement au maximum 4 (par exemple, CB-RB-CB-CB) et 3 fois (par exemple, CR-CR-CR) respectivement. Troisièmement, chaque type de réponse est équitablement produit (i.e. les sujets sont amenés à produire autant de réponses « rouge », « bleu », « rond » et « carré ») et les séquences d'essais de la condition alternée présentent une même proportion d'essais alternés (50%) et répétés (50%). Enfin, cinquièmement, chaque séquence présente un nombre d'alternance et de répétition d'une caractéristique pertinente vers une autre caractéristique pertinente équivalent (i.e. un même nombre d'essais alternent de la réponse « rouge » à « carré » ou de « bleu » à « rouge » par exemple).

2.2.3. Analyses statistiques : Brève présentation des modèles à effets mixtes et précisions sur le logiciel utilisé.

Les analyses effectuées sont des régressions linéaires mixtes réalisées avec le logiciel libre (« opensource ») de statistiques R (R development core team, 2007)³¹. On emploie le paquet

³¹ <http://cran.r-project.org>

(« packages ») lme4 (Bates, 2005) qui offre des algorithmes pour l'évaluation des paramètres et l'ajustement des modèles aussi bien pour des données continues que binaires.

2.3. Analyse des résultats empiriques

2.3.1. Examen des données

Les analyses effectuées portent sur les latences pour les bonnes réponses seulement. Sont également exclues les anticipations (TR<200 msec) ou les latences anormalement faibles liées par exemple à la détection de sons non pertinents. Pour cela une écoute scrupuleuse de l'ensemble des vocalisations a été effectuée afin de vérifier la cohérence entre la performance mesurée et le résultat observé. Les latences supérieures à 1300 ms ont été également supprimées des analyses.

Tableau 1 présente les latences moyennes obtenues par les participants à la tâche CF dans les différents blocs (a) et selon le type d'essai « forme » et « couleur » (b).

Condition	homogène	répétée	alternée
Adultes jeunes	519 (106)	582 (163)	605 (181)
Adultes âgés	607 (145)	691 (198)	745 (217)

Tableau 1 - Latences moyennes (écart-type) des groupes d'adultes âgés et jeunes sur l'épreuve en ms.

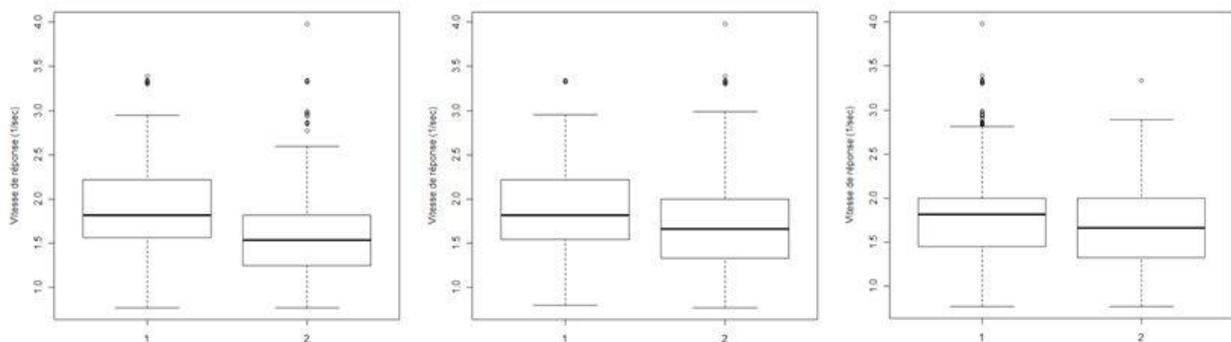


Figure 5 - Distributions des vitesses de réponse. (A gauche, 1 : juniors et 2 : seniors ; au centre 1 : homogène et 2 : commutation ; à droite, 1 : répété et 2 : alterné)

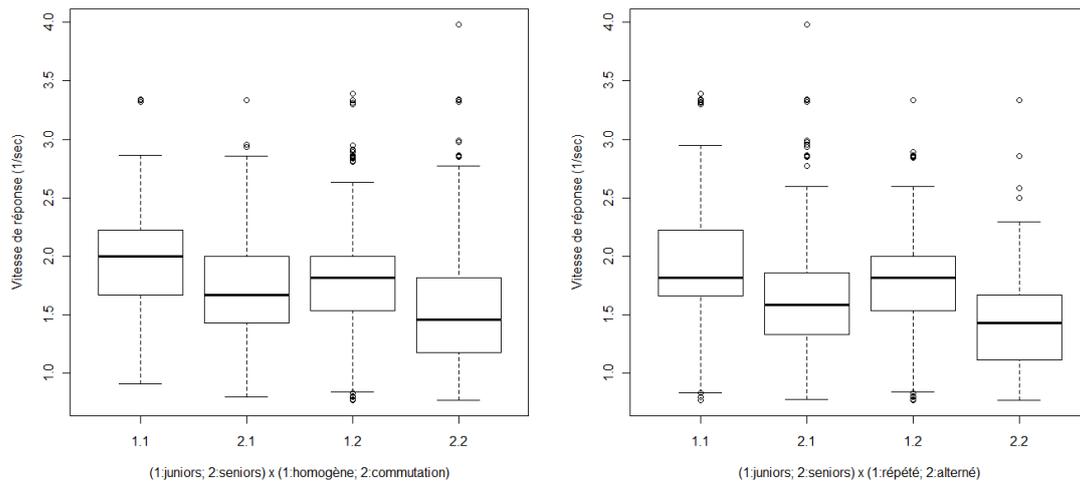


Figure 6 - Distributions des vitesses de réponse selon le groupe et la condition expérimentale. (A gauche, 1.1 : juniors en condition homogène et 2.1 : seniors en condition homogène, 1.2 : juniors en condition commutation et 2.2 : seniors en condition commutation ; à droite, 1.1 : juniors en condition répétée et 2.1 : seniors en condition répétée, 1.2 : juniors en condition alternée et 2.2 : seniors en condition alternée)

2.3.2. Analyse des temps de réponse

2.3.2.1. Etapes préalables

Transformation des données et respect de l'hypothèse de normalité des résidus

Une première question porte sur la distribution des données observées. Il est nécessaire de déterminer s'il faut conserver les données brutes ou les transformer (transformation logarithmique, transformation inverse) pour qu'elles respectent l'hypothèse de normalité des résidus. Une aide à la décision est fournie par l'estimation de la valeur optimale du coefficient lambda de la transformation puissance Box-Cox (Box et Cox, 1964) où :

$$y(\lambda) = (y^\lambda - 1) / \lambda \text{ si } \lambda \text{ différent de } 0,$$

$$y(\lambda) = \log(y) \text{ si } \lambda = 1.$$

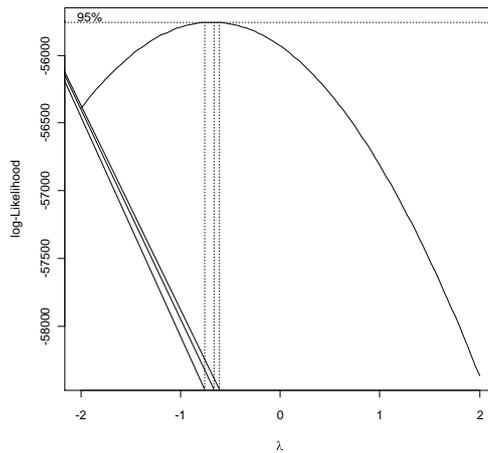


Figure 7 - Transformation puissance box-cox des TR.

L'examen du profil de vraisemblance de λ , obtenu avec la fonction box-cox du paquet MASS (voir Figure 7), montre que le lambda est égal -0.67 pour les TR moyens des individus. La transformation $1/TR$ est ici retenue car dans une métrique plus compatible avec l'hypothèse de normalité des résidus que la transformation log.

Graphe quantile-quantile pour chaque sujet

La Figure 8 présente les quantile-quantile pour chaque sujet. Le test de Shapiro-Wilk réalisé pour chaque individu indique que malgré la transformation des données, la distribution de la vitesse de réponse n'est pas gaussienne pour la majorité des sujets.

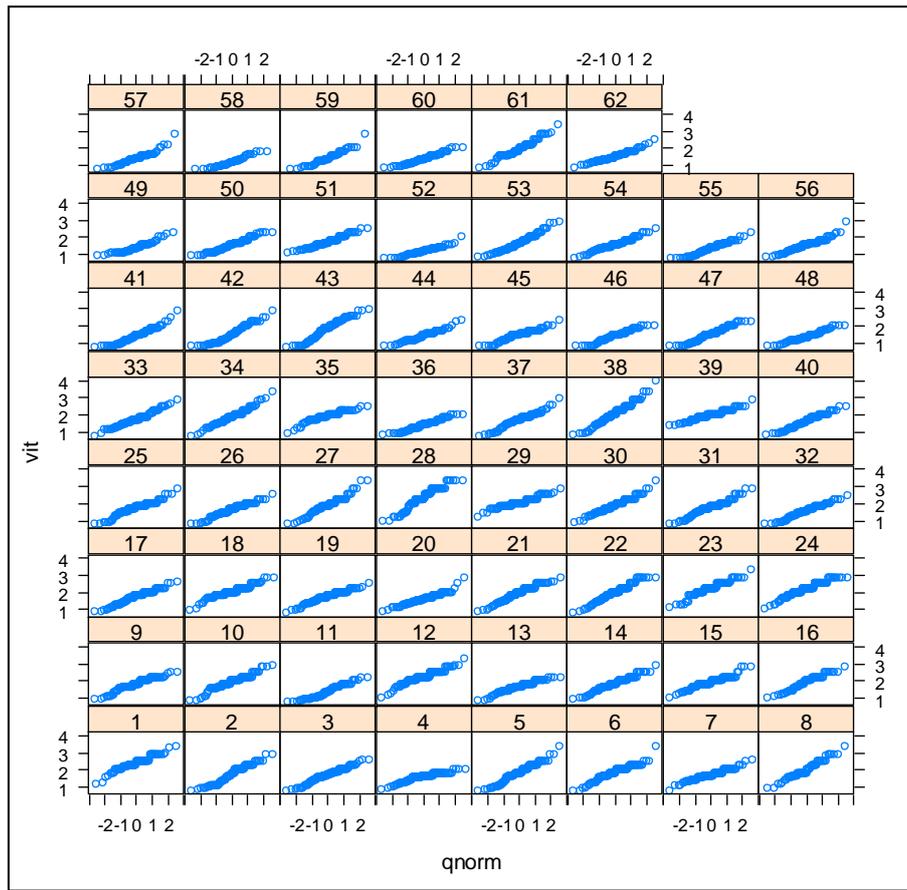


Figure 8 – Test de normalité pour chaque sujet : distribution théorique de la loi normale vs distribution empirique de la vitesse de réponse (QQ-plot).

2.3.2.2. Application des modèles linéaires à effets mixtes (LMM)

L'évaluation des modèles de régression mixtes se divise en deux sous-étapes relatives à l'évaluation des effets fixes et des effets aléatoires. La première étape, consiste à tester les effets fixes longitudinaux de certaines covariables sur la variable dépendante (ici, la vitesse de réponse).

Etude des effets temporels.

La Figure 9 présente une visualisation des effets du rang de l'essai sur la vitesse de réponse.

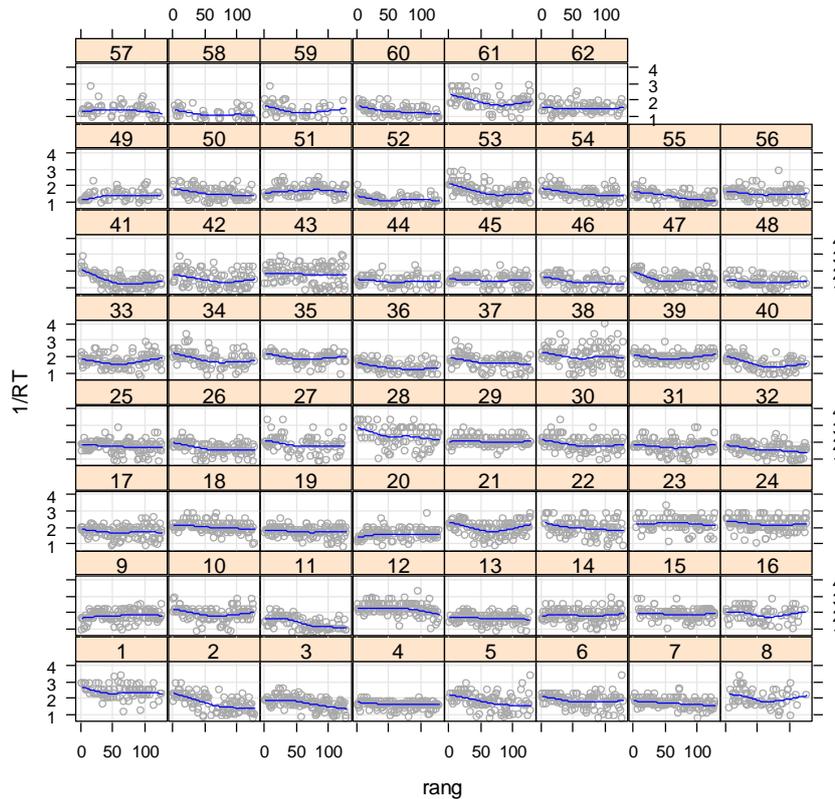


Figure 9 - Visualisation des effets du rang de l'essai (de 1 à 208) sur la vitesse de réponse chez chaque participant.

L'examen de la figure Figure 9 montre que la vitesse de réponse de certains sujets reste stable (par exemple les sujets 25 et 62), ou tend à diminuer au cours des essais (voir le sujet 49). Plus généralement, la vitesse de réponse des sujets tend à présenter tout d'abord une certaine décroissance puis une croissance (par exemple les sujets 8 et 21). L'application d'un modèle linéaire mixte (modèle à intercept aléatoire) intégrant des effets fixes du rang ($\beta = -0,0077$, $t = -14,7$, $p < 0,001$) et du rang² ($\beta = 0,00004$, $t = -10,8$, $p < 0,001$) de l'essai confirme cette observation ($\beta = -0,0022$, $t = -17,2$, $p < 0,001$).

Dépendances temporelles : introduction d'une covariable de contrôle temporel

L'auto-dépendance temporelle entre TR est une réalité expérimentale bien connue (par ex., Broadbent, 1971 ; Welford, 1980). Celle-ci peut être exprimée quantitativement en termes de coefficient d'auto-corrélation, coefficient d'autant plus faible que le décalage temporel est long. La figure ci-dessous présente les graphes d'auto-corrélation obtenus chez des sujets dont la vitesse de réponse à l'essai n est significativement corrélée à celle observée à l'essai précédent, voire même à des essais antérieurs. Pour prendre en compte cette dépendance

temporelle, nous avons introduit dans les effets fixes la vitesse de réponse mesurée à l'essai n-1 (nommée « vit-lag-1 »).

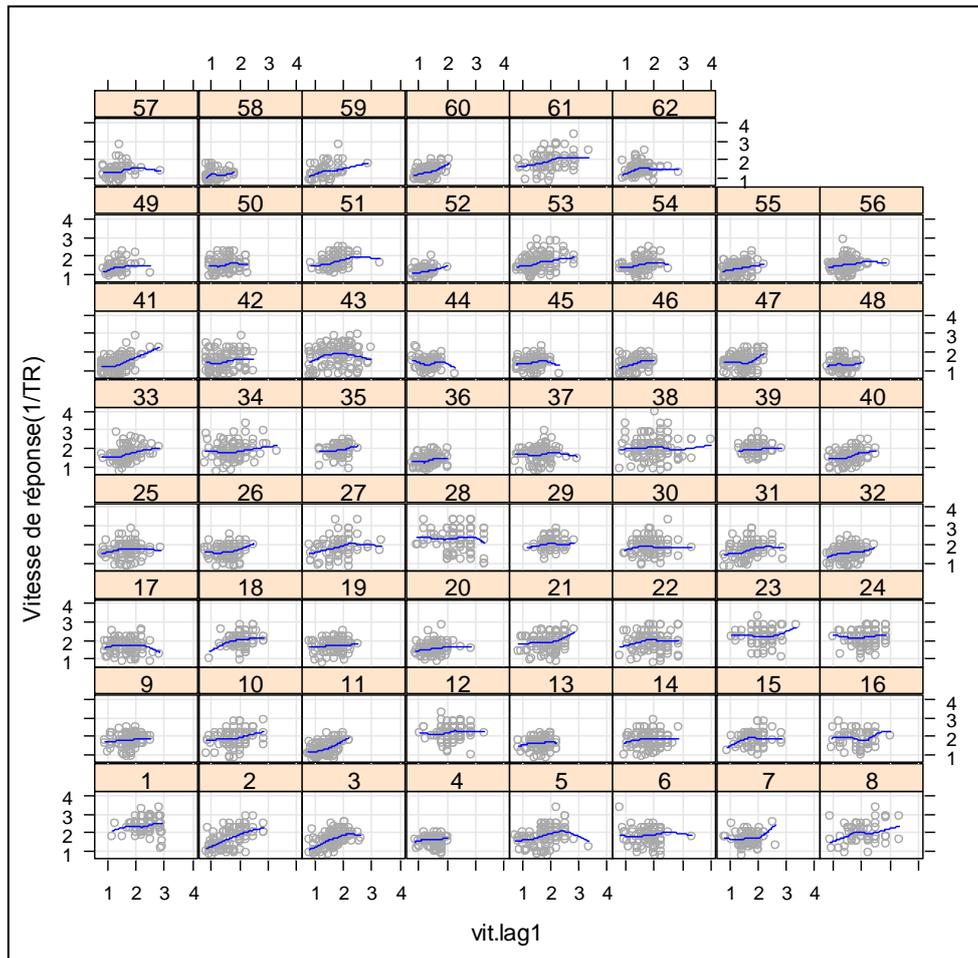


Figure 10 - Dépendance temporelle entre la vitesse de réponse à l'essai n et celle à l'essai n-1.

Les résultats du modèle (intercept aléatoire par sujet) intégrant un effet fixe de la covariable « vit-lag-1 » montrent que la vitesse de réponse à l'essai n-1 est un prédicteur significatif de la vitesse de réponse à l'essai n ($\beta = 0,200$, $t = 16,04$, $p < 0,001$).

En résumé, l'analyse des effets du rang de l'essai et de la vitesse à l'essai précédent sur la vitesse de réponse met en évidence l'impact de la vitesse de réponse à l'essai n-1 sur celle à l'essai n. Ces premiers résultats suggèrent donc de n'introduire que la vitesse de réponse à l'essai précédent dans l'équation des effets fixes du modèle.

Notons que l'introduction dans un modèle linéaire mixte de l'effet fixe de l'âge comme prédicteur de la performance des sujets indique une corrélation entre l'âge et l'intercept égale à -0.905.

2.3.2.2.1. Structure des effets fixes

Un premier modèle, le modèle complet, est estimé et est utilisé comme référence pour la suite des analyses. Dans le modèle complet sont introduits les effets fixes de la condition expérimentale homogène ou répétée (hom-com), du type de matériel « couleur » ou « forme » (mat), de l'âge et celui de la covariable « vit-lag1 ». Il comprend également les effets fixes d'interaction condition \times matériel (hom-com \times mat), condition \times âge (hom-com \times âge), matériel \times âge (mat \times âge), condition \times vit-lag1 (hom-com \times vit-lag1), matériel \times vit-lag1 (mat \times vit-lag1), âge \times vit-lag1 (âge \times vit-lag1), condition \times matériel \times âge (hom-com \times mat \times âge), condition \times matériel \times vit-lag1 (hom-com \times mat \times vit-lag1), condition \times âge \times vit-lag1 (hom-com \times âge \times vit-lag1), matériel \times âge \times vit-lag1 (mat \times âge \times vit-lag1), condition \times matériel \times âge \times vit-lag1 (hom-com \times mat \times âge \times vit-lag1), et l'intercept aléatoire (vit). Notons que le facteur item (répété vs alterné) n'a été introduit que dans un second temps car non pertinent dans la condition homogène.

Le Tableau 2 présente les estimations des effets fixes du modèle complet avec intercept aléatoire par sujet.

Partant du modèle complet, la stratégie employée dite "pas à pas" consiste à sélectionner le modèle le plus parcimonieux en enlevant tour à tour de l'équation du modèle les effets n'ayant pas un effet significatif sur la variable dépendante (vitesse de réponse). En commençant par les effets d'interaction de plus haut niveau (ordre 4, puis 3, puis 2...), seuls sont retenus les effets fixes pour lesquels la valeur absolue de t est supérieure à 1,96.

Dans ce modèle, l'effet d'interaction condition \times matériel \times âge \times vit-lag1 est non significatif ($t=-0,29$) mais également les effets d'interaction d'ordre 3 matériel \times âge \times vit-lag1 ($t=0,18$), condition \times âge \times vit-lag1 ($t=0,36$), condition \times matériel \times vit-lag1 ($t=1,10$) et condition \times matériel \times âge ($t=0,47$). Les effets d'interaction âge \times vit-lag1 et matériel \times vit-lag1 sont aussi non significatifs (respectivement $t=-0,14$ et $t=-1,28$). L'effet d'interaction condition \times vit-lag1 est en revanche significatif ($t=-2,12$), mais pas les effets matériel \times âge ($t=-1,05$), condition \times âge ($t=-0,74$) et condition \times matériel ($t=-1,24$). Enfin, les effets fixes du matériel et vit-lag1

sont significatifs (respectivement $t=2,04$ et $t=3,74$) mais pas celui de l'âge ($t=-1,35$) ou de la condition ($t=1,13$).

<i>Effets fixes</i>			
	β	<i>Erreur standard</i>	<i>t</i>
(Intercept)	1,546	0,157	9,820
hom-com	0,182	0,161	1,130
mat	0,428	0,210	2,040
age	-0,003	0,003	-1,354
vit-lag1	0,280	0,075	3,738
hom-com:mat	-0,288	0,233	-1,236
hom-com:age	-0,002	0,003	-0,740
mat:age	-0,003	0,003	-1,045
hom-com:vit-lag1	-0,178	0,083	-2,129
mat:vit-lag1	-0,135	0,105	-1,281
age:vit-lag1	0,000	0,001	-0,142
hom-com:mat:age	0,002	0,004	0,466
hom-com:mat:vit-lag1	0,132	0,119	1,107
hom-com:age:vit-lag1	0,001	0,001	0,357
mat:age:vit-lag1	0,000	0,002	0,176
hom-com:mat:age:vit-lag1	-0,001	0,002	-0,291

Tableau 2 – Estimation des effets fixes sur la vitesse de réponse (modèle complet)

Partant du modèle complet, la stratégie employée dite “pas à pas” consiste à sélectionner le modèle le plus parcimonieux en enlevant tour à tour de l'équation du modèle les effets n'ayant pas un effet significatif sur la variable dépendante (vitesse de réponse). En commençant par les effets d'interaction de plus haut niveau (ordre 4, puis 3, puis 2...), seuls sont retenus les effets fixes pour lesquels la valeur absolue de t est supérieure à 1,96.

Dans ce modèle, l'effet d'interaction condition \times matériel \times âge \times vit-lag1 est non significatif ($t=-0,29$) mais également les effets d'interaction d'ordre 3 matériel \times âge \times vit-lag1 ($t=0,18$), condition \times âge \times vit-lag1 ($t=0,36$), condition \times matériel \times vit-lag1 ($t=1,10$) et condition \times matériel \times âge ($t=0,47$). Les effets d'interaction âge \times vit-lag1 et matériel \times vit-lag1 sont aussi non significatifs (respectivement $t=-0,14$ et $t=-1,28$). L'effet d'interaction condition \times vit-lag1 est en revanche significatif ($t=-2,12$), mais pas les effets matériel \times âge ($t=-1,05$), condition \times âge ($t=-0,74$) et condition \times matériel ($t=-1,24$). Enfin, les effets fixes du matériel et vit-lag1

sont significatifs (respectivement $t=2,04$ et $t=3,74$) mais pas celui de l'âge ($t=-1,35$) ou de la condition ($t=1,13$).

Le BIC (Bayesian information criterion ou critère de Schwarz) est l'indicateur choisi pour sélectionner le meilleur modèle. Il évalue un modèle d'une part selon son ajustement aux données mais aussi selon le nombre de paramètres indépendants du modèle. Il permet ainsi de sélectionner le modèle réalisant le meilleur compromis entre ajustement aux données et parcimonie du modèle.

Modèles	Effets fixes introduits	BIC
Mc	Modèle complet	5390
M1	Mc - hom-com:mat:age:vit-lag1	5370
M2	M1 - mat:age:vit-lag1	5349
M3	M2 - hom-com:age:vit-lag1	5329
M4	M3 - hom-com:mat:age	5308
M5	M4 - hom-com:mat:vit-lag1	5299
M6	M5 - age:vit-lag1	5277
M7	M6 - mat:vit-lag1	5266
M8	M7 - hom-com:age	5246
M9	M8 - hom-com:mat	5232
M10	M9 - hom-com	5220
M11	M10 + item*mat*age*vit-lag1	5344
M12	M10 + item	5173

Tableau 3 – Ajustement des différents modèles testés en suivant la stratégie « pas à pas » (M1 à M12).

Le Tableau 3 présente les modèles estimés successivement selon la stratégie “pas à pas”. ci-dessous les estimations du modèle final M12 dans lequel ont été conservés comme effets fixes ceux liés au matériel (« forme » vs « couleur »), celui de l'âge et de la covariable vit-lag1, celui de la condition expérimentale répété ou alterné (item) et les effets d'interactions matériel \times âge et vit-lag1 \times condition homogène vs commutation (hom-com).

<i>Effets fixes</i>						
	β	<i>Erreur standard</i>	<i>T</i>			
(Intercept)	1,727	0,063	27,328			
mat	0,133	0,021	6,177			
age	-0,005	0,001	-4,770			
vit-lag1	0,207	0,012	16,933			
item	-0,086	0,011	-7,935			
mat:age	-0,002	0,000	-5,536			
vit-lag1:hom_com	-0,086	0,006	-13,266			
<i>Corrélation entre effets fixes</i>						
	(Intercept)	mat	age	vit-lag1	item	mat:age
mat	-0,162					
age	-0,858	0,171				
vit-lag1	-0,381	-0,024	0,073			
item	-0,043	-0,001	-0,004	0,121		
mat:age	0,142	-0,902	-0,186	0,024	0,000	
vit-lag1:hom_com	-0,071	0,006	0,028	-0,142	-0,454	0,002

Tableau 4 - Effets fixes du modèle final M12.

Effet du matériel (« couleur » vs « forme »)

L'effet du matériel indique que traiter l'une ou l'autre tâche affecte différemment la performance des sujets. Il rend compte de vitesses de réponse différentes selon le type d'essai « couleur » ou « forme » et donc d'une asymétrie entre les deux sous-tâches. L'effet observé est positif et montre que les individus répondent en moyenne moins rapidement aux essais de type « forme » en comparaison aux essais de type « couleur ».

Effet de l'âge

L'effet négatif de l'âge indique que la vitesse de réponse ($1/TR$) diminue avec l'âge des individus. La corrélation égale à -0,86 entre les effets fixes de l'âge et de l'intercept témoigne de la sur-paramétrisation du modèle : les différences interindividuelles d'intercept résument presque entièrement les différences liées à l'âge.

Effet de la covariable vit-lag1

L'effet positif de la covariable vit-lag1 indique une dépendance temporelle entre la vitesse de réponse à l'essai n et l'essai $n+1$. Elle peut être interprétée comme mettant en exergue un effet de la performance de l'essai précédent sur l'essai suivant.

Effet d'interaction matériel × âge.

L'effet d'interaction du matériel (« couleur » vs « forme ») avec l'âge indique qu'en fonction de l'âge des individus, la vitesse de réponse aux deux types d'essai diffère. La Figure 11 représentant les performances moyennes des groupes d'individus âgés et jeunes selon le type d'essai illustre cet effet d'interaction. Elle montre que pour les essais « forme », la relation entre l'âge et la vitesse de réponse est plus forte que pour les essais « couleur ». L'effet de l'âge se fait proportionnellement plus sentir (i.e. pénalise proportionnellement plus la vitesse de réponse) dans la condition forme que dans la condition couleur.

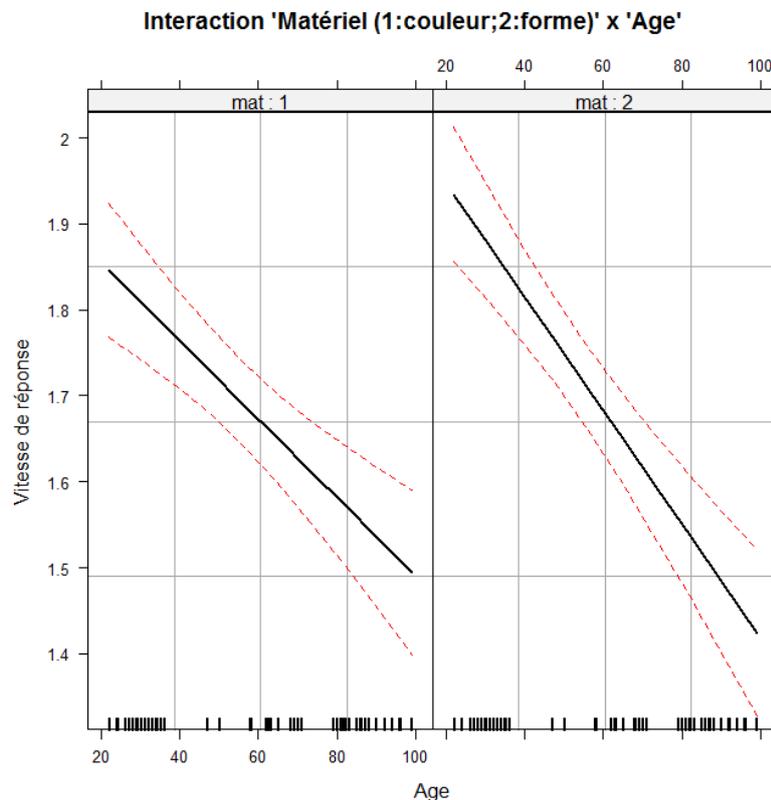


Figure 11 – Illustration de l'effet d'interaction matériel × âge.

Effet d'interaction vit-lag1 × condition

L'effet d'interaction (vit-lag1 × hom-com) indique que la condition expérimentale homogène ou commutation a un effet sur la dépendance temporelle entre l'essai n et l'essai n-1. La Figure 12 illustre cette interaction. Il apparaît qu'en condition homogène la relation entre l'essai n et l'essai n-1 est plus forte qu'en condition hétérogène (i.e. commutation). Celle-ci peut être expliquée par le fait qu'en situation homogène les essais n et n-1 sont de même type

(i.e. essai répété) alors qu'en condition commutation, l'essai n-1 n'est pas dans les mêmes conditions que l'essai n (si l'essai n est répété alors l'essai n-1 est alterné et inversement).

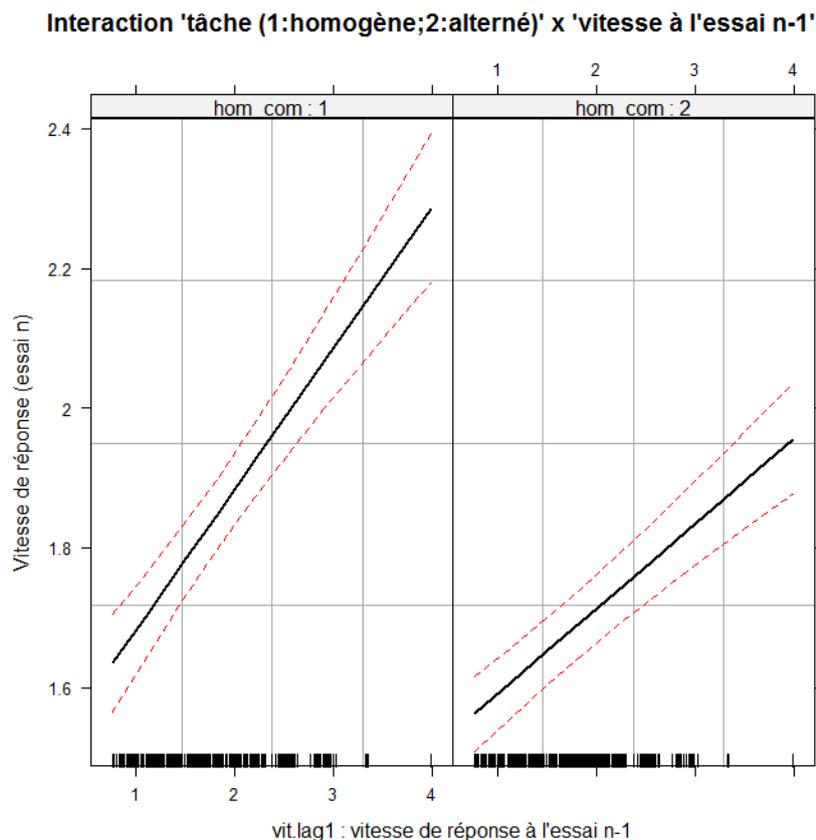


Figure 12 - Illustration de l'effet d'interaction vit-lag1 × condition .

2.3.2.2.2. Structure des effets aléatoires

Pour évaluer la structure des effets aléatoires, différents modèles ont été testés. Le premier modèle testé (M13) introduit en plus des effets fixes du modèle M1 un effet aléatoire du type d'item (répété ou alterné). La comparaison des modèles M12 et M13 nous informe sur l'influence différentielle de l'alternance de tâche dans le bloc de commutation. Autrement dit, cette comparaison permet de déterminer si la commutation de tâche lors des essais alternés à un effet différent selon les sujets.

	Df	AIC	BIC	logLik	Khi2	Chi Df	Pr(>Chisq)
M12 (ml)	9	5050,6	5111,0	-2516,3			
M13 (ml)	11	4982,3	5056,1	-2480,2	72,306	2	<0,001

Tableau 5 - Résultats de la comparaison Anova effectuée entre les modèles M12 et M13. (Df : degré de liberté ; logLik : logarithme de la vraisemblance).

Le Tableau 5 présente les résultats de la comparaison des modèles M12 et M13 par Anova. Ceux-ci indiquent que le modèle M13 est le meilleur modèle (BIC = 5056). Il est donc possible d'affirmer qu'en comparaison aux essais répétés, les essais alternés réduisent la vitesse de réponse. Cette réduction n'a pas la même amplitude chez tous les sujets indépendamment des différences interindividuelles de vitesse mesurées par l'intercept aléatoire. L'introduction d'une pente aléatoire en fonction des essais répétés ou alternés améliore significativement l'ajustement du modèle (delta chi-deux=72,3 ; delta ddl=2 ; $p < 0,001$).

Deux autres modèles sont ensuite testés. Le modèle M14 introduit par rapport au modèle M13 un effet aléatoire de la condition expérimentale (hom-com). Dans le modèle M15, un effet aléatoire du matériel (« couleur » vs « forme ») est ajouté au modèle M14. D'une part, la comparaison des modèles M13 et M14 nous informe sur la significativité d'un effet d'amplitude variable selon les individus du passage de la condition homogène (bloc A ou B) à la condition commutation (bloc AB). D'autre part, la comparaison des modèles M14 et M15, nous informe sur l'importance des différences interindividuelles de vitesse observées entre les individus selon le type d'essai « couleur » ou « forme ».

	Df	AIC	BIC	logLik	Khi2	Chi Df	Pr(>Chisq)
m13.ml	11	4982,3	5056,1	-2480,2			
m14.ml	14	4955	5049,0	-2463,5	33,306	3	<0,001
m15.ml	18	4932,3	5053,1	-2448,2	30,685	4	<0,001

Tableau 6 - Résultats de la comparaison Anova effectuée entre les modèle M0 et M1. (Df : degré de liberté ; logLik : logarithme de la vraisemblance).

Le tableau ci-dessus présente les résultats de la comparaison des modèles M13, M14 et M15 par Anova. Il indique que le modèle M14 est le meilleur modèle (BIC=5049). L'introduction de différences interindividuelles dans la vitesse de réponse selon la condition homogène ou

commutation améliore significativement l'ajustement du modèle (delta chi-deux=33,3 ; delta ddl=3 ; p<0,001).

Formule : vit ~ 1 + mat + age + vit.lag1 + mat:age + hom_com:vit.lag1 + item + (1 + item + hom_com id)						
AIC	BIC	logLik	deviance	REML		
5015	5109	-2494	4927	4987		
<i>Effets aléatoires</i>						
Groupes	Name	Variance	SD	(Intercept)	item	
id	(Intercept)	0,037	0,193			
	item	0,012	0,108	-0,485		
	hom_com	0,010	0,101	-0,061	0,023	
Residual		0,125	0,354			
Nombre d'observation: 6066, groupes: sujet, 62						
<i>Effets fixes</i>						
	β	SD	Valeur t			
(Intercept)	1,737	0,063	27,720			
mat	0,135	0,021	6,381			
âge	-0,004	0,001	-4,792			
vit-lag1	0,197	0,013	14,834			
item	-0,089	0,018	-5,079			
mat:age	-0,002	0,000	-5,754			
vit.lag1:hom_com	-0,084	0,009	-9,137			
<i>Corrélation des effets fixes</i>						
	(Intercept)	mat	age	vit-lag1	item	mat:âge
mat	-0,159					
âge	-0,839	0,175				
vit-lag1	-0,416	-0,027	0,082			
item	-0,186	-0,001	0,016	0,056		
mat:âge	0,139	-0,902	-0,191	0,028	-0,001	
vit.lag1:hom_com	0,072	0,012	-0,009	-0,372	-0,177	-0,007

Tableau 7 - Estimation des effets fixes et aléatoires du modèle M14 par REML sur l'inverse du TR (1/TR). (DI : degré de liberté ; logLik : logarithme de la vraisemblance).

La Figure 13 indique que la distribution des résidus du modèle M14 est satisfaisante.

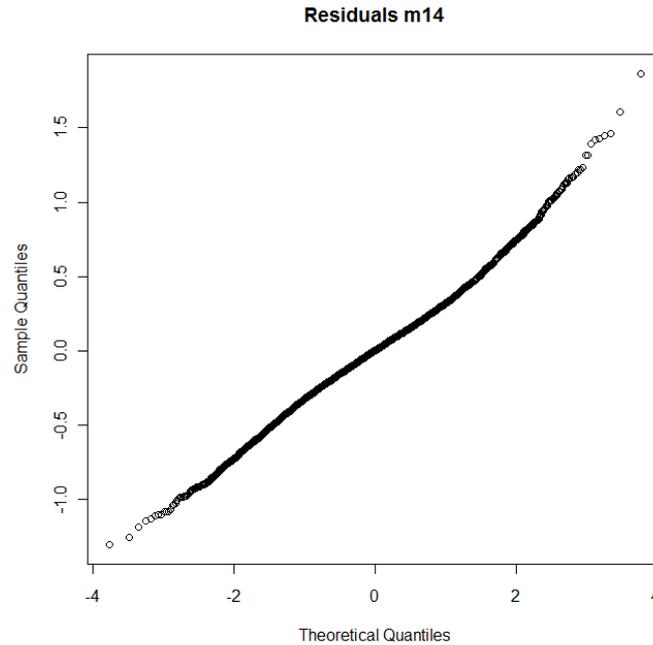


Figure 13 - Résidus ("residuals") du modèle M14.

Les effets aléatoires apportent des informations supplémentaires sur l'impact de certaines variables sur les différences interindividuelles. Les résultats montrent que les participants de cette étude premièrement diffèrent significativement dans leur niveau moyen de performance (intercept aléatoire), deuxièmement sont différemment sensibles aux changements de contraintes situationnelles entre la condition homogène et la condition commutation, la vitesse de réponse de certains d'entre eux étant proportionnellement plus affectée par le passage d'items répétés à des items alternés que celle d'autres participants, et troisièmement sont différemment sensibles aux changements de contraintes situationnelles entre la condition « répétée » et la condition « alternée ». Les individus les plus (resp. moins) affectés par le changement de contrainte (de répété à alternée) fournissent des réponses moins (resp. plus) rapides.

Globalement, les participants présentent une hétérogénéité du point de vue de l'effet du changement de condition expérimentale, entre les conditions homogènes et hétérogènes d'une part et entre condition répétée et alternée d'autre part. Ainsi, les performances des individus seraient mieux décrites par des pentes individuelles relatives aux différentes conditions que par une pente moyenne relative à la performance du groupe.

2.3.3. Analyse de la précision

Les analyses effectuées sur la précision sont basées sur des modèles de régression logistique, les données étant cette fois binaires. Les analyses sont effectuées par GLMM (modèle linéaire mixte généralisé). Comme précédemment, les modèles sont estimés avec la procédure lmer.

Le Tableau 8 présente les précisions moyennes obtenues par les participants à la tâche CF dans les différents blocs (a) et selon le type d'essai « forme » et « couleur » (b).

Condition	C-Hom	C-Rep	C-Alt	F-Hom	F-Rep	F-Alt
J	99,40	98,12	96,10	100,00	98,66	96,91
A	98,59	97,31	94,35	97,78	97,45	89,38

Tableau 8 - Précision aux essais couleur en condition homogène (C-hom), répétée (C-Rep) et alternée (C-alt) et aux essais forme en condition (F-hom), répétée (F-Rep) et alternée (F-alt) selon le groupe d'appartenance de l'individu (J : Jeunes, A : Agés).

2.3.3.1. Etude de l'effet du rang

La Figure 14 présente les estimations d'un modèle (modèle à intercept aléatoire) incluant l'effet fixe du rang. Ces résultats montrent l'existence d'un effet significatif du rang de l'essai sur la précision des réponses ($\beta = -0,0056$, $t = -3,17$, $p = 0,002$).

Formule : PR~1+rang+(1 id)				
AIC	BIC	logLik	deviance	
2172	2193	-1083	2166	
<i>Effets aléatoires</i>				
<i>Groupes</i>	<i>Name</i>	<i>Variance</i>	<i>SD</i>	
id	(Intercept)	0,452	0,193	
Nombre d'observation: 7385, groupes: sujet, 62				
<i>Effets fixes</i>				
	β	<i>SD</i>	<i>t</i>	(Intercept)
(Intercept)	3,90511	0,16782	23,27	
rang	0,00562	0,00177	-3,17	-0,755

Figure 14 - Estimation du modèle et l'effet fixe du rang par GLMM. (logLik : logarithme de la vraisemblance)

2.3.3.2. Structure des effets fixes

Un second modèle, le modèle complet, est estimé. Dans ce modèle sont introduits les effets fixes du rang, de la condition expérimentale homogène ou répétée (hom-com), du type de matériel « couleur » ou « forme » (mat) et de l'âge. Il comprend également les effets fixes d'interaction condition \times matériel (hom-com \times mat), condition \times âge (hom-com \times âge), matériel \times âge (mat \times âge), condition \times matériel \times âge (hom-com \times mat \times âge) et l'intercept aléatoire (vit).

Le Tableau 9 présente les estimations des effets fixes du modèle complet avec intercept aléatoire par sujet. Dans ce modèle, l'effet d'interaction condition \times matériel \times âge est non significatif ($t=1,44$) mais également les effets d'interaction matériel \times âge ($t=-1,71$), condition \times âge ($t=-0,99$) et condition \times matériel ($t=-1,43$). Les effets fixes de l'âge, du matériel et de la condition sont également non significatifs (respectivement $t=1,04$, $t=1,58$ et $t=0,39$). Seul l'effet fixe du rang est significatif ($t=2,30$). Partant du modèle complet, la stratégie "pas à pas" est employée (voir description de la méthode section précédente).

<i>Effets fixes</i>			
	β	<i>SD</i>	<i>t</i>
(Intercept)	0,875	4,956	0,18
rang	0,005	0,002	2,30
hom-com	0,982	2,533	0,39
mat	6,218	3,940	1,58
âge	0,069	0,066	1,04
hom-com : mat	-2,845	1,996	-1,43
hom-com : âge	-0,033	0,034	-0,99
mat : âge	-0,084	0,049	-1,71
hom-com : mat : âge	0,036	0,025	1,44

Tableau 9 - Effets fixes testés dans le modèle complet Mc.

Modèles PR	Effets fixes introduits	BIC
Mc	Modèle complet	2125
M1	Mc - hom_com:mat:age	2105
M2	M1 - mat:age	2111
M3	M2 - hom_com:mat	2127
M4	M4 + item	2129

Tableau 10 - Modèles testés (Mc à M4).

Le Tableau 10 décrit les différents modèles successivement estimés selon la stratégie “pas à pas”. Le tableau 11 présente les résultats de la comparaison des modèles M1, M2, M3 et M4 par Anova. La comparaison des BIC montre que le modèle M2 est le meilleur modèle (delta chi-deux=16,38 ; delta ddl=0 ; p<0,001).

	Df	AIC	BIC	logLik	Khi2	Chi Df	Pr(>Chisq)
M4 (ml)	4	2129	2156	-1060			
M3 (ml)	5	2127	2162	-1059	3,56	1	0,059
M2 (ml)	5	2111	2145	-1050	16,38	0	<0,001
M1 (ml)	6	2105	2147	-1047	7,50	1	0,006

Tableau 11 - Résultats de la comparaison Anova effectuée entre les modèles M1, M2, M3 et M4. (Df : degré de liberté ; LogLik : logarithme de la vraisemblance)

Formule : PR~1+rang+hom_com+age+(1 id)			
AIC	BIC	logLik	deviance
2111	2145	-1050	2101
<i>Effets aléatoires</i>			
Groupes	Name	Variance	SD
id	(Intercept)	0,273	0,522
Nombre d'observation: 7385, groupes: sujet, 62			
<i>Effets fixes</i>			
	β	SD	Error z
(Intercept)	5.585	0,329	16.95
rang	0,006	0,002	2,240
hom-com	-1,722	0,277	-6,210
age	-0,018	0,004	-4,730
<i>Corrélation des effets fixes</i>			
	(Intercept)	rang	hom-com
rang	-0.110		
hom-com	-0,493	-0,539	
âge	-0,692	-0,011	0,014

Tableau 12 - Estimation des effets fixes et aléatoires du modèle M2 par GLMM pour la précision. (logLik : logarithme de la vraisemblance)

Le Tableau 12 présente les estimations des effets fixes et aléatoires du modèle final M2 dans lequel ont été conservés comme effets fixes le rang de l'item, le passage de la condition expérimentale « homogène » à la condition « commutation » (hom-com) et l'âge.

Effet du rang de l'essai

L'effet du rang de l'essai rend compte d'une proportion de réponses correctes différente en fonction du rang de l'essai. La Figure 15 illustre cet effet et indique que la proportion de réponses correctes tend à être de plus en plus importante avec l'évolution dans la tâche.

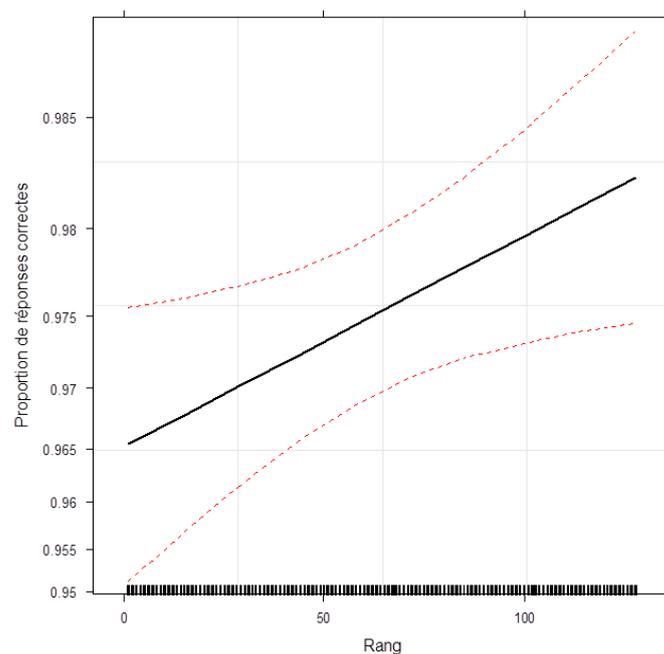


Figure 15 - Effet du rang de l'essai sur la proportion de bonnes réponses dans la tâche CF

Effet de la condition « homogène » vs « commutation »

L'effet de la condition expérimentale « hom-com » rend compte d'une proportion de réponse correcte différente selon le type d'essai (homogène ou hétérogène). L'effet observé est négatif et montre que les individus répondent moins précisément aux essais de la condition commutation en comparaison aux essais de la condition homogène (voir Figure 16). Ce résultat témoigne de l'existence d'un coût de mixage dans la précision des réponses.

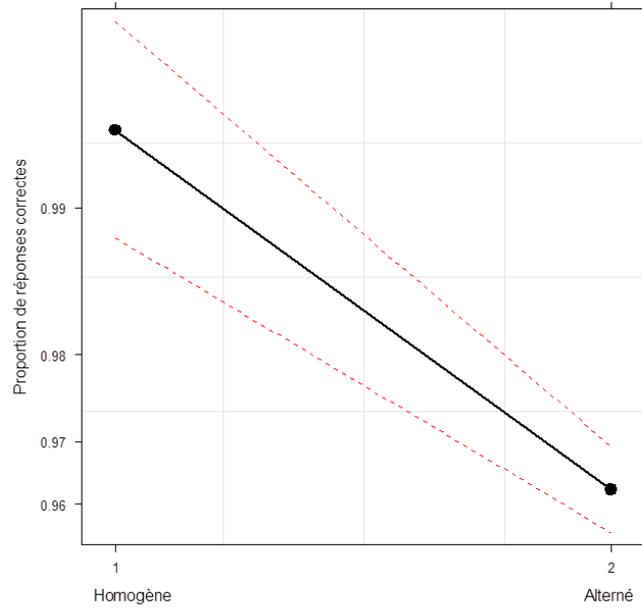


Figure 16 - Précision des performances en condition homogène et alternée

Effet de l'âge

L'effet négatif de l'âge indique que la précision diminue avec l'âge des individus (voir Figure 17). La corrélation égale à $-0,692$ entre les effets fixes de l'âge et l'intercept indique qu'avec l'augmentation en âge, les individus commettent davantage d'erreurs.

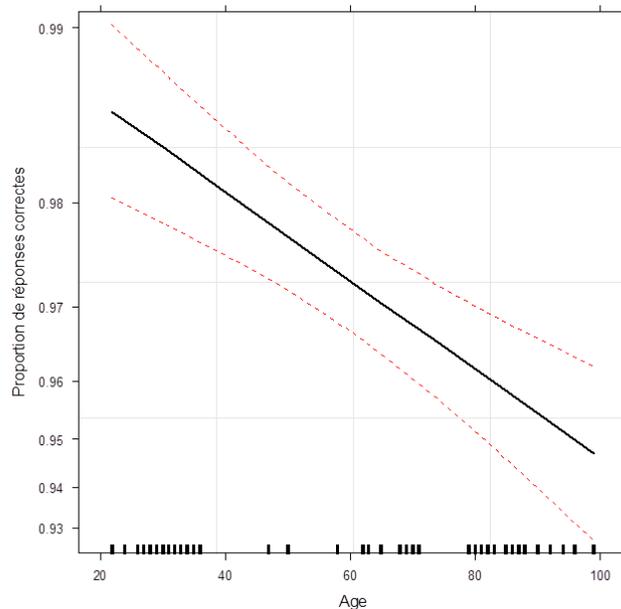


Figure 17 – illustration de l'effet de l'âge sur la proportion de réponses correctes dans la tâche CF

2.4. Modélisation de la tâche d'alternance

Le travail de modélisation est présenté dans cette partie. Il est réalisé dans le but de mieux comprendre le fonctionnement cognitif nécessaire à la réalisation de la tâche d'alternance.

Afin de simuler relativement précisément le fonctionnement cognitif suivi pour compléter la tâche d'alternance, le modèle est basé sur une revue théorique des processus impliqués dans les tâches de commutation attentionnelle. Le travail de fond consiste dans un premier temps à étudier les théories du domaine afin d'implémenter des processus et des mécanismes présentant une certaine cohérence. Le travail consiste ensuite à transposer certaines théories portant sur les processus et mécanismes engagés dans la résolution de la tâche d'alternance vers un modèle computationnel de la tâche dans lequel ces théories sont implémentées.

Dans cette partie, les théories concernant les processus impliqués dans la tâche d'alternance sont tout d'abord exposées. Ensuite, les processus théoriquement engagés dans ce type de tâche et les processus implémentés dans notre modèle sont décrits. Enfin, le modèle computationnel de la tâche CF est développé.

2.4.1. Processus impliqués dans la résolution de la tâche d'alternance.

Plusieurs modélisations de paradigme d'alternance de tâche ont été réalisées (par exemple, Altmann et Gray, 2008 ; Gilbert et Shallice, 2002 ; Lovett, 2005 ; Meiran et al., 2008 ; Sohn et Anderson, 2001). Les processus et mécanismes cognitifs intégrés dans ces modèles ont permis de simuler relativement bien les performances obtenues empiriquement. Cependant, rares sont les études s'étant intéressées aux différences interindividuelles comme c'est le cas dans ce travail. Porter la modélisation au niveau interindividuel diffère de la perspective générale, étant donné qu'à ce niveau d'analyse, la prise en compte -au moins partielle- de la variabilité des traitements pouvant être réalisés est nécessaire. Aussi afin de pouvoir modéliser précisément les différents processus, mécanismes et procédures pouvant être engagés dans la résolution de la tâche précédemment décrite, une revue de la littérature des processus et mécanismes engagés dans la résolution d'une tâche d'alternance comme la tâche CF est ici effectuée.

Les principaux processus cognitifs supposés intervenir dans le traitement d'une tâche d'alternance telle que celle utilisée dans cette étude sont répertoriés dans cette partie. Dans un premier temps, les mécanismes généraux engagés dans le traitement sont décrits en fonction du déroulement de chaque essai et des effets des contraintes contextuelles sur leur efficacité. Ensuite les processus contrôlés initiés en situation de conflit sont présentés. Enfin, des mécanismes d'ajustements alternatifs sont décrits.

2.4.1.1. Traitement des essais et effets contextuels

Suivant les buts de la tâche, des processus généraux et automatiques mis en place par le participant se succèdent, étape après étape, essai après essai. Ces processus sont chargés de la détection des stimuli perceptifs, de leur encodage en MT, de la récupération des représentations de but et des réponses, mais également de leur exécution. Cependant, le contexte de la tâche d'alternance étant par définition variable, ces étapes sont réalisées avec plus ou moins de difficulté en fonction des contraintes contextuelles. Cette partie permet d'évoquer ces étapes et les effets du contexte.

2.4.1.1.1. Traitement d'un essai : étapes et composantes communes

De nombreux mécanismes cognitifs sont théoriquement impliqués dans la résolution d'un essai d'une tâche d'alternance (Altmann et Gray, 2008). Tout d'abord, suite à l'apparition du stimulus, des processus de réorientation attentionnelle et visuelle permettent aux participants de se focaliser sur l'indice afin de l'encoder en MT. Puis, dès qu'ils ont encodé l'indice, ils recherchent une représentation de l'indice en MLT qui sera intégrée en MT. Ensuite, quand le stimulus-cible apparaît, ils doivent effectuer une nouvelle réorientation attentionnelle. Cela leur permet alors d'encoder le stimulus en MT, et, à partir des informations recueillies, il leur est possible de sélectionner une réponse et de l'exécuter. Ces différentes étapes sont exposées succinctement dans cette partie.

Orientation visuelle et attentionnelle vers l'indice.

Les changements du contexte (i.e. l'apparition du stimulus sur l'écran) déclenchent des processus d'orientation sensorielle (détection visuelle et mouvement oculaire) et

attentionnelle vers le stimulus. Ce déplacement est amorcé par le phénomène de capture attentionnelle liée à l'apparition d'un stimulus saillant dans l'environnement visuel (i.e. l'indice, mot écrit en caractère blanc sur fond noir). Ce phénomène dirige de manière automatique le focus visuel et attentionnel des participants vers le stimulus (Posner, 1980). Ce déplacement est rapide et son effet peut s'avérer minime dans notre tâche dans la mesure où les stimuli apparaissent toujours au centre de l'écran.

Lecture, verbalisation et encodage de l'indice.

La perception de l'indice déclenche automatiquement son traitement. Deux processus sont à différencier en plus du processus d'encodage de l'information perçue en MT : les processus de lecture de l'indice³² et les processus liés à sa verbalisation. Les processus de lecture du mot affiché à l'écran d'une part, sont considérés comme étant relativement automatiques et donc peu coûteux cognitivement. Le temps d'exécution de ce processus est fonction du nombre de syllabe du mot. La verbalisation de l'indice d'autre part, nécessite automatiquement l'exécution de plusieurs processus. Dans l'architecture ACT-R par exemple, les processus de verbalisation sont constitués de plusieurs étapes : la préparation, l'initiation et l'exécution de la verbalisation dont la durée varie en fonction du nombre de syllabes du mot.

Récupération des buts de la tâche.

Une fois l'indice encodé, si aucune représentation de la tâche n'est présente en MT, une recherche (basée sur l'information encodée) est effectuée en MLT afin de récupérer une représentation de l'indice (Mayr et Kiegl, 2003 ; Monsell, 2003) et ainsi mettre à jour le contenu de la MT. Lors d'essais répétés, une telle information peut être déjà active en MT (partie active de la MLT) et donc facilement accessible (Cowan, 1988 ; Oberauer, 2002). En revanche, dans le cas d'essais alternés, la capacité de la mémoire de travail (CMT) étant limitée (Just et Carpenter, 1992), les représentations pertinentes pour l'essai en cours (i.e. les représentations des buts de la tâche par exemple) sont plus difficilement maintenues en MT. Dès lors une récupération en MLT peut devoir être opérée afin de récupérer le but ou l'information pertinente pour la tâche en cours. Cette opération plus coûteuse en temps (et cognitivement), nécessite de résoudre la compétition entre les représentations pertinentes et non pertinentes. Divers mécanismes, qui seront décrits ultérieurement, peuvent influencer l'efficacité de cette récupération.

³² Les processus de lecture renvoient au processus de balayage visuel des mots

Réorientation visuelle et attentionnelle, et encodage du stimulus

L'apparition du stimulus dans le champ visuel déclenche automatiquement une réorientation visuelle et attentionnelle vers le stimulus. Il en découle la perception de ses caractéristiques et leur encodage en MT. Dans le protocole utilisé, les cibles comme les indices apparaissent toujours au centre de l'écran et de manière saillante. Par conséquent, les processus de réorientation visuelle et de déplacement oculaire sont peu sollicités et ont une importance relativement minime vis-à-vis de l'efficacité de la performance. En revanche, les processus de focalisation visuelle et attentionnelle ont potentiellement un rôle significatif à jouer dans la résolution de cette tâche. Par exemple, ils peuvent permettre de sélectionner de manière contrôlée les caractéristiques du stimulus-cible (Dreisbach, 2009). Les implications de ces processus pour le traitement sont discutées ultérieurement. Ces processus de focalisation attentionnelle réalisent un filtrage du signal faisant office de stimulus en fonction des buts de la tâche en cours, permettant de l'encoder sous forme d'informations en MT (i.e. la couleur ou la forme du stimulus).

La Sélection de la réponse

La sélection de la réponse consiste en la récupération d'une information en MLT. Cette récupération est le fruit de la combinaison des informations présentes en MT pour extraire la réponse et des processus ascendants (« bottom-up ») relatifs aux propriétés du stimulus qui agissent directement sur le processus de sélection (Oberauer, 2007).

Un premier facteur influençant la sélection de la réponse est le contenu de la MT relativement aux connaissances en MLT. Les informations présentes en MT (i.e. les informations encodées relativement au stimulus et les représentations de la tâche en MT) diffusent de l'activation (activité). Selon Mayr et Kiegl (2003), la représentation de la tâche guide la sélection de la réponse en MLT de manière relativement automatique. Les représentations de la tâche présentes en MT, qu'elles soient un schéma de tâche, les buts de la tâche ou la signification de l'indice par exemple, contribuent à l'extraction de la réponse par la diffusion d'une certaine quantité d'activation aux connaissances en MLT ayant un lien avec ces représentations (Collins et Loftus, 1975). Cette propagation suit les liaisons joignant les représentations en MT et les connaissances ou réponses potentielles en MLT (Anderson, 1983). Le gain d'activation apporté par la diffusion d'activation aux réponses liées aux représentations de la

tâche et aux composantes du stimulus augmente la probabilité de récupération de la réponse appropriée.

La sélection de la réponse est également influencée par des processus ascendants (« bottom-up ») (Oberauer, 2007) résultant des informations perçues qui stimulent elles-mêmes certaines connaissances présentes en MLT (Sohn et Anderson, 2003 ; Oberauer, 2005). L'action de ces processus consiste en l'amorçage des connaissances ayant un lien avec les informations perçues (Sohn et Anderson, 2003 ; mécanisme proche du « binding », Oberauer, 2005). Les connaissances qui possèdent ce lien sont alors mises en valeur en MLT. Oberauer (2005) postule que cette forme d'amorçage confère à la connaissance un niveau d'activation suffisant pour accéder à la zone active de la MLT (voir chapitre 1). Une fois, cette zone atteinte, elles ont un impact sur le système de la MT et influencent les traitements suivants. L'effet de bivalence, c'est-à-dire le ralentissement résultant de l'usage de stimuli pouvant être pertinents pour les deux tâches, résulte de l'impact de ces processus ascendants sur les traitements (Allport et Wylie, 1999 ; Monsell, Yeung et Azuma, 2000 ; Rogers et Monsell, 1995).

Exécution

La dernière étape du traitement d'un essai est naturellement l'exécution de la réponse sélectionnée. Rares sont les tâches dans lesquelles, le mode de réponse est oral comme dans notre paradigme (pour un autre exemple, voir Arbuthnott et Frank, 2000). Notons que la verbalisation, contrairement à une tâche manuelle, nécessite plusieurs étapes (préparation de la verbalisation, initiation, exécution) relativement longues. Le temps de réponse est par conséquent légèrement supérieur à ce qu'il pourrait être dans le cas d'une tâche manuelle.

Résumé

L'ensemble de ces étapes de traitement supportent les mécanismes de base dont la mobilisation est nécessaire pour la réalisation d'un essai. Deux étapes centrales se détachent de l'ensemble du traitement étant influencées par le contexte et l'historique du traitement : la récupération de la représentation de l'indice et la sélection de la réponse. En effet, plusieurs auteurs (par ex., Monsell, 2003) considèrent que ces deux étapes sont à l'origine des coûts de commutation. Lors d'essais alternés comparés aux essais répétés, la tendance automatique à réactiver les représentations de l'essai antérieur actuellement inappropriées accentuerait la compétition avec les représentations pertinentes et non pertinentes, tendant ainsi globalement

à réduire la performance. Il est donc important, pour cette raison, d'analyser les effets de dépendance sérielle entre essais.

2.4.1.1.2. Dépendance sérielle des essais.

La succession des différentes étapes se répète d'un essai à l'autre, tout au long de la tâche. Cependant, en fonction de l'essai précédent (i.e. essai issu de la même tâche ou d'une tâche différente), le traitement sera facilité ou non. Nous décrivons dans cette partie les conséquences liées à la dépendance sérielle des essais selon la condition expérimentale, répétée ou alternée.

Cas des essais répétés : le bénéfice de la répétition.

En condition répétée, la tâche réalisée à l'essai précédent est la même tâche que celle devant être réalisée pour l'essai actuel. Dans cette situation, le traitement de la tâche est facilité. Les buts relatifs de la tâche en cours sont les mêmes qu'à l'essai précédent. Ils sont par conséquent plus facilement accessibles car ils sont toujours actifs en MT (Altmann et Gray, 2008). Dès lors, il n'est pas nécessaire, lors de ces essais, de récupérer en MLT les représentations de buts de la tâche dans la mesure où ce sont les mêmes procédures qui doivent être appliquées. De ce fait, un gain de temps serait apporté au traitement dans le cas des essais répétés en comparaison aux essais alternés, ce qui contribuerait à la réduction du coût de commutation local (Sohn et Anderson, 2001). Concernant la sélection de la réponse, la condition d'essai répété tend à la rendre plus efficiente. Deux principaux facteurs influencent la récupération de la réponse pertinente : la tendance à l'autorépétition et l'amorçage associatif. Ces deux facteurs amplifient encore l'effet de facilitation dû à la répétition.

La tendance à l'autorépétition

Lors de la recherche d'une représentation en mémoire, les connaissances potentielles entrent en compétition. L'efficacité de la sélection est fonction de la résolution de la compétition entre les connaissances potentielles. Cette compétition est influencée par certaines de leurs caractéristiques : leur nombre (Ratcliff, 1978), l'éventuelle prédominance de certaines d'entre elles (Van Maanen, Van Rijn et Borst, 2009) et leur degré de similitude (Oberauer, 2002).

Concernant l'effet du nombre de réponses potentielles, un éventail restreint facilite la récupération (Anderson, 1983). Ce phénomène est expliqué par un niveau d'activation des connaissances plus important en moyenne, en présence d'un nombre réduit de réponses plutôt

qu'en présence d'un nombre important (Anderson et Lebiere, 1998). Plus précisément, en présence d'un nombre réduit de connaissances potentielles, celles-ci sont plus probablement maintenues directement actives en MT. De plus, elles ont tendance à être plus fréquemment extraites, leur niveau d'activation a donc tendance à moins décliner entre les récupérations. Un résultat soutenant cette théorie est l'effet de répétition d'une même réponse, c'est-à-dire le fait qu'entre deux essais conduisant à la même réponse, le second essai est plus rapide que le premier (voir par exemple, Sohn et Anderson, 2001).

Un autre résultat se rapprochant de ce phénomène est l'asymétrie ou la dominance de certaines connaissances en MLT. Dans le test de Stroop par exemple (Stroop, 1935), une difficulté majeure du test est de dépasser la tendance à exécuter préférentiellement les processus de lecture automatique du mot, afin de dénommer la couleur de l'encre, voir chapitre 1). Dans ce test, les représentations et mécanismes impliqués dans le processus de lecture dominant ceux de dénomination de la couleur, du fait de leur solide automatisations. Plus généralement, l'accessibilité d'une connaissance familière ou d'utilisation fréquente ou récente (i.e. celle de l'essai précédent) est plus importante comparée à une connaissance peu familière ou peu fréquente.

Un troisième facteur affectant le processus de sélection est le degré de similitude entre les représentations potentielles. Selon Oberauer (2005), un fort degré de similitude ou de recouvrement entre les connaissances pertinentes et non pertinentes diminue la probabilité de récupération des connaissances pertinentes. Oberauer (2005) postule que le fait que certaines unités d'informations soit reliées à plusieurs connaissances en MT, rend plus difficile le processus de sélection de la représentation pertinente (processus nommé « *overwriting* », traduit comme référant au chevauchement ou au recouvrement des connaissances). Ce phénomène serait par ailleurs à l'origine des phénomènes d'interférence constatés entre connaissances en MT (Oberauer, 2005).

L'amorçage associatif.

La tendance à l'autorépétition influence inconsciemment le processus de sélection de la réponse. Un autre mécanisme y contribue également : l'amorçage associatif. En présence d'un faible nombre de stimuli et par conséquent d'occurrences relativement fréquentes des mêmes propriétés pertinentes, les individus créent au fur et à mesure de la tâche des associations stimulus-réponse entre propriétés du stimulus et réponses correspondantes (Rogers et Monsell, 1995 ; Waszak et al., 2003). Une des conséquences de cet apprentissage associatif est que, lors de l'apparition du stimulus, la propriété pertinente amorce l'association stimulus-

réponse facilitant ainsi la récupération de la réponse correspondante et augmentant l'efficacité de la sélection. De plus, pour les essais répétés, la probabilité d'avoir activé récemment une association donnée est relativement importante, ce qui contribue à une plus grande efficacité du traitement. La fréquence et la récence de la répétition contextuelle du stimulus facilite la sélection de la réponse et donc l'efficacité du traitement.

Ces mécanismes influencent inconsciemment le processus de sélection de la réponse et tendent à expliquer (au moins en partie) le fait que de meilleures performances soient observées aux essais répétés en condition homogène comparées aux performances aux essais répétés en condition hétérogène, ces dernières étant elles-mêmes meilleures que celles obtenues lors des essais alternés en condition hétérogène (Sohn et Anderson, 2001). Pour certains auteurs, ces mécanismes « automatiques » seraient responsables des coûts d'alternance observés et constitueraient le bénéfice de répétition (Sohn et Anderson, 2001).

Cas des essais alternés : conséquences des changements de contraintes contextuelles

La tendance à l'autorépétition décrite précédemment facilite le traitement des essais répétés. En revanche concernant les essais alternés (i.e. pour lesquels la tâche est différente d'un essai à l'autre), son effet est inversé et négatif sur le traitement. Lors de ces essais, les contraintes contextuelles sont modifiées et par conséquent les représentations telles que les buts de la tâche doivent être modifiées. Cependant, comme pour les essais répétés, les contraintes de la tâche précédente (buts, procédures, processus et connaissances) sont plus actives en MT que celles de la tâche en cours (toutes choses égales par ailleurs) alors qu'elles ne sont plus pertinentes. La tendance à l'autorépétition aspire d'une part à reproduire les procédures et processus de l'essai précédent et d'autre part, à récupérer les connaissances et réponses inappropriées associées à la tâche interférente, aux dépens des connaissances pertinentes pour l'essai en cours. Ces conséquences sont exposées dans cette section.

Compétition entre schémas : l'interférence proactive

Lors d'un essai alterné (et particulièrement quand les séquences d'une même sous-tâche sont longues), les représentations les plus récemment activées, et donc probablement les plus actives, sont non pertinentes. Elles sont donc susceptibles d'interférer dans le traitement. Par exemple, les buts de la tâche précédente peuvent interagir lors de la récupération des buts de la tâche actuelle (Sohn et Anderson 2001). Ce phénomène est connu sous l'appellation d'interférence proactive (Allport et al., 1994, Wylie et Allport, 2000). Selon la théorie « Task-

Set-Inertia » (TSI ; Allport et al., 1994), lors d'un essai alterné, le schéma de tâche encodé à l'essai précédent est maintenu dans un état potentiellement actif en MT pour l'essai suivant, ce qui tend à amorcer automatiquement le même traitement. Lors de l'étape de recherche d'une représentation de l'indice, alors que l'information relative à l'indice encodée en MT diffuse de l'activation aux connaissances associées en MLT, la présence du schéma interférant (i.e. son inertie) gêne la récupération du schéma pertinent. Dans ces conditions, la récupération du schéma pertinent (Meiran, 1996) est moins efficace d'où d'éventuels échecs d'activation (de Jong, 2000). Pour certains auteurs, cette interférence serait en partie responsable des coûts de commutation observés (Allport et al., 1994 ; de Jong, 2000).

Compétition entre représentations

Lors de l'étape de sélection de la réponse, les différentes réponses entrent en compétition. La résolution de cette compétition est fonction du contenu de la MT et des processus ascendants (Oberauer, 2007, voir partie sélection de la réponse). En condition alternée, non seulement les connaissances relatives à la tâche concurrente sont vraisemblablement plus actives (ayant probablement été activées plus récemment) mais les connaissances pertinentes ont également été moins récemment activées, et donc leur niveau d'activation a davantage eu le temps de décliner. Par conséquent, lors des essais alternés, les connaissances ou représentations de la tâche concurrente gênent plus le processus de décision (Sohn et Anderson, 2001). Cette accentuation de la compétition a pour conséquence de diminuer l'efficacité de la sélection de la réponse. Notons cependant, que cet accroissement de la compétition n'est pas comparable à celui provoqué par l'interférence proactive (présenté précédemment), celle-ci étant produite par l'inertie du schéma non pertinent présent en MT.

Les processus ascendants influencent également les essais alternés, comparés aux essais répétés, étant donné que les associations stimulus-réponse et les réponses appropriées, extraites moins récemment, sont vraisemblablement moins actives. Elles sont donc moins facilement accessibles qu'en condition répétée (Sohn et Anderson, 2001). Le phénomène d'amorçage associatif affecte également indirectement le processus décisionnel : si le stimulus présente des caractéristiques ou des propriétés pouvant amorcer les représentations de la tâche concurrente (e.g. association stimulus-réponse interférente), celles-ci auront tendance à interférer dans le processus de sélection (Waszak et al., 2003 ; Wylie et Allport, 2000 ; voir ce chapitre, l'effet de bivalence).

La tendance à l'autorépétition et l'amorçage associatif des propriétés des stimuli influencent positivement la probabilité de réussite de la récupération des connaissances pertinentes pour

la tâche en cours lors d'essais répétés, mais de manière moindre voire négative lors d'essais alternés. Certains auteurs (Sohn et Anderson, 2001) supposent que ces mécanismes sont à l'origine des coûts d'alternance observés entre essais alternés et répétés.

Notons néanmoins que les observations et interprétations reportées ici sont à prendre avec précaution de par les caractéristiques de la tâche utilisée. Les séquences sont courtes et l'alternance fréquente. La différence de niveau d'activation entre les représentations de chacune des tâches est donc relative, contrairement à des tâches dans lesquelles les séquences sont relativement longues (voir par exemple, Altmann et Gray, 2008).

2.4.1.1.3. Spécificités de la tâche et effets théoriques

De nombreuses études ont porté sur l'effet des manipulations expérimentales sur la performance pour mieux comprendre les processus mis en jeu dans les tâches d'alternance. Des variables telles que les intervalles de temps entre items, le type ou le nombre d'indices ont largement été manipulées. Dans notre tâche, tous les sujets ont été soumis à la même tâche et certains paramètres de notre tâche ont des conséquences théoriques connues sur le traitement. Ces effets sont décrits dans cette partie.

Les intervalles de récupération (RCI) et de préparation (CTI)

De nombreuses études se sont intéressées à l'effet de la manipulation des intervalles de temps entre l'indice et le stimulus (CTI ; « *cue-target interval* », par exemple, Altmann, 2004) et entre la réponse et le prochain indice (RCI ; « *response-cue interval* », par ex., Horoufchin, Philipp et Koch, 2011).

Tout d'abord, certains auteurs se sont intéressés à l'effet de l'augmentation de l'intervalle de temps RCI (« *response-cue interval* ») entre la réponse et le prochain indice. Ces études ont généralement montré une diminution du coût d'alternance avec l'augmentation de cet intervalle de temps (Koch, 2001 ; Meiran, Chorev et al., 2000, Ruthruff et al., 2001) supportant l'hypothèse d'un déclin progressif de la représentation de la tâche en MT pendant cet intervalle (Koch, 2001 ; Meiran, Chorev, et al., 2000 ; Sohn et Anderson, 2001 mais Horoufchin et al., 2011).

De nombreux auteurs ont aussi porté leur attention sur les effets du temps de préparation sur la performance (par exemple, Meiran, Gotler, et Perlman, 2001 ; Rogers et Monsell, 1995). Selon la configuration de la tâche et la durée du CTI, les individus disposent d'un temps plus ou moins important pour préparer les représentations de la tâche pertinente. Un résultat

récurrent dans la littérature est le fait que l'usage de CTI suffisamment long, conduit à une diminution des coûts de commutation (voir par exemple, Meiran, 1996 ; Roger et Monsell, 1995). L'hypothèse postulée est que l'individu profiterait du CTI pour reconfigurer ou préparer les représentations de la tâche pertinente (Meiran, 1996 ; Meiran et al., 2000 ; Rogers et Monsell, 1995), ce qui résulterait en une diminution du coût d'alternance. Cependant, cette hypothèse rend difficilement compte de l'observation d'un coût de commutation résiduel persistant, même avec des CTI très longs (supérieurs à 1s) (Allport et al., 1994; de Jong, 2000 ; Meiran, 1996 ; Meiran et al., 2000 ; Meiran, 2001, Nieuwenhuis et Monsell, 2002 ; Rogers et Monsell, 1995)³³. Différentes hypothèses tentent d'expliquer ce constat : l'hypothèse d'une composante exogène pour finaliser la représentation (Monsell, Yeung, et Azuma, 2000; Rogers et Monsell, 1995 ; Rubinstein, Meyer, et Evans, 2001), l'hypothèse de l'échec de la préparation (FTE ; « Failure-to-engage ») de de Jong (2000 ; voir aussi Lien et de Jong, 2010), l'hypothèse de préparation partielle des réponses (PMP ; « *Partial-Mapping Preparation* ») de Lien, Ruthruff, Remington, et Johnston (2005) et l'hypothèse TSI associative (task-set-interference) (Allport et al., 1994 ; Wylie et Allport, 2000, voir chapitre 1).

Rogers et Monsell (1995) postulent que la reconfiguration nécessite l'intervention d'une composante exogène issue du stimulus pour être complète (voir aussi Monsell, Yeung, et Azuma, 2000 ; Rubinstein, Meyer et Evans, 2001). Selon ces auteurs, en condition d'essai alterné, le système cognitif humain serait incapable de se configurer entièrement sans avoir traité le stimulus-cible. La reconfiguration ne serait totale qu'une fois l'encodage de la cible effectué et la composante exogène intégrée. Cette reconfiguration ne serait dès lors complète qu'à l'essai suivant l'alternance et expliquerait le coût d'alternance résiduel observé.

Selon de Jong (2000) et Lindsen et al. (2010), le coût de commutation résiduel serait lié à une erreur d'encodage de la représentation de la tâche. Pour ces auteurs, l'encodage de la représentation de la tâche se ferait en tout ou rien (« *all-or-none* »). En cas d'erreur de récupération, la suite du traitement serait « compromise » et moins efficiente.

Une théorie concurrente à la précédente est l'hypothèse PMP de Lien, et collaborateurs (2005). Ces auteurs supposent que l'encodage n'est pas effectué en tout-ou-rien mais que seulement une partie des représentations de la tâche sont préparées. Par exemple, si une seule

³³ Certains études ont observé un maintien du coût d'alternance, si l'indice disparaît avant l'apparition du stimulus (Verbruggen et al., 2007).

paire stimulus-réponse est préparée parmi deux potentielles, la sélection de la réponse risque d'être moins efficace si le stimulus amorce l'association non préparée.

Wylie et Allport (2000) expliquent le coût d'alternance par la théorie TSI associative. Selon leur théorie, le coût d'alternance résiduel à l'essai alterné $n+1$ serait une conséquence de l'amorçage (associatif) des représentations de la tâche par le stimulus lors de l'essai n . Le renforcement des représentations de la tâche (par exemple, des associations stimulus-réponse, du schéma de tâche) réactiverait ces représentations non pertinentes pour l'essai (alterné) suivant. Cette activation supplémentaire provoquerait de l'interférence au niveau de la sélection de la réponse (et éventuellement du schéma de tâche par interférence proactive) ce qui résulterait en un ralentissement des performances pour les essais alternés (Waszak, Hommel, et Allport, 2003).

Brown et al. (2007) associent la théorie FTE de de Jong (2000) et la théorie TSI de Wylie et Allport (2000) afin de rendre compte du coût d'alternance résiduel. Selon ces auteurs, l'amorçage associatif (lié à l'apprentissage associatif) serait le processus qui permettrait la récupération des représentations de la tâche lors d'un échec de récupération. Selon la théorie FTE de de Jong (2000), l'échec de la procédure d'engagement du schéma (soit pour rester actif en situation répétée soit pour être encodé en situation alternée) peut avoir lieu. Il doit être alors réactivé ou récupéré suite à l'apparition du stimulus-cible. Dans une telle situation, l'apprentissage associatif (i.e. les associations apprises entre indice, stimulus et réponse pour une tâche donnée) pourrait permettre au stimulus-cible de réactiver la représentation schématique, de sorte que la tâche puisse être complétée correctement malgré l'échec de récupération (Brown et al, 2007). Le mécanisme de TSI associative (Wylie et Allport, 2000) selon lequel en cas d'erreur d'encodage, les stimuli réactivent les schémas avec lesquels ils ont été récemment associés, pourrait quant à lui rendre compte des coûts d'alternance (Brown et al, 2007) dont, en particulier, du coût d'alternance résiduel.

Enfin, notons que certaines études relèvent une diminution moins importante ou nulle du coût de commutation avec l'augmentation des intervalles de temps (RSI ou CTI) si cet intervalle est fixe au lieu d'être variable pour la séquence d'essais donnée (Altmann, 2004 ; Horoufchin, et al., 2011 ; Koch, 2001). Par exemple, Koch (2001) observe en condition de CTI variable une diminution du coût de commutation, alors que cette réduction est absente en condition de CTI fixe et long comparée aux conditions avec CTI fixe et court. Pour expliquer ce résultat, Koch (2001) suppose qu'un temps de préparation long permet l'initiation de processus stratégiques en plus des mécanismes de préparation reconnus. Ainsi, non seulement un CTI

long sous-tendrait la préparation des représentations de la tâche, mais les variations de ce CTI (i.e. les variations des contraintes expérimentales) conduiraient à l'initiation de processus stratégiques spécifiques tels que l'inhibition du schéma précédent (Mayr et Keele, 2000). Une autre interprétation de la non observation d'un effet de CTI long sur le coût d'alternance est apportée par Altmann (2004) qui soulève l'idée d'une interprétation des résultats « biaisée » par l'insertion de paramètres contextuels. L'induction de variations du CTI aurait pour effet d'inciter le système à être plus efficace dans son utilisation du temps de préparation en provoquant l'initiation plus fréquente de procédure de préparation, alors que cette préparation ne serait effectuée que de manière « paresseuse » (traduit d'Altmann, 2004, p. 160) en cas d'utilisation d'un CTI unique.

Asymétrie entre les tâches

Des différences en termes de niveau de difficulté ou d'automatisme entre les sous-tâches produisent des coûts de commutation asymétriques (i.e. des coûts d'alternance différenciés en fonction de l'alternance vers l'une ou l'autre tâche) qui se traduisent par la domination d'une tâche sur l'autre. Par exemple, les deux tâches dans le test du Stroop sont de niveaux de difficulté différents : la tâche de lecture du mot est plus simple et automatisée, son traitement est donc plus aisé, alors que la seconde tâche est également relativement simple mais en revanche son traitement est moins automatisé. La tâche du Stroop portant généralement sur des stimuli appropriés pour les deux tâches (i.e. des mots écrits avec une certaine couleur d'encre), les processus de chaque tâche sont en compétition. Les processus de lecture du mot étant les plus automatisés, ils ont tendance à être initiés aux dépens de la tâche de dénomination de la couleur de l'encre. La tâche de lecture est alors dite tâche dominante et la dernière dominée. Les études ayant porté sur le Stroop ont toutes (ou presque) observé un coût d'alternance plus important pour passer de la tâche dominante à la tâche dominée plutôt que de la tâche dominée à la tâche dominante (Allport et al., 1994 ; Allport et Wylie, 1999 ; Yeung et Monsell, 2003). De la même manière, dans notre tâche, nous supposons que les tâches « couleur » et « forme » ne sont pas de même difficulté. Ces deux sous-tâches présentent une certaine asymétrie puisque d'une part, il est plus fréquent de référer à la couleur d'un objet quel qu'il soit plutôt qu'à sa forme géométrique (Brulex). D'autre part, traiter la forme d'un objet est également plus complexe puisque cela nécessite le traitement de la figure dans sa globalité. Cette différence en termes de fréquence d'usage et de niveau de difficulté de base rend probable l'observation d'un coût d'alternance asymétrique lequel serait

plus important pour commuter de la tâche de lecture du mot à la tâche de dénomination de la couleur de l'encre qu'inversement.

Propriétés de l'indice

Dans la tâche construite, l'indice représente un nom (« couleur » ou « forme ») qui doit être lu oralement. Les indices utilisés sont transparents (i.e. indiquent relativement bien le traitement devant être réalisé) et nécessitent l'exécution de processus de lecture et une verbalisation. D'une part, concernant la transparence de l'indice, selon certains auteurs (Logan et Schneider, 2006 ; Mayr et Kliegl, 2003) l'utilisation d'indices transparents facilite la récupération d'une représentation simplifiée de la tâche, inspirée directement de la signification de l'indice (Logan et Schneider, 2006). Cette transparence soulève alors la question de la nécessité de se référer à un schéma cognitif de la tâche (plus complexe) pour pouvoir récupérer la réponse pertinente. D'autre part, l'indice doit être verbalisé, ce qui est la grande originalité de la tâche présentée. En effet, à notre connaissance, aucune autre tâche n'a nécessité la verbalisation de l'indice pour déclencher, après un intervalle de temps donné, l'apparition du stimulus-cible.

Théoriquement, verbaliser nécessite l'exécution de plusieurs processus automatiques. Ces processus étant relativement automatiques, l'ajout de la verbalisation de l'indice n'augmente pas la « charge cognitive » de la tâche. Par contre, bien que la lecture et la verbalisation de l'indice indiquent que l'individu a traité cet indice, sa lecture n'implique pas un traitement cognitif spécifique. Notons enfin, que selon certaines études (Goschke, 2000 ; Emerson et Miyake, 2002), la verbalisation de l'indice, généralement réalisée dans la littérature par le biais du processus de répétition articulatoire, pourrait aider au traitement de la tâche d'alternance en activant une représentation phonologique de la tâche devant être exécutée (Emerson et Miyake, 2002).

Propriétés des stimuli.

Deux principaux facteurs liés au stimulus affectent l'interférence entre les tâches : le panel des stimuli utilisés, la bivalence et la congruence des stimuli.

L'éventail des stimuli

Une des caractéristiques de notre tâche est le faible nombre de stimuli différents (i.e. quatre seulement). Pour Rogers et Monsell (1995), la taille de l'échantillon de stimuli doit être relativement importante afin d'éviter que le participant puissent apprendre des associations entre l'indice, les propriétés du stimulus et les réponses, « sinon le participant peut, par apprentissage, redéfinir ce que l'expérimentateur souhaite mesurer par deux tâches, en une seule tâche » (traduit de Rogers et Monsell, 1995, p. 211). Selon cette hypothèse d'apprentissage associatif, l'utilisation de panel de stimuli de petite taille peut résulter en une modification des forces associatives entre les tâches, les attributs des stimuli et les réponses, de sorte qu'à terme la reconfiguration du schéma de tâche ne soit plus nécessaire (Kray et al., 2006). Les tâches présentant un faible nombre de stimuli contribueraient à ce qu'un apprentissage des paires associatives stimulus-réponse puisse être réalisé pendant la tâche. La création de ces associations contribuerait à faciliter la récupération de la réponse, l'association de l'indice et du stimulus pouvant suffire pour résoudre la tâche. Selon, cette hypothèse, d'un essai à l'autre, les participants modifieraient les associations S-R entre les représentations, les stimuli et les réponses et, à chaque essai, les participants seraient influencés par les associations S-R antérieures.

L'effet de bivalence

Pour les tâches de commutation dans lesquelles les stimuli utilisés sont les mêmes pour les deux tâches (i.e. stimulus bivalent), un ralentissement moyen des performances est observé sur l'ensemble des essais, y compris pour les essais présentant un stimulus pertinent pour une seule tâche (stimulus univalent ; Rogers et Monsell, 1995 ; Woodward, Meier, Tipper, et Graf, 2003 ; Woodward, Metzak, Meier, et Holroyd, 2008). Ce ralentissement est l'effet de bivalence.

Le ralentissement observé sur les essais bivalents est souvent attribué aux processus ascendants déclenchés par les propriétés du stimulus (ou les distracteurs associés, e.g. « the Flanker task », Shaw ; 1991) non pertinentes pour la tâche en cours qui amorcent automatiquement des processus ou des représentations relatives à la tâche interférente (Allport et Wylie, 2000 ; Meiran, 2000 ; Monsell, Yeung et Azuma, 2000 ; Rogers et Monsell, 1995). Autrement dit, lors d'un essai alterné, un stimulus bivalent tend à ré-évoqué automatiquement les représentations de la tâche précédente bien qu'elles ne soient plus appropriées pour l'essai actuel. Cet amorçage a pour conséquence d'accentuer la compétition entre les connaissances

pertinentes et interférentes (Waszak, Hommel, et Allport, 2003 ; Wylie et Allport, 2000) et donc de rendre moins efficient le processus de sélection. D'autres auteurs (Kray et Lindenberger, 2000 ; Woodward et al., 2003) supposent que ce ralentissement est créé par l'incertitude provoquée par la propriété non pertinente (Kray et Lindenberger, 2000).

Plusieurs hypothèses sont avancées concernant la généralisation du phénomène aux essais « univalents ». Certains auteurs supposent qu'un mécanisme « prudent » de sélection de la réponse est mis en place (Woodward et al., 2003) ou bien que la présence de stimuli bivalents conduit à un ajustement des processus de contrôle cognitif « aux contraintes contextuelles » (Woodward et al., 2008 ; Rey-Mermet et Meier, 2011). Rey-Mermet et Meier (2011) utilisent une tâche d'alternance qui présente des séquences constituées d'essais avec des stimuli bivalents ou univalents. Ils observent (en moyenne) un ralentissement quel que soit le type de stimulus, comparé à une condition homogène constituée seulement de stimuli univalents. Pour ces auteurs, l'effet de bivalence est davantage envisagé sous un angle d'adaptation du contrôle cognitif au contexte (i.e. un ajustement du contrôle cognitif serait réalisé pour traiter correctement les stimuli bivalents) plutôt que sous l'angle d'un amorçage des propriétés du stimulus (auquel cas, les stimuli univalents dans les blocks mélangés ne seraient pas affectés).

D'un point de vue général, la présence d'une caractéristique non pertinente bivalence complexifie le traitement cognitif comparé au traitement d'un stimulus univalent. Un constat similaire est observé concernant l'effet de la bivalence des modes de réponses, également nommé effet de congruence (Meiran et al., 2008).

L'effet de congruence

Dans certaines tâches d'alternance, un autre facteur est susceptible d'accentuer la compétition entre les réponses : le fait qu'un même stimulus conduise à l'exécution d'une même réponse (i.e. stimulus congruent) ou de deux réponses différentes pour chacune des tâches (i.e. stimulus incongruent). Par exemple, la tâche d'alternance utilisée par Altmann et Gray (2008) présente des stimuli congruent ou incongruent (voir encart 1). Dans la tâche d'alternance utilisée pour cette étude, les différentes sous-tâches consistent à discriminer la couleur de l'indice, ou à relever sa forme. La réponse étant vocale, les réponses sont univalentes. En revanche, si un premier bouton avait été utilisé pour répondre « rouge » et « carré », et un second « bleu » et « rond », le mode de réponse aurait été dit bivalent, et un stimulus « carré-bleu » aurait été incongruent, puisque ne référant pas à la même réponse pour l'une et l'autre

tâche. De nombreuses études ont observé des coûts de commutation plus importants pour des réponses incongruentes que pour des réponses congruents (par exemple, Rogers et Monsell, 1995 ; Mayr, 2001), suggérant que des essais incongruents augmentent le conflit entre les réponses ou la compétition entre les tâches (par exemple, Koch et Allport, 2006 ; Meiran et al., 2008; Monsell, Taylor et Murphy, 2001). Notons qu'une conséquence indirecte de l'effet de congruence est constatée sur la performance à l'essai suivant : l'effet de congruence n-1. Il réfère à l'observation d'un coût de commutation plus important après des essais comprenant des stimuli incongruents qu'après des essais constitués de stimuli congruents (Brown et al., 2007 ; Gilbert et Shallice, 2002 ; Goschke, 2000 ; Monsell et al., 2003).

Encart 1 - Paradigme d'Altmann et Gray (2008)

Le protocole utilisé par Altmann et Gray (2008) est une tâche d'alternance dans lesquelles deux sous-tâches sont alternées. La première demande de juger si le stimulus présenté (un chiffre) est pair ou impair, et la seconde, s'il est supérieur ou inférieur à 5. Pour répondre deux boutons sont associés aux différentes réponses (mode de réponse bivalent) : le premier correspond aux réponses « pair » et « supérieur », le second aux réponses « impair » et « inférieur ». Dans ce genre de tâche, la performance des sujets varie selon la condition rencontrée : les réponses sont plus rapides aux essais composés d'un stimulus congruent (i.e. la réponse est identique quelle que soit la tâche, par exemple pour le stimulus « 8 ») comparés aux essais composés d'un stimulus incongruent (i.e. la réponse diffère selon la tâche, par exemple pour le stimulus « 7 »).

Résumé

Dans cette section sont répertoriés les différents processus généraux impliqués dans la résolution d'une tâche d'alternance comme celle utilisée dans cette étude. Les étapes et processus présentés sont identiques d'un essai à l'autre à l'exception de l'étape de récupération d'une représentation de la tâche, une représentation appropriée étant déjà présente en MT en condition répétée. Bien que les étapes du traitement soient relativement similaires, les contraintes contextuelles liées à l'alternance de tâche affectent la difficulté du traitement. Tout d'abord, les connaissances et processus utilisés lors de l'essai précédent influencent la réalisation de l'essai actuel. En condition répétée, les connaissances (par ex.,

buts et réponses) relatives à la tâche en cours sont a priori (au moins légèrement) plus actives que les connaissances concurrentes, de par la fréquence ou la récence de leurs activations. Le processus de sélection de la réponse est par conséquent facilité. En revanche, le déficit rencontré en situation alternée est « inversement proportionnel » au bénéfice postulé en condition répétée. En condition de permutation, d'une part, les représentations et buts pertinents de l'essai précédent ne sont plus appropriés. Ces connaissances étant présentes en MT, il est alors théoriquement nécessaire de s'en désengager et de récupérer les connaissances pertinentes pour l'essai en cours. D'autre part, la tendance à la répétition, favorable en condition répétée, est défavorable en condition alternée : les connaissances non pertinentes, les plus actives, rendent la récupération de la réponse pertinente plus malaisée. En situation alternée, il faut donc surpasser la possible interférence produite par le schéma activé précédemment, mais également parer à la récupération des représentations relatives au stimulus et aux réponses interférentes, celles-ci pouvant être, en plus, amorcées par la présence d'une caractéristique non pertinente du stimulus bivalent.

Alors que les conditions expérimentales de la tâche utilisée (CTI long, RSI long, faible nombre de stimuli) sont relativement favorables pour une résolution efficace de la tâche présentée, en situation alternée, la diffusion de l'activation issue du contenu de la MT doit être suffisante pour compenser les effets des contraintes contextuelles qui accentuent la compétition entre les représentations. Aussi, certains auteurs postulent que des processus contrôlés puissent intervenir pour faciliter le traitement en situation conflictuelle et ainsi gérer cette situation (par exemple, Dreisbach et al., 2009).

2.4.1.2. Détection de conflit et ajustements contrôlés réactifs.

Diverses fonctions contrôlées sont prépondérantes pour le traitement. Par exemple, les processus de *mise à jour* d'une part, renouvellent le contenu de la MT tandis que, l'*attention exécutive* d'autre part est chargée du maintien actif des représentations de chaque sous-tâche en MT et de résoudre les conflits entre représentations concurrentes (pour plus de détails, voir chapitre 1). En condition alternée, lors des étapes de récupération d'informations en MLT, la composante de résolution de conflit a un rôle d'autant plus fort que les représentations non pertinentes sont dominantes et accentuent la compétition entre les représentations concurrentes. Dans ces situations, en cas de détection d'un conflit, des mécanismes contrôlés supplémentaires sont initiés pour réguler la compétition. Ils sont décrits dans cette partie.

2.4.1.2.1. Surveillance et régulation de l'activité cognitive : implication des processus métacognitifs

Les processus métacognitifs sont nécessaires à la régulation de l'activité cognitive. Ces processus sont principalement étudiés dans le domaine du contrôle de la réponse en situation de conflit (voir, par exemple, Botvinick et al., 2001 ; Botvinick et al., 2004 ; Egner, 2008). Dans les tâches d'alternance, leur rôle est d'une part de superviser le déroulement de l'activité cognitive (Nelson et Narens, 1994) et d'autre part, en cas de détection de conflit, d'initier des processus contrôlés capables d'orienter favorablement le processus de sélection (Botvinick et al., 2001). Le *monitoring* par exemple, a un rôle central dans la régulation du traitement pour surveiller l'activité cognitive et réagir en cas de détection de conflit par l'exécution de processus contrôlés adaptés.

Les mécanismes métacognitifs sont associés au contrôle cognitif et sont responsables de la détection de conflits entre processus ou représentations. En situation de conflit, ils sont à l'origine du recrutement du contrôle attentionnel et de l'initiation de processus contrôlés (Botvinick et al., 2001). Cette initiation est généralement perçue comme étant effectuée de manière réactive à la survenue du conflit. Dans le test de Stroop par exemple, lors d'un essai de type indiquant de traiter la couleur de l'encre par exemple, l'apparition d'un stimulus incongruent (e.g. le mot rouge écrit à l'encre verte) crée du conflit. La détection de ce conflit peut mener à initier des mécanismes contrôlés inhibiteurs qui facilitent les processus de dénomination de la couleur de l'encre. De même, dans la tâche d'alternance présentée, la détection du conflit produit par la bivalence du stimulus par exemple, peut conduire à augmenter le contrôle cognitif investi dans la résolution de la tâche (Rey-Mermet et Meier, 2011 ; Woodward et al., 2008). L'idée d'un recrutement réactif « on line » de contrôle cognitif supplémentaire est actuellement un secteur de recherche intense dans le domaine du contrôle de la réponse, en situation de conflit (voir, par exemple, Botvinick et al., 2001 ; Botvinick, et al., 2004 ; Brown et al., 2007 ; Egner, 2008). Brown et associés (2007) modélisent ce mécanisme de détection par l'intégration dans leur modèle d'un détecteur d'incongruence on-line (i.e. agissant au cours des essais) sensible au conflit entre réponses. Ce détecteur surveille le traitement de l'essai « détectant le conflit entre les traitements des réponses incongruentes et augmentant [en retour] l'activité des représentations de la tâche actuelle » (traduit de Brown et al., 2007, p. 52).

Les mécanismes de détection de conflit peuvent également agir de manière proactive. Par exemple, dans notre tâche, à partir des expériences passées (e.g. la réalisation des essais du bloc de familiarisation), l'individu pourrait prendre conscience de l'interférence produite par l'alternance de tâches et la bivalence des stimuli. Le conflit une fois détecté, des processus métacognitifs chargés de réguler l'activité cognitive peuvent initier la mise en place de stratégies ou de modes de fonctionnement adaptés, qui atténueraient ou réguleraient ce conflit. L'action des processus métacognitifs peut donc être réactive et s'exprimer par l'initiation de processus de contrôle renforçant les connaissances pertinentes ou inhibant les connaissances interférentes. Elle peut être aussi préparatoire et se manifester par la planification ou la construction de stratégies contrôlées adaptées au contexte. D'un point de vue général, leurs effets se caractérisent par un ajustement (ponctuel ou soutenu) du niveau de contrôle cognitif aux contraintes contextuelles (Rey-Mermet et Meier, 2011 ; Woodward et al., 2008 ; Dreisbach et Haider, 2006).

2.4.1.2.2. Inhibition du schéma de tâche interférent

Lors des essais alternés, l'interférence proactive pouvant être produite par le schéma de tâche de l'essai précédent (Allport et al., 1994 ; voir section « interférence proactive ») tend à rendre moins efficiente la récupération du schéma pertinent. Pour corriger cette inertie, plusieurs hypothèses sont avancées (pour une revue, voir Koch, 2010). Une première hypothèse suppose que l'activation de la représentation non pertinente décline « naturellement » (Meiran et al., 2000). Cette désactivation progressive contribuerait à une diminution des coûts de commutation à mesure que le CTI et le RSI augmentent. Une deuxième hypothèse suppose que des processus contrôlés accélèrent cette diminution en inhibant directement la représentation interférente, diminuant la compétition et augmentant l'efficacité de l'extraction (Arbuthnott, 2005 ; Goschke, 2000 ; Hübner, Dreisbach, Haider et Kluwe, 2003 ; Kuhn, Lien et Ruthruff, 2007 ; Masson et al., 2003 ; Mayr et Keele, 2000 ; Philipp, Kalinich, Koch, et Schubotz, 2008 ; Schuch et Koch, 2003). Cet effet agirait de manière concomitante ou non à un renforcement de la représentation pertinente (Goschke, 2000).

Mayr et Keele (2000) ont fait l'hypothèse qu'en condition d'alternance, ces mécanismes inhibiteurs étaient initiés par le centre exécutif pour diminuer l'activation des connaissances non pertinentes activées précédemment et soutenir la récupération des connaissances adaptées pour l'essai en cours. Ces processus inhibiteurs réduisent la compétition entre les différentes

représentations de tâche (Hübner et al., 2003) facilitant ainsi l'alternance³⁴. Selon Mayr et Keele (2000), ces processus interviendraient de manière anticipée dès la fin de l'essai précédent, afin de réduire l'interférence produite par la tâche sur l'essai suivant qu'il soit répété ou alterné. Contrairement à ces derniers, d'autres études suggèrent que cette inhibition agit de manière réactive, en condition d'alternance uniquement (Goschke, 2000 ; Schuch et Koch, 2003), ou bien que l'efficacité de cette inhibition est fonction de la difficulté de la tâche³⁵ (Kuhn et al., 2007). Pour Kuhn et collaborateurs (2007), l'inhibition serait davantage réactive quand l'alternance est relativement aisée alors qu'en situation d'alternance plus difficile, l'inhibition serait plus forte et davantage proactive.

Selon Mayr et Keele (2000), le désengagement réalisé³⁶ grâce à l'inhibition de la connaissance non pertinente perdure légèrement dans le temps, laissant une trace inhibitrice résiduelle. Dès lors, si les essais suivants requièrent de récupérer la connaissance précédemment inhibée, l'inhibition résiduelle affectera le traitement. L'observation du coût d'alternance asymétrique (n-1) et du coût d'alternance n-2 est supposée en résulter.

Le coût d'alternance asymétrique (n-1)

Le coût d'alternance asymétrique se manifeste par un coût de commutation différent pour passer d'une tâche à l'autre quand les niveaux de difficulté de chaque sous-tâche sont distincts. Par exemple, si l'on considère deux tâches de niveau de dominance ou d'automatisme dissemblables (i.e. lire le mot ou dénommer la couleur de l'encre, pour le test de Stroop), un coût de commutation plus important est observé pour passer de la tâche « dominée » (dénommer la couleur de l'encre) à la tâche « dominante » (lire le mot) qu'inversement (Arbuthnott, 2008 ; Koch, Prinz, et Allport, 2005; Monsell, Yeung, et Azuma, 2000; Yeung et Monsell, 2003). Ce coût d'alternance asymétrique peut être expliqué par la combinaison de l'hypothèse de l'inertie des représentations de la tâche (Allport et al., 1994), associée à l'idée d'un degré de contrôle cognitif ajusté en fonction des contraintes du contexte (Goschke, 2000). Ainsi, pour exécuter la tâche dominée (i.e. dénommer la couleur de l'encre), il serait nécessaire d'inhiber relativement fortement la tâche dominante (i.e. lire le mot), alors que dans le sens inverse, le besoin d'inhiber la tâche dominée serait moindre pour exécuter la

³⁴ Selon cette théorie de Mayr et Keele (2000), et si les séquences inter-tâche sont très courtes (de l'ordre de 1 ou 2 items), l'initiation des processus inhibiteurs sur un schéma donné, pour diriger la récupération du schéma lors d'une alternance, pourrait avoir un effet négatif sur une tentative de récupération ultérieure du schéma donné inhibé. (voir conditions étude 2, partie 5888).

³⁵ La difficulté de la tâche est influencée par les caractéristiques de la tâche, tels que l'utilisation de bouton-réponse bivalents, ou de stimuli bivalents ou complexe (Kuhn et al., 2007).

³⁶ Notons que cette action de désengagement de la tâche précédente s'apparente à celle de la fonction de *mise à jour* du point de vue du renouvellement de l'information présente en MT.

tâche dominante. Selon Mayr et Keele (2000), la continuité dans le temps de la trace laissée par les processus inhibiteurs peut rendre compte d'une différence d'inhibition résiduelle sur les deux tâches du fait que la tâche dominante est plus difficilement réactivée que la tâche dominée, provoquant ainsi le coût de commutation asymétrique. Notons que des résultats semblables sont aussi discutés dans l'alternance langagière (voir Kroll et al., 2008, Philipp, Gade et Koch, 2007) et que des résultats contradictoires sont rapportés (Monsell et al., 2000), difficilement explicables par l'hypothèse d'inhibition résiduelle.

Effet de l'inhibition rétroactive

Dans la littérature, un coût de permutation particulier est supposé mettre en évidence l'implication de mécanismes inhibiteurs. Ce coût d'alternance se manifeste par des performances moins efficaces pour passer d'une tâche A à une tâche B (essais **AB**), si l'essai antérieur était un essai relatif à la tâche B (essais **BAB**), et non un essai d'une autre tâche (essais **CAB**) (Mayr et Keele, 2000 ; Schuch et Koch, 2003 ; mais Lien et al., 2006 ; Koch et al., 2004). Pour expliquer ce phénomène, Mayr et Keele (2000) fondent l'hypothèse dite d'inhibition rétroactive (BI, « backward inhibition »). Selon ces auteurs, lors d'une alternance de la tâche B vers la tâche A (essais **BA**), l'action des processus inhibiteurs intervenus intentionnellement pour inhiber les représentations relatives à la tâche B, persiste dans le temps (Mayr et Keele, 2000). Lors de l'essai suivant, en cas d'alternance vers la tâche B (essais **BAB**), si cette inhibition (résiduelle) est toujours présente, le processus d'extraction du schéma pertinent est gêné, le rendant moins probable ou moins aisé qu'en situation habituelle, ce qui provoquerait le coût de commutation observé. A l'inverse, si l'inhibition s'est totalement résorbée (essais **CAB**), l'alternance ne serait pas davantage gênée qu'en situation d'alternance ordinaire. Cet effet dit d'inhibition rétroactive, observé uniquement quand une permutation doit être réalisée dans le sens inverse à celle effectuée à l'essai n-1 (Mayr et Keele, 2000), demeure le plus fort argument en faveur de l'intervention de mécanismes inhibiteurs dans la tâche d'alternance (Koch, 2010). A notre connaissance, aucune autre explication n'est parvenue à expliquer ce phénomène par d'autres processus.

2.4.1.2.3. Contrôle de la réponse sélectionnée

Des processus de contrôle interviennent également lors de l'étape de sélection de la réponse. Ces processus sont initiés par les mécanismes de détection de conflit sensibles à l'accroissement de l'interférence et de la compétition entre réponses (Goschke, 2000 ; Brown

et al., 2007 ; Schuch et Koch, 2003 ; Koch et al., 2010). L'initiation de ces mécanismes aurait pour but d'atténuer (directement ou indirectement) l'interférence produite par les représentations non pertinentes de la tâche (Egner et Hirsch, 2005 ; Goschke, 2000) et ainsi favoriser la récupération d'une réponse pertinente.

Activation ou inhibition latérale

Lors de la sélection de la réponse et de la détection de conflit (par exemple, en présence de stimuli incongruents), les mécanismes de détection de conflit peuvent déclencher l'initiation de mécanismes contrôlés inhibiteurs. Pour certains auteurs (Gilbert et Shallice, 2002 ; Mayr et Keele, 2000 ; Schuch 2003), l'initiation de processus inhibiteurs consisterait en une inhibition dite « latérale » des représentations de la tâche concurrente. Par exemple, dans le modèle PDP (« Parallel Distributed Processes »), Gilbert et Shallice (2002) proposent que l'activation simultanée des connaissances en compétition est réduite ou prévenue par une désactivation de la tâche concurrente. Pour certains auteurs (Schuch, 2003 ; Koch et associés, 2004), cette inhibition latérale peut être réalisée par exemple sur la catégorie inappropriée des réponses (Schuch, 2003) ou sur le mode de réponse (Koch et al., 2004), dans le cas de tâches demandant de répondre de manière différente (par exemple, par une réponse vocale pour la première tâche et manuelle pour la seconde). Goschke (2000) pour sa part postule qu'un phénomène complémentaire à l'intervention de processus inhibiteurs participe à la résolution du conflit. Il suggère qu'en plus de l'action des mécanismes inhibiteurs sur les représentations de la tâche interférente, des mécanismes contrôlés renforcent (directement) celles de la tâche pertinente.

Inhibition de la réponse précédente

L'intervention de processus contrôlés inhibiteurs pour la sélection de la réponse ne serait pas cantonnée à une inhibition réactive des représentations de la tâche interférente. Druey et Hübner (2008) font l'hypothèse de l'intervention de mécanismes inhibiteurs à visée préventive. Selon ces auteurs, des processus inhibiteurs seraient exécutés pour désactiver la réponse émise lors de l'essai précédent afin d'atténuer la prédominance de cette réponse lors de l'essai suivant. L'action de tels processus est inspirée d'un résultat relativement récurrent dans la littérature concernant l'effet de répétition d'une même réponse (par exemple, Rogers et Monsell, 1995 ; Hübner et Druey, 2006 ; Kleinsorge, 1999 ; Mayr et Kliegl, 2003 ; Meiran, 2000 ; Schuch et Koch, 2004). Cet effet observé en situation de réponse bivalente, se

caractérise par un bénéfice de la répétition d'une réponse pour des essais répétés, et paradoxalement par un coût additionnel pour les essais alternés (Kleinsorge et Heuer, 1999). Druet et Hübner (2008) expliquent ce phénomène par le fait qu'en situation alternée, une inhibition préventive est effectuée sur la réponse précédemment exécutée dans le but de prévenir de son autorépétition accidentelle. D'autres auteurs proposent néanmoins des explications alternatives. Par exemple Meiran (2000) et Schuch et Koch (2004) proposent que cet effet soit la conséquence de modulations des associations entre catégories de stimuli et catégories de réponses.

Processus contrôlé post-sélection.

Une fois la réponse sélectionnée, l'évaluation de la sélection réalisée et la détection d'une erreur par exemple, peuvent déclencher l'initiation de processus contrôlés (Schuch et Koch, 2003 ; Botvinick et al., 2004 ; Hasher et Zacks, 2007). Des mécanismes inhibiteurs par exemple, semblent pouvoir intervenir en aval de la sélection de la réponse pour empêcher l'exécution d'une réponse dominante (Hasher et al., 2007). Ces processus sont distingués selon le moment de l'initiation de leur action, antérieure ou postérieure à l'exécution de la réponse. Pour Schuch et Koch (2003), l'inhibition ne serait provoquée que lorsque la sélection de la réponse est réalisée (mais pas forcément l'exécution).

2.4.1.2.4. Exécution de la réponse et feedback associé.

L'exécution de la réponse peut contribuer à fournir un retour sur la performance réalisée et ce, même en l'absence de feedback (Koch, 2010). Ce retour peut renforcer la tâche réalisée (Koch, 2010). Par exemple, dans leur modèle connexionniste PDP, Gilbert et Shallice (2002) intègrent un feedback des réponses (référant aux « outputs ») vers le schéma de tâche, qui module l'activité de ce schéma de tâche (Gilbert et Shallice, 2002). Dans la même optique, Steinhauser et Hübner (2006, 2008) ont analysé la performance aux essais suivant une erreur. Ils ont observé des coûts d'alternance inversés après une erreur (i.e. la performance est meilleure pour les essais alternés que pour les essais répétés), suggérant que la tâche incorrecte est activée lors de l'exécution d'une réponse erronée. Steinhauser et Hübner (2006) expliquent ce résultat en proposant un mécanisme de renforcement qui suppose qu'une réponse exécutée consolide les représentations de la tâche associée (selon la loi de Hebb, 1949). Selon cette idée, si l'essai suivant n est alterné, l'exécution d'une erreur facilite son traitement, les représentations relatives à la tâche concurrente ayant été réactivées (à l'essai n-

1). Une explication alternative du phénomène de coût d'alternance inversé est supportée par l'idée que la confusion entre les tâches est à l'origine des erreurs (Meiran et Daichman, 2005), ce qui implique que certaines connaissances relatives à la tâche concurrente aient été activées. L'activation par méprise de connaissances relatives à la tâche inappropriée lors d'un essai ayant abouti à une erreur, entrainerait en cas d'essai suivant alterné un accès plus efficient à ces dernières et donc probablement un gain en termes de performance.

Bilan

Les processus de surveillance métacognitive dont en particulier les processus de détection de conflit sont supposés intervenir dans le traitement de la tâche d'alternance en situation de conflit. Ces mécanismes supervisant le traitement sont sensibles au contexte et agissent en présence de compétition ou d'interférence entre représentations concurrentes. La détection d'un accroissement du conflit provoqué par l'apparition d'un stimulus bivalent par exemple, déclenche l'exécution de processus inhibiteurs qui faciliteraient le dénouement du processus de sélection, en diminuant l'activation des représentations de la tâche non pertinente. Les processus de détection de conflit soutiennent le traitement en recrutant davantage de contrôle cognitif pour gérer la compétition. Ils initieraient en cas de conflit l'exécution de processus contrôlés dont l'action consiste à diminuer la compétition par un renforcement des connaissances pertinentes et l'inhibition des connaissances concurrentes (Goschke, 2000).

Certaines études cependant ne postulent pas l'intervention de mécanismes inhibiteurs dans le traitement de la tâche d'alternance (voir, par exemple, Altmann et Gray, 2008 ; Meiran, 2000a ; Schneider et Logan, 2005 ; Yeung et Monsell, 2003). Pourtant, l'hypothèse de l'implication de processus inhibiteurs est relativement robuste en particulier concernant la récupération de la représentation de la tâche en situation alternée de par l'observation du phénomène d'inhibition rétroactive (Mayr et Keele, 2000). Concernant la sélection de la réponse, les hypothèses basées sur l'implication de processus inhibiteurs sont relativement nombreuses et diverses. Ces processus agiraient pour résoudre le conflit entre réponses en inhibant les réponses non pertinentes de la tâche pour faciliter la récupération de la réponse adaptée pour la tâche en cours.

D'un point de vue général, l'action des processus inhibiteurs participant à la résolution du conflit consiste ainsi à gérer et orienter ostensiblement le processus de décision vers les représentations pertinentes, en fonction des buts de la tâche en cours. L'action des processus de détection de conflit réside exclusivement en un ajustement réactif du contrôle cognitif en

fonction du degré de conflit perçu. Un ajustement stratégique (Dreisbach et Haider, 2006) est néanmoins possible par la mise en place de mode de fonctionnement adapté aux contraintes contextuelles.

2.4.1.3. Des modes de fonctionnement différenciés

En situation d'alternance ou de conflit entre représentations concurrentes, différents ajustements contrôlés sont réalisables. D'une part, une adaptation ponctuelle peut être réalisée en situation de conflit de par l'initiation réactive de processus contrôlés favorisant la sélection de la connaissance appropriée (voir section précédente). D'autre part, des mécanismes d'ajustement du niveau de contrôle cognitif sont également susceptibles d'intervenir (Dreisbach et al., 2009). Cependant ces ajustements semblent fonction de la représentation de la tâche présente en MT (Dreisbach et al., 2009). Certaines théories supposent que cette représentation est complexe (Dreisbach et al., 2009), d'autre présumant qu'elle est simple (Logan et Schneider, 2006). Pour les premiers, elle serait susceptible d'initier une présélection contrôlée de l'information (Dreisbach et al., 2009, Lovett, 2005) tandis que pour les second, elle pourrait se résumer à la signification de l'indice (Logan et Schneider, 2006) et serait alors insuffisante pour engendrer un ajustement contrôlé (Dreisbach et al., 2009).

Dans cette partie, sont évoqués les modes possibles d'ajustement du niveau de contrôle cognitif puis les différentes théories concernant les représentations qui permettent ces ajustements. Nous présentons une description plus précise des stratégies contrôlées pouvant être mises en place dans la tâche d'alternance pour ajuster le niveau de contrôle cognitif.

2.4.1.3.1. Ajustement du niveau de contrôle cognitif

L'ajustement du niveau de contrôle cognitif peut être effectué à l'échelle de l'essai ou à l'échelle du bloc (Dreisbach et al., 2009). L'ajustement au niveau de l'essai a surtout été décrit par la modulation sérielle du contrôle cognitif. A partir du conflit expérimenté entre réponses à un essai donné, cela occasionne l'ajustement du contrôle cognitif pour l'essai suivant (Dreisbach et al., 2009). Ainsi, un conflit à l'Essai N-1 réduit le conflit à l'Essai N. Ce type de réajustement agit localement en réponse au conflit expérimenté lors de l'essai précédent, ou bien à un niveau plus général sur un bloc entier d'essais (Dreisbach et Haider, 2006). Par exemple, lors de la présentation des instructions relatives à la tâche (Botvinick et

al., 2001 ; Dreisbach et al., 2009) ou lors de l'expérience pratique (par exemple, la résolution du bloc de familiarisation), la détection du conflit créé par l'alternance entre les tâches ou la bivalence des stimuli, peut conduire à des ajustements du contrôle cognitif afin de résoudre efficacement la tâche (Rey-Mermet et Meier, 2011 ; Woodward et al., 2008). Cet ajustement constituant une sorte de contrôle cognitif se manifeste par la mise en place de stratégies cognitives ou de modes de fonctionnement spécifiques qui diminuent l'interférence produite par les caractéristiques de la tâche (Dreisbach et al., 2009). Dreisbach et al. (2009) ont ainsi fait l'hypothèse de l'existence d'un mécanisme global de protection contre les informations non pertinentes dans une tâche d'interférence mot-image (PWI, « Picture-Word interference »). Ils supposent qu'une représentation spécifique de la tâche amorce une focalisation attentionnelle sur une caractéristique distinguable du stimulus empêchant certains traits interférents du stimulus d'être traités. De manière relativement différente, Brown et associés (2007) dans leur modèle de contrôle du conflit, intègrent un mécanisme détecteur de changements de tâche en plus du détecteur d'incongruence « *on-line* » sensible au conflit entre réponses. Ce mécanisme est chargé d'ajuster le niveau de contrôle cognitif du système de façon à privilégier un traitement basé sur l'exploration ou sur l'exploitation.

2.4.1.3.2. Représentation de la tâche récupérée

Dans la littérature sur les tâches d'alternance, différentes hypothèses portent sur le rôle attribué aux représentations récupérées pendant le temps de préparation. Deux principales hypothèses sont discutées : l'hypothèse de reconfiguration (Rogers et Monsell ...1995 ;...) et l'hypothèse plus récente d'une stratégie dite « composée » de Logan et collaborateurs (Logan et Bundesen, 2003 ; Logan et al., 2007). Selon la première, l'individu profiterait de l'intervalle de temps entre l'indice et le stimulus (CTI, « cue-stimulus-interval ») pour préparer et reconfigurer les représentations de la tâche (« task-set »). Cette préparation aurait pour finalité de faciliter la sélection de la réponse pertinente au terme de l'essai (Dreisbach et al., 2008, 2009 ; Lovett, 2005 ; Meiran et al., 2008 ; Sohn et Anderson 2001). En comparaison, selon Logan et collaborateurs (Logan et Bundesen, 2003 ; Logan et Schneider, 2006 ; Logan et al., 2007), une représentation simple de l'indice associée au stimulus suffirait pour diriger convenablement le choix de la réponse (Logan et Schneider, 2005, 2010).

Selon l'hypothèse de stratégie composée indice-stimulus (« *compound-cue hypothesis* ») de Logan et associés (Logan et Bundesen, 2003 ; Logan et Schneider, 2006 ; Logan et al., 2007), une représentation relativement primaire de l'indice conviendrait pour rendre compte d'une

majeure partie des résultats observés dans la littérature. Pour ces auteurs, une représentation médiatrice de l'indice telle que sa signification, suffirait pour qu'associée au stimulus, une sélection efficiente de la réponse puisse être opérée (Logan et Bundesen, 2003 ; Logan et Schneider 2006). Logan et collaborateurs (2003 ; 2006) proposent que l'utilisation d'une telle représentation est influencée par la transparence du stimulus. En situation d'indice abstrait (i.e. pas ou peu transparent), ils supposent que les individus gèrent la situation en récupérant un médiateur (par exemple, le nom de la tâche) qui est ensuite combiné au stimulus pour former des indices de récupération composés, utilisés pour extraire la réponse (voir également Altmann et Gray, 2008). En situation d'indice explicite (i.e. transparent), le traitement serait facilité, la simple signification de l'indice pouvant faire office de médiateur.

Contrairement à la stratégie composée de Logan et associés (Logan et Bundesen, 2003 ; Logan et Schneider, 2005, 2010...), de nombreux auteurs postulent que dans les tâches d'alternance indicées (ou dans les tâches dans lesquelles l'alternance est prévisible³⁷), les individus utilisent le CTI pour reconfigurer les représentations de la tâche (voir par exemple, De Jong, 2001 ; Kramer et al., 1999 ; Kray and Lindenberger, 2000 ; Meiran, 1996, 2000 ; Rogers et Monsell, 1995 ; Sohn et Anderson, 2001). Selon cette hypothèse de reconfiguration, les représentations de la tâche en plus d'apporter des informations concernant l'identité de la tâche, amorcent des processus spécifiques contrôlés qui guident le traitement (Lovett, 2005 ; Meier et al., 2009 ; Meiran et al., 2008 ; Rogers et Monsell, 1995 ; Ruge et al. 2010 ; Sohn et Anderson, 2001). Ces processus interviendraient en particulier, pour faciliter la sélection de la réponse pertinente.

Certaines divergences théoriques résultent des postulats de l'une et l'autre de ces hypothèses d'une part, concernant l'interprétation du coût de commutation et d'autre part, du point de vue de l'usage ou non de processus contrôlés pour compléter une tâche d'alternance. En ce qui concerne les coûts de commutation, la préparation de la tâche (i.e. reconfiguration) pendant le CTI provoquerait une diminution de la compétition entre connaissances pertinentes et non pertinentes et faciliterait ainsi la récupération des connaissances appropriées. Cette facilitation engendrerait une diminution du coût de commutation local (Sohn et Anderson, 2001). En ce qui concerne l'hypothèse composée (Logan et Bundesen, 2003), un de leur postulat est que le

³⁷ Un processus semblable est supposé intervenir dans les tâches non indicées mais dont l'alternance de tâche est prévisible, soit en l'occurrence, quand la tâche est constituée de séquences de taille constante (AAABBBAAA, « Alternating-Run-Procedure », Rogers and Monsell, 1995) ou qu'une information provenant de l'essai précédent indique un changement de tâche (« memory-based task » ; Chunyan et Tianyi, 2006 ; Sohn et Anderson, 2001, 2003). La prédictibilité du changement de tâche conduit, à initier un processus de contrôle endogène qui vise à se préparer à la tâche suivante de manière anticipée pendant le RSI (« response-stimulus-interval »). Pour Barton, Kuzin, Polli et Manoach, (2006), seule la procédure indicée le permettrait et non une alternance basée sur la mémorisation du nombre d'essais de la séquence (cité par Kleinsorge, 2008).

coût de commutation serait principalement occasionné par l'alternance d'indices et non par l'alternance de tâches. Autrement dit le coût d'alternance ne serait pas causé par la difficulté rencontrée pour changer de représentation de tâche mais pour l'essentiel par le changement d'indice (Logan et Bundesen, 2003). Selon Logan et collaborateurs (), dans la littérature sur la tâche d'alternance, le coût d'alternance d'indice serait confondu avec celui de l'alternance de tâche. Pour les partisans de cette théorie, le coût d'alternance d'indice (et non de tâche) serait provoqué par un temps supérieur pour récupérer la signification ou le médiateur relatif à un indice en situation répétée avec alternance d'indice (sans alternance de tâche), comparé à la condition répétée avec répétition de l'indice, pour laquelle la récupération est plus rapide³⁸.

Ces deux théories divergent également concernant l'usage de processus contrôlés. La représentation médiatrice de la théorie de Logan et Schneider (2006) est relativement simpliste, elle n'aurait pas d'autres fonctions que celle d'apporter les informations sur la signification de la tâche (Dreisbach et al., 2008, 2009). Selon Dreisbach et associés (2008, 2009), elle ne serait pas suffisamment instructive pour pouvoir initier des traitements spécifiques contrôlés. Logan et Schneider (2006) supposent du reste que l'usage de processus contrôlés ne serait pas indispensable pour réaliser ce genre de tâche. A l'inverse, selon l'hypothèse de reconfiguration, les représentations récupérées sont suffisamment complexes et informatives sous-tendre l'initiation de procédures spécifiques contrôlées (Lovett, 2005, Dreisbach et al., 2008, 2009). Les représentations récupérées et encodées en MT pourraient amorcer des traitements contrôlés qui influenceraient favorablement la sélection de la réponse (Dreisbach et al., 2009).

Outre les divergences évoquées entre ces deux théories, notons que l'utilisation vraisemblable de l'une ou l'autre des représentations semble être fonction des contraintes contextuelles. Contrairement à une tâche qui présenterait un temps de préparation court et qui ne provoquerait que peu d'interférence, une tâche présentant des CTI suffisamment longs et un certain conflit (e.g. la bivalence des stimuli ou l'incongruence des réponses) aura tendance à davantage susciter (si la situation le permet) l'usage de représentations plus complexes capables d'initier des processus contrôlés. Parallèlement, un second facteur contextuel semble également influencer la manière avec laquelle le traitement est effectué : les instructions délivrées lors de la présentation de la consigne (Dreisbach et Haider, 2008 ; Cohen et al., 2008).

³⁸ Dans cette théorie, le coût d'alternance d'indice (alterné vs répété) est davantage considéré comme étant le bénéfice de répétition de l'indice (i.e. situation avec indice répété contre situation avec indice alterné) (Sohn et Anderson, 2001).

Dreisbach et Haider (2008) ont étudié l'effet du type d'instruction sur les traitements réalisés. Un premier type d'instruction d'une part, consistait en une revue exhaustive des différentes associations stimulus-réponse (S-R) indiquant pour chaque stimulus donné la réponse attendue. Le second type d'instruction d'autre part, décrivait une règle générale pour chaque sous-tâche directement applicable aux stimuli. En fonction de la consigne et des instructions des tâches données au sujet, les représentations construites des tâches diffèrent a fortiori (Dreisbach et Haider, 2008). Elles induisent alors vraisemblablement la mise en place de modes de fonctionnement (stratégies) différenciés calqués sur la consigne donnée. Par exemple, celles formées à partir de la règle générale semblent permettre l'orientation du processus de sélection de l'information, contrairement à celles construites sur la base de l'ensemble des associations S-R³⁹.

2.4.1.3.3. Conséquence d'une représentation de la tâche hautement informative

Les représentations de la tâche construites à partir de la consigne puis au fur et à mesure de l'expérience, sont une composante importante de la performance dans les tâches d'alternance (Rubinstein, Meyer, et Evans, 2001). Lors du traitement de l'indice, les informations récupérées relatives aux règles et buts de la tâche, contribuent à faciliter la sélection de la réponse en guidant les opérations cognitives devant être exécutées (Rogers et Monsell, 1995 ; Meier et al., 2009 ; Meiran et al., 2008 ; Ruge et al. 2010 ; Sohn et Anderson, 2001). Elles sont supposées faciliter le traitement soit par une sélection contrôlée de l'information du stimulus devant être traitée (Lovett, 2005 ; Meiran et al., 2008 ; Ruge et al., 2010), soit par l'amorçage des représentations de la tâche (Meiran et al., 2008 ; Sohn et Anderson, 2001). Cet amorçage consisterait en une pré-activation des réponses potentielles (Meiran et al., 2008), des paires associatives stimulus-réponse (Sohn et Anderson, 2001) ou du mode de réponse devant être exécuté (Koch et al., 2004).

Selon Ruge et associés (2010), la sélection contrôlée se caractérise par une focalisation attentionnelle sur les propriétés pertinentes des stimuli tandis que la seconde forme de contrôle est intentionnelle et se manifeste par une focalisation sur l'action (Meiran et al., 2008 ; Ruge et al., 2010). Ces modes de fonctionnement contrôlés viseraient à diminuer la compétition entre les tâches (Meier et al., 2009 ; Rey-Mermet, 2011).

³⁹ Notons que selon Dreisbach et Haider (2008), la consigne délivrée influence l'initiation de processus contrôlés (du fait qu'avec la règle, il était possible de sélectionner l'information pertinente). Les instructions fournies ont également un effet sur les coûts de commutation observés (Dreisbach, Goschke, et Haider, 2006, 2007).

La sélection contrôlée de l'information perçue ou encodée.

Un premier mode de fonctionnement pouvant être initié pour guider la sélection de la réponse est une sélection de l'information pertinente du stimulus encodée en MT. En situation de traitement de stimulus bivalent (ou trivalent), certaines propriétés du stimulus nuisent au processus de récupération de la réponse (voir partie 9977 (bivalence), Oberauer amorçage ascendant ?). Selon certains auteurs (Meiran 2000 ; Meiran et al., 2008 ; Lovett, 2005 ; Dreisbach et al. 2009 et 2008), les représentations encodées de la tâche peuvent réduire cette nuisance par la sélection attentionnelle sur les caractéristiques pertinentes du stimulus pour la tâche en cours (comme dans le cas de stimuli bivalents du test Stroop, voir section « *effet de bivalence* »). Des processus contrôlés de focalisation attentionnelle guidés par les représentations des buts de la tâche, agissent comme un filtre de l'information (Meiran et al., 2008), en sélectionnant les informations pertinentes du stimulus et écartant celles non pertinentes (Hübner, 2004). Ce contrôle de l'information entrant en MT (Hasher, Zacks et May, 1999 ; « *input control* », Meiran et al., 2008) protège le système de l'intégration d'informations non pertinentes pour l'essai en cours ; informations qui seraient susceptibles d'interférer dans le traitement lors de la sélection de la réponse (Sohn et Anderson, 2001). Un tel phénomène de sélection de l'information proche de l'attention sélective a récemment été modélisé dans plusieurs études (Lovett, 2005 ; Meiran et al., 2008). Pour Lovett (2005), la représentation de la tâche conduit à une sélection de l'information véhiculée par le stimulus et encodée en MT. Dans leur étude, Meiran et al. (2008) ont implémenté un mécanisme de ce type qui agit comme un filtre partiel de l'information privilégiant fortement les réponses pertinentes. Selon ces auteurs, « l'indice de la tâche en plus de fournir une information sur l'identité abstraite de la tâche peut aussi immédiatement orienter l'attention sur l'input [ou la représentation de l'action] » (traduit de Meiran et al., 2008, p. ...). Traiter l'information à travers ce filtre résulterait alors en une diminution de l'interférence produite par l'information non pertinente apportée par le stimulus et par une plus grande probabilité de répondre de manière efficiente.

Le contrôle de l'input filtre l'information entrant en MT parmi les informations perçues. Cependant, l'information non pertinente est néanmoins perçue. Selon Oberauer, cette information influence également le traitement par le biais de processus ascendants (Dreisbach, 2009 ; Oberauer, 2005 ; pour plus de détails voir chapitre 1). Un processus contrôlé supplémentaire peut agir sur les informations perçues de manière à filtrer visuellement et directement l'information pertinente (Broadbent, 1958) par le biais de processus de sélection

visuelle contrôlés. Sous-jacent à cette action de filtrage, les processus contrôlés de focalisation attentionnelle et visuelle sont dirigés sur les traits pertinents du stimulus suivant les buts de la tâche. Un tel mécanisme peut être impliqué dans la résolution de tâches dans lesquelles une sélection fine des traits ou des caractéristiques des stimuli est possible comme dans le test du Stroop. Dans le Stroop par exemple, la couleur de l'encre peut être filtrée visuellement de manière intentionnelle afin d'éviter la lecture du mot. Ce processus réalise une sélection efficiente (et consciente) de l'information traitée empêchant celle-ci d'interférer dans le traitement. Théoriquement, la focalisation attentionnelle contrôlée sur la caractéristique pertinente du stimulus évite ainsi la capture attentionnelle automatique amorcée par la caractéristique non pertinente et interférente du stimulus. Des mécanismes de filtrage équivalents sont postulés dans les tâches d'attention sélective (Dreisbach, 2009 ; voir partie « *sélection de la réponse* »).

Que ce soit par une sélection contrôlée de l'information entrant en MT ou par une sélection visuelle et attentionnelle des caractéristiques discriminantes du stimulus pour l'essai en cours, ce filtrage des informations entrantes (« input ») réduit l'interférence des caractéristiques du stimulus incongruentes pour la tâche en cours (Dreisbach et al., 2009 ; Hasher, 2007).

Préparation anticipée des représentations associées aux réponses

La représentation de la tâche récupérée peut faciliter la sélection de la réponse en initiant une préparation anticipée des réponses potentielles (Gilbert et Shallice 2002 ; Meiran et al., 2008 ; Sohn et Anderson, 2001). Cette préparation consiste à amorcer les représentations potentiellement pertinentes pour l'essai en cours pour que le processus de sélection privilégie les réponses ou connaissances appropriées et désavantage les réponses ou connaissances interférentes. Cette préparation effectuée pendant le temps de préparation (CTI) tend ainsi à avantager les réponses pertinentes. Pour Gilbert et Shallice (2002) par exemple, l'activation du nœud de la tâche diffuse directement aux connaissances associées et en particulier aux réponses potentielles. Cette préparation consiste généralement en une coactivation des réponses (Meiran et al., 2008), des associations stimulus-réponse apprises (Sohn et Anderson, 2001) ou bien plus rarement, en une présélection du mode de réponse (Koch et al., 2004). Ce genre de préparation réduit l'éventail de réponses potentielles qui se résume alors aux réponses effectives relatives de la sous-tâche en cours (« response mapping » ; Sohn et Anderson, 2001). La réduction des possibilités aurait pour conséquence de diminuer fortement le conflit entre réponses, en faveur des réponses potentielles.

Prenons pour illustrer ce mécanisme, la tâche utilisée par Rogers et Monsell (1995). Dans cette tâche, le stimulus est constitué d'une paire de caractères composée d'un caractère-cible (un chiffre ou une lettre) et d'un caractère interférent (respectivement une lettre ou un chiffre) ou neutre (par exemple, « # » ou « ? »). A chaque essai, en fonction de la localisation du stimulus dans une grille, l'individu doit indiquer si le chiffre est pair ou impair ou si la lettre est une consonne ou une voyelle, et appuyer sur un des deux boutons proposés (bouton bivalent). Dans cette tâche et pour un essai relatif à la sous-tâche « parité » par exemple, le mécanisme de présélection des réponses consisterait à activer les réponses relatives à la tâche en cours (« pair » ou « impair ») avant l'apparition du stimulus, tandis que l'amorçage des associations stimulus-réponse potentielles pourrait correspondre à une préparation anticipée des actions de type « si ... alors » (e.g si le chiffre est impair, j'appuie sur le bouton de gauche, s'il est pair sur celui de droite). Le fait d'amorcer les connaissances ou d'augmenter le niveau d'activation permet théoriquement à ces informations d'accéder à la zone active de la MLT (Oberauer, Cowan). Cette préparation rend plus probable la récupération rapide et précise de l'une des connaissances pertinentes pré-activée.

Pour certains auteurs, la coactivation des représentations relatives aux réponses est supposée être variable d'un essai à l'autre (Lien et al., 2005 ; de Jong, 2000 ; Lindsen et al., 2010). Lien et al. (2005) supposent que cette sélection peut être effectuée seulement sur une partie des réponses potentielles alors que selon Lindsen et al. (2010), la préparation est effectuée « en tout ou rien » (FTE ; de Jong, 2000). Le coût d'alternance résiduel résulterait des échecs occasionnels (partiel ou total) de la préparation (voir section CTI RSI) (Lien et al., 2005 ; de Jong, 2000 ; Lindsen et al., 2010).

La répétition articulatoire

Un mécanisme subsidiaire semble être associé à cette préparation : la répétition articulatoire. Certaines études ont montré que les coûts d'alternance sont considérablement augmentés si la répétition articulatoire est supprimée pour les tâches d'alternance non indicées (Baddeley et al., 2001 ; Emerson et Miyake, 2002 ; Goschke, 2000 ; Gruber and Goschke, 2004 ; Miyake et al., 2004). Selon ces auteurs, en l'absence d'indices externes, le discours interne peut faciliter la récupération des représentations de la tâche. Bien que cet effet de suppression articulatoire soit fortement réduit pour les versions indicées, le discours interne (i.e. la répétition subvocale) semble soutenir ce mécanisme préparatoire (Emerson et Miyake, 2002). Emerson et Miyake (2002) évoquent le fait que « le discours intérieur est une stratégie effective pour se préparer pour la tâche suivante » (traduit de Emerson et Miyake, 2002, p.149). Les processus

de répétition articulatoire serviraient de dispositif indicé, interne et auto-initié qui activerait la représentation phonologique de la tâche devant être exécutée (Emerson et Miyake, 2002).

2.4.2. Choix théoriques et processus implémentés

Afin de se simuler avec précision le fonctionnement cognitif suivi pour compléter la tâche d'alternance, le modèle de la tâche construit dans l'architecture ACT-R est basé sur la revue théorique des processus engagés dans le traitement de la tâche d'alternance présentée précédemment. Certains choix théoriques ont cependant été réalisés quant aux processus implémentés dans le modèle. Les facteurs ayant permis d'orienter la sélection des processus implémentés selon les observations empiriques, les caractéristiques de l'échantillon et leur faisabilité technique. Premièrement, les passations ayant toutes été réalisées en présence du même expérimentateur, les observations empiriques « on-line » ont confirmé l'engagement de certains processus cognitifs. Par exemple, les participants ont tenté d'inhiber la verbalisation d'une réponse erronée, ou encore plusieurs ont eu recours à une préparation (orale) anticipée des réponses potentielles. De plus, l'enregistrement des réponses vocales ainsi qu'un entretien post-test ont permis de valider l'usage de ces mécanismes. Quand ces observations présentaient une certaine récurrence chez les individus et trouvaient un support théorique dans la littérature, l'implémentation de ces processus était envisagée. Deuxièmement, les caractéristiques de l'échantillon ont également influencé certains choix théoriques de par le constat dans la littérature des difficultés rencontrées par les âgés sur les paradigmes d'alternance. Une attention particulière a été portée sur les modes de fonctionnements alternatifs pouvant être exécutés. Enfin, certains choix ont été réalisés en fonction de leur faisabilité technique.

Cette partie permet de décrire les mécanismes implémentés dans le modèle développé pour ce travail de recherche et les variables ayant contribué à la sélection des mécanismes pertinents. Elle permet de souligner les liens entre les processus cognitifs humains et les processus implémentés dans le modèle. Les principaux choix ont porté d'une part sur les étapes importantes du traitement (par exemple, l'encodage d'un schéma de tâche, la sélection de la réponse en situation d'interférence) et sur les processus qui les sous-tendent. D'autre part, l'architecture ACT-R n'intégrant pas de processus ou module dédié au contrôle de l'activité

cognitive⁴⁰, certains choix théoriques concernent l'implémentation des processus contrôlés pouvant être initié pour compléter efficacement la tâche.

Afin de comprendre la structure du modèle, son fonctionnement général est expliqué dans un premier temps en deux étapes, le traitement de l'indice et le traitement du stimulus. Dans un second temps, les processus et mécanismes plus spécifiques implémentés sont présentés.

2.4.2.1. Le traitement de l'indice

Un premier choix porte sur les étapes de traitement de l'indice. L'implémentation de ces étapes a été principalement inspirée du modèle d'Altmann et Gray (2008). Dans ce modèle, les différentes étapes sont les suivantes : la perception de l'indice, son encodage et la recherche d'une représentation de la tâche. Le modèle construit dans ce travail présente la même séquence d'étapes que le modèle d'Altmann et Gray (2008), avec néanmoins une distinction concernant l'étape de récupération d'une représentation de la tâche et le type de représentation récupéré lors de cette phase.

2.4.2.1.1. Représentations de la tâche

Le choix de la représentation de la tâche est délicat, puisque celui-ci a d'importantes conséquences sur la suite du traitement (le traitement du stimulus-cible, la sélection de la réponse, Dreisbach et al., 2009). Comme cela a été précisé dans la revue théorique, deux théories divergent concernant cette représentation : soit la représentation est un simple médiateur et son association avec le stimulus permet de récupérer l'information pertinente (Logan et Bundesen, 2003), soit cette représentation est plus complexe et abstraite, et apporte des informations supplémentaires sur la tâche devant être réalisée afin de faciliter le traitement. Le choix a été fait d'implémenter ces deux types de représentations dans le modèle.

Concernant la représentation complexe, les facteurs ayant contribué à privilégier l'implémentation d'une représentation de la tâche relativement complexe sont les caractéristiques temporelles de la tâche, les caractéristiques des essais et certaines observations théoriques. Tout d'abord, l'emploi d'un temps de préparation relativement important avant l'apparition du stimulus cible (CTI long et égal à 1 seconde), rend possible et probable (Meier et al., 2009) l'initiation d'une préparation anticipée des représentations de la

⁴⁰ Bien que de récentes modifications de l'architecture permettent de créer soi-même de nouveau module ou de nouvelle interface (voir site).

tâche pendant cet intervalle (De Jong, 2001 ; Kramer et al., 1999 ; Kray and Lindenberger, 2000 ; Meiran, 1996, 2000). Deuxièmement, les caractéristiques des essais ont aussi participé à implémenter une représentation informative de la tâche de par l'utilité d'une telle représentation. Dans notre tâche, l'usage de stimuli bivalents provoque de l'interférence lors de la procédure de sélection de la réponse qui peut nuire au processus de sélection de la réponse. L'utilisation d'une représentation de la tâche pouvant faciliter cette sélection semble donc opportune, sachant que les conditions expérimentales pouvaient le permettre (CTI long). Troisièmement, le dernier facteur ayant concouru à l'implémentation de ce genre de représentation est issu des observations empiriques, certains participants ayant indiqué lors de l'entretien post-test avoir eu recours à des stratégies préparatoires des réponses potentielles préalablement à l'apparition de l'indice, stratégie qui nécessite une représentation de la tâche relativement complexe (Dreisbach, 2009). Ces arguments en faveur de l'implémentation d'une représentation de la tâche complexe (schématique) ont contribué à son implémentation. Cependant cette représentation complexe n'est pas l'unique représentation de l'indice pouvant être récupérée, la possibilité d'un encodage d'une représentation plus simple se rapportant à la théorie de Logan et Bundesen (2003) a également été implémentée. Ce second type de représentation a été implémenté de par la transparence de l'indice utilisé dans notre tâche. Selon Logan et collaborateurs (Logan et Bundesen, 2003), un indice suffisamment instructif sur la tâche devant être exécutée suffit pour compléter la tâche. Utiliser l'indice « couleur » pour traiter la couleur de la figure semble relativement explicite, sans oublier le fait qu'il est lu oralement. Cet aspect de notre tâche semblait donc vraisemblablement s'ajuster à la théorie. Un second argument en faveur de l'implémentation d'une représentation de tâche simple est issu du modèle d'Altmann et Gray (2008). Dans leur modèle (description du paradigme p 136), une représentation s'approchant de la signification de l'indice (e.g. le chunk « parité » pour la tâche « pair-impair »), a été suffisante pour simuler les profils empiriques, bien que comme dans notre tâche, les stimuli soient bivalents. Une représentation alternative à la représentation « schématique » de l'indice a donc été intégrée dans le modèle. Selon la théorie de Logan, cette représentation (signification), associée aux caractéristiques du stimulus, suffirait pour récupérer la réponse pertinente.

Deux représentations pour chaque tâche sont donc intégrées dans le modèle. Le choix d'implémenter deux représentations différentes de la tâche plutôt qu'une seule est supporté théoriquement par Dreisbach (2007) qui met en évidence l'utilisation de deux modes de résolution de la tâche selon les instructions et le contexte. Bien que cette implémentation

n'est jamais été réalisé, ce choix est effectué puisqu'il pourrait permettre de rendre compte des traitements différenciés pouvant être exécutés en fonction des préférences individuelles, des aptitudes à pouvoir initier des stratégies ou bien de la CMT par exemple. Notons que, l'implémentation des deux types de représentations est également soutenue par l'hétérogénéité de la population ayant participé à l'étude. Les caractéristiques individuelles telles que l'âge, le niveau d'étude, l'activité cognitive « journalière », ou même la motivation pouvant influencer la capacité à pouvoir initier des stratégies de résolution (contrôlées) plus complexes. L'intégration dans un modèle de deux modes de fonctionnement laisse supposer qu'il permettrait de prédire les différences de performances interindividuelles plus précisément qu'un modèle basé sur une seule représentation.

Enfin, notons qu'au vue des caractéristiques temporelles de la tâche (CTI, RSI) et du niveau de difficulté du traitement, une utilisation préférentielle de la représentation schématique des tâches (i.e. règle de la tâche) est implémentée. Cette préférence est modélisée par différents avantages décrits dans la suite de cette section.

2.4.2.1.2. Représentation de la tâche récupérée et encodage du stimulus

Les représentations de la tâche (« signification » ou « schématique ») ont différentes conséquences sur la résolution de la tâche. Selon Dreisbach et associés (2008 et 2009), une sélection de l'information pertinente peut être réalisée à partir de représentations des règles de la tâche, en revanche, cette sélection ne pourrait être réalisée si la stratégie de résolution est composée (i.e. construite autour d'une représentation simpliste de la tâche). Dans sa modélisation du fonctionnement cognitif impliqué dans le test de Stroop, Lovett (2005) a implémenté un mécanisme de sélection de l'information qui consistait à récupérer la dimension pertinente du stimulus (le mot écrit ou bien la couleur de l'encre) en fonction du type d'essai en cours (lecture du mot ou dénomination de la couleur du mot).

Dans notre modèle, le traitement du stimulus est distinctivement affecté selon la représentation récupérée. La représentation « signification », peu informative, est (en attente d'être) combinée aux propriétés du stimulus pour permettre la sélection de la réponse. En présence de cette représentation, le stimulus est traité dans sa globalité : sa forme et sa couleur sont encodées en MT. En revanche, quand la représentation « schématique » de la tâche a été récupérée, une sélection descendante (*top-down*) de l'information véhiculée par le stimulus

est implémentée afin que seule l'information pertinente selon les buts de la tâche en cours, soit encodée. Cette modélisation permet de rendre compte du fait que c'est le schéma mis en place par le participant qui guide l'encodage du stimulus et oriente son focus attentionnel sur la caractéristique pertinente.

Dans le modèle, selon la représentation de la tâche encodée dans le buffer de but, lors de la phase de traitement de l'indice, soit les deux caractéristiques du stimulus sont encodées, soit l'une d'entre elles est sélectionnée. Sans schéma de tâche, les deux caractéristiques du stimulus sont encodées en MT alors qu'en présence d'un schéma, une sélection est bien réalisée.

2.4.2.1.3. Erreur d'encodage d'une représentation de la tâche

Dans le modèle, en cas d'erreur d'encodage de la représentation de la tâche, le choix a été fait d'implémenter des procédures différentes en fonction du type d'erreur de récupération. Si la représentation schématique concurrente est récupérée (i.e. par exemple, le schéma de tâche « couleur » est extrait alors que la tâche est de traiter la forme de la figure), le traitement est effectué selon ce schéma et aboutira à l'émission d'une réponse erronée. En revanche, si aucune représentation n'est récupérée (ou seulement la représentation « signification » inappropriée), l'étape de récupération de la tâche aboutit à une erreur d'« engagement » (FTE, de Jong, 2000). Un fonctionnement compensatoire a été implémenté pour compenser cette erreur. Le modèle implémente une nouvelle tentative de récupération d'une représentation de la tâche, après l'apparition du stimulus (Brown et al., 2007). Si une représentation est récupérée, celle-ci est intégrée en MT afin d'orienter le processus de sélection de la réponse. Dans le cas contraire, une sélection de la réponse est faite à partir des informations en présence.

La différenciation de deux types d'erreur de récupération, schématique ou « d'engagement », permet de mettre en exergue d'une part le pilotage du traitement par les représentations schématique jusqu'à -pour cette situation- l'exécution d'une réponse erronée, alors que la récupération d'une représentation simple erronée ou absente est moins directive et peut être rectifiée dans un second temps. Elle n'implique pas automatiquement une erreur à l'essai mais juste une augmentation importante des latences.

2.4.2.1.4. Interférence proactive

Par ailleurs, un mécanisme d'interférence proactive est implémenté dans le modèle afin de simuler l'inertie du schéma de l'essai précédent lors d'essais alternés (TSI, Allport et Wylie, 1999 ; Wylie et Allport, 2000). Ce mécanisme se manifeste dans les conditions suivantes : en situation d'alternance de tâche, si un schéma était précédemment activé, celui-ci est maintenu actif en MT et interfère alors avec la récupération du schéma pertinent. En revanche, si lors de l'essai précédent la représentation récupérée ne consiste qu'en la représentation « signification », aucune interférence n'est produite sur le processus de récupération. Il est supposé que l'interférence proactive est fonction de la complexité des représentations, et qu'une représentation simple telle que la signification de l'indice ne gêne pas autant l'alternance qu'une représentation schématique.

Résumé

Le modèle implémente deux représentations de tâche plus ou moins informatives quant au traitement devant être réalisé pour l'essai en cours. Les étapes du traitement de l'indice (perception et encodage) mènent à la phase de recherche d'une de ces représentations en MT. Cette recherche est influencée si certaines informations sont présentes en MT : d'une part, si le schéma de tâche pertinent est déjà présent en MT, la recherche n'est pas exécutée et d'autre part, si le schéma de tâche non pertinent est en MT, celui-ci interfère avec la recherche.

2.4.2.2. Traitement du stimulus et sélection de la réponse

La section précédente a permis de préciser la séquence des étapes de traitement de l'indice aboutissant à une représentation de la tâche. Le traitement du stimulus et de la réponse sont les étapes suivantes du traitement. Elles sont exécutées suite à l'apparition du stimulus et sont fonction des représentations activées lors du traitement de l'indice.

2.4.2.2.1. Encodage du stimulus

L'encodage du stimulus permet de représenter les propriétés du stimulus en MT. Dans le modèle, le choix a été fait d'implémenter un encodage du stimulus pouvant être focalisé (i.e. diriger) sur la propriété pertinente du stimulus, selon la représentation récupérée lors de l'étape de traitement de l'indice. Cette sélection est réalisée uniquement si un schéma de tâche

est présent en MT, dans le cas contraire les deux propriétés du stimulus (sa couleur et sa forme) sont encodées en MT.

Cette distinction au niveau des processus d'encodage du stimulus entre la condition « schématique » et les autres situations (« signification » et « E ») simule le guidage du traitement apportée par la représentation schématique de la tâche. La représentation schématique de la tâche permet de sélectionner la caractéristique du stimulus pertinente pour la tâche en cours, grâce à l'initiation de processus descendant (bottom-up).

2.4.2.2.2. Sélection de la réponse

Récupération d'une association stimulus-réponse (S-R)

Dans le modèle, la représentation faisant office de réponse est une connaissance de type association stimulus-réponse (S-R). La connaissance pouvait soit consister en l'union du concept (par exemple, la couleur *red*)⁴¹ et de la représentation phonologique correspondante (« *rouge* »), soit la connaissance pouvait s'apparenter à une association dite S-R, liant le concept donné (la couleur *red*), la catégorie correspondante (la catégorie *couleur*) et la représentation phonologique (« *rouge* »). Le type S-R a été privilégié. Un argument théorique en faveur des associations S-R est le faible nombre de stimuli et de réponses qui tend à favoriser un apprentissage associatif entre l'indice, le stimulus et la réponse (Rogers et Monsell, 1995).

Processus de sélection de la réponse : intégration d'une double influence.

Comme décrit dans la section précédente, théoriquement le contenu de la MT et l'amorçage ascendant des caractéristiques du stimulus influencent la sélection de la réponse. Dans les modélisations d'Altmann et Gray (2008), de Lovett (2005) ou de Juvina et al. (2007) réalisées dans l'architecture ACT-R, le processus de sélection de la réponse est dirigé selon les informations issues de l'environnement (mécanisme bottom-up) ou de celles qui sont encodées en MT (mécanisme top-down). Dans le modèle d'Altmann et Gray (2008) qui porte sur une tâche de jugement catégoriel, les représentations de l'indice et du stimulus amorcent conjointement la réponse. Dans la modélisation du test de Stroop par Lovett (2005), la sélection de la réponse est influencée par un mécanisme d'inhibition sélective qui diffuse une activation négative en cas d'incongruence entre les propriétés pertinentes et interférentes du

⁴¹ Pour distinguer les termes usuels des chunks équivalents dans l'architecture, l'italique est utilisé. Des guillemets sont en plus apposées pour les verbalisations,.

stimulus (i.e. correspondance entre le mot et la couleur de l'encre du stimulus). L'implémentation d'un malus ou d'un bonus accordé aux chunk-réponse en fonction de cette congruence rend compte de certains effets observés dans le test de Stroop, dont les effets de facilitation et d'incongruence. Dans la modélisation de Juvina et al. (2007) du test de Stroop, l'effet d'amorçage négatif (MacLeod, 1991) du stimulus précédent est implémenté par un « module » de but supplémentaire qui « diffuse une activation négative afin de supprimer [inhiber] les caractéristiques (mot et couleur) du stimulus précédent » (traduit de Juvina et al., 2007, p. 4). Enfin, de manière séduisante, dans le modèle réalisé par van Maanen, van Rijn et Borst (2009) pour une tâche PWI (« *Picture-Word Interference* »), la sélection de la réponse est simulée par un mécanisme d'accumulation implémenté dans l'architecture ACT-R : le module RACE⁴². Ce module permet de simuler la compétition entre les connaissances lors de la sélection d'une connaissance en mémoire déclarative par un processus d'accumulation se rapprochant de celui du modèle de Ratcliff (1978). Plus généralement, l'ensemble de ces modèles permettent de rendre compte de la diversité des mécanismes permettant d'implémenter le processus de sélection de la réponse.

En ce qui concerne le modèle, l'implémentation de deux processus a été recherchée : l'impact des connaissances actives en mémoire de travail et l'influence des processus ascendants. Dans le modèle, la caractéristique non pertinente du stimulus provoque de l'interférence comme dans le test de Stroop ou PWI⁴³ et la sélection de la réponse est théoriquement affectée par le contenu de la MT et les caractéristiques du stimulus via des processus ascendants (Oberauer, 2007). Les influences de ces facteurs sont implémentées de la manière suivante : la sélection de la réponse est guidée selon l'influence descendante du contenu de la MT et l'influence ascendante des propriétés du stimulus. Ces deux types d'influence sont implémentés, respectivement, par les mécanismes de diffusion de l'activation et de correspondance partielle (voir chapitre 2).

Orientation vers la réponse par le contenu de la MT

Deux mécanismes descendants différents sont supposés intervenir pour orienter le processus de sélection vers la réponse appropriée : la diffusion de l'activation provenant des représentations actives (Altmann et Gray, 2008 ; Gilbert et Shallice, 2002 ; Goschke, 2000) ou une inhibition latérale des informations inappropriées (Goschke, 2000). Dans le modèle

⁴² Pour plus d'information, le site : <http://www.ai.rug.nl/~leendert/files/tag-race.html>

⁴³ De manière relative puisque dans la tâche CF, aucune sous-tâche n'est vraisemblablement dominante.

construit, comme dans le modèle d'Altmann et Gray (2008), la représentation de la tâche « signification » guide la sélection par diffusion latérale de la quantité d'activation disponible, aux réponses potentielles. Par exemple, si la représentation est « couleur », les connaissances « rouge » et « bleu » reçoivent une certaine quantité d'activation provenant de la MT, en plus de celle provenant des propriétés encodées du stimulus. En revanche, si le schéma de tâche est encodé la sélection de la réponse est guidée par l'activation diffusée par la seule propriété pertinente du stimulus encodée en MT (la signification de l'indice n'étant pas encodée en MT en condition schématique). Ainsi, alors que la représentation « signification » induit une activation latérale, la représentation « schématique » induit une activation orientée uniquement sur la réponse pertinente.

Influence ascendante du stimulus

Un deuxième mécanisme est impliqué dans la sélection de la réponse, il simule l'influence ascendante que peut avoir l'environnement et plus particulièrement les stimuli visuels sur le processus de sélection. Le choix de modéliser l'influence ascendante des stimuli visuels sur le processus de sélection de la réponse est soutenu par l'hypothèse théorique d'Oberauer (2007) et les modélisations effectuées par Lovett (2005) et Juvina et al. (2007). Il est également conforté par l'observation empirique d'une proportion importante de réponses erronées se rapportant à la propriété non pertinente du stimulus et d'une proportion plus faible d'erreurs portant sur la réponse de même catégorie (par exemple, répondre « bleu » au lieu de « rouge »).

Dans le modèle, l'effet de ces processus ascendants est implémenté par un malus d'activation alloué aux connaissances en mémoire déclarative (MD) lors de la sélection de la réponse. Ce malus est attribué aux connaissances qui ne contiennent pas l'information « couleur » ou « forme » du stimulus. Par exemple, si un stimulus « carré rouge » est affiché à l'écran, les propriétés du stimulus « carré » et « rouge » ont chacune un impact négatif sur le niveau d'activation des chunks en MD. Chacune de ces propriétés « carré » et « rouge » diminuent le niveau d'activation de tous les chunk-réponse (i.e. connaissance S-R) présent en MD, à l'exception du chunk possédant cette propriété, soit respectivement le chunk-réponse correspondant à la réponse « carré » et le chunk-réponse correspondant à la réponse « rouge ». Finalement, quand les deux propriétés du stimulus sont perçues, tous les chunks ont leur niveau d'activation diminué, d'une fois la valeur du malus pour les chunks correspondant à une des propriétés perçue (« carré » et « rouge »), et de deux fois cette valeur pour les autres

chunk-réponse (correspondant aux réponses « rond » et « bleu »), ces derniers ne possédant aucune des deux propriétés.

Cette influence négative a été préférée à une influence positive puisqu'elle permet de simuler l'interférence provoquée par la bivalence du stimulus. En effet, théoriquement, la perception de la propriété non pertinente pour la tâche en cours gêne le processus de sélection de la réponse, le rendant moins efficace. Au niveau de la modélisation, une des conséquences de cette influence négative est une diminution du niveau d'activation du chunk-réponse pertinent (par exemple le chunk correspondant à la réponse « rouge ») par le malus attribué par la propriété non pertinente (par exemple « carré ») du stimulus.

Ainsi, le choix d'une influence négative des propriétés du stimulus offre l'opportunité de simuler simultanément d'une part, l'amorçage de la réponse pertinente par la propriété pertinente du stimulus et d'autre part, la diminution de l'efficacité du processus de sélection provoquée par la bivalence du stimulus. Des précisions sur ce mécanisme seront apportées ultérieurement dans la description du modèle.

2.4.2.3. Processus et mécanismes métacognitifs et contrôlés

Des procédures sont implémentées dans le modèle afin de simuler l'action de certains processus contrôlés sur le traitement. Pour de nombreux auteurs (par exemple, Gilbert et Shallice, 2002, Dreisbach et al., 2009), le traitement d'une tâche d'alternance requière l'exécution de processus contrôlés. Certaines études ont modélisé des processus qui réagissent à la détection de conflit (Brown et al., 2007), aux changements de contraintes contextuelles (Brown et al., 2007), ou bien qui régulent directement le traitement à chaque essai (Juvina et al., 2007, Juvina et Taatgen, 2007). Dans le modèle de Brown et associés (2007) par exemple, des détecteurs de conflits sont chargés d'informer le système sur la présence de conflit lors de la survenue d'une alternance par exemple. En ce qui concerne les études ayant implémenté des mécanismes contrôlés dans l'architecture ACT-R, différentes méthodes d'implémentation ont été utilisées : des représentations spécialement dédiées au contrôle (Juvina et al., 2007, Juvina et Taatgen, 2007) ou des procédures de contrôle spécifiques (Lovett, 2005). Dans le modèle de Lovett (2005) par exemple, sont insérées des procédures d'évaluation de la justesse du traitement en cours. Ces procédures vérifient si le traitement actuellement réalisé est en accord avec l'instruction. Leur exécution n'est pas automatique mais varie en fonction de leur valeur d'« utilité » (voir chapitre 2).

Dans le modèle présenté, aucun mécanisme de détection de conflit n'est implémenté mais en revanche, à la manière de Lovett (2005) des procédures spéciales ont pour rôle de simuler un processus contrôlé si elles sont exécutées. Elles sont décrites théoriquement dans cette partie avant d'être plus explicitement reprises dans la description du modèle.

2.4.2.3.1. Inhibition du schéma précédent

Un premier processus contrôlé implémenté est le processus d'inhibition du schéma interférant. Ce mécanisme réfère à la possibilité de supprimer de la MT le schéma activé lors de l'essai précédent mais interférant pour l'essai en cours.

Dans notre tâche, les intervalles de temps (RSI et CTI) sont relativement importants (une seconde chacun). De ce fait, en condition alternée, l'interférence produite par le schéma précédemment activé peut décroître suffisamment pour être désactivée (Meiran et al, 2000) ou bien des processus contrôlés peuvent accélérer cette diminution en inhibant le schéma interférant (Mayr et Keele, 2000). Afin de simuler, cette atténuation contrôlée de l'interférence proactive, une procédure « d'inhibition du schéma interférant » a été implémentée.

Dans le modèle, lors d'une alternance, le schéma (inapproprié) de l'essai antérieur est maintenu en MT et sa présence rend plus difficile la récupération du schéma pertinent. L'action inhibitrice de la procédure « d'inhibition du schéma interférant » est de supprimer ce schéma de la MT. Supprimé, le schéma n'interfère plus dans le processus de récupération. En revanche selon son niveau d'activation, il peut toujours être récupéré par erreur. Notons que l'influence inhibitrice implémentée de cette procédure sur le schéma en MT, ne laisse aucune trace inhibitrice sur le schéma (perdurant dans le temps), contrairement à la théorie d'inhibition proactive de Mayr et Keele (2000).

2.4.2.3.2. Ajustement du niveau de contrôle cognitif

Plusieurs mécanismes d'ajustement du contrôle cognitif en fonction des contraintes de la tâche ont été implémentés dans le modèle. Ils réfèrent aux processus (ou procédures) stratégiques contrôlé(e)s pouvant être mis(es) en place afin de négocier au mieux les difficultés de la tâche. Dans la littérature, certaines recherches ont modélisé des mécanismes contrôlés qui régulent et contrôlent la cohérence du traitement réalisé : pour le « *N-back*-

task » (Juvina et Taatgen, 2007), le paradigme de Stroop (Juvina, Taatgen et Dickinson, 2007 ; Lovett, 2005) et la tâche d'alternance (Meiran et al., 2008). Dans le travail de modélisation du paradigme du Stroop réalisé par Lovett (2005) par exemple, un mécanisme de contrôle est implémenté par l'exécution de procédures de vérification de la cohérence du traitement réalisé à l'égard des informations recueillies sur l'essai réalisé. Ce mécanisme vérifie si le traitement effectué correspond bien à la tâche demandée (i.e. traiter le mot ou la couleur de l'encre du mot). Dans le modèle CARIS de Meiran et associés (2008), un processus contrôlé de sélection de l'input (input set) et un processus de sélection de l'action (actions-set) sont implémentés. Leur rôle est de filtrer respectivement les informations visuelles et les actions devant être réalisées. Certains processus modélisés dans notre modèle sont grandement inspirés de cette dernière modélisation.

Dans notre modèle, de par l'usage d'un schéma de la tâche, un premier mécanisme contrôlé implémenté consiste en l'encodage sélectif de la propriété pertinente du stimulus en MT (voir section précédente). Ce mécanisme de sélection de l'information encodée en MT réduit l'interférence produite par la présence de la propriété non pertinente du stimulus mais sans pour autant la supprimer totalement (voir section précédente). Deux mécanismes contrôlés supplémentaires ont été implémentés afin de simuler des comportements pouvant être mis en place pour diminuer autrement l'interférence produite : la focalisation visuelle sur la propriété pertinente et la préparation des réponses potentielles.

Focalisation visuelle

Un mécanisme contrôlé supplémentaire basé sur une sélection visuelle de l'information traitée est implémenté. Cette procédure dite de « focalisation visuelle » agit en aval du mécanisme d'encodage de la propriété pertinente par focalisation attentionnelle, et donc seulement si un schéma de tâche est encodé en MT. Cette première procédure consiste à sélectionner visuellement l'information pertinente devant être traitée afin « d'empêcher » l'influence ascendante (négative) de la propriété non pertinente. Par exemple, pour un essai « couleur », l'individu peut focaliser sa vision sur le centre de la figure afin de ne pas percevoir sa forme et ainsi éviter l'interférence. Notons que cette « stratégie » a été rarement évoquée être pratiquée empiriquement. Cependant comme nous le verrons dans la suite de ce document, le modèle intègre ce mécanisme puisqu'il est fréquemment utilisé en condition homogène (i.e. bloc d'essais répétés).

Coactivation

Contrairement au mécanisme de « focalisation visuelle », la préparation anticipée de plusieurs réponses potentielles est un comportement empiriquement fréquent. Le choix de modéliser ce mécanisme a été encouragé par ces observations d'une part et par sa validité théorique d'autre part (par exemple, Meiran et al., 2008 ; Sohn et Anderson, 2001).

Dans le modèle, cette procédure de préparation anticipée des réponses (ou coactivation) est exécutée avant l'apparition du stimulus et n'est possible que si un schéma de tâche est déjà encodé en MT. La coactivation implémentée consiste en une pré-activation des deux réponses potentielles pour la tâche en cours pendant l'intervalle de temps de préparation (CTI). Cette préparation permet d'activer des chunk-réponse potentiellement pertinents afin qu'ils soient plus actifs lors de l'apparition du stimulus. Cela permet de diminuer la compétition entre les chunks provoquée par l'interférence engendrée par l'apparition de la propriété non pertinente du stimulus.

2.4.2.3.3. Inhibition d'une réponse erronée

Un mécanisme chargé d'inhiber la vocalisation d'une réponse erronée a été intégré dans le modèle. Plusieurs études ont implémenté des mécanismes équivalents de détection d'une récupération erronée (Lovett, 2005 ; Juvina et Taatgen, 2009). Empiriquement, ce processus a été régulièrement observé : certains individus procédaient à une inhibition de leur réponse, en prévenant leur verbalisation⁴⁴, afin d'émettre ensuite une réponse correcte. Un tel mécanisme d'inhibition de la réponse erronée (ou manquante) est intégré dans le modèle. Lors de la procédure de sélection de la réponse, une erreur de récupération peut survenir. Celle-ci peut être détectée théoriquement par les processus de surveillance de l'activité cognitive (monitoring). Si tel est le cas, la réponse est tout d'abord « inhibée » et ensuite, une nouvelle récupération est effectuée. Notons que cette nouvelle récupération est différente de la première dans le modèle : le processus de sélection est davantage focalisé sur la réponse pertinente grâce à une spécification de la requête en MT (voir section « sélection de la réponse »). L'implémentation de ce guidage plus efficient pour la seconde tentative de récupération repose sur le fait qu'en situation nouvelle ou conflictuelle des processus

⁴⁴ De nombreuses hésitations ont ainsi été constatées empiriquement. Une certaine partie d'entre elles n'étaient pas totalement inhibées et ont été comptabilisées comme étant une erreur.

contrôlés sous-tendu par le SAS puissent intervenir (Norman et Shallice, 1980, 1986) afin d'orienter le traitement et ainsi résoudre le conflit⁴⁵.

2.4.2.4. Autres mécanismes implémentés

D'autres mécanismes ont été intégrés afin de rendre compte de certains comportements observés empiriquement tels que la vocalisation de la réponse correcte après l'émission d'une erreur. Certains de ces mécanismes en plus d'être théoriquement vraisemblables (par ex., les feedbacks), sont implémentés afin de compenser par exemple les conséquences de certaines erreurs de récupération.

Feedback

En cas d'erreur, les individus sont supposés capables d'évaluer leur performance et d'avoir un retour sur celle-ci, même en l'absence de feed-back réel dans la tâche⁴⁶ (Koch, 2010 ; Fernandez-Duque et al., 2000). Les observations empiriques ont confirmé cette proposition, les individus montrant habituellement une réaction après avoir commis une erreur. Souvent cette erreur était de type interférente (i.e. relative à l'autre propriété du stimulus) et étaient oralement corrigée par la verbalisation de la réponse correcte.

Dans le modèle, une procédure de feedback de la réponse correcte ou du schéma de la tâche a été implémentée. Si la représentation de la tâche encodée en MT est correcte, et qu'une erreur a été commise, cette procédure permet d'activer le chunk de la réponse correcte en MD. En revanche, si la représentation de la tâche en MT est incorrecte ou absente, la réponse correcte n'est pas activée, en revanche une représentation de la tâche pertinente est amorcée⁴⁷.

Compromis vitesse-précision

Dans le modèle, un mécanisme modélise le compromis entre la vitesse et la précision. Celui-ci est simulé par la possibilité de contrôler la réponse sélectionnée par un signal de biais descendant. Cette procédure peut être exécutée après la récupération de la réponse. Le modèle peut avoir recours à un signal de biais qui agit de manière descendante sur la sélection réalisée. Si le processus se déroule correctement, un signal biaise le traitement et la bonne

⁴⁵ De manière plus pratique, la réponse erronée précédemment récupérée est suractivée n'ayant eu que très peu de temps pour décliner, sans un mécanisme d'orientation supplémentaire, il est peu probable de récupérer l'information pertinente.

⁴⁶ Ce retour sur la performance semble être sous-tendu par des mécanismes métacognitifs de détection de conflit (Fernandez-Duque et al., 2000).

⁴⁷ Ces procédures sont plus ou moins nécessaires afin de ne pas aboutir à l'extraction de toujours la même réponse quelque soit la tâche et le stimulus. ce sont des procédures permettant d'équilibrer le modèle.

réponse est exécutée. Le processus en question est assez coûteux en termes de temps, la précision est donc optimale mais le temps de réponse plus important. Ce mécanisme correspond à une « évaluation » post-sélection de la cohérence de la réponse avec les représentations en MT.

Fatigue

Dans le modèle d'Altmann et Gray (2008), une représentation de tâche inappropriée (« unrelated task ») est intégrée. La récupération de cette information simule le fait que l'individu puisse récupérer une représentation n'ayant aucun rapport avec la tâche en cours (e.g penser à prendre ses enfants à l'école, réfléchir sur ce que le test peut mesurer etc.). Elle peut être théoriquement associée à la notion de bruit cognitif ou de fluctuations attentionnelles (Nesselroade & Ram, 2004). Une représentation équivalente est implémentée dans notre modèle. Celle-ci entre en compétition avec les autres connaissances lors de la tentative de récupération d'une représentation de la tâche. Si elle est récupérée lors de la recherche d'une représentation de l'indice, elle résulte en une erreur d'encodage (i.e. condition E). Cette représentation est amorcée selon une certaine probabilité à la fin de chaque essai (excepté quand une erreur a été réalisée) afin de simuler une certaine accumulation de la fatigue, et une possible « déconcentration ».

Apprentissage

Le modèle intègre un mécanisme d'apprentissage qui est exécuté en fin d'essai. En cas de réussite à l'essai, un mécanisme de retour sur la performance est implémenté et consiste à amorcer une représentation de la tâche, le schéma de tâche pertinent. En revanche, en cas d'erreur, la représentation « signification » ou « schématique » de la tâche est amorcée. Selon la représentation encodée lors de l'essai, si la même représentation est amorcée, celle-ci est renforcée, si ces deux représentations sont différentes, cela tend à rendre possible un changement de mode de fonctionnement.

Synthèse

Quatre étapes constituent le déroulement du traitement modélisé : le traitement de l'indice, l'encodage du stimulus, la sélection de la réponse et son exécution. Les principaux choix théoriques réalisés au niveau des processus implémentés dans le modèle concernent les mécanismes et processus suivants :

- deux modes de résolution de la tâche ayant une efficacité différente
- un mécanisme d'interférence proactive
- un mécanisme d'inhibition de l'interférence
- un mécanisme de sélection de la réponse basé sur des processus descendants et ascendants
- un mécanisme d'inhibition de la réponse
- des processus contrôlés réactifs d'inhibition et de « signal de biais »
- des mécanismes proactifs de préparation des réponses potentielles de la tâche et de sélection contrôlée visuelle
- des feedback en cas de réponse erronée.

L'implémentation de chacun de ces processus est décrite dans la section suivante.

2.4.3. Le modèle computationnel CF

2.4.3.1. Introduction

Le travail de modélisation est effectué à l'aide de l'architecture cognitive ACT-R 6. Le modèle construit est basé sur la structure du modèle de Zbrodoff issu du tutoriel⁴⁸ et s'intitule modèle CF (couleur-forme). Les modèles d'Altmann et Gray (2008) et de Meiran et al., (2008) ont guidé l'implémentation de certains mécanismes. Avant de présenter les différentes procédures constituant le modèle CF, les éléments de l'architecture utilisés dans le modèle sont spécifiés.

2.4.3.1.1. Les modules

Dans le modèle présenté seulement certains modules sont utilisés. La Figure 18 illustre les interactions entre les différents modules impliqués dans le modèle de la tâche.

⁴⁸ Unité 4, voir <http://act-r.psy.cmu.edu/>

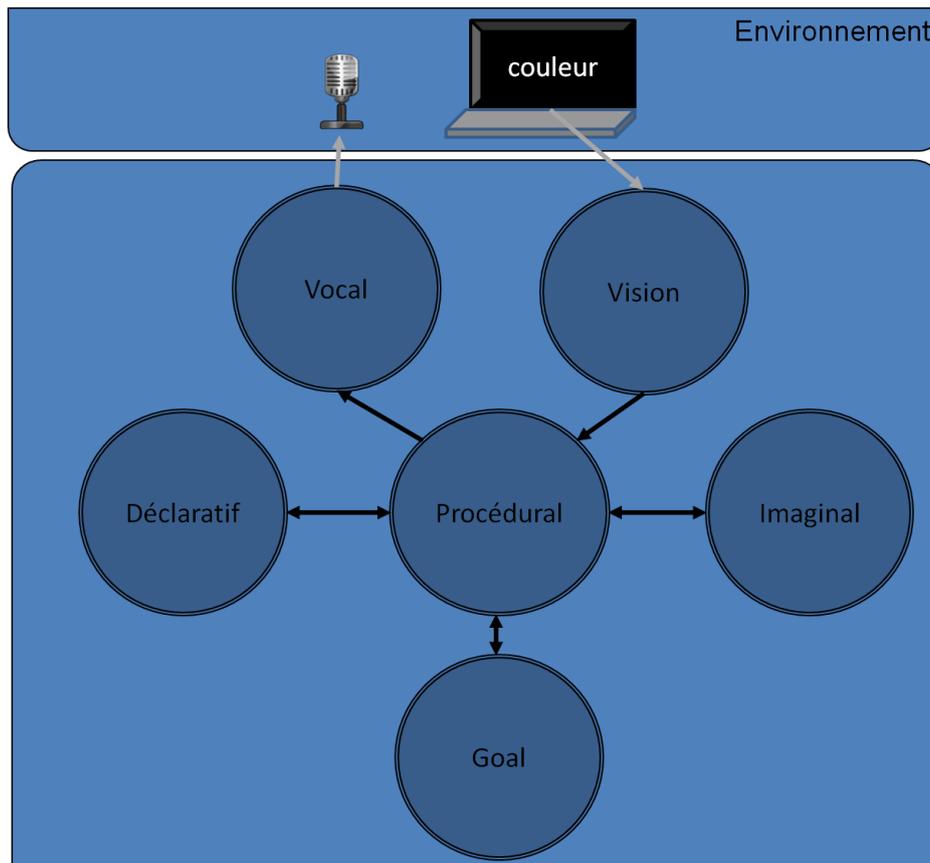


Figure 18 - Structure du modèle dans l'architecture

2.4.3.1.2. Les chunks insérés dans le modèle

Dans notre modèle, les connaissances déclaratives sont de deux types, sémantiques et épisodiques. Les connaissances sémantiques représentent la signification des mots présentés (« couleur », « forme »)⁴⁹ et les réponses potentielles (« *saycarré* », « *sayrond* », « *sayrouge* », « *saybleu* »)⁵⁰. Les représentations épisodiques sont les connaissances construites à partir de la consigne de la tâche ou au cours du traitement. Elles correspondent dans notre modèle aux schémas de tâche, aux associations S-R et aux représentations abstraites construites. Premièrement, les chunks « schéma de tâche » sont les représentations des règles et buts de la tâche (« *taskcouleur* » et « *taskforme* »). Ils sont constitués de slots

⁴⁹ Les références au chunk ou aux stimuli de l'architecture sont écrites entre guillemets « ». Les chunks du modèle, sont eux, en plus en italique.

⁵⁰ Certains chunks étant directement intégrés dans l'architecture (par exemple, le chunk couleur red), les noms ou slots des chunks sont fréquemment en anglais, pour que le système puisse les reconnaître. En revanche, le système devant tout de même verbaliser les réponses en français, pour plus de cohérence les chunks correspondants sont en français. Cela a pour conséquence au niveau de nomination, quelque fois un mixage entre les deux types de langue.

référant à l'indice (« couleur » ou « forme »), à sa signification (« *couleur* » ou « *forme* »), à la règle de la tâche correspondante (« *capturecolor* » ou « *captureshape* ») et aux réponses potentielles (*red* et *blue*). Deuxièmement, les chunk-réponses sont de type « association S-R » et réunissent les informations concernant la propriété du stimulus (par exemple, la couleur « rouge »), la couleur correspondante dans le modèle (la couleur « *red* »), la catégorie correspondante (la catégorie « *couleur* ») et la représentation phonologique ("rouge"). Troisièmement, un chunk « non lié » à la tâche est implémenté, le chunk « *unrelated* » (inspiré de la modélisation d'Altmann et Gray, 2008). Ce chunk est du même type que les chunks « schéma de tâche », il peut donc être récupéré lors de la tentative de récupération d'une représentation de la tâche. Enfin, quatrièmement, des chunks correspondant à la règle abstraite de chaque tâche sont implémentés. Ils sont nommés « *catcouleur* » et « *catforme* » et associent à la signification de l'indice (« *couleur* » ou « *forme* »), la règle de la tâche sous-jacente (« *capturecolor* » ou « *captureshape* »).

chunk	Réponse rouge : « <i>sayrouge</i> »	Signification « <i>couleur</i> »	Schéma de tâche « <i>taskcouleur</i> »
Type de chunk	denomminate	Meaning	meaning
Slot 1	cat couleur	type signification	type task
Slot 2	feature red	word "couleur"	word "couleur"
Slot 3	ans "rouge"		mean couleur
Slot 4			cue "capturecolor"
Slot 5			arg1 red
Slot 6			arg2 blue

Tableau 13 – Exemple de trois chunks du modèle CF: le chunk « *sayrouge* », « *couleur* » et « *taskcouleur* ».

2.4.3.1.3. Les paramètres de l'architecture utilisés

Les principaux paramètres de l'architecture sont utilisés dans le modèle : le facteur latence (*lf*), le paramètre lié à la diffusion d'activation (*ga*), le paramètre d'utilité des procédures (*u*), et des paramètres liés au mécanisme d'ajustement partiel (*mp*, « *partial matching* »).

- Le paramètre de diffusion d'activation *ga* (*goal activation*, lié au paramètre *mas*) correspond à l'activation diffusée par le buffer de but. Il influence de manière importante le niveau d'activation des chunks et par conséquent la capacité à pouvoir récupérer les chunks pertinents. Il est dans certaines études interprété comme

symbolisant la capacité de la mémoire de travail (par exemple, Daily, Lovett et Reder, 2001 ; Lovett, Reder et Lebiere, 1999).

- Un second type de paramètres permet d'influencer le processus de récupération d'un chunk : ce sont les paramètres d'ajustement partiel. Deux types de paramètres associés au mécanisme d'ajustement partiel sont utilisés, le paramètre *md* et le paramètre « *set-similarities* ». Le paramètre lié au malus d'ajustement partiel (« *maximum difference* », *md*) est utilisé dans le modèle, en phase d'encodage de la représentation de la tâche, afin d'attribuer un malus d'activation aux chunks qui ne possèdent pas un slot correspondant à l'indice. Le paramètre moins fréquemment utilisé « *set-similarities* » permet de fixer directement la différence ou la similitude entre deux chunks. Par exemple, dans le modèle, il permet de déterminer qu'un malus égal à -0,9 sera attribué au chunk « saybleu », si la requête spécifie un chunk possédant un slot *red* (rouge) par le script suivant : (*set-similarities (red blue -0.9)*).

- Le paramètre « utilité » *u* permet, dans notre modèle, de simuler l'utilisation préférentielle de certaines procédures. De nombreuses procédures sont dans le modèle associées à une certaine valeur d'utilité fixe mais bruitée. Si plusieurs procédures conviennent à la situation, celle possédant la plus forte utilité à un instant donné est celle exécutée. L'ajustement de la valeur d'utilité de certaines procédures rend plus ou moins probable leur exécution (par exemple, si une procédure X a une utilité égale à 7 et la procédure Y, une utilité égale à 10,5, la procédure Z sera plus probablement extraite que la procédure X et la procédure Y ne sera que rarement exécutée). Cet usage du paramètre *u* consiste à rendre plus probable l'exécution d'une procédure plutôt qu'une autre. A un niveau d'observation plus général, il simule le non déterminisme des procédures exécutées au cours de la tâche.

- Enfin, le facteur latence *lf* symbolise la vitesse de l'activité cognitive puisqu'il influence directement le temps mis pour récupérer une connaissance en mémoire déclarative (MD).

Ces quelques paramètres sont les plus importants dans le modèle et ont été fréquemment manipulés dans les simulations. D'autres paramètres ont été ajustés pour que le modèle fonctionne correctement : le paramètre du déclin de l'activation des chunks (*bll*), le bruit (*ans*), la quantité d'activation diffusée (*mas*), le seuil de récupération des chunks (*rt*). Les valeurs prises par ces chunks sont données ultérieurement.

2.4.3.2. Les procédures

Différentes étapes constituent le traitement de base du modèle. Ces étapes sont les suivantes : le modèle détecte l'apparition de l'indice, le dénomme et récupère une représentation de la tâche qui est encodée dans le buffer de but (goal buffer, GB). Puis, le modèle détecte l'apparition du stimulus-cible et encode ses caractéristiques en MT. Selon la représentation de l'indice encodée et les caractéristiques du stimulus cible, le modèle recherche en MD une réponse parmi les chunks potentiels. Enfin, une fois la réponse récupérée, celle-ci est verbalisée.

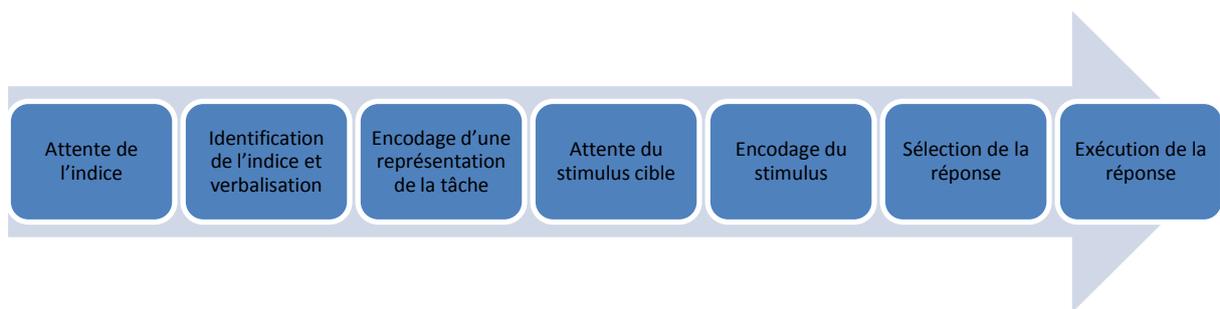


Figure 19 - succession des étapes pour un essai dans le modèle CF.

Nous décrirons maintenant les deux principales étapes du traitement: le traitement de l'indice d'une part, celui du stimulus d'autre part. Nous décrirons également les procédures y référant ainsi que certains mécanismes sous-jacents⁵¹.

2.4.3.2.1. Traitement de l'indice

Le traitement de l'indice est implémenté en 3 sous-étapes : l'attente de l'indice, son identification et la recherche d'une représentation. Les étapes impliquées dans le traitement de l'indice sont indiquées dans la Figure 20.

⁵¹Pour plus de détails sur les chunks, procédures et autres scripts du modèle, se reporter à l'annexe1 qui correspond au modèle CF.

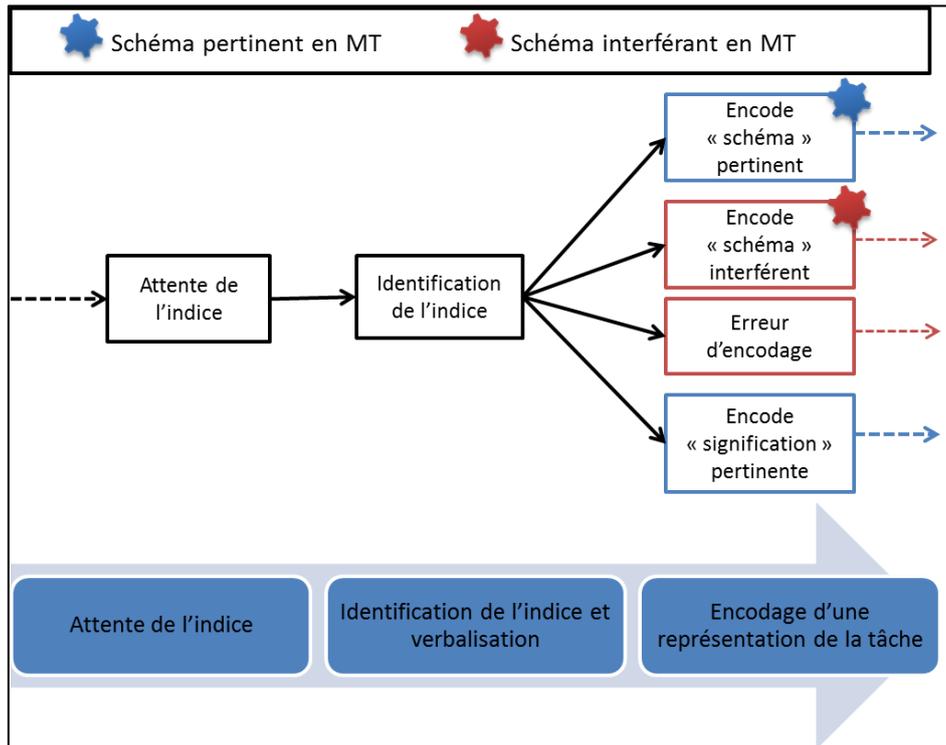


Figure 20 - Procédures exécutées pour le traitement de l'indice. L'objet dans le coin haut droit de certaines procédures symbolise la récupération d'un schéma de tâche pertinent (bleu) ou interférent (rouge).

Attente de l'indice

La première procédure nommée « attente de l'indice » (dans le modèle, « attending-cue »)⁵² est une procédure qui réagit au changement visuel de l'environnement. Dès l'apparition du stimulus dans l'environnement, cette procédure dirige le système visuel vers le stimulus afin de traiter ses caractéristiques.

Identification de l'indice, récupération d'une représentation et interférence proactive

Suite à l'apparition de l'indice et à sa détection, l'étape suivante est la procédure « identification de l'indice » (voir la procédure « identify-cue », annexe 1). Si le schéma pertinent n'est pas présent en MT⁵³, une tentative de récupération d'une représentation de l'indice en MD est effectuée par une requête. Le mécanisme de l'architecture utilisé pour guider cette récupération est le mécanisme de correspondance partielle (voir chapitre 2). Il oriente la récupération (vers une représentation concordante avec l'indice) par une spécialisation de la requête (voir Tableau 14). Dans le modèle, la requête est spécifiée par l'information de l'indice perçu (par exemple, « couleur »). Cette requête consiste à rechercher

⁵² Les procédures véritablement implémentées sont en anglais. Dans le texte, pour chaque procédure traduite, la version originale est donnée entre parenthèse.

⁵³ Dans le cas d'essai répété, le schéma pertinent peut être déjà présent en MT. Dans ce cas, aucune demande de récupération n'est effectuée et le système est « en attente » de l'apparition du stimulus.

en MD, un chunk qui contient le slot correspondant à l'indice (« couleur »). Les chunks concordants avec la requête sont les représentations de la tâche qui détiennent le slot (pour notre exemple, les chunks « *couleur* » et « *taskcouleur* »). Cette spécification de la requête oriente la sélection en attribuant un malus d'activation aux chunks ne possédant pas ce critère (i.e. les chunks de l'autre tâche). Ce malus tend à rendre moins probable la récupération des chunks non pertinents et inversement plus probable celle des chunks pertinents. Ce mécanisme simule l'amorçage de l'information de l'indice qui permet de récupérer un des chunks (« schéma » ou « signification ») pertinents pour la tâche en cours.

a) Identification de l'indice	b) Identification de l'indice avec interférence
<p>...</p> <p>+retrieval> isa meaning word "couleur"</p>	<p>...</p> <p>+retrieval> isa meaning word "couleur" type signification</p>

Tableau 14 - Portion des procédures d'identification de l'indice de l'indice "couleur" correspondant à la requête effectuée en MD selon la condition : sans interférence proactive (a) et avec interférence proactive (b).

Un autre processus est implémenté dans la requête : le processus d'interférence proactive. Ce processus est implémenté dans la procédure « identification de l'indice avec interférence proactive » (« identify-cue-interference » dans le modèle). Il consiste en l'insertion d'une seconde spécification indiquant quel type de représentation de la tâche est privilégié dans la requête (voir *task*, Tableau 14b). Cette seconde spécification attribue un malus d'activation aux chunks ne possédant pas le slot « *signification* ». Comme seuls les chunks « signification » possèdent ce slot (voir exemple « *taskcouleur* », Tableau 13), l'introduction de cette spécificité dans la demande rend moins probable la récupération d'un chunk « schématique » et par conséquent plus probable celle des chunks « signification ». Cette procédure est interprétée comme simulant le processus d'interférence proactive⁵⁴. Elle est exécutée quand une représentation du schéma de la tâche non pertinent pour l'essai en cours est présente en MT. Dans le modèle, cette situation ne peut être rencontrée qu'en condition d'essai alterné. Dans cette condition, cette procédure peut être exécutée selon une certaine

⁵⁴ Cette procédure d'interférence peut être également comprise comme une procédure d'inhibition résiduelle résultant de l'inhibition du schéma lors de l'alternance précédente par exemple (Mayr et Keele, 2000).

probabilité⁵⁵. Dans le cas contraire (i.e. sans schéma interférant actif), l'identification est effectuée sans interférence.

La procédure d'identification de l'indice avec interférence (si elle est exécutée) ajoute une difficulté pour récupérer le schéma pertinent⁵⁶. Elle serait –au moins en partie- à l'origine des coûts de commutation locaux simulés.

Une troisième procédure implémentée peut gommer cette interférence : c'est la procédure « identification de l'indice avec inhibition » (voir annexe 1, la procédure « identify-cue-inhibition »). Cette procédure, pouvant être activée si un schéma de tâche non pertinent est présent en MT au début de l'essai, consiste à annuler l'interférence provoquée par l'inertie passive du schéma antagoniste (i.e. l'interférence proactive) en supprimant la représentation du schéma non pertinent présente en MT. Cette procédure est implémentée afin de simuler deux phénomènes : la préparation anticipée d'une alternance (Vandamme, Szmalec, Liefoghe et Vandierendonck, 2010 ; Koch, 2010) et l'inhibition du schéma activé à l'essai précédent (Mayr et Keele, 2000). La probabilité d'exécution de cette procédure est fonction de la valeur d'utilité de la procédure concurrente : la procédure « identify-cue-interference »).

Représentation récupérée

La représentation récupérée diffère d'un essai à l'autre en fonction du niveau d'activation des chunks en MD. Le niveau d'activation d'un chunk varie –entre autres- selon la fréquence et la récence des récupérations des chunks et le bruit qui leur est associé (voir équation 1, chapitre 2). Notons que la représentation récupérée peut donc être différente d'un instant à l'autre bien que la condition rencontrée soit la même. Dans un premier cas, le chunk « signification » pertinent est récupéré et la procédure « encodage de la signification » (« encode-signification ») est exécutée. La signification de l'indice est alors encodée en MT. Cette représentation permettra plus tard de guider la sélection de la réponse par association avec les propriétés du stimulus. Dans un second cas, un chunk « schéma de tâche » est récupéré et la procédure « encodage du schéma de tâche » (« encode-schema ») est activée. Le schéma de tâche est alors encodé en MT, ce schéma de tâche pouvant être correct ou non pertinent. Si le schéma encodé est celui pertinent pour l'essai en cours, la représentation encodée est

⁵⁵ Difficulté relative à la valeur du malus paramétré.

⁵⁶ Cette difficulté est d'autant plus importante que l'essai précédent était alterné et donc les chunks interférant sont probablement plus actifs que ceux pertinents.

informative sur la caractéristique du stimulus-cible⁵⁷ devant être sélectionnée. Le schéma de tâche guide ainsi le traitement en accord avec les buts de la sous-tâche correspondante. Il offrira aussi la possibilité de recourir à des mécanismes contrôlés relativement variés (décrits ultérieurement). S'il est non pertinent et correspond au schéma de tâche interférant, il guidera la suite du traitement de l'essai selon la même logique et le traitement aboutira probablement à une erreur. Enfin, dans un troisième et dernier cas, soit la représentation récupérée est le chunk non lié ou le chunk « signification » de l'autre tâche, soit aucun chunk n'est récupéré (tous les chunks ayant un niveau d'activation inférieur au seuil de récupération *rt*, « *retrieval-threshold* »). Dans ces différentes situations, le contenu de la MT demeure inchangé et la recherche d'une représentation de l'indice est temporairement avortée.

Bilan des étapes du traitement de l'indice

Différentes procédures constituent le traitement de l'indice : la procédure d'attente de l'indice, la procédure d'identification de l'indice (avec ou sans interférence) puis celle d'encodage de la récupération récupérée. Lors de la procédure d'identification de l'indice, si une représentation de la tâche pertinente n'est pas déjà présente en MT (voir Figure 21a), une tentative de récupération d'une représentation de l'indice est effectuée en MD (voir Figure 20). Cette récupération est influencée par un mécanisme qui facilite la récupération d'une représentation pertinente pour l'essai en cours. Lors d'essai alterné néanmoins (voir Figure 21b), ce mécanisme doit compenser le déclin du niveau d'activation des représentations pertinentes et potentiellement l'interférence pouvant être provoquée par l'inertie du schéma interférant. Cette interférence peut cependant être inhibée selon une certaine probabilité.

⁵⁷ Le stimulus-cible qui apparaît dans un second temps.

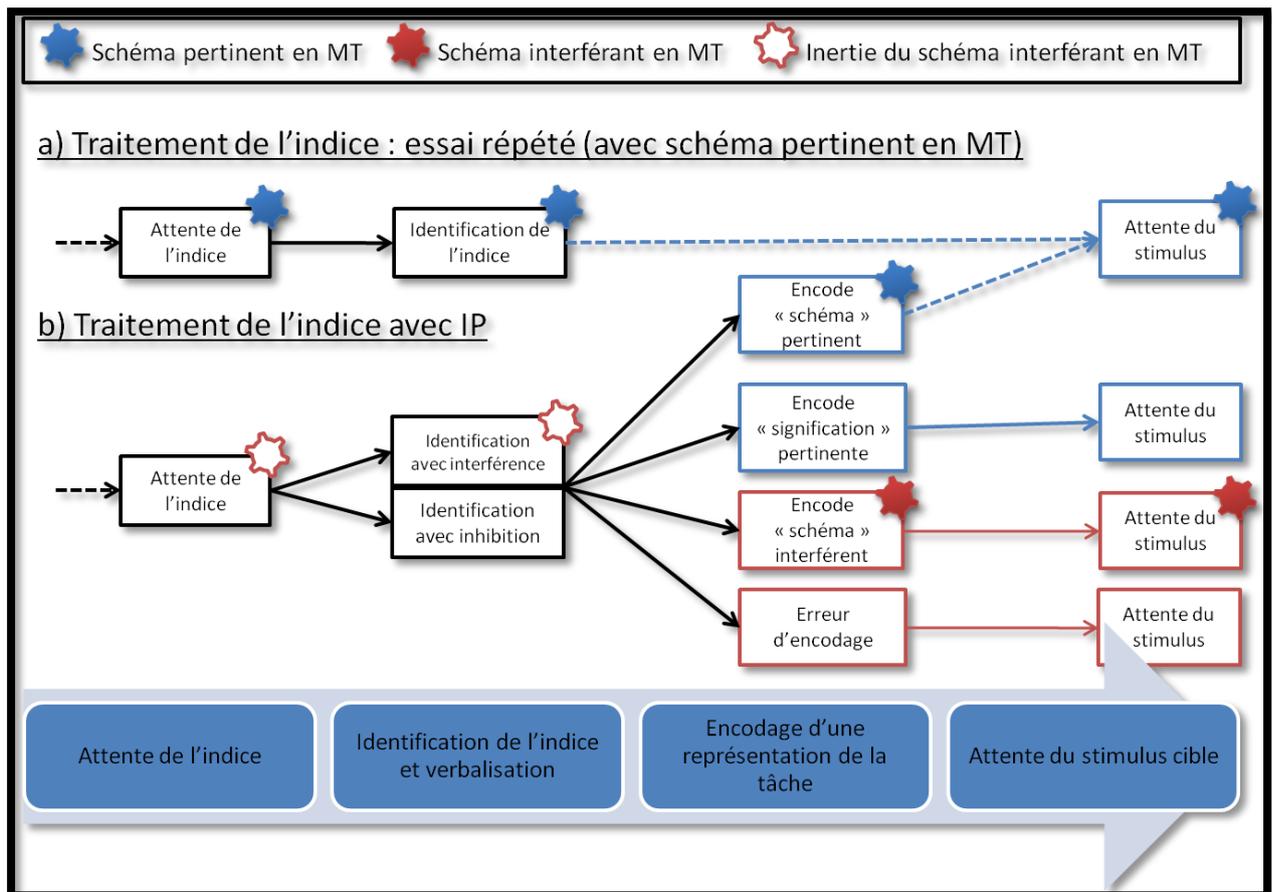


Figure 21 – Les séquences de procédures pouvant être exécutées lors du traitement de l'indice en cas de schéma encodé lors de l'essai précédent, en condition répétée (a) ou alternée (b). IP= Interférence proactive. (flèche bleu en pointillé = possibilité de procédures intermédiaires)

Notons que dans la suite de ce document, les différents états du système seront évoqués sous le terme de condition « signification » (resp., « schématique ») quand la représentation « signification » pertinente de l'indice (resp., « schématique ») a été encodé, alors qu'en cas d'erreur de récupération, la condition est dite « en échec » (« E »). Notons que l'efficacité du traitement de chaque essai est en grande partie fonction de l'état du système à l'issue de cette première étape.

2.4.3.2.2. Traitement du stimulus, récupération d'une réponse et son exécution

Les principales étapes du traitement de l'indice et du stimulus sont les suivantes : l'attente du stimulus-cible, l'encodage du stimulus, la sélection de la réponse et son exécution. Elles sont représentées dans la Figure 22. Néanmoins, selon la représentation récupérée lors du

traitement de l'indice, les procédures exécutées lors de ces différentes étapes peuvent légèrement varier.



Figure 22 - Les principales étapes du traitement du stimulus.

L'encodage du stimulus

Lors de l'apparition du stimulus-cible dans le champ visuel (le mot « carré » écrit en rouge par exemple), le système, alors en état d'attente, est dirigé vers celui-ci grâce l'exécution de la procédure « attente du stimulus » (« attending-stimulus »). Ensuite, ses propriétés sont codées dans le buffer visuel (sa valeur « carre », sa couleur « rouge » et la taille de la police par exemple). Enfin, certaines d'entre elles sont encodées dans le buffer de but (*goal buffer*, GB). Selon les informations présentes dans le GB, deux procédures peuvent être exécutées. En condition « signification » et « E », la couleur et la forme du stimulus sont encodées en MT à l'aide de la procédure « encodage du stimulus » (« encode-stimulus »). Contrairement à ces situations, en condition « schématique », le schéma permet l'encodage de la caractéristique pertinente du stimulus uniquement via la procédure « encodage filtré » (« encode-filter »). Par exemple si la tâche est de sélectionner la couleur (ou à l'inverse de sélectionner la forme du stimulus), alors seule la caractéristique « couleur » (respectivement la « forme ») de la figure est encodée dans le GB. Une fois la (ou les) propriété(s) du stimulus encodée(s), une demande de récupération est effectuée afin d'extraire un chunk-réponse de la mémoire sémantique⁵⁸.

La sélection de la réponse

L'efficacité de cette étape est fonction de l'état du système après avoir encodé la (ou les) propriété(s) de la cible. La procédure « sélection de la réponse » (« select-response ») consiste en une demande de récupération d'un chunk en MD. Lors de cette demande tous les « chunk-réponse » entrent en compétition et celui possédant la plus grande activation est extrait. Dans

⁵⁸ A l'exception de la condition « E » pour laquelle, une nouvelle tentative d'identification de l'indice est opérée. Cette seconde tentative suit la même logique que celle effectuée lors du traitement de l'indice. Son fonctionnement est également similaire excepté le fait que les propriétés du stimulus encodées en MT diffusent de l'activation vers les chunks possédant ces mêmes propriétés dans leur slot (i.e. les chunks schéma de tâche). Si un chunk est à cette seconde tentative extrait, il reprend le déroulement classique du traitement. Dans le cas contraire, une sélection de la réponse est réalisée « en aveugle ».

le modèle, les informations contenues en MT ainsi que les propriétés visuelles du stimulus agissent sur la qualité de l'opération par le biais respectivement, des mécanismes de diffusion de l'activation et du facteur de correspondance partielle (voir chapitre 2). Ces influences impactent la capacité du modèle à pouvoir à chaque essai récupérer le chunk-réponse adapté.

Influence du contenu de la MT

Le contenu de la MT oriente la sélection du chunk-réponse par diffusion de l'activation. Le phénomène consiste à augmenter le niveau d'activation des chunks de la MD qui présentent dans leur slots, les mêmes chunks que ceux encodés en MT (les chunks-source). Cependant l'efficacité de ce mécanisme est diminuée avec l'accroissement du nombre de chunks-source présents dans le BG puisque selon l'équation du mécanisme de diffusion de l'activation (voir chapitre 2), la totalité de l'activation devant être diffusée est répartie entre les chunks-source. Dès lors, plus le nombre de chunks-source présent en MT est grand, moins l'activation propagée par chaque chunk est importante.

Ce mécanisme a certaines conséquences sur le traitement en fonction de la condition du système. En condition « schéma », un seul chunk-source est présent en MT : la caractéristique pertinente du stimulus⁵⁹. Comme l'illustre la Figure 23b, toute l'activation est alors diffusée vers le chunk pertinent. A l'inverse, en condition « signification », trois chunks-source sont présents en MT : le chunk-source « signification » de l'indice et les deux propriétés de l'indice (« rouge » et « carré » par exemple, voir la Figure 23b). Ils diffusent tous une proportion de la quantité d'activation totale⁶⁰. Dans cette condition, la diffusion tend à amorcer le chunk pertinent (deux sources diffusent de l'activation vers celui-ci) mais également le chunk non pertinent correspondant à la propriété interférente du stimulus. L'activation diffusée vers un chunk interférent a pour conséquence de faire diminuer la différence de niveau d'activation entre celui-ci et le chunk pertinent et ainsi rendre plus probable l'extraction du chunk non pertinent. Cette diffusion plus éparse en condition « signification » tend donc à moins favoriser la récupération du chunk pertinent en comparaison à la diffusion « totale » de l'activation vers le chunk pertinent, en condition « schématique ».

⁵⁹ Dans le modèle, la représentation du schéma de tâche encodée (par exemple, « taskcouleur ») n'est pas un chunk-source. Cette représentation ne prend dès lors pas part au mécanisme de diffusion de l'activation, contrairement au chunk « signification » de l'indice qui lui est un chunk-source.

⁶⁰ L'activation totale diffusée varie en fonction de la force d'association S_{ij} entre les chunk-source et les chunks en MD (voir équation ajustement partiel).

Cette différence d'efficacité au niveau du mécanisme de diffusion entre les conditions « signification » et « schématique », a pour conséquence d'une part, de rendre plus probable la récupération d'un chunk erroné en condition « signification » et d'autre part, dans cette condition, la diffusion est moins orientée vers le chunk pertinent, celui-ci a donc un niveau d'activation moins élevé qu'en condition « schématique », il sera par conséquent moins rapidement extrait (voir chapitre 2).

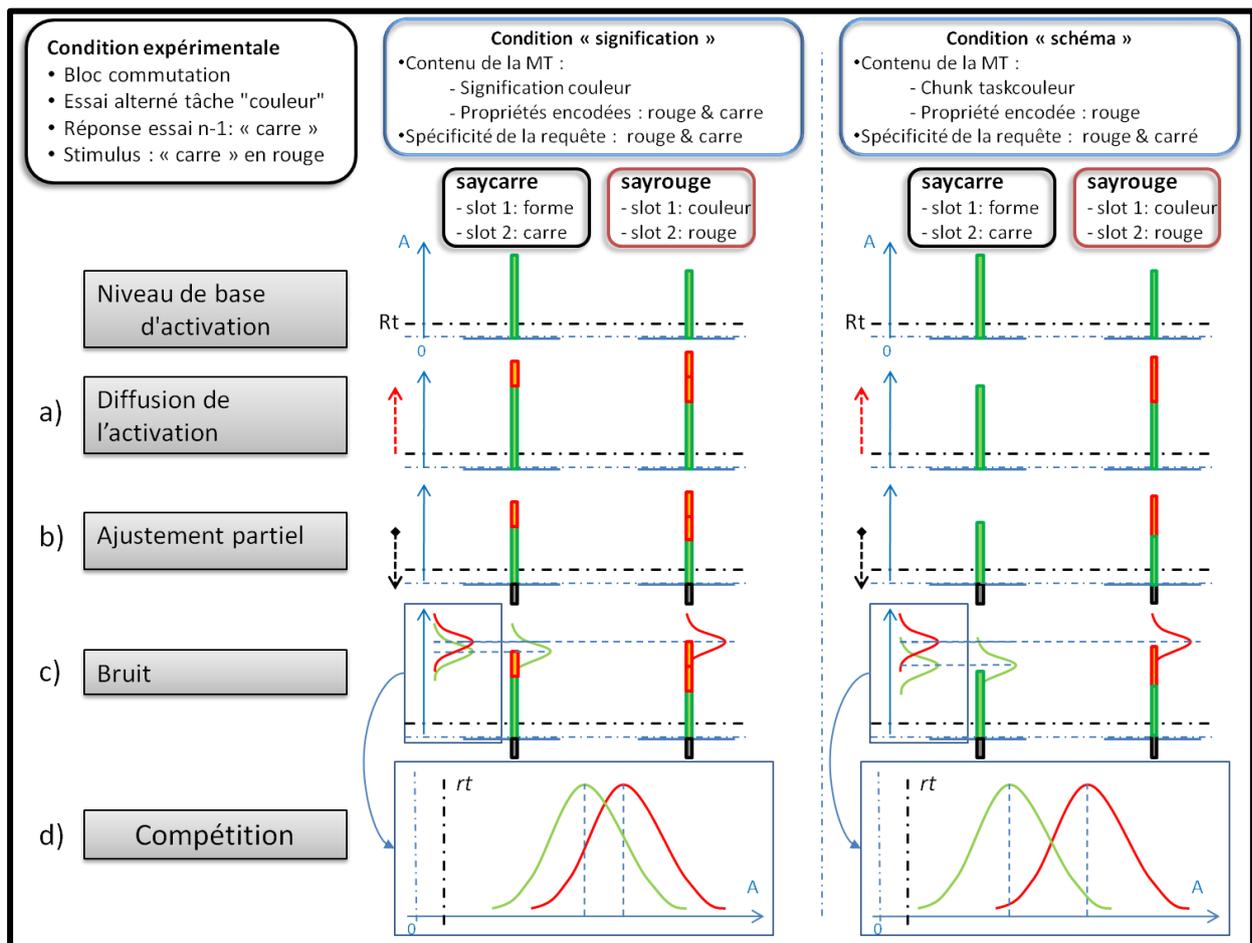


Figure 23 – Représentation à étages de l'effet de l'état du système (condition « signification » ou « schéma ») sur l'efficacité de la récupération de la réponse lors d'un essai alterné « couleur ». Influence du contenu de la MT et des spécificités de la requête sur le niveau d'activation et la probabilité de récupération du chunk interférent (saycarre) ou du chunk pertinent (sayrouge). (A = Activation ; rt = seuil de récupération).

Influence des propriétés visuelles du stimulus

Dans la tâche CF, le nombre de stimuli différents étant relativement faible, les associations stimulus-réponse sont fréquemment activées. De plus, elles sont supposées être amorcées de manière ascendante par les propriétés du stimulus. Cependant, les stimuli utilisés étant

bivalents, cet amorçage concerne également les associations stimulus-réponse non pertinentes pour la tâche en cours ce qui crée de l'interférence. Un tel mécanisme a été implémenté.

Dans le modèle, les propriétés du stimulus amorcent par un processus ascendant certains chunks présents en MLT : elles amorcent les connaissances auxquelles elles sont reliées en les rendant plus accessibles (Oberauer, 2005)⁶¹. Chaque stimulus de la tâche présente une caractéristique pertinente et une caractéristique interférente pour l'essai en cours (bivalence). Dans le modèle, l'influence ascendante des propriétés du stimulus est modélisée par une influence négative ou nulle de la propriété sur le niveau d'activation des chunks, en cas respectivement de différence ou de similitude avec la requête⁶². Autrement dit, un malus d'activation est attribué au chunk-réponse en compétition en cas de non correspondance entre les slots du chunk et la requête effectuée. Cette influence est nulle en cas de correspondance. Si les deux caractéristiques d'un stimulus sont spécifiées dans la demande de récupération du chunk-réponse (par exemple, la requête spécifie « rouge » et « carre »), chacune de ces spécifications attribue un malus d'activation⁶³ aux chunk-réponse ne possédant pas la spécification en question. Par conséquent, la présence de ces deux spécifications dans la demande diminue les niveaux d'activation des chunks pertinents et interférents (voir Figure 23c) (i.e. respectivement les chunks « sayrouge » et « saycarre »), et doublement pour les chunks ne présentant aucune des deux caractéristiques (i.e. cas des chunks « saybleu » et « sayrond »). Les chunk-réponse ont alors tous leur niveau d'activation diminué et leur récupération est donc moins rapide. Comparativement, dans une situation particulière, une procédure dite de « sélection visuelle contrôlée » (« select-response-controlled ») permet qu'une seule caractéristique (celle pertinente) soit spécifiée dans la demande (discutée ultérieurement).

⁶¹ Notons cependant que toutes les informations visuelles n'influencent pas le système mais qu'un système de contrôle (« méta-contrôle ») est supposé réaliser un filtrage des informations du contexte. Ce filtrage est effectué selon les buts généraux de la tâche (par exemple, « traiter la figure apparue à l'écran ») et évite ainsi l'interférence apportée par des informations non pertinentes (la forme du clavier, le reflet dans l'écran ou la place du micro par exemple).

⁶² Dans le modèle, nous avons privilégié de simuler l'interférence issue de l'amorçage des caractéristiques du stimulus par un malus d'activation plutôt qu'un gain d'activation. Conceptuellement, le phénomène de capture attentionnelle peut être perçu comme le déplacement du focus attentionnel sur ces informations, les informations demeurées hors du focus attentionnel perdent en probabilité d'être récupérées.

⁶³ Le malus d'activation peut être compris comme une désactivation ou un désamorçage (pour plus de détails voir encart 1).

Encart1 ?

Encart 2 - Information additionnelle concernant le malus attribué.

Ce malus peut être interprété comme une plus grande difficulté pour récupérer les chunks pertinents ou non pertinents en cas d'interférence. Le choix d'un malus plutôt qu'un bonus d'activation est inspiré des travaux de modélisation effectués van Maanen et associés (2009), avec l'extension RACE sur le paradigme PWI (Picture-Word Interference). L'extension RACE apporte à l'architecture ACT-R un processus non déterminé de sélection de chunk en MD basée sur un mécanisme d'accumulation. Avec ce mécanisme, l'efficacité de la sélection est fonction de la résolution de la compétition entre les chunks potentiels. Une augmentation de la compétition se traduit par une diminution de l'efficacité du processus de récupération et par un ralentissement du temps d'extraction du chunk.

Le malus implémenté ici, via le mécanisme d'ajustement partiel, simule d'une part, l'amorçage (ascendant) de la propriété pertinente du stimulus qui facilite l'extraction du chunk-réponse pertinent, et d'autre part, l'influence négative de la propriété non pertinente du stimulus sur le processus de sélection des chunk-réponse. Cette influence négative accentue la compétition par une diminution de l'activation du chunk correct.

Ce malus implémente donc la récupération soutenue du chunk pertinent (par rapport aux autres chunks) mais également le ralentissement lié à l'interférence provoquée par la bivalence du stimulus.

Encart 3 - Informations complémentaires sur la différence d'efficacité entre condition « signification » et « schéma ».

La différence d'efficacité du processus de sélection entre condition « schématique » et condition « signification » est lié à une diffusion plus orientée en condition « schématique » et plus dispersée en condition « signification ». Premièrement, avec un schéma de tâche, une seule information est présente dans le buffer de but (« MT »), la diffusion de l'activation est orientée exclusivement sur le chunk pertinent.

En condition « signification », trois chunk-source sont présents dans le buffer de but : la signification de l'indice par exemple « *couleur* », la forme de la figure (« *carre* ») et sa couleur (« *red* »). Dans cette condition, la diffusion d'activation est plus éparse pour deux raisons : d'une part le chunk pertinent ne possède pas les trois chunk-source (aucun chunk-réponse ne présentant à la fois les slots *rouge* et *carre*). Par conséquent une certaine quantité d'activation ne lui parvient pas. D'autre part, certains chunks non pertinents reçoivent de l'activation (les chunk-réponse « *saycarre* » et « *saybleu* » par diffusion de l'activation provenant respectivement du chunk-source *carre* et *couleur*), ce qui tend à augmenter la probabilité de récupération d'un chunk erroné.

En condition « schéma », le seul chunk-source présent en MT (le chunk correspondant à la propriété pertinente du stimulus) est très discriminant et favorise exclusivement le chunk pertinent, un seul chunk-réponse possédant un slot avec ce chunk-source. Toute l'activation est donc diffusée vers celui-ci. Dans cette condition, le gain d'activation résulte en une plus grande efficacité du processus de sélection, au niveau de la probabilité de réussite et de la vitesse d'extraction du chunk pertinent.

Notons que pour la condition E, une seconde tentative de récupération d'une représentation de la tâche est effectuée après l'encodage des propriétés de la cible. Comme lors de la première tentative, cette opération peut mener à la récupération d'une représentation de la tâche pertinente ou bien à la récupération d'une représentation erronée. Si la représentation est pertinente, celle-ci guide la sélection de la réponse. En revanche si aucune représentation n'est

récupérée, la sélection de la réponse n'est pas orientée (i.e. les deux propriétés du stimulus influencent la sélection par diffusion de l'activation et par le processus d'ajustement partiel).

Le processus de sélection de la réponse est influencé par deux mécanismes simulant des processus distincts : d'une part, la diffusion de l'activation par le chunk pertinent simule l'influence du contenu de la MT sur la sélection, et d'autre part, l'amorçage des propriétés du stimulus simule l'influence ascendante des propriétés des objets perçus.

L'efficacité de la procédure de sélection de la réponse diffère selon les informations présentées en MT. En condition « signification », la sélection de la réponse fonctionne par association entre le chunk « signification » de l'indice et les propriétés du stimulus encodées. En comparaison, en condition « schématique », le schéma guide indirectement la sélection de la réponse par un encodage (exclusif) de la propriété pertinente du stimulus, qui est alors la seule source de diffusion de l'activation. La diffusion plus disséminée de l'activation en condition « signification » a pour conséquence de diminuer l'efficacité de la sélection de la réponse (voir encart 2).

Exécution de la réponse et mécanismes contrôlés réactifs

Suite à l'extraction d'un chunk, différentes procédures peuvent être exécutées en fonction de la validité de la réponse. Dans le modèle, si la réponse est correcte, la procédure « réponse sélectionnée correcte » est exécutée (« select-response-correct »). Celle-ci déclenche directement l'exécution de la réponse par le transfert des informations correspondantes au module vocal. En revanche, si la réponse est incorrecte alors différentes procédures peuvent être activées. D'une part, la procédure « réponse sélectionnée » (« selected-response ») peut être exécutée. Cette procédure comme la procédure précédente envoie l'ordre au buffer vocal d'émettre la réponse (erronée) sélectionnée. D'autre part, des procédures « contrôlées » peuvent intervenir : les procédures « inhibition de la réponse » (« response-inhibition ») ou « contrôle de la réponse » (« control-response »).

Inhibition de la réponse

Nous avons implémenté dans le modèle un mécanisme inhibiteur inspiré de la littérature et de l'observation empirique de vocalisation inhibée. La procédure « inhibition de la réponse » permet d'empêcher l'exécution de la réponse de manière réactive. Le mécanisme inhibiteur est implémenté de la façon suivante : à l'issue de la sélection de la réponse, si le chunk

récupéré est incorrect, la procédure « inhibition de la réponse » peut être activée pour inhiber cette réponse et réitérer une tentative de récupération (orientée) d'un chunk-réponse. Ce mécanisme suit comme pour les autres processus contrôlés présentés une certaine probabilité d'exécution selon la valeur de l'utilité de la procédure⁶⁴. Notons que ce mécanisme ne peut être exécuté qu'en condition « schéma »⁶⁵.

Le contrôle par un signal de biais

Un mécanisme contrôlé peut être initié pour contrôler de manière réactive l'exécution de la réponse. Ce mécanisme contrôlé supplémentaire a été intégré dans le modèle afin de rendre compte d'un mode de fonctionnement permettant de contrôler la réponse sélectionnée en condition « signification » ou « E ». La procédure qui sous-tend ce mécanisme est la procédure « contrôle de la réponse » qui peut être exécutée suite à la récupération d'un chunk-réponse. Ce mécanisme consiste en l'émission d'un signal de biais pour contrôler de manière descendante la sélection réalisée.

La première étape de ce mécanisme comprend l'encodage de la réponse récupérée (par exemple « rouge »). Ensuite, une requête est lancée pour rechercher en MD une représentation « abstraite » de la tâche en cours. Par exemple, pour la tâche « couleur », la représentation correspondante en MD est le chunk « catcouleur » (pour catégorie couleur) qui associe l'indice « couleur » à une représentation « abstraite » de la règle de la tâche « couleur ». Si la représentation abstraite pertinente est récupérée (par ajustement partiel et diffusion de l'activation⁶⁶), alors la réponse correcte est automatiquement exécutée. En revanche en cas d'échec de récupération de la représentation abstraite pertinente, la réponse précédemment extraite est exécutée.

Ce mécanisme contrôlé supplémentaire simule indirectement le compromis entre vitesse et précision. En effet, alors qu'en condition « schématique » la sélection est rapide et précise, avec l'exécution de ce mécanisme de contrôle, une récupération additionnelle d'un chunk en MD (la représentation abstraite) est nécessaire, ce qui accentue le temps de traitement. En revanche, si la représentation aboutit à la récupération de la représentation pertinente pour

⁶⁴ Le recours à cette procédure d'inhibition est fonction de la valeur d'utilité de la procédure « *inhibition-response* ». Si elle est supérieure à la valeur d'utilité de la procédure « *select-reponse* », elle est alors exécutée.

⁶⁵ La simple « signification » de l'indice étant jugée trop peu informative pour que la détection de conflit entre la signification de l'indice et la réponse ne soit détectée.

⁶⁶ Ajustement partiel par le chunk de l'indice et diffusion par le chunk « signification » de la tâche, s'il a été récupéré pendant l'essai.

l'essai en cours, la réponse ensuite exprimée est toujours correcte. Avec ce mécanisme, la réponse est en théorie automatiquement plus lente mais surtout plus précise.

Ce mécanisme est initié quel que soit la validité de la réponse sélectionnée (i.e. qu'elle soit correcte ou incorrecte).

Bilan

La Figure 24 permet de voir que selon le contenu encodé en MT lors de la phase du traitement de l'indice, le traitement de la cible est plus ou moins efficient. Si la représentation « signification » de l'indice a été encodée⁶⁷, les caractéristiques non pertinentes et pertinentes du stimulus sont encodées en MT et l'interférence produite par leur amorçage respectif, diminue l'efficacité du processus d'extraction de la réponse. En revanche, si un schéma de tâche est présent en MT, seule la caractéristique pertinente est encodée en MT et le chunk pertinent reçoit une quantité d'activation plus importante par le buffer de but, facilitant ainsi sa récupération. La condition « schématique » dans le modèle présente ainsi une efficacité supérieure pour sélectionner la réponse correcte comparée à la condition « signification ». Cette différence d'efficacité pour la condition « signification » est compensée par un processus contrôlé réactif pouvant intervenir après la sélection de la réponse. Ce processus consiste en un contrôle de la réponse par un signal de biais descendant. La procédure qui sous-tend ce processus peut être activée en situation « signification » ou « E » que la réponse sélectionnée soit correcte ou incorrecte. Ce processus tend à augmenter de temps nécessaire pour l'exécution de la réponse et donc ralentit le traitement. Parallèlement à ce mécanisme un processus inhibiteur est implémenté pour permettre d'inhiber une réponse sélectionnée incorrecte et recommencer une tentative de récupération du chunk-réponse. Ce processus ne peut être activé que si un schéma a été précédemment encodé dans le buffer de but (i.e. condition « schématique »).

Alors que les deux mécanismes contrôlés présentés précédemment (« coactivation » et sélection visuelle) ont pour finalité d'empêcher l'exécution d'une réponse erronée, deux processus contrôlés implémentés tendent à réduire l'interférence produite par la présence de la caractéristique non pertinente, en amont de l'étape de sélection de la réponse.

⁶⁷ Ou aucune représentation (condition E).

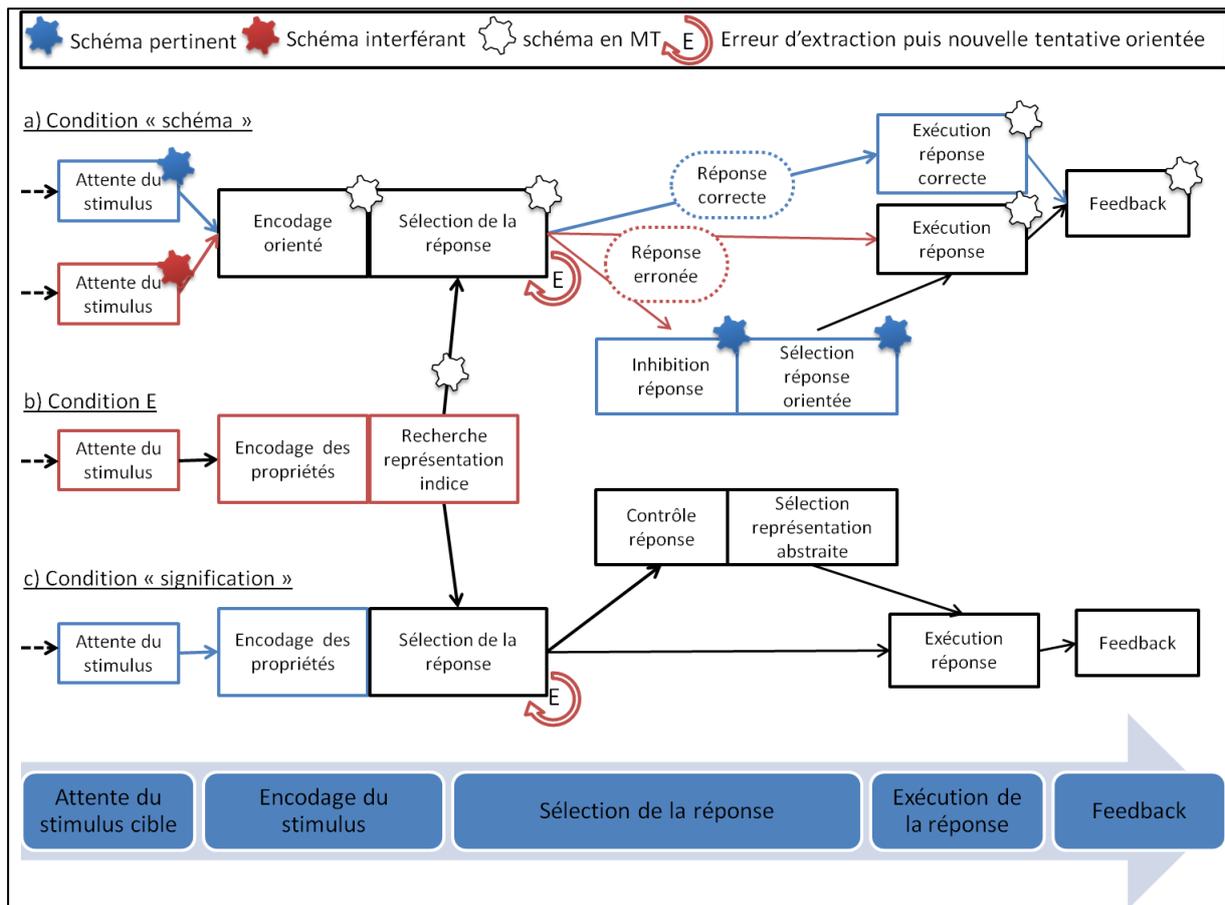


Figure 24 – Succession des étapes suite à l'apparition du stimulus et selon les conditions du système.

2.4.3.2.3. Mécanismes contrôlés proactifs

Dans la littérature, certaines recherches ont intégré des mécanismes contrôlés dans leur modélisation du traitement de la « N back task » (Juvina et Taatgen, 2007), du Stroop (Juvina, Taatgen et Dickison, 2007 ; Lovett, 2005) et des tâches d'alternance (Meiran et al., 2008).

La modélisation de Lovett (2005) du paradigme de Stroop implémente un mécanisme de contrôle. Celui-ci détermine la réalisation des traitements de l'une ou l'autre tâche (i.e. traitement du mot ou de la couleur de la cible). Dans notre modèle, un mécanisme du même type est exécuté en condition « schéma » de par l'encodage sélectif de la propriété pertinente du stimulus (i.e. traitement de la figure ou de la couleur du stimulus cible). En nous appuyant sur la littérature et sur les observations empiriques récoltées, nous avons fait l'hypothèse de deux autres mécanismes contrôlés susceptibles d'intervenir. Ceux-ci réfèrent aux mécanismes de sélection visuelle de la propriété pertinente du stimulus et au mécanisme de préparation des réponses potentielles. Ces mécanismes ne sont en revanche pas exécutés automatiquement mais soumis à une certaine probabilité d'exécution selon la valeur d'utilité de leur procédure

respective. Leur exécution est également fonction de la représentation de la tâche encodée dans le GB.

La sélection visuelle contrôlée

Le modèle implémente un processus de sélection visuel. Ce processus, soutenu par la procédure « encodage par sélection visuelle », permet de filtrer l'information (« input ») issue du stimulus. Certaines études ont préalablement modélisé un tel phénomène (Meiran et al., 2008). Meiran et associés (2008) ont modélisé l'effet de filtrage que pourraient avoir des processus de contrôle top-down de sélection de l'input ou de sélection de l'action. Dans leur modèle, la sélection contrôlée implémentée agit comme un filtre partiel de l'information privilégiant fortement les représentations pertinentes. Selon ces auteurs, « l'indice de la tâche en plus de fournir une information sur l'identité abstraite de la tâche peut aussi immédiatement orienter l'attention sur l'input (ou la représentation de l'action) » (traduit de Meiran et al., 2008). Traiter l'information à travers ce filtre permet de privilégier l'information pertinente, ce qui résulte en une diminution de l'interférence produite et une plus grande efficacité du processus de sélection de la réponse.

Un processus contrôlé de sélection visuelle analogue est aussi implémenté dans le modèle. Il permet de filtrer les informations perçues afin d'éviter l'amorçage de la représentation non pertinente du stimulus. Ce processus est exécuté avec une certaine probabilité d'occurrence et seulement si un schéma de tâche a été encodé (la signification de l'indice étant à priori trop peu informative pour « initier » un tel traitement, Dreisbach et al., 2009). L'exécution de ce processus est implémentée dans le modèle par une spécialisation de la requête effectuée en MD : celle-ci indique seulement la propriété pertinente du stimulus recherché alors que dans les autres situations, les deux propriétés du stimulus (dont celle non pertinente) influencent le processus de sélection. Le filtrage de l'information est intégral, la caractéristique non pertinente n'intervenant pas dans le processus de sélection (voir Figure 25). Tous les chunk-réponse ont alors leur niveau d'activation diminué à l'exception du chunk pertinent qui présente un gain d'activation maximal.

Dans le modèle, la procédure qui sous-tend ce processus est la procédure « encodage filtré du stimulus » (« encode stimulus-filter »). Notons que son exécution nécessite d'une part un schéma de tâche dans le BG et qu'un tel processus de sélection est supposé impliqué dans la résolution des essais en condition homogène (bloc A et B).

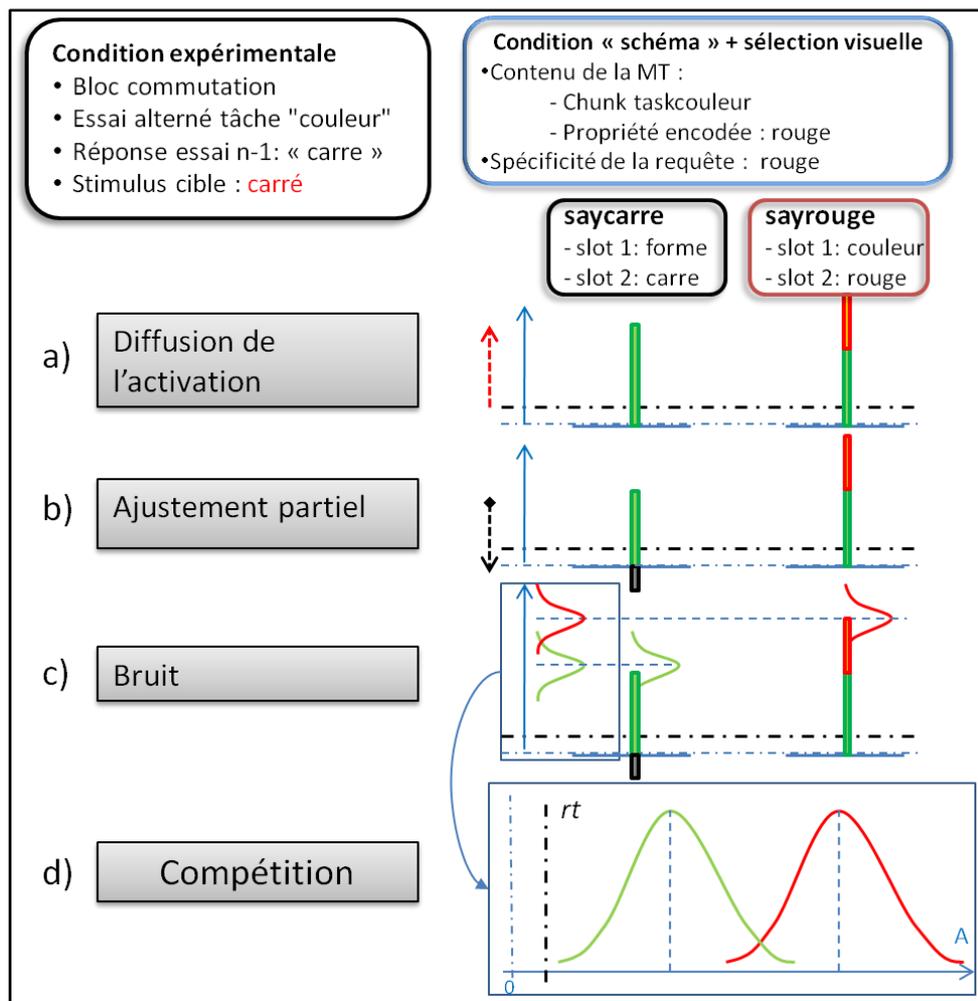


Figure 25 - Représentation de l'effet du processus contrôlé de sélection visuelle sur l'efficacité de la récupération de la réponse lors d'un essai alterné « couleur ». Influence du contenu de la MT et des spécificités de la requête.

La stratégie de « Coactivation »

Le modèle implémente un mécanisme préparatoire ou « stratégie de coactivation ». Elle peut être initiée par l'exécution des procédures correspondantes (voir annexe 1) quand un schéma de tâche pertinent est présent en MT (voir les procédures « indice-identifié » ou « encodage du schéma de tâche », p 170). Cette stratégie consiste en l'activation des deux réponses potentielles pour l'essai en cours avant l'apparition du stimulus-cible (i.e. pendant le CTI⁶⁸). Cette activation est effectuée par l'intermédiaire du buffer *imaginal*, celui-ci permettant de rafraichir (i.e. amorcer) les chunks en MD⁶⁹. Quand cette stratégie survient les deux réponses potentielles sont toutes les deux activées (voir par exemple, procédure « imaginal-bleu », annexe 1). Lors de la demande de récupération de la réponse, ce mécanisme a pour effet de

⁶⁸ Ce processus ne retarde pas le traitement du stimulus.

⁶⁹ Utilisation de la fonction fusion des chunks (« merge function »).

rendre plus probable la récupération du chunk pertinent plutôt qu'un chunk interférant. Cette coactivation des réponses avant l'apparition du stimulus réactive les chunks correspondants et accentue ainsi leur accessibilité.

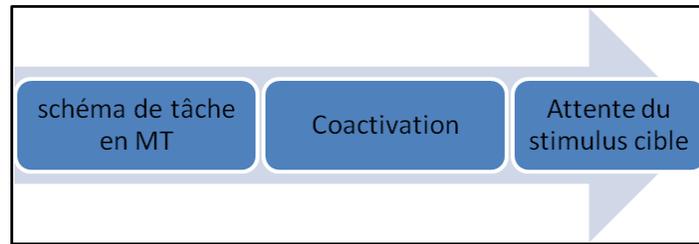


Figure 26 – Place de la stratégie de coactivation dans le modèle.

Ces deux processus contrôlés simulent la possibilité de pouvoir activement sélectionner ou activer les informations pertinentes pour la tâche. Ces procédures nécessitent d'une part la présence d'un schéma de tâche dans le GB et d'autre, la valeur d'utilité de la procédure donnée doit dépasser celles des autres procédures en compétition. Par exemple, la procédure « encodage par sélection visuelle » est seulement exécutée si d'une part, un schéma de tâche est présent en MT et d'autre part, sa valeur d'utilité au moment t est supérieure à l'utilité de la procédure « encodage-filtré »

2.4.3.2.4. Autoévaluations et retours sur la performance

Plusieurs procédures ont été implémentées référant à des retours en fonction de la performance réalisée. Dans le modèle, ces mécanismes sont exécutés pendant le RCI (« response-cue interval »).

Feedback post-erreur

Dans le modèle, en cas d'émission d'une réponse erronée, un feedback est implémenté par la procédure « response-feedback ». Ce mécanisme simule la possibilité de récupérer la bonne réponse après exécution d'une réponse erronée. Cette procédure consiste à amorcer la réponse correcte grâce au module *imaginal*⁶⁹. Notons que son exécution est automatique en cas d'erreur, excepté quand le schéma de tâche interférant a été encodé.

Feedback du schéma de tâche ou de la signification

En fonction de la performance, différentes procédures ont été implémentées simulant un feedback du schéma de tâche ou de la signification de l'indice.

Les procédures de feedback du schéma de tâche pertinent ou de la signification de l'indice peuvent être initiées (selon une certaine probabilité associée à sa valeur d'utilité) en cas de réussite ou d'échec à l'essai (voir les procédures « feedback-task »). Premièrement, en cas d'échec, les procédures « feedback tâche » (« task-feedback ») ou « feedback signification » (« meaning-feedback ») peuvent être exécutées. Elles simulent la détection d'une erreur post réponse, et l'activation de la signification ou du schéma de tâche pertinent. Cette procédure ne peut être exécutée si aucune représentation de l'indice n'a été encodée pendant l'essai. Deuxièmement, en cas de réussite d'une part, si le schéma est présent en MT, la procédure « amorçage du schéma de tâche » (« task-priming ») peut être exécutée. Elle simule la « consolidation » du traitement réalisé⁷⁰. D'autre part, si la signification de l'indice est présente en MT, la procédure « amorçage du schéma de tâche par la signification » (« meaning-priming-task ») simule une tendance à l'exécution d'un traitement plus contrôlé lors des essais suivants (i.e. apprentissage procédural).

Feedback de la représentation « aucunement liée »

Un feedback supplémentaire implémenté consiste en l'amorçage de la représentation « aucunement liée à la tâche » (chunk « *taskunrelated* ») par la procédure « amorçage du chunk non lié » (task-unrelated-priming). Ce chunk de type schématique, est inspiré de la modélisation d'Altmann et Gray (2008) dans laquelle un tel chunk pouvait être récupéré lors des cycles d'encodage de la représentation de la tâche⁷¹. La procédure « amorçage du chunk non lié » peut être exécutée quel que soit la condition rencontrée. Ainsi, cette procédure est en compétition avec les procédures de feedback « signification » et « schéma » précédemment décrites. Notons qu'en cas d'exécution fréquente de cette procédure au cours d'un bloc, ce mécanisme permet de simuler une fatigue accumulée qui peut résulter en la survenue d'une erreur d'encodage de la représentation de la tâche.

Synthèse modèle

⁷⁰ Cette procédure simule le fait que des activations de la règle suivie pendant l'essai puissent être renforcées (Gilbert et Shallice, 2002)

⁷¹ Dans notre modèle, si ce chunk est récupéré lors de la procédure d'identification de l'indice, cette procédure résulte en un échec (i.e. condition « E »).

Le Tableau 15 présente les différentes procédures implémentées et leurs rôles respectifs dans le modèle⁷². Le modèle est constitué de nombreuses procédures modélisant des processus et mécanismes très diversifiés mais néanmoins théoriquement pertinents. Le modèle intègre deux modes de résolution d'un essai basés sur les deux théories débattues dans la littérature actuellement (Logan et Bundesen, 2003; Rogers et Monsell, 1995, Monsell et Mizon, 2006) et un mode de fonctionnement en cas d'échec de récupération d'une représentation de la tâche pour l'essai en cours (de Jong, 2000). Il intègre également des processus qui simulent l'interférence provoquée par les contraintes contextuelles : celle relatives à l'alternance des représentations schématiques (TSI, Allport et al., 2000) et l'interférence produite par la bivalence des stimuli (Monsell, Yeung et Azuma, 2000). Enfin, des processus contrôlés sont également implémentés afin de simuler les processus pouvant intervenir de manière réactive en cas de détection de conflit, ou de manière proactive, par un ajustement du niveau de contrôle cognitif aux contraintes de la tâche.

Tableau 15 - Tableau récapitulatif des procédures

Procédures	Rôle dans le modèle
Attente de l'indice	Le système détecte l'apparition d'un item dans l'environnement et déplace le focus attentionnel dans sa direction.
Identification de l'indice	L'information perçue est encodée et est utilisée pour récupérer une représentation de l'indice en MD (sans interférence).
Identification de l'indice avec interférence	L'information perçue est utilisée pour récupérer une représentation de l'indice en MD. La représentation du schéma non pertinent présente dans le buffer de but (GB), gêne la récupération des schémas.
Inhibition du schéma interférant	Inhibition du schéma non pertinent présent dans le GB et identification de l'indice sans interférence.
Indice identifié	L'information véhiculée par l'indice concorde avec le schéma présent dans le buffer de but. Aucune requête n'est effectuée. (Initiation éventuelle de la procédure de coactivation).
Erreur d'encodage	Le chunk « signification » non pertinent, non lié ou aucun chunk n'est récupéré.
Encodage de la signification de l'indice	Le chunk « signification » pertinent est récupéré et encodé dans le GB.
Encodage du schéma de tâche pertinent	Le schéma de tâche pertinent est récupéré et encodé dans le GB. (une procédure équivalente initie la procédure de coactivation)
Encodage du schéma de tâche non pertinent	Le schéma de tâche non pertinent est récupéré et encodé dans le GB.
Coactivation	*Activation des deux réponses potentielles, l'une après l'autre.

⁷² Certaines procédures n'ont pas été spécifiées. Celles-ci sont exécutées selon la représentation et l'action relayée (par exemple, encodage des deux propriétés de l'indice ou d'une seule).

Attente du stimulus (+ signal de biais)	Attente du stimulus et orientation visuelle et attentionnelle dans sa direction (une procédure équivalente supplémentaire permet d'activer le contrôle par signal de biais)
Encodage des caractéristiques	Encodage des deux caractéristiques du stimulus dans le GB. Recherche d'une réponse en MD par diffusion de l'activation du GB et amorçage ascendant des propriétés du stimulus.
Encodage filtré	*Encodage de la caractéristique pertinente du stimulus. Recherche d'une réponse en MD par diffusion de l'activation du GB et amorçage ascendant des propriétés du stimulus.
Encodage par sélection visuelle	*Encodage de la caractéristique pertinente du stimulus. Recherche d'une réponse en MD par diffusion de l'activation du GB et amorçage ascendant de la propriété pertinente du stimulus.
Réponse sélectionnée correcte	Le chunk réponse pertinent est récupéré. La réponse est exécutée.
Réponse sélectionnée	Un chunk réponse est récupéré. La réponse est exécutée qu'elle soit pertinente ou non.
Erreur interférence	Le schéma non pertinent conduit à la récupération d'une réponse erronée qui est exécutée.
Inhibition de la réponse	Un chunk réponse est récupéré. La réponse est inhibée.
Encodage stimulus et recherche en MD	Encodage des deux caractéristiques du stimulus et seconde tentative de récupération d'une représentation de la tâche (condition « E »).
feedback réponse	Une réponse erronée a été donnée. Un feedback de la réponse pertinente est réalisé.
Pas de feedback réponse	Une réponse erronée a été verbalisée sans feedback de la réponse pertinente.
Pas de feedback tâche	Aucun feedback de représentation de tâche.
feedback tâche	Une réponse erronée a été donnée. Un feedback de la représentation schématique de la tâche est réalisé.
feedback signification	Une réponse erronée a été donnée. Un feedback de la signification de l'indice est réalisé.
amorçage du schéma de tâche par la signification	Une réponse correcte a été donnée. Un feedback de la représentation schématique de la tâche est réalisé.
Amorçage du chunk non lié	Un chunk non lié à la tâche est amorcé.

**procédure seulement exécutée en condition schématique.*

2.5. Analyse des simulations

Nous présentons dans cette section les résultats des simulations. D'une part, les résultats correspondent aux performances moyennes recueillies à partir des 500 simulations effectuées pour un même pattern de paramètres. Une « fonction » de l'architecture ACT-R a été modifiée et utilisée pour répéter 500 fois la simulation d'un même bloc de la tâche (« repeat-experiment », voir annexe 1). D'autre part, pour effectuer consécutivement les simulations de

différents blocs et patterns de paramètres, nous avons utilisé le logiciel « advanced key mouse recorder »⁷³. Enfin, nous avons évalué la significativité des simulations avec le paquet lme4 (Bates, 2005) du logiciel de statistiques R (R development core team, 2007). Bien que nous nous soyons systématiquement assurés de la significativité statistique (au seuil de .05) des différences entre performances simulées, les résultats de ces analyses ne sont pas repris ici.

2.5.1. Paramètres

2.5.1.1. Paramètres fixé

Pour chaque simulation, un ou plusieurs paramètres du modèle sont manipulés tandis que les autres paramètres gardent une valeur fixée (i.e valeur par défaut). Le tableau 1 regroupe les valeurs par défaut des paramètres du modèle.

<i>Paramètres</i>	<i>Valeurs</i>
Malus attribué par l'indice (<i>md</i>)	-0.9
Malus schema: interference proactive (<i>set-similarities</i>)	0.0
Malus réponse (<i>set-similarities</i>)	-0.9
Seuil de récupération des chunks (<i>rt</i>)	0.50
Déclin de l'activation (BII)	0.53
Bruit (ans)	0.225
Quantité d'Activation (mas)	4.0
Goal activation (ga)	0.90
Facteur latence (lf)	1.0
Apprentissage optimisé (ol)	6
utilité	t
Bruit de la valeur d'utilité	0.2
Alpha (utilité)	0.2
Bruit spécifique schéma taskcouleur (<i>pas</i>)	-0.1
Bruit spécifique schéma taskforme (<i>pas</i>)	-0.2

Tableau 16- Valeur des paramètres par défaut

Dans le modèle, les chunks « schématique » sont associés à un malus d'activation paramétré avec le second paramètre de bruit permanent (*pas*) afin de simuler une très légère différence de difficulté entre les deux tâches. Le malus d'activation permanent est égal à -0,10 pour le chunk « taskcouleur » et -0,20 pour le chunk « taskforme ».

2.5.1.2. Valeur d'utilité fixée

Les procédures pouvant entrer en compétition avec d'autres procédures possèdent une valeur d'utilité paramétrée (dans le cas contraire leur utilité u est par défaut égale à 0). Quand plusieurs procédures peuvent entrer en compétition la procédure de « base » (i.e.

⁷³ Site : <http://mouse-recorder.macro-expert.com>

généralement, sans mécanisme spécifique sous-jacent) possède une valeur d'utilité déterminée servant ainsi de repère (son utilité u est généralement arbitrairement fixée à 10). Les procédures « concurrentes » présentent soit une valeur d'utilité fixée, soit une valeur paramétrée. Le Tableau 17 indique les valeurs d'utilité données aux procédures du modèle. Rappelons que lors de la compétition, seule la procédure possédant la plus forte valeur d'utilité est exécutée (voir partie 2).

Valeur d'utilité des procédures (par défaut)	
Identification de l'indice avec interférence	10
Identification de l'indice avec inhibition du schéma interférant	10
Identification de l'indice avec inhibition du schéma pertinent	10
Indice identifié (condition répétée)	10
Indice identifié et coactivation (condition répétée)	8
Encodage du schéma de tâche pertinent	10
Encodage du schéma de tâche pertinent + coactivation	8
Attente du stimulus	20
Attente du stimulus + procédure signal de biais	1
Encodage d'une caractéristique et sélection de la réponse	10
Encodage d'une caractéristique et sélection de la réponse orientée	8
Sélection d'une réponse et exécution	10
Sélection de la réponse pertinente et exécution (ok)	15
Erreur interférence	15
Sélection d'une réponse erronée et Inhibition de la réponse	10
feedback de la réponse	20
Pas de feedback de la réponse	10
Pas de feedback de tâche	10
Feedback chunk non lié	9,8
Amorçage du chunk schéma de tâche	10,4
Amorçage du chunk signification	9,6

Tableau 17 - Procédures et valeur d'utilité fixée

2.5.2. Simulations des effets simples

Nous présentons dans cette partie les résultats des analyses de l'effet de la modification des paramètres sur les performances simulées. Le Tableau 18 présente la liste des simulations effectuées et les paramètres ou valeurs d'utilité de procédures manipulées.

<i>Simulation</i>	1	2	3	4	5	6	7
Paramètre facteur latence <i>lf</i>	X						
Paramètre activation diffusée <i>ga</i>		X					
Procédure interférence proactive (IP)			X				
Procédure inhibition IP (I°)				X			
Procédure signal de biais (S)					X		
Procédure feedback Représentation de tâche					X		
Paramètre bruit <i>ans</i> (B)						X	
Malus non correspondance réponse							X

Tableau 18 – Listes des paramètres manipulés dans les différentes simulations.

2.5.2.1. Simulation 1 : Effet simple du facteur latence (*lf*).

La Figure 27 présente les conséquences des modifications du paramètre *lf* sur les performances simulées. On remarque que l'augmentation de la valeur du paramètre *lf* (de 1,0 à 1.8) conduit à l'observation d'une augmentation des latences moyennes et du coefficient de variation moyen dans les conditions homogènes, répétées et alternées. En revanche, l'augmentation de la valeur de ce paramètre n'affecte pas la précision des essais qui demeure relativement stable entre les conditions.

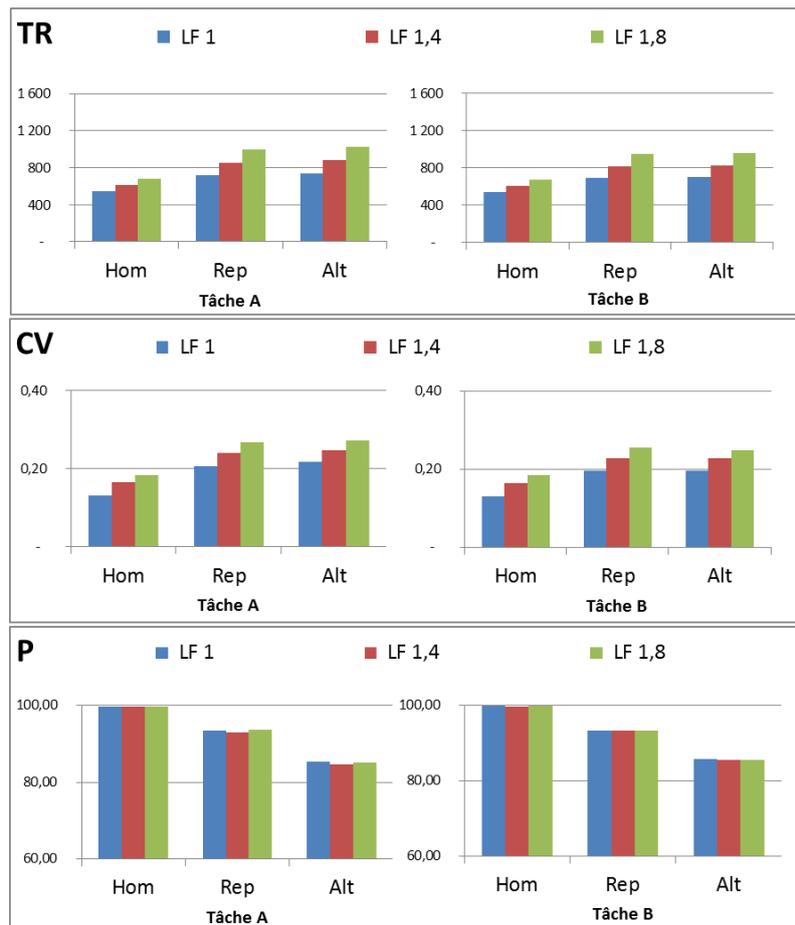


Figure 27- Effet de la modification du paramètre de ralentissement LF sur les performances aux essais « couleur » (A) et « forme » (B) en condition homogène (Hom), répétée (Rep) et alternée (Alt). TR (ms), CV (coefficient de variation), P = Précision (%).

2.5.2.2. Simulation 2 : effet simple du facteur diffusion de l'activation ga .

La figure ci-dessous présente l'effet de la manipulation du paramètre ga qui détermine la quantité d'activation totale W diffusée au chunk lors des demandes de récupération. L'augmentation de la quantité d'activation diffusée d'une part diminue de manière générale les latences et la variabilité des réponses (CV). D'autre part, elle augmente la précision des réponses en condition répétée et alternée.

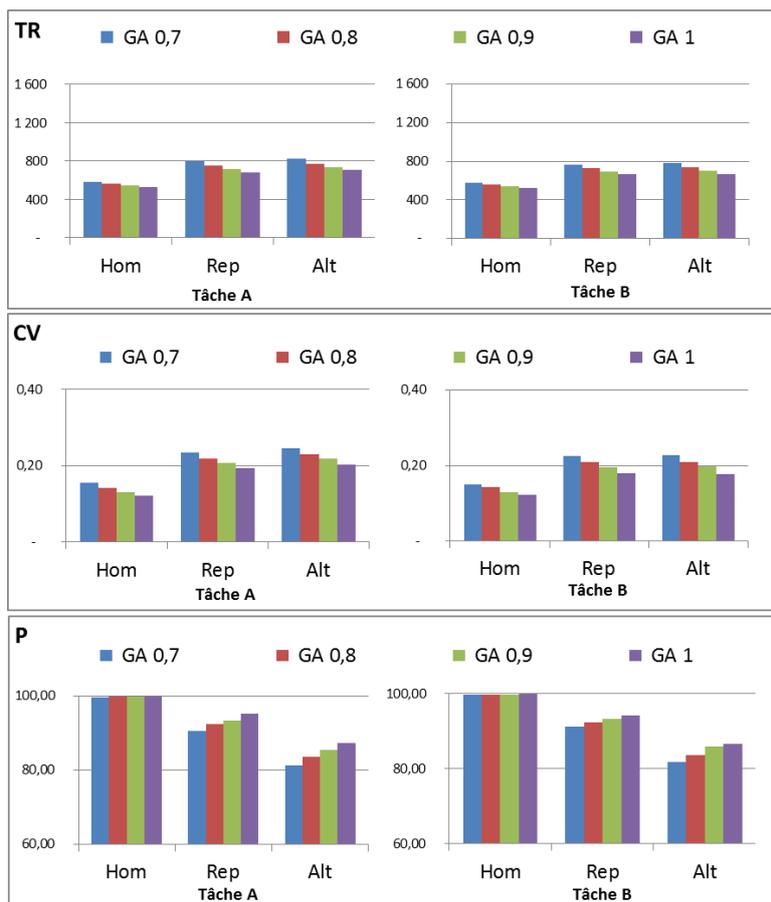


Figure 28 - Effet de la modification du paramètre de diffusion de l'activation *ga* sur les performances aux essais « couleur » (A) et « forme » (B) en condition homogène (Hom), répétée (Rep) et alternée (Alt). TR (ms), CV (coefficient de variation), P = Précision (%).

2.5.2.3. Simulation 3 : Effet simple du malus d'interférence proactive (IP)

La Figure 29 présente les effets de l'augmentation de la valeur du malus attribuée au chunk en cas d'interférence proactive (IP). A mesure de l'augmentation de la valeur du malus IP (de 0,0 à 0,9), seule la précision (P) moyenne diminue en condition répétée et alternée alors que les autres indicateurs de performance moyenne (TR et CV) restent stables entre les conditions homogène⁷⁴, répétée et alternée. Notons que la diminution de la précision est linéaire pour la valeur d'interférence de 0,0 à 0,6 et aurait tendance à se stabiliser ensuite pour une valeur d'IP égale à 0,9. On peut également voir sur la figure 29 que les performances simulées des deux tâches (TR, CV et P) sont affectées de manière équivalente entre les conditions.

⁷⁴ En condition homogène, il n'y a pas d'interférence proactive puisque seul le schéma pertinent peut être présent dans le buffer de but entre deux essais.

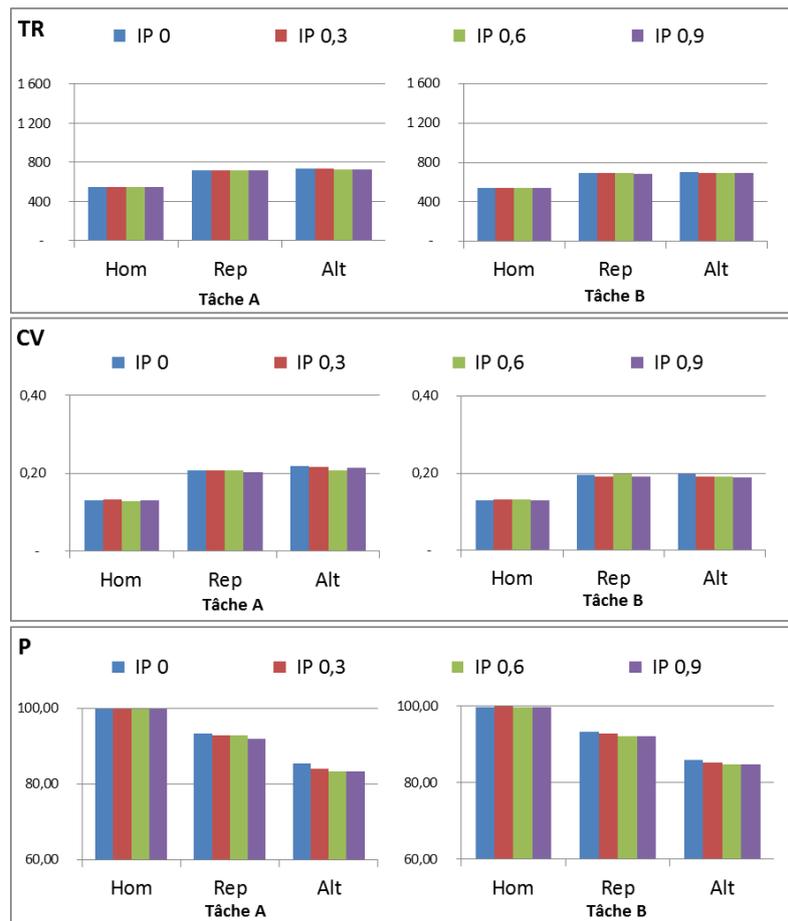


Figure 29 - Effet de la manipulation du paramètre du malus d'interférence proactive (IP) sur les performances en condition homogène (Hom), répétée (Rep) et alternée (Alt) pour les tâches A (couleur) et B (forme). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%)

2.5.2.4. Simulation 4 : Effet de l'« inhibition du schéma interférent » (I°).

La Figure 30 illustre l'effet de la manipulation de la probabilité d'inhibition du schéma interférent en situation d'interférence proactive (IP = 0.6) sur les patterns de performances simulés. Comme on le voit, les latences et les coefficients de variation ne sont pas sensibles à cette manipulation. Une amélioration significative mais faible de la précision aux essais couleur en condition alternée est cependant observée. La performance (latences, coefficient de variation précision) aux essais forme, n'est pas affectée par la manipulation du facteur d'inhibition.

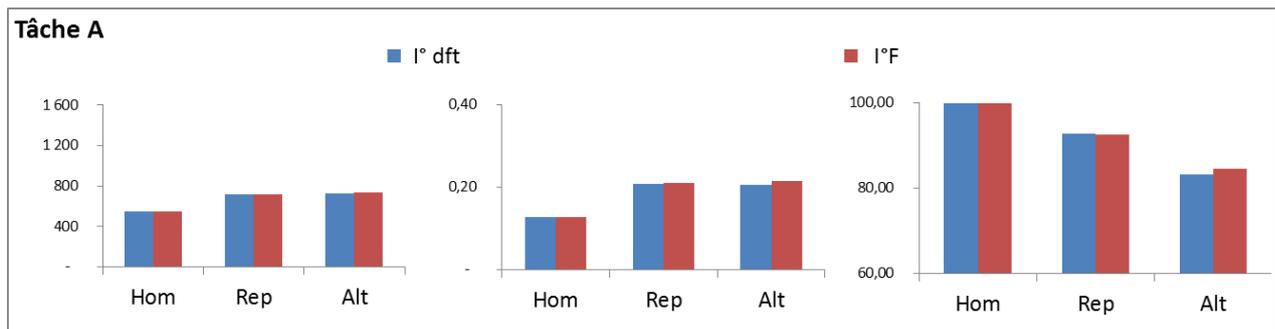


Figure 30 - Effet de l'augmentation du valeur d'utilité de la procédure « inhibition du schéma interférant » (I°) sur les performances en condition « congruence » (A) et « incongruence » (B), en situation d'interférence proactive ($IP = 0,6$).
 Valeur d'utilité : $I^\circ dft = 10$, $I^\circ F = 10,3$. TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%)

2.5.2.5. Simulation 5 : Effet simple du signal de biais (S)

La Figure 31 illustre l'effet de l'augmentation de la probabilité d'exécution de la procédure de signal de biais sur la performance. L'augmentation de cette probabilité a pour conséquence un ralentissement des latences moyennes en condition répétée et alternée pour les essais « couleur » et pour les essais « forme ». Le signal de biais a également pour effet d'augmenter la variabilité des performances en condition répétée et alternée pour les essais « couleur ». Enfin, le mécanisme de signal de biais implémenté a pour conséquence une augmentation de la précision en condition répétée pour les essais « couleur » et plus importante pour les essais « forme ». Une amélioration de la précision plus importante est observée en condition alternée comparée à la condition répétée.

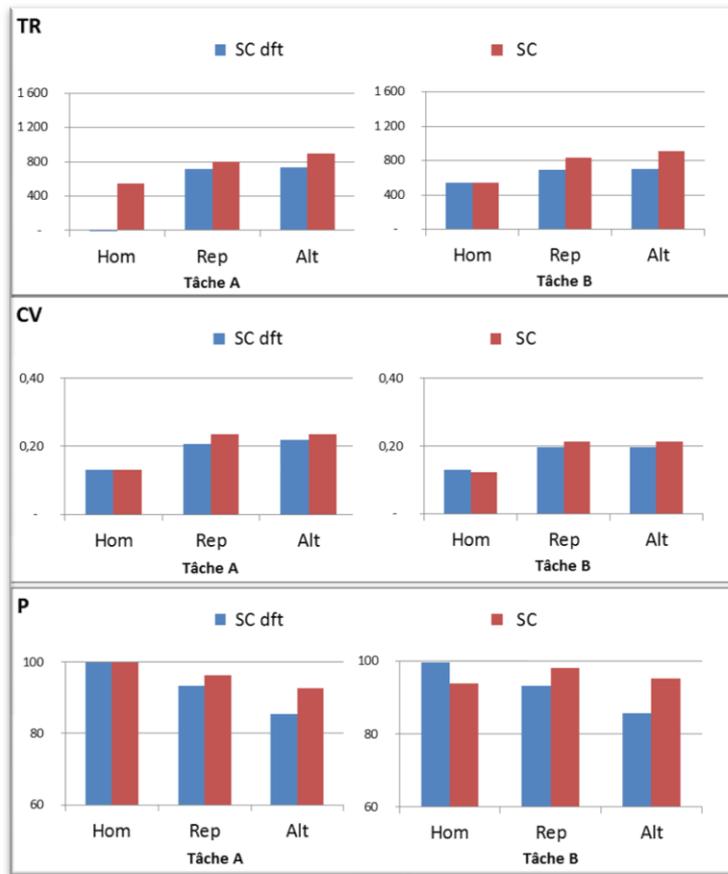


Figure 31 - Effet de l'augmentation de la valeur d'utilité de la probabilité de signal de biais contrôlé (SC) sur les performances en condition homogène (Hom), répétée (Rep) et alternée (Alt) pour les tâches couleur (A) et forme (B). Utilité SC dft = 1 (valeur par défaut), SC = 25 (utilité forte). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

Notons que parallèlement à l'augmentation de l'utilité de la procédure « control-response », la valeur d'utilité des procédures de feedback tâche (resp., feedback signification) diminue de $u = 10,4$ (resp., $u = 9,6$) à $9,6$ (resp., $u = 10,4$). Cette modification de la valeur d'utilité des procédures de feedback est apportée afin de simuler en cas d'erreur un retour sur la performance qui correspond à la représentation de la tâche la plus efficace en termes de précision dans le modèle.

2.5.2.6. Simulation 6 : Effet simple du paramètre bruit (ans)

La figure ci-dessous présente l'effet des modifications de la valeur du paramètre du bruit *ans* en situation d'interférence proactive ($IP = 0.6$). Les résultats des simulations montrent que

lorsque le bruit augmente, les temps de réponse moyens (TR) ne s'accroissent que très légèrement alors que la variabilité des performances croît et que la précision décroît en condition « couleur » et en condition « forme ». Notons que ces effets sont par ailleurs équivalents en condition « couleur » et « forme ».

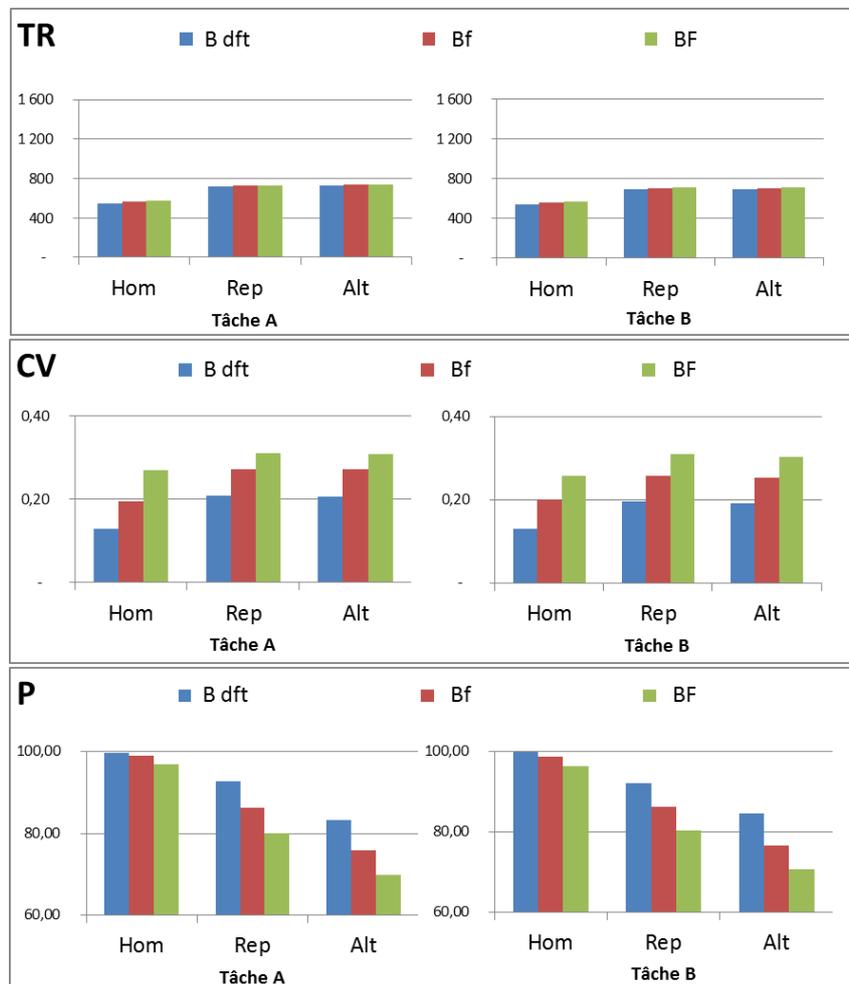


Figure 32 - Effet de la manipulation du paramètre du bruit B (ans) sur les performances en condition homogène (Hom), répétée (Rep) et alternée (Alt) pour les tâches A (couleur) et B (forme) en situation d'interférence proactive (IP = 0.6). B dft = 0.225 (valeur par défaut), Bf = 0.325 (bruit faible), BF = 0.425 (bruit fort). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

2.5.2.7. Simulation 7 : Effet simple de la modification de la valeur du malus attribué au chunk non pertinent.

La Figure 33 illustre l'effet de la modification de la valeur du malus attribué au chunk ne correspondant pas à la requête. Ce malus simule de manière simultanée l'influence négative que peut avoir la propriété non pertinente du stimulus (en condition « signification ») et l'effet

d'amorçage de la propriété pertinente sur le processus de sélection. Les résultats indiquent d'une part que l'augmentation de la valeur du malus réponse (Mr) tend à augmenter les latences et la précision des réponses. D'autre part, l'augmentation de la valeur du malus réponse tend à augmenter la variabilité des TR en condition « forme » et en condition « couleur » avec néanmoins une stabilisation de cet effet dans cette dernière condition quand le malus réponse est fort (Mr = -1,5 contre -0,9 par défaut).

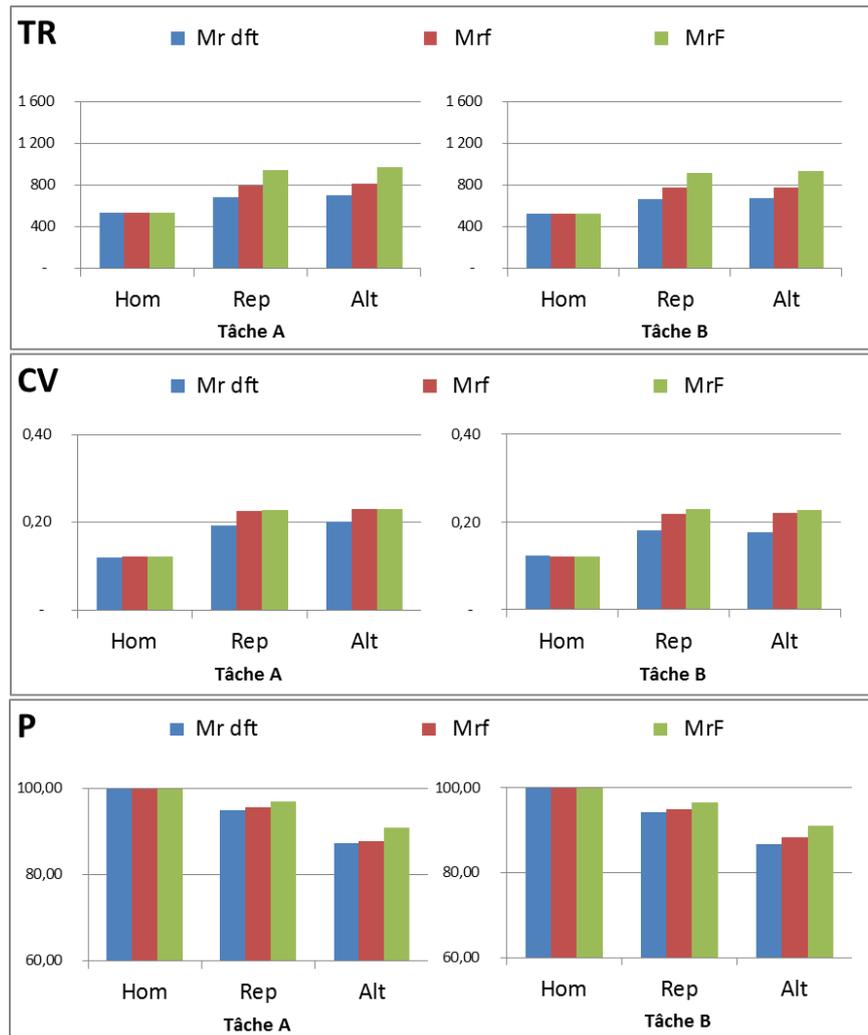


Figure 33 - Effet de la manipulation du malus réponse (Mr) sur les performances en condition homogène (Hom), répétée (Rep) et alternée (Alt) pour les tâches A (couleur) et B (forme). Mr dft (valeur par défaut) = -0,9, Mrf (malus réponse faible) = -1,2, MrF (malus réponse fort) = -1,5. TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

2.5.3. Reproduction des patterns empiriques.

Nous examinons dans cette section la validité de deux hypothèses théoriques du vieillissement cognitif. L'objectif est de tester « virtuellement » ces hypothèses, les effets observés étant pris comme des arguments en faveur ou en défaveur de leur plausibilité. La question sous-jacente consiste à tester si la modification d'un facteur ou d'un paramètre correspondant en théorie à un processus ou mécanisme psychologique peut rendre compte des différences des performances observées entre le groupe de participants jeunes et celui de participants âgés.

La démarche adoptée est la suivante. Nous avons tout d'abord recherché un pattern de performance simulé reproduisant bien celui du groupe contrôle. Nous avons ensuite manipulé les valeurs des paramètres théoriquement pertinents au regard de nos hypothèses. Nous avons enfin étudié les effets de ces manipulations et le degré de similitude entre les observations comportementales et les patterns simulés. La Figure 34 présente les patterns de performances des groupes jeunes et âgés.

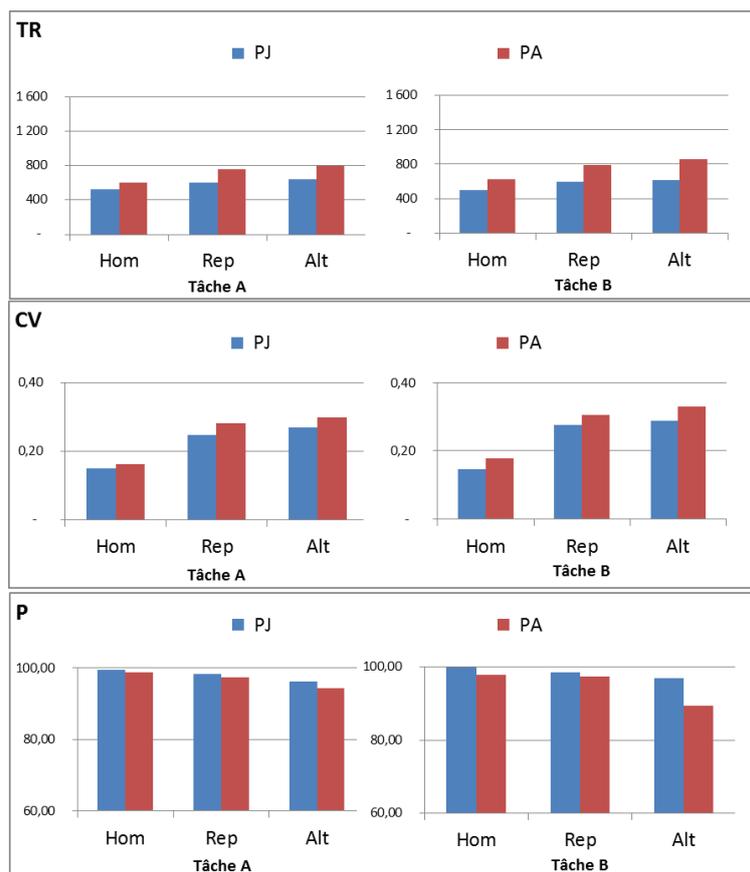


Figure 34 – Pattern de performances du groupe jeune (PJ) et âgés (PA) en condition homogène (Hom), répétée (Rep) et alternée (Alt) pour les tâches A (couleur) et B (forme). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

Les effets simples indiquent que les différents facteurs manipulés présentent des effets bien différenciés et qui vont généralement dans le sens de ceux attendus :

- le facteur ralentissement lf affecte la vitesse et la variabilité sans affecter la précision.
- l'augmentation du facteur ga augmente la précision, et diminue les latences et la variabilité des performances.
- l'augmentation du malus d' « interférence proactive » affecte uniquement la précision.
- l'augmentation de la probabilité d'exécution de la procédure de signal de biais augmente fortement la précision et plus légèrement les TR et la variabilité de TR.
- l'augmentation du « malus attribué à la réponse » augmente de manière relativement homogène les TR, la variabilité des TR et la précision.
- l'augmentation du bruit augmente la variabilité et diminue la précision mais n'affecte pas les TR.
- l'augmentation de la probabilité d'inhibition de la réponse erronée augmente légèrement la précision en condition alternée pour les essais « forme ».

Une certaine cohérence est donc observée entre les paramètres manipulés, leurs interprétations et les effets observés.

2.5.3.1. Reproduction du pattern du groupe contrôle.

Nous avons manipulé les valeurs de différents paramètres afin d'obtenir un pattern simulé relativement proche de celui observé dans le groupe contrôle⁷⁵⁷⁶. La Figure 35 présente le pattern simulé et le pattern empirique du groupe contrôle.

⁷⁵ Les paramètres ont été déterminés par « essai-erreur », jusqu'à obtenir un profil différent aussi peu que possible du pattern observé.

⁷⁶ Pour les simulations effectuées à partir de ce point, un changement a été effectué concernant le temps depuis la création des chunks pour la tâche A. Le temps de création impliqué dans le calcul de l'activation de tous les chunks impliqués dans la tâche A (à l'exception du chunk « catcouleur ») correspondait à la création des chunks dans la tâche soit au début de la tâche A, alors que les chunks relatifs à la tâche B étaient créés en début de tâche B, soit dans le modèle 200s plus tard. Cela avait pour effet de rendre plus actifs et donc plus accessibles, les chunks de la tâche B dans le bloc de commutation. Nous avons donc effectué un équilibrage des valeurs de ce paramètre entre les deux tâches.

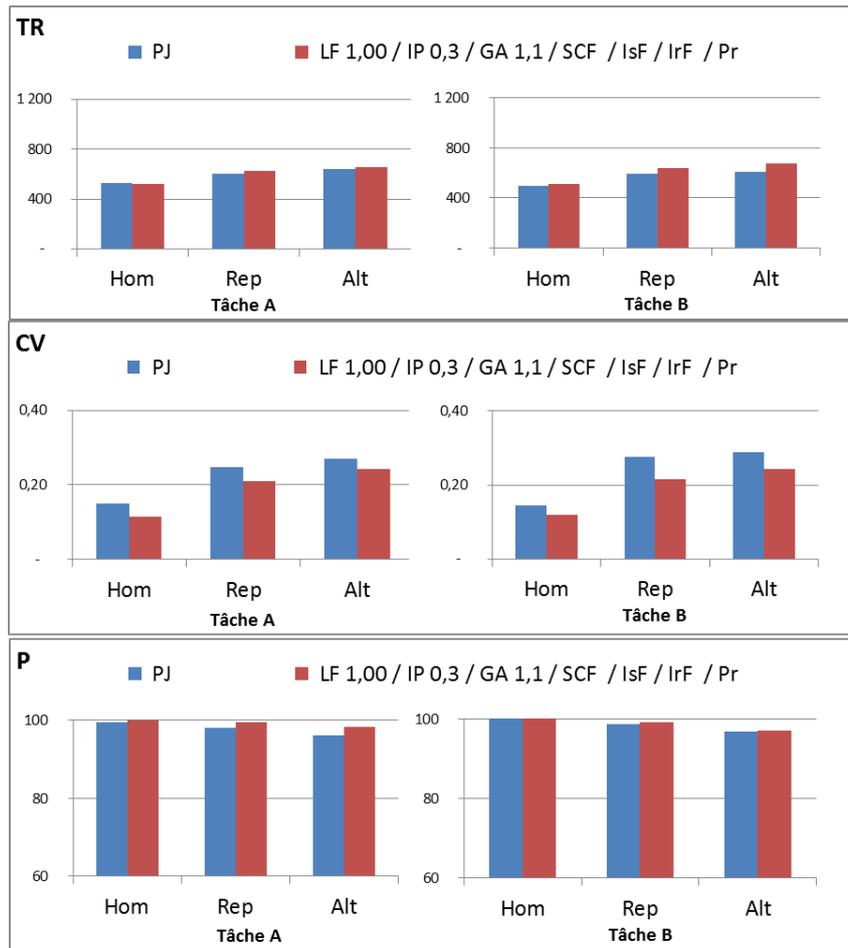


Figure 35 - Pattern de performances empirique du groupe contrôlé (PJ) et pattern de performances simulé associé en condition homogène (Hom), répétée (Rep) et alternée (Alt) pour les tâches A (couleur) et B (forme). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

Plusieurs paramètres ont été modifiés par rapport à la condition de base (ils sont directement indiqués dans le « nom » de la simulation) :

- le paramètre de diffusion d'activation ($ga = 1,1$),
- le malus d'interférence proactive ($IP = 0,3$),
- l'utilité de la procédure contrôle par signal de biais SC ($u = 25$),
- l'utilité de la procédure d'inhibition du schéma interférant Is ($u = 10,4$),
- l'utilité de la procédure d'inhibition de la réponse ($u = 10,6$) et
- la préparation des représentations schématique de la tâche⁷⁷ (Pr).

⁷⁷ Ce paramètre consiste en une activation des schémas de tâche, préalablement au début de la tâche. Il simule le fait que les individus puissent volontairement préparer mentalement les deux tâches devant être réalisées juste avant de commencer la tâche (phénomène observé empiriquement). Le changement apporté au modèle consiste en deux activations de la représentation schématique de chaque tâche (« taskcouleur » et « taskforme ») juste avant le commencement de chaque bloc de la tâche d commutation AB.

La comparaison des patterns apparaissant sur la Figure 35 indique que les TR et la précision sont bien reproduits dans les conditions homogènes, répétés et alternées. On constate néanmoins que les simulations échouent à reproduire la variabilité des TR des performances.

2.5.3.2. Reproduction du pattern de performances du groupe de personnes âgées et test des hypothèses théoriques.

A partir du pattern simulé du groupe contrôle, différents paramètres ont été manipulés pour tester la validité de certaines hypothèses théoriques par modélisation computationnelle. Deux hypothèses principales ont été testées : l'effet du ralentissement de la vitesse de traitement d'une part, la diminution de la CMT d'autre part.

2.5.3.2.1. Hypothèse ralentissement

La première hypothèse testée est l'hypothèse d'une diminution de vitesse de traitement. Le paramètre interprété comme pouvant simuler la diminution de la vitesse de traitement est le paramètre lf . La Figure 36 représente simultanément l'effet de la modification du paramètre de ralentissement sur les performances simulées.

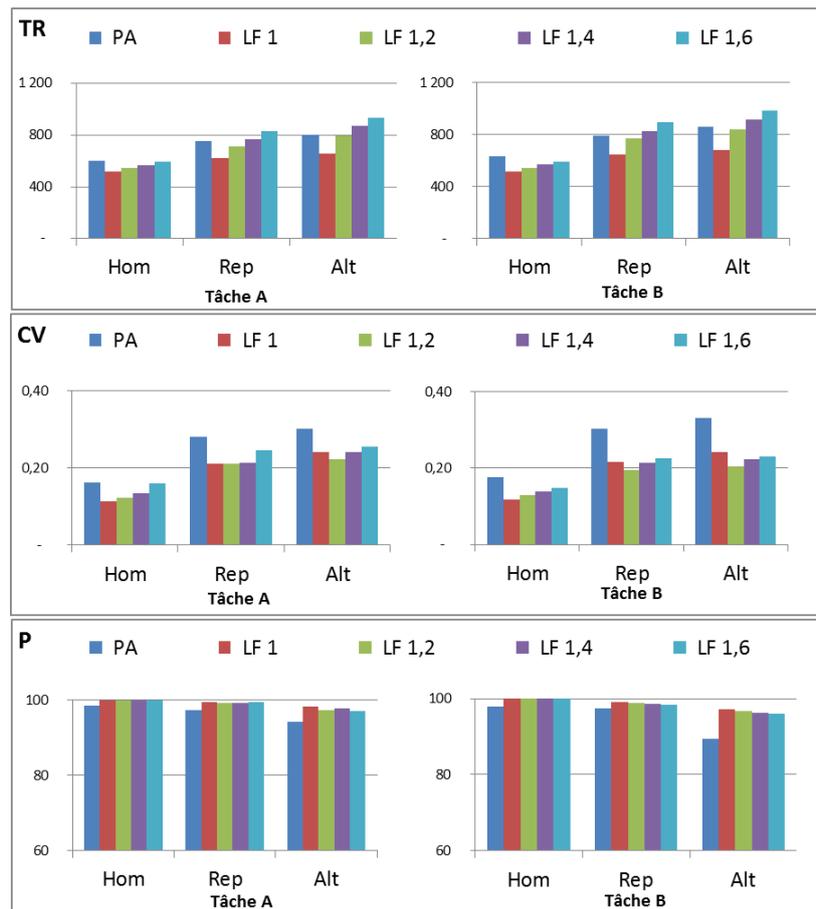


Figure 36 – Patterns empirique du groupe âgé (PA) et patterns simulés des effets des modifications du facteur latence *lf* en condition homogène (Hom), répétée (Rep) et alternée (Alt) pour les tâches A (couleur) et B (forme). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

Cette figure montre que l'augmentation du paramètre de ralentissement rend relativement bien compte de l'augmentation générale des latences chez les âgés pour la condition « couleur », en revanche la différence de performances observées chez les âgés entre les deux conditions (effet d'interaction matériel \times âge) n'est pas retrouvée. En ce qui concerne les variations de performances, on peut noter une légère stabilisation de la variabilité des TR avec l'augmentation du paramètre *lf* qui ne rend pas compte de la l'accroissement de la variabilité des TR observés dans le groupe âgé. Enfin concernant la précision, l'augmentation de la valeur du paramètre *lf* a pour effet de diminuer la précision en condition « répété » et « alterné » mais pas suffisamment pour reproduire la précision observée empiriquement chez les âgés.

2.5.3.2.2. Hypothèse de la diminution de la capacité de la mémoire de travail

La diminution de la capacité de la mémoire est une des hypothèses dominantes de la littérature (voir chapitre 1). Un paramètre du modèle interprété comme représentatif de la CMT est le paramètre *ga* (par exemple, Lovett, Reder et Lebiere, 1999).

Pour tester cette hypothèse, nous avons modifié les valeurs des paramètres liés au facteur latence *lf* et à la diffusion de l'activation *ga*, le ralentissement de la vitesse de traitement étant implicitement associé à cette hypothèse. La modification des paramètres a consisté à augmenter de manière combinée la valeur du facteur latence *lf* (qui deviendra la valeur référence des simulations) et celle du paramètre *ga*. La figure présente les effets de la modification du paramètre *ga* avec un facteur de ralentissement ($lf = 1,20$) sur les performances simulées.

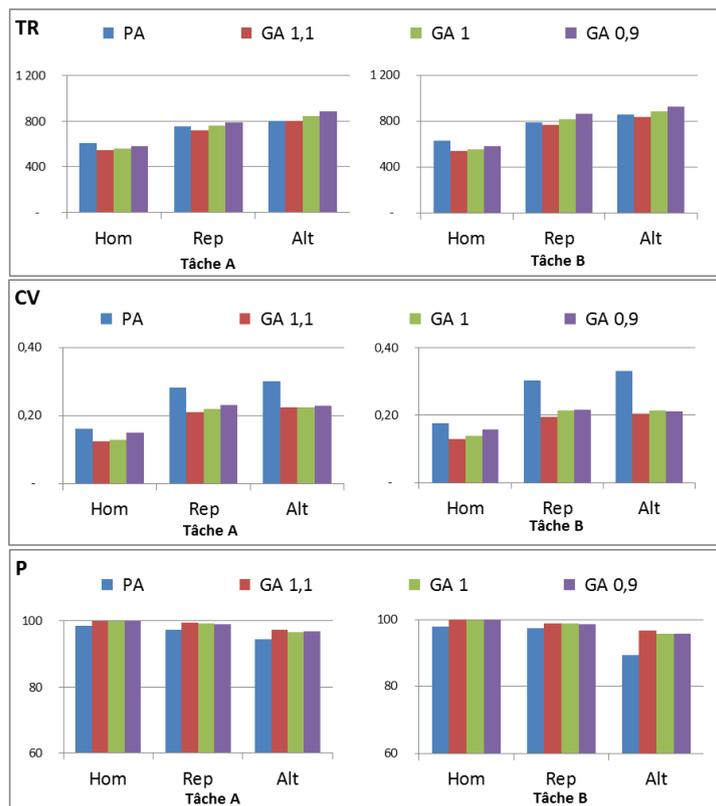


Figure 37 - Patterns empirique du groupe âgé (PA) et patterns simulés des effets des modifications du paramètre *ga* en condition homogène (Hom), répétée (Rep) et alternée (Alt) pour les tâches A (couleur) et B (forme). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

La Figure 37 indique que le modèle s'ajuste correctement aux TR empiriques du groupe de personnes âgées pour une valeur de paramètre *ga* égale à 1,0. En revanche, le modèle s'ajuste moins bien au niveau de l'indice de variabilité des performances CV. En ce qui concerne la

précision, le modèle-reproduit bien les performances en condition couleur mais moins bien en condition « forme ».

En résumé, les deux hypothèses testées présentent une certaine validité « computationnelle » au regard de la relative similitude entre les patterns de performances simulés et ceux observés chez les participants âgés. Elles présentent par ailleurs de grandes convergences du point de vue de leur effets. L'hypothèse de ralentissement et de la diminution de la capacité de la mémoire de travail prédisent bien l'augmentation des latences observées empiriquement entre les conditions « homogène », « répétée » et « alternée » chez les âgés. Ces effets au niveau des TR sont de forts arguments en faveur de ces deux hypothèses. Cependant, les faibles effets observés -du ralentissement et de la diminution de la CMT- au niveau des indices de variabilité des TR et de précision ne sont pas compatibles avec les observations empiriques. Les simulations effectuées, sous ces hypothèses, ne reproduisent ni l'augmentation de la variabilité observée, ni la diminution de la précision chez les âgés. Bien que l'hypothèse de la diminution de la capacité de la mémoire de travail semble légèrement plus probante pour simuler la diminution de la précision en condition « couleur » (voir Figure 37, pattern pour un paramètre de ga égal à 1), l'une et l'autre de ces deux hypothèses, telles qu'elles sont ici opérationnalisées, ne permettent de reproduire ni la variabilité des TR, ni la baisse importante de la précision.

Discussion

Au total, deux types de modélisation ont été ici mises en œuvre. La première catégorie de modèles a cherché à décrire d'un point de vue statistique les effets de certaines variables indépendantes (expérimentales, individuelles) sur la performance d'individus jeunes et âgés à une tâche d'alternance. La seconde catégorie de modèles a cherché à représenter dans le cadre d'un modèle d'architecture cognitive les effets du ralentissement global ou d'une diminution de la capacité de la mémoire de travail (CMT) sur les performances à la tâche d'alternance en simulant celles-ci. La comparaison des effets observés d'une part empiriquement et d'autre part par simulation peut apporter de nouvelles informations sur la validité des deux hypothèses testées.

Les analyses statistiques effectuées sur les données observées apportent plusieurs informations notables.

Tout d'abord, en ce qui concerne les latences, l'absence d'effet fixe du changement de condition expérimentale entre la condition homogène et la condition commutation, indique qu'en moyenne les latences des individus ne sont pas affectées par ce changement de condition expérimentale. En revanche, l'effet aléatoire indique que les individus sont différemment affectés par le changement de contraintes entre la condition homogène et hétérogène. Cet effet aléatoire mis en lien avec l'absence d'effet fixe indique que chez certains individus, une augmentation significative des latences est observée entre les essais de la condition homogène et les essais de la condition commutation et qu'en revanche d'autres individus ne sont pas affectés ou ont des performances plus rapides, en condition commutation par rapport à la condition homogène.

Ensuite, concernant le changement de condition expérimentale entre la condition répétée et alternée, l'effet fixe observé indique qu'en moyenne les latences des individus sont influencées par le changement de contraintes et que le changement de contraintes (entre les conditions répétée à alternée) réduit en moyenne la vitesse de réponse. De plus, la corrélation observée entre cet effet aléatoire et l'effet aléatoire de l'intercept indique que l'effet de changement de contraintes entre la condition répétée et alternée, est plus important chez les individus les moins rapides. Les individus les moins rapides étant les personnes âgées (effet de l'âge sur la vitesse de réponse), on peut en déduire que les âgés tendraient à être plus affectés par le changement de contraintes sans pour autant observer d'effet d'interaction.

Par ailleurs, concernant la précision, d'une part, nos résultats ont mis en évidence un effet fixe de l'âge qui indique qu'avec l'augmentation de l'âge des individus, ces derniers commettent davantage d'erreurs. D'autre part, nos résultats indiquent un coût d'alternance lié au changement de contraintes entre la condition homogène et la condition commutation alors qu'il est absent entre la condition répétée et alternée. Ce résultat indique que les individus présentent en moyenne une diminution de la précision entre la condition homogène et la condition commutation, alors que le changement de condition entre la condition répétée et alternée n'affecte pas leur précision.

Enfin, l'effet d'interaction matériel \times âge observé empiriquement au niveau des TR indique qu'en fonction de l'âge des individus, la vitesse de réponse aux deux types d'essai diffère.

Dans le travail de modélisation effectué, premièrement les modèles ajustés au groupe d'individus jeunes comme ceux ajustés au groupe de personnes âgées (selon les deux hypothèses testés), présentent un accroissement significatif des TR liés au changement de

contraintes entre la condition « homogène » et « commutation ». Les patterns simulés présentent donc statistiquement un coût d'alternance global. Bien que ce coût d'alternance soit observé individuellement chez certains sujets (de par l'effet aléatoire observé du changement de contraintes entre la condition homogène et commutation et l'étude des profils individuels⁷⁸), les modèles « ajustés » aux performances du groupe jeune et du groupe âgé, ne prédisent pas correctement les données empiriques. Deuxièmement, en ce qui concerne l'observation d'un coût d'alternance local empiriquement, les modèles du groupe jeune et âgé simulés sont en accord avec les données empiriques, une augmentation des TR étant observée sur les patterns simulés du groupe jeune et du groupe âgé. Troisièmement, l'effet fixe de l'âge au niveau de la précision n'est pas retrouvé dans les patterns simulés que ce soit pour le pattern simulant le ralentissement ou la diminution de la CMT. Enfin, quatrièmement, l'effet d'interaction matériel × âge n'est pas non plus retrouvé ; seulement une faible différence de performance entre les deux tâches est observée dans les modèles « ajustés » au groupe âgé.

De par, ces nouveaux arguments, le travail de modélisation réalisé ne semble pas reproduire suffisamment correctement les performances empiriques des groupes jeunes et âgés. Cependant de ce fait, malgré le faible nombre d'arguments en faveur des hypothèses de ralentissement et de diminution de la MT, il est possible que la capacité de reproduction insuffisante des hypothèses testées soit directement liée à l'inexactitude du modèle cognitif de la tâche CF. La seconde étude apporte de nouveaux éléments sur cette question.

⁷⁸ Non repris dans ce travail

3. Etude 2

3.1. Introduction

Cette seconde étude présente le même objectif que l'étude précédente. Elle vise à étudier les différences interindividuelles de performances associées au vieillissement sur une tâche d'alternance et à tester la validité de certaines hypothèses sur l'origine des différences interindividuelles de performances observées entre les individus. Cependant, le niveau d'analyse est différent, puisque dans cette étude les différences interindividuelles sont analysées non plus au niveau des groupes mais au niveau de l'individu. A la manière de l'étude précédente, dans un premier temps, une tâche d'alternance a été administrée à un panel d'individus et leurs performances analysées avec des modèles linéaires mixtes. Dans un second temps, un travail de modélisation du fonctionnement cognitif impliqué dans la réalisation de la tâche a été également réalisé afin d'essayer de mieux comprendre quels processus théoriquement pertinents peuvent rendre compte des effets du vieillissement.

3.2. Protocole

3.2.1. Participants et critères d'inclusion

27 personnes ont participé à l'étude mais 4 ont été exclus de l'analyse : 3 participants présentaient des performances trop faibles (pourcentage de réponse correctes < 90 %), 1 dernier sujet a été exclu de par une perturbation expérimentale (coupure d'électricité).

L'échantillon est constitué de 23 individus (13 femmes et 10 hommes), âgés de 20 ans à 83 ans ($M = 46,9$ ans ; $E.T. = 20,2$) recrutés dans l'entourage de l'expérimentateur. Pour les personnes plus âgées, une performance au MMS supérieure ou égale à 26 était requise. Les individus ne présentaient pas de troubles particuliers, et n'avaient pas connu de troubles psychiatriques.

3.2.2. Matériel et procédure

3.2.2.1. Matériel

La tâche d'alternance programmée est une tâche informatisée. L'ordinateur utilisé était un portable de type P.C., l'Asus X70Sseries, équipé d'un Pentium dual-core inside, exploité sous Windows Vista Premium, avec une carte graphique ATI radeon, HD 2400 et un écran 17". L'expérimentation avait été programmée à l'aide du logiciel Inquisit, version 3,0.

Un boîtier réponse (0,2 x 0,1 x 0,05) comportant deux boutons poussoirs, fait office de mode de réponse. Les deux boutons sont centrés sur le boîtier et placés à 5 cm du bord. Au-dessus des deux boutons, est étiqueté en Arial police 28 (sur fond blanc), « NOIR » sur le bouton de gauche et « BLANC » sur celui de droite.

3.2.2.2. Procédure

La même tâche a été soumise à tous les sujets, il s'agit du paradigme dit « white & black » (WB). Ce paradigme est une tâche d'alternance de type série alternée (« alternating run procedure ») indicée, dans laquelle l'alternance de tâches est implémentée à tous les essais (ABABAB).

Déroulement de l'expérimentation

La tâche est composée de 4 blocs réalisés par tous les sujets dans le même ordre. Dans chaque bloc, les consignes s'affichent séquentiellement en appuyant sur une touche du boîtier-réponse, relayant ainsi les consignes successives orales données par l'expérimentateur. Au cours de la consigne, les participants sont invités à positionner les pouces sur chacun des boutons, avant de lancer eux-mêmes la tâche en appuyant sur les deux boutons. A la fin de la consigne, il était spécifié au participant la consigne suivante : « essayer de répondre en faisant le moins d'erreur possible ».

Le déroulement de la tâche est identique dans les quatre phases de l'expérimentation : présentation de l'indice pendant 1 seconde (*Cue-Target Interval*, C.T.I.) sur un fond d'écran gris, puis effacement de l'indice et apparition de la cible après un intervalle de temps de 750 millisecondes (ms). Ensuite, dès qu'une réponse est donnée, la cible disparaît laissant place à

un écran gris pendant 1000 ms avant l'apparition de l'indice suivant (*Response-Cue Interval*, R.C.I.)⁷⁹. Aucun feedback sur la réponse n'est donné au sujet.

Les indices présentés sont les signes « + » (hauteur × largeur = 6,5cm × 6,5 cm ; épaisseur de la barre = 1cm) ou « - » (longueur = 5 cm ; épaisseur de la barre = 1,6 cm). Les stimuli-cibles sont des ronds noirs ou blancs (diamètre = 7,5 cm). Les indices et les ronds s'affichent successivement au centre de l'écran. Un fond d'écran gris est utilisé pour pouvoir percevoir les stimuli blancs et pour atténuer l'empreinte rétinienne résiduelle des stimuli. Les erreurs ne sont pas signalées. Seuls les deux boutons sont utilisables durant l'expérience.

Les tâches

La tâche est constituée de 4 blocs : le bloc A, le bloc B, un bloc de familiarisation et le bloc AB. Les blocs sont constitués respectivement de 17, 17, 33 et 209 essais. Premièrement, le bloc A comprend la tâche « congruente ». Dans cette condition, suite à l'apparition d'un indice « + » puis d'un stimulus-cible représentant un rond noir ou blanc, le participant doit appuyer sur le bouton correspondant à la couleur du stimulus à l'aide de la consigne suivante : « si vous voyez le signe « + » puis un rond blanc (resp. noir), appuyez sur le bouton « blanc » (resp. « noir ») ». Deux types d'essais se succèdent semi-aléatoirement : les essais « blanc-congruent » (BC) et « noir-congruent » (NC). La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** illustre certains éléments présentés.

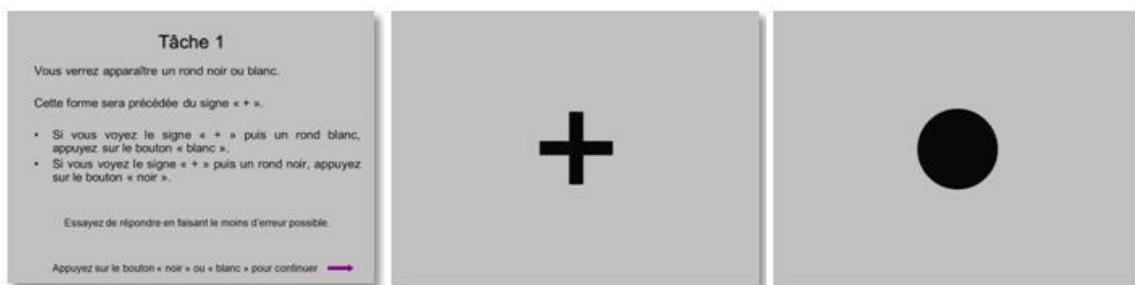


Figure 38 - Consigne et capture écran de l'essai BC d'items présentés en tâche 1.

Deuxièmement, le bloc B comprend la tâche « incongruente ». Dans cette condition, le raisonnement est inversé. Suite à l'apparition d'un indice « - » puis d'un stimulus-cible représentant rond noir ou blanc, le participant est invité à appuyer sur le bouton ne

⁷⁹ Ces temporisations ont été choisies arbitrairement afin que les tâches ne soient ni trop difficiles, pour éviter un effet plancher, ni trop faciles pour éviter un effet plafond chez les personnes âgées. Les conséquences de ce choix sur les performances sont discutées ultérieurement.

correspondant pas à la couleur du stimulus. La consigne suivante est donnée : « si vous voyez le signe « - » puis un rond blanc (resp. noir), appuyez sur le bouton « noir » (resp. « blanc ») ». Deux types d'essais se succèdent semi-aléatoirement : les essais « blanc-incongruent » (BI) et « noir-incongruent » (NI). La Figure 39 illustre certains éléments présentés.

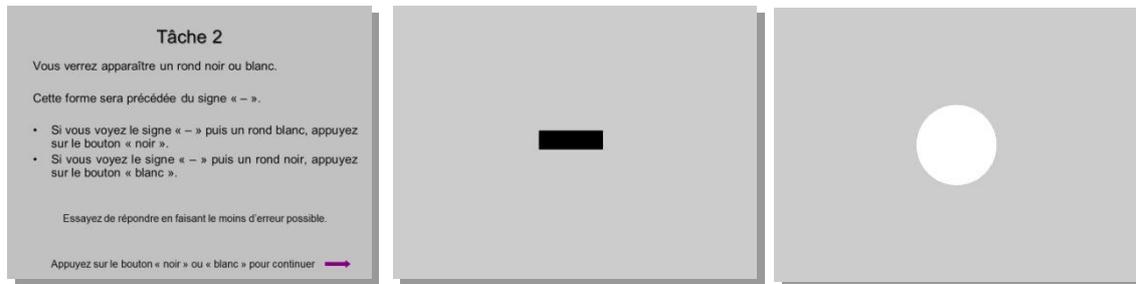


Figure 39 - Consigne et capture écran de l'essai BI.

Le bloc AB constitue l'épreuve d'alternance proprement dite. Selon l'indice présenté (« + » ou « - »), il s'agit d'effectuer la tâche « congruente » ou « incongruente », les alternances ayant lieu à tous les essais (ABABAB). Les consignes réitèrent les mêmes formulations des blocs A et B. Il est seulement précisé au sujet une information concernant la longueur de la tâche : « la tâche est constituée d'environ 200 essais consécutifs ». Le bloc de familiarisation constitué de 17 essais est effectué avant le bloc AB. Si la précision du participant est inférieure à 75% sur ce bloc, un second bloc de 16 essais est traité consécutivement pour vérifier de sa compréhension.

Propriétés

Les séquences d'items ont été construites semi-aléatoirement. Certaines règles ont été respectées. Premièrement, le participant est amené à produire autant de réponses de type « blanc » et de type « noir » dans chaque bloc⁸⁰. Deuxièmement, les différents types d'essais (BC, NC, BI et NI) sont présents dans des proportions égales dans les blocs A, B et AB. Troisièmement, les différentes alternances possibles (de l'essai BC à l'essai BI, de l'essai NI à l'essai BC, etc) sont présentes en nombre égales dans le bloc AB. Enfin, quatrièmement, les séquences d'un même item (par ex, rond noir) ou d'une même réponse (par ex, bouton de droite) sont limitées à respectivement 7 et 6 essais consécutifs.

⁸⁰ Le premier essai est exclu de ces comptes

Une particularité du protocole employé réside dans l'intégration des items auxquels le participant a répondu de manière erronée en fin de tâche⁸¹, dans la continuité du bloc AB, afin d'avoir un nombre de 52 bonnes réponses minimum pour chaque type d'item. De plus, l'essai n-1 influençant l'essai n, les essais ajoutés sont insérés de manière à présenter l'essai dans une condition équivalente (i.e. succédant au même type d'essai n-1) afin de reproduire une condition d'alternance comparable. Une limite en termes de répétition des essais est implémentée et les essais de « rattrapage » sont insérés si le taux d'erreur n'excède pas 10%.

3.2.2.3. Analyses statistiques : Brève présentation des modèles à effets mixtes et précisions sur le logiciel utilisé.

Les analyses effectuées sont des régressions linéaires mixtes réalisées avec le logiciel libre (« opensource ») de statistiques R (R development core team, 2007), disponible à <http://cran.r-project.org>. On emploie le paquet (« packages ») lme4 (Bates, 2005) qui offre des algorithmes pour l'évaluation des paramètres et l'ajustement des modèles aussi bien pour des données continues que binaires.

3.2.3. Analyse des résultats

3.2.3.1. Statistiques descriptives.

Les analyses effectuées portent sur les latences pour les bonnes réponses seulement. Le Tableau 19 présente les performances moyennes (temps de réponse et précision) obtenues par l'échantillon en condition « compatible » ou « incompatible » dans le bloc de commutation.

	TR (ms)	ET_TR	P	ET_P
Compatible (+)	990	721,5	0,966	0,182
Incompatible (-)	1099	786,3	0,953	0,211

Tableau 19 - Performances moyennes du groupe d'individu pour les essais compatible (+) et incompatibles (-) sur l'épreuve WB. (TR = Temps de réponse, P= Précision, ET = Ecart-type)

⁸¹ Utilisation de la fonction « Brunch » du logiciel Inquisit 3.0.

Les latences des participants sont en moyenne égales pour les essais compatibles à 993,1 ms (ET=735,7) pour la réponse gauche contre 987,0 ms (ET=707,1) pour la réponse droite. Elles sont égales à 1150,1ms (ET=877,9) pour la réponse gauche contre 1048,6ms (ET=679,6) pour la réponse droite.

3.2.3.2. Etapes préalables

Transformation des données et respect de l'hypothèse de normalité des résidus

Une première question porte sur la distribution des données observées. Il est nécessaire de déterminer s'il faut conserver les données brutes ou les transformer (transformation logarithmique, transformation inverse) pour qu'elles respectent l'hypothèse de normalité des résidus. Une aide à la décision est fournie par l'estimation de la valeur optimale du coefficient lambda de la transformation puissance Box-Cox (Box et Cox, 1964) où :

$$y(\lambda) = (y^{\lambda} - 1) / \lambda \text{ si } \lambda \text{ différent de } 0,$$

$$y(\lambda) = \log(y) \text{ si } \lambda = 1.$$

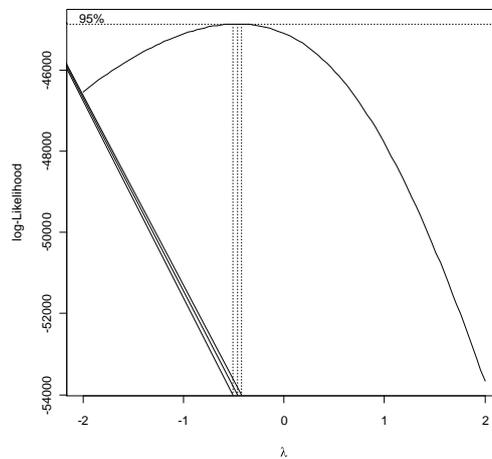


Figure 40 - Transformation puissance box-cox des TR.

L'examen du profil de vraisemblance de λ , obtenu avec la fonction box-cox du paquet MASS (voir Figure 40), montre que le lambda est égal -0.4646 pour les TR moyens des individus. La transformation $1/TR$ est ici retenue car dans une métrique plus compatible avec l'hypothèse de normalité des résidus que la transformation log. Le Figure 41 représente les distributions de la vitesse de réponse ($1/TR$) dans les deux conditions expérimentales.

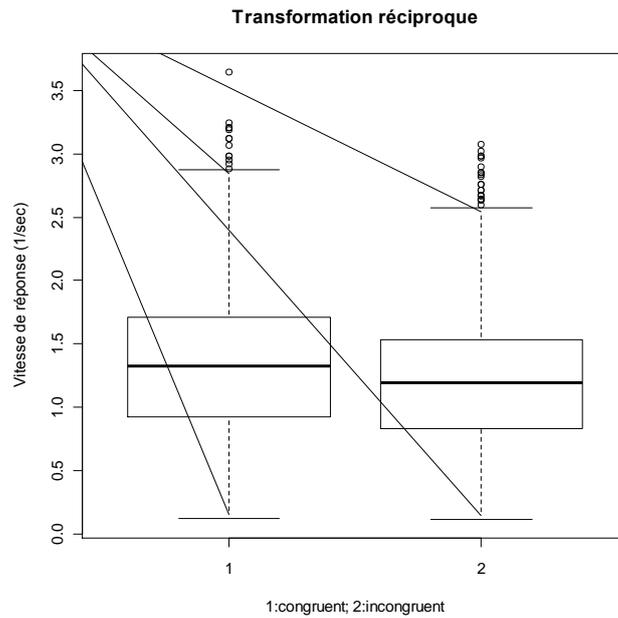


Figure 41 - Distributions des vitesses de réponse (effets simples) selon la condition congruente (compatible) ou incongruente (incompatible).

Graphe quantile-quantile pour chaque sujet

La Figure 42 présente les quantile-quantile pour chaque sujet. Le test de Shapiro-Wilk réalisé pour chaque individu indique que la distribution de la vitesse de réponse n'est pas gaussienne chez certains sujets (voir graphique les sujets 1, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 19, 20, 22 et 23) malgré la transformation des données.

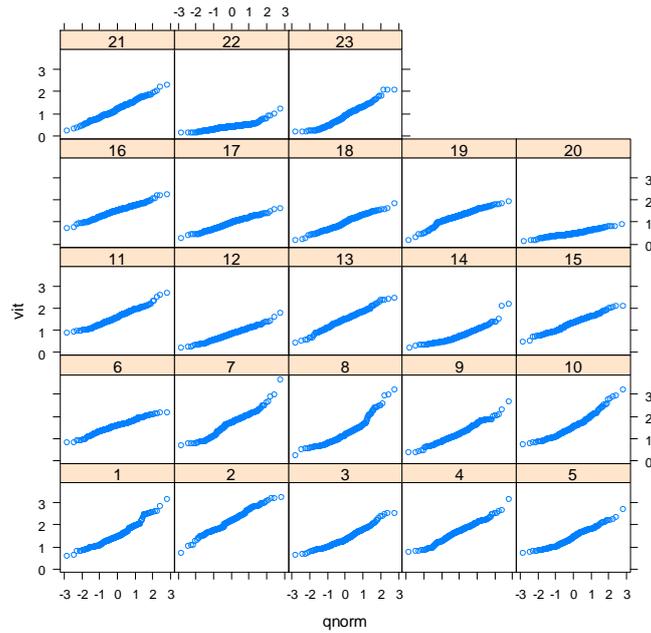


Figure 42 - Représentation graphique des quantile-quantile pour chaque sujet.

3.2.3.3. Application des modèles linéaires à effets mixtes (LMM)

L'évaluation des modèles de régression mixtes se divise en deux sous-étapes relatives à l'évaluation des effets fixes et des effets aléatoires. La première étape, consiste à tester les effets fixes longitudinaux de certaines covariables sur la variable dépendante (ici, la vitesse de réponse).

3.2.3.3.1. Etude des effets temporels.

La figure ci-dessous présente une visualisation des effets du rang de l'essai sur la vitesse de réponse

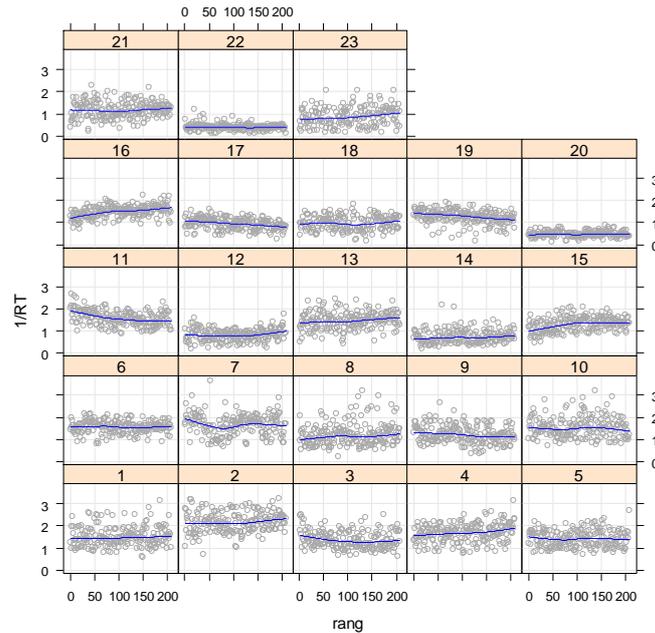


Figure 43 - Visualisation des effets du rang de l'essai (de 1 à 208) sur la vitesse de réponse chez chaque participant.

L'examen de la Figure 43 montre que la vitesse de réponse de certains sujets diminue progressivement au cours des essais (par exemple les sujets 11 et 19), résultat pouvant traduire un certain effet de fatigue chez ces participants. Quelques autres participants répondent au contraire plus rapidement au fil des essais (par ex., les sujets 15 et 16). Globalement néanmoins, la vitesse de réponse des sujets reste stable au cours du temps. L'application d'un modèle linéaire mixte intégrant un effet fixe du rang de l'essai (modèle à intercept aléatoire) confirme cette observation ($\beta = 0.00017$, $t=1.12$, $p=0.2628$).

Dépendances temporelles : introduction d'une covariable de contrôle temporel

L'auto-dépendance temporelle entre TR est une réalité expérimentale bien connue (par ex., Broadbent, 1971 ; Welford, 1980). Celle-ci peut être exprimée quantitativement en termes de coefficient d'auto-corrélation, coefficient d'autant plus faible que le décalage temporel est long. La figure ci-dessous présente les graphes d'auto-corrélation obtenus chez des sujets dont la vitesse de réponse à l'essai n est significativement corrélée à celle observée à l'essai précédent, voire même à des essais antérieurs. Pour prendre en compte cette dépendance temporelle, nous avons introduit dans les effets fixes la vitesse de réponse mesurée à l'essai $n-1$ (nommée « vit-lag-1 »).

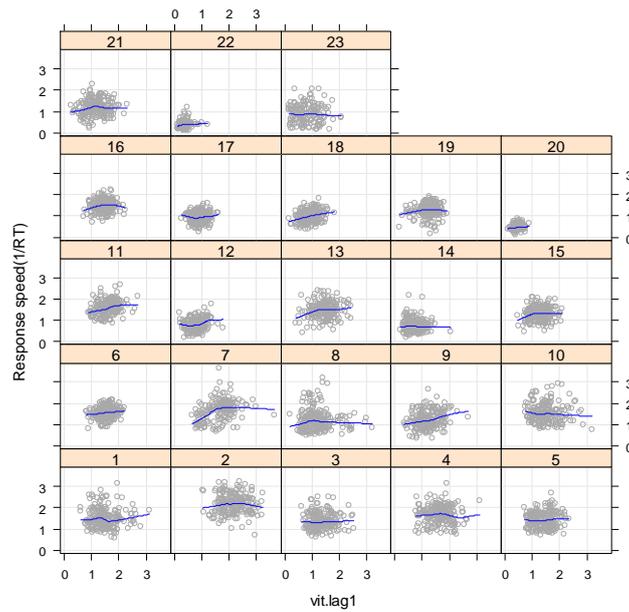


Figure 44 - Dépendance temporelle entre la vitesse de réponse à l'essai n et celle à l'essai n-1.

Les résultats du modèle (intercept aléatoire par sujet) intégrant un effet fixe de la covariable « vit-lag-1 » montrent que la vitesse de réponse à l'essai n-1 a un effet significatif sur la vitesse de réponse à l'essai n ($\beta = 0,11$ $t=3.95$, $p<0,001$).

En résumé, l'analyse des effets du rang de l'essai et de la vitesse à l'essai précédent sur la vitesse de réponse met en évidence l'impact de la vitesse de réponse à l'essai n-1 sur celle à l'essai n. Ces premiers résultats suggèrent donc de n'introduire que la vitesse de réponse à l'essai précédent dans l'équation des effets fixes du modèle.

3.2.3.3.2. Structure des effets fixes

Un premier modèle, le modèle complet, est estimé et est utilisé comme référence pour la suite des analyses. Dans le modèle complet sont introduits les effets fixes de la condition expérimentale « congruent » et « incongruent » (cond), du type de réponse « gauche » ou « droite » (item), de l'âge et celui de la covariable « vit-lag1 ». Il comprend également les effets fixes d'interaction condition \times item (cond \times item), condition \times âge, item \times âge, condition \times vit-lag1, item \times vit-lag1, âge \times vit-lag1, condition \times item \times âge (cond \times mat \times âge), condition \times item \times vit-lag1, condition \times âge \times vit-lag1, item \times âge \times vit-lag1, condition \times item \times âge \times vit-lag1 et l'intercept aléatoire (vit).

La Figure 45 présente les estimations des effets fixes du modèle complet avec intercept aléatoire par sujet.

<i>Effets fixes</i>			
	β	<i>Erreur standard</i>	<i>t</i>
(Intercept)	1,984	0,150	13,193
cond	-0,313	0,109	-2,864
item	-0,208	0,112	-1,854
age	-0,018	0,003	-6,383
Vit-lag1	-0,043	0,061	-0,707
cond:item	0,091	0,156	0,581
cond:age	0,004	0,002	2,314
item:age	0,004	0,002	2,278
cond:vit-lag1	0,138	0,072	1,918
item:vit-lag1	0,152	0,077	1,971
age:vit-lag1	0,005	0,001	3,923
cond:item:age	-0,002	0,003	-0,774
cond:item:vit-lag1	-0,076	0,102	-0,740
cond:age:vit-lag1	-0,005	0,001	-3,203
item:age:vit-lag1	-0,004	0,002	-2,307
cond:item:age:vit-lag1	0,003	0,002	1,232

Figure 45 - Effets fixes testés dans le modèle LMM de la vitesse de réponse.

Partant du modèle complet, la stratégie employée dite “pas à pas” pour sélectionner le modèle le plus parcimonieux consiste à enlever l’un après l’autre de l’équation du modèle les termes n’ayant pas un effet significatif sur la variable dépendante (vitesse de réponse). En commençant par les effets d’interaction de plus haut niveau (ordre 4, puis 3, puis 2...), seuls sont retenus les effets pour lesquels la valeur absolue de *t* est supérieure à 1,96.

L’effet d’interaction condition \times item \times âge \times vit-lag1 est non significatif ($t=1.23$). Les effets d’interaction item \times âge \times vit-lag1 et condition \times âge \times vit-lag1 sont significatifs (respectivement $t=-2.31$ et $t=-3.20$). L’effet d’interaction âge \times vit-lag1 est significatif ($t=3.92$), ainsi que ceux item \times âge ($t=-2.78$) et cond \times âge ($t=2.31$). Enfin, les effets fixes de l’âge et de la condition sont également significatifs (respectivement $t=-2.31$ et $t=-3.20$).

Modèles	Effets fixes introduits	BIC
Mc	Modèle complet	3634
M1	Mc - cond:item:age:vit-lag1	3568
M2	M1- cond:age:vit-lag1	3556
M3	M2 - cond:item:age	3536
M4	M3 - item:age:vit-lag1	3520
M5	M4 - cond:vit-lag1	3511
M6	M5 - cond:age	3492
M7	M6 - item:vit-lag1	3479
M8	M7 - item:age	3458
M9	M8 - cond:item	3447
M10	M9 - vit-lag1	3439
M11	M10 - item	3425

Tableau 20 - Les différents modèles testés en suivant la stratégie « pas à pas » (m1 à m11).

On présente ci-dessous les estimations du modèle final dans lequel ont été conservés comme effets fixes ceux liés à la condition (« compatible » vs « incompatible »), à l'âge, et aux effets d'interactions age × vit-lag1 et condition × âge × vit-lag1.

Effets fixes	β	Erreur standard	T	
(Intercept)	1,906	0,126	15,137	
condition	-0,094	0,026	-3,660	
âge	-0,016	0,002	-6,708	
age:vit-lag1	0,004	0,000	8,783	
cond:age:vit-lag1	-0,001	0,000	-3,069	
<i>Corrélation entre effets fixes</i>				
	(Intercept)	condition	âge	âge:vit.lag1
condition	-0,109			
âge	-0,902	-0,001		
âge:vit-lag1	-0,127	0,536	-0,050	
Condition:âge:vit-lag1	0,108	-0,908	0,007	-0,660

Tableau 21 - Effets fixes du modèle M11.

Effet de la condition expérimentale

L'effet de la condition expérimentale indique que manipulation expérimentale « congruent » et « incongruent » affecte la performance des sujets. Il rend compte de temporisations différentes selon le type d'essai (congruent vs incongruent). L'effet observé est négatif et

montre que les individus répondent avec des temporisations plus lentes aux essais de type « incompatible » en comparaison aux essais de type « compatible ».

Effet de l'âge

L'effet négatif de l'âge indique que la vitesse de réponse ($1/TR$) diminue avec l'âge des individus. La corrélation égale à $-0,89$ entre l'effet fixe de l'âge et de l'intercept indique qu'avec l'augmentation en âge, les individus sont plus lents

L'effet d'interaction de la covariable temporelle avec l'âge ($\text{âge} \times \text{vit-lag1}$) indique que l'âge a un effet sur la dépendance temporelle entre un essai et l'essai précédent. La tâche étant constituée uniquement d'essais alternés, l'âge aurait un effet sur la capacité d'alternance de tâche, au niveau de la vitesse de réponse. L'effet d'interaction entre condition expérimentale, l'âge et la covariable de dépendance temporelle ($\text{condition} \times \text{âge} \times \text{vit-lag1}$) montre que l'efficacité de l'alternance de tâche est aussi fonction du type d'essai et de l'âge de l'individu.

Effets d'interaction $\text{âge} \times \text{vit-lag1}$

L'effet d'interaction de la covariable temporelle avec l'âge ($\text{âge} \times \text{vit-lag1}$) indique que l'âge a un effet sur la dépendance temporelle entre la vitesse de réponse à l'essai n et à l'essai $n-1$. La Figure 46 est une bonne illustration de cette interaction. Elle indique que plus la vitesse de réponse est rapide à l'essai $n-1$, moins la relation entre l'âge et la vitesse de réponse à l'essai n est forte. A l'inverse plus la réponse est lente à l'essai $n-1$, plus la relation entre l'âge et la vitesse de réponse est forte.

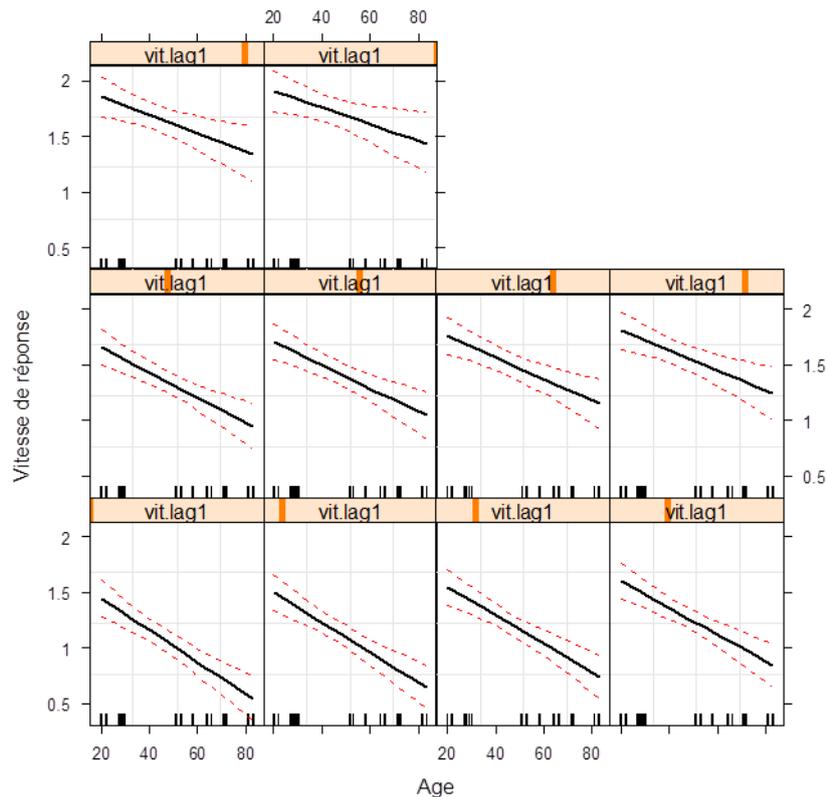


Figure 46 - Représentation graphique de la vitesse de réponse (1/TR) en fonction de l'âge des individus de de la vitesse de réponse à l'essai n-1.

Effets d'interaction condition × âge × vit-lag1

L'effet d'interaction de la condition expérimentale avec l'âge et la covariable de dépendance temporelle (cond × âge × vit-lag1) indique que la relation entre la vitesse de réponse et l'âge varie selon la vitesse à l'essai n-1 et la condition expérimentale « congruent » ou « incongruent ». La Figure 47 illustre bien cette interaction. Elle nous indique que pour les essais « congruent », plus la vitesse de réponse à l'essai n-1 est rapide, plus la relation entre l'âge et la vitesse de réponse est faible alors qu'elle reste stable et relativement forte pour les essais « incongruents » quelle que soit la vitesse de réponse à l'essai n-1.

Les passages entre l'essai n-1 et l'essai n étant des alternances dans cette étude, pour un essai de type congruent, plus la vitesse de réponse à l'essai incongruent n-1 est rapide, plus la relation entre l'âge et la vitesse de réponse à l'essai n est faible. En revanche plus la vitesse de réponse à l'essai incongruent n-1 est lente, plus la relation entre l'âge et la vitesse de réponse à l'essai n est forte. Contrairement aux essais congruent, pour les essais incongruents, la relation entre l'âge et la vitesse ne semble pas influencée par la vitesse à l'essai n-1, elle demeure stable et forte quelle que soit la vitesse à l'essai congruent n-1.

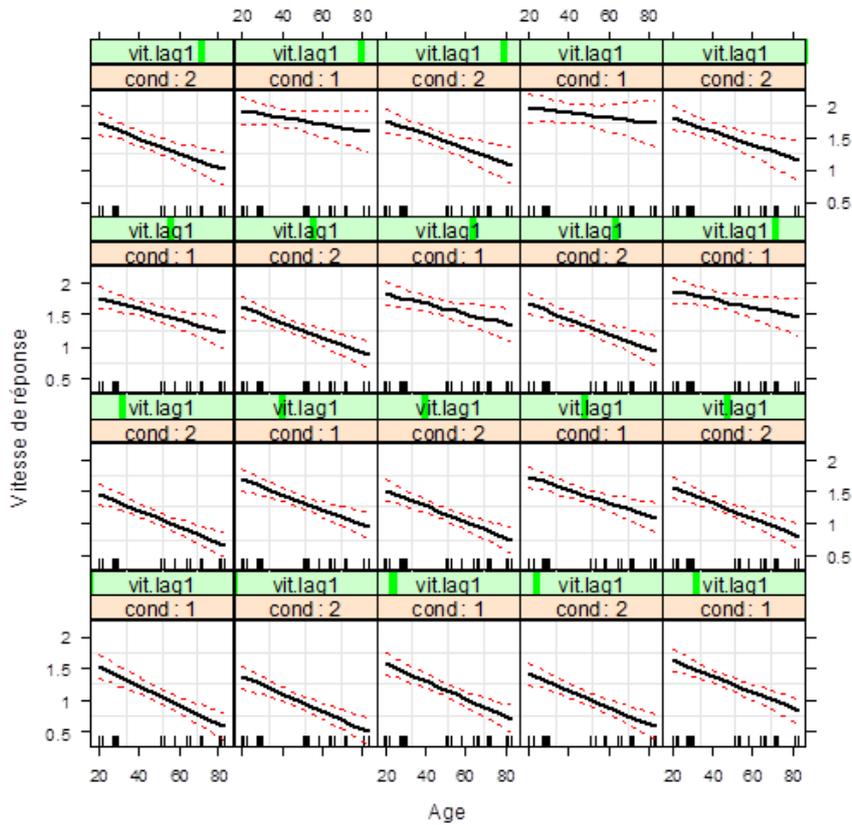


Figure 47 - Représentation graphique de la vitesse de réponse (1/TR) en fonction de l'âge des individus, par condition (1 : congruent ; 2 : incongruent).

3.2.3.3.3. Structure des effets aléatoires

Pour évaluer la structure des effets aléatoires, deux modèles ont été testés, le modèle M0 avec intercept aléatoire par sujet et le modèle M1 avec intercept et pente (« condition ») aléatoires par sujet (interaction de la condition par sujet). Autrement dit, la comparaison de ces deux modèles permet de tester l'influence différentielle des conditions expérimentales chez les sujets (i.e. la condition expérimentale a-t-elle un effet différent chez les sujets).

	Df	AIC	BIC	logLik	Chi-2	Df	Pr(>Chisq)
M0 (ml)	7	3331	3375	-1658,4			
M1 (ml)	9	3246	3304	-1614,1	88,505	2	<0.001

Tableau 22 - Résultats de la comparaison Anova effectuée entre les modèles M0 et M1. (Df : degré de liberté ; logLik : logarithme de la vraisemblance)

La Figure 48 présente les résultats de la comparaison entre les deux modèles. Ceux-ci indiquent que le modèle M1 est le meilleur modèle. L'introduction d'une pente aléatoire améliore significativement l'ajustement du modèle (delta chi-deux=88,5 ; delta ddl=2 ; p=000). La figure 20 indique que la distribution des résidus du modèle M1 est satisfaisante.

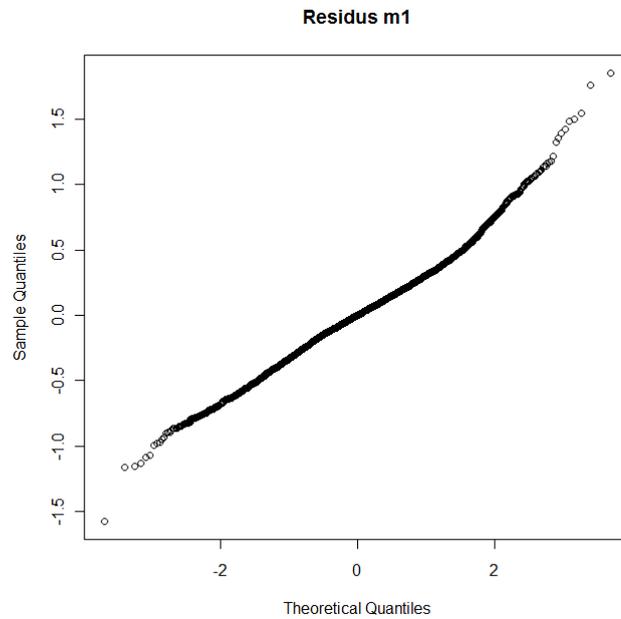


Figure 48 - Diagnostic des résidus (M1).

Formule: vit~1+cond+age+age:vit.lag1+cond:age:vit.lag1+(1+cond id)				
AIC	BIC	logLik	deviance	REML
3293	3351	-1638	3228	3275
<i>Effets aléatoires</i>				
Groupes	Name	Variance	SD	Corr
id	(Intercept)	0,058	0,241	
	cond	0,016	0,125	-0,321
Residual		0,118	0,344	
Nombre d'observation: 4393, groupes: sujet, 23				
<i>Effets fixes</i>				
	Estimation	SD	Valeur t	
(Intercept)	1,892	0,124	15,300	
cond	-0,105	0,043	-2,444	
age	-0,017	0,002	-7,029	
age:vit.lag1	0,004	0,001	8,751	
cond:age:vit.lag1	-0,001	0,001	-2,009	
<i>Corrélation des effets fixes</i>				
	(Intercept)	cond	age	age:vit.lag1
cond	-0,204			
age	-0,890	0,009		
age:vit.lg1	-0,167	0,532	-0,037	
cond:age:vit.lag1	0,157	-0,756	-0,008	-0,749

Tableau 23 - Estimation des effets fixes et aléatoires du modèle M1 par REML sur l'inverse du TR (1/TR). (logLik : logarithme de la vraisemblance)

L'effet aléatoire de l'intercept indique que les individus présentent des différences significatives de variations de performances moyennes. Le second effet aléatoire relatif à l'effet de la condition expérimentale « congruent » et « incongruent » indique une variabilité interindividuelle de la sensibilité aux contraintes situationnelles. Autrement dit, les individus réagissent de manière différenciée selon le type d'essai « congruent » et « incongruent ». Certains individus seraient plus sensibles que d'autres aux changements de contraintes et donc à l'alternance elle-même. La corrélation égale à -0,321 entre les effets aléatoires de la condition expérimentale et de l'intercept témoigne du fait que les sujets présentant une sensibilité plus importante au changement de contraintes ont également tendance à avoir des temporisations moyennes plus importantes.

Ainsi, selon ce résultat, les individus se différencient en termes de sensibilité aux types d'essai « congruent » et « incongruent ».

3.2.3.4. Etude de la précision

La méthode employée est celle du maximum de vraisemblance. Le modèle sélectionné est celui présentant le plus petit BIC après confirmation par Anova. Les analyses effectuées sur la précision sont basées sur des modèles de régression logistique, les données étant cette fois binaires. Les analyses sont effectuées par GLMM (modèle linéaire mixte généralisé).

modèle de base

Un premier modèle M0 à intercept aléatoire, est estimé et est utilisé comme modèle de base pour la suite des analyses. Son BIC est égal à 1543.

Etude de l'effet du rang

Un modèle linéaire mixte intégrant un effet fixe du rang de l'essai (modèle à intercept aléatoire) est estimé. Sa formule est : $PR \sim 1 + rang + (1|id)$. Son BIC est égal à 1548. Il est inférieur à celui du modèle M0, ce qui indique qu'aucun effet du rang n'est observé.

Comparaison de modèles

Le Tableau 24 présente trois modèles testés dans lesquelles le facteur fixe de la condition (M1) et le facteur aléatoire de la condition (M2) sont introduit.

Model		BIC
M0	PR~1 + (1 id)	1543
M1	PR~1 + cond + (1 id)	1546
M2	PR~1 + cond + (1 + cond id)	1561

Tableau 24 - Modèles testés (M0 à M2).

Le Tableau 25 présente la comparaison effectuée entre ces modèles par RELM. Il indique que le meilleur modèle est M1. L'introduction d'un effet de la condition améliore significativement l'ajustement du modèle (delta chi-deux=5,03 ; delta ddl=1 ; p=0,02).

	Df	AIC	BIC	LogLik	Khi2	Df	Pr(>Chisq)
M0 (ml)	2	1530	1543	-762,87			
M1 (ml)	3	1527	1546	-760,36	5,0262	1	0,02497
M2 (ml)	5	1528	1561	-759,14	2,4421	2	0,29492

Tableau 25 - Résultats de la comparaison Anova effectuée entre les modèles (M0 à M1). (Df : degré de liberté ; LogLik : logarithme de la vraisemblance)

Effets de l'âge

L'effet de l'âge a été introduit dans le modèle M3.

Model		BIC
M1	PR ~ 1 + cond + (1 id)	1546
M3	PR ~ 1 + age + cond + (1 id)	1551

Tableau 26 - Les modèles testés M1 et M3.

Le Tableau 27 présente la comparaison effectuée entre les modèles M1 et M3 par RELM. Il indique que le meilleur modèle est M1 (delta chi-deux=3,64 ; delta ddl=1 ; p=0,06). L'âge n'a donc pas d'effet significatif sur la précision.

	Df	AIC	BIC	logLik	Khi2	Chi Df	Pr(>Chisq)
m1 (ml)	3	1526,7	1546	-760,36			
m3 (ml)	4	1525,1	1551	-758,54	3,6433	1	0,0563

Tableau 27 - Résultats de la comparaison Anova effectuée entre les modèles M1 et M3. (Df : degré de liberté ; LogLik : logarithme de la vraisemblance)

Ci-dessous les estimations des effets fixes et aléatoires du modèle final M1 dans lequel est conservé l'effet fixe de la condition expérimentale « congruent » vs « incongruent » à la condition « commutation » (hom-com) et l'effet du matériel (mat).

Formule : PR~1+rang+(1 id)				
AIC	BIC	logLik	deviance	
1527	1546	-760	1521	
<i>Effets aléatoires</i>				
Groupes	Name	Variance	SD	
id	(Intercept)	0,821	0,906	
Nombre d'observation: 4784, groupes: sujet, 23				
<i>Effets fixes</i>				
	β	SD	t	(Intercept)
(Intercept)	3,712	0,228	16,31	

cond	-0,336	0,151	-2,22	-0,383
------	--------	-------	-------	--------

Figure 49 - Estimation des effets fixes et aléatoires du modèle M2 par GLMM pour la précision. (logLik : logarithme de la vraisemblance)

Effet de la condition expérimentale

L'effet de la condition expérimentale indique que manipulation expérimentale « congruent » et « incongruent » affecte la précision des sujets. Il rend compte de proportions de réponses correctes différentes selon le type d'essai (congruent vs incongruent ; voir Figure 50). L'effet observé est négatif et montre que les individus répondent moins précisément aux essais « incongruent » en comparaison aux essais de type « congruent ».

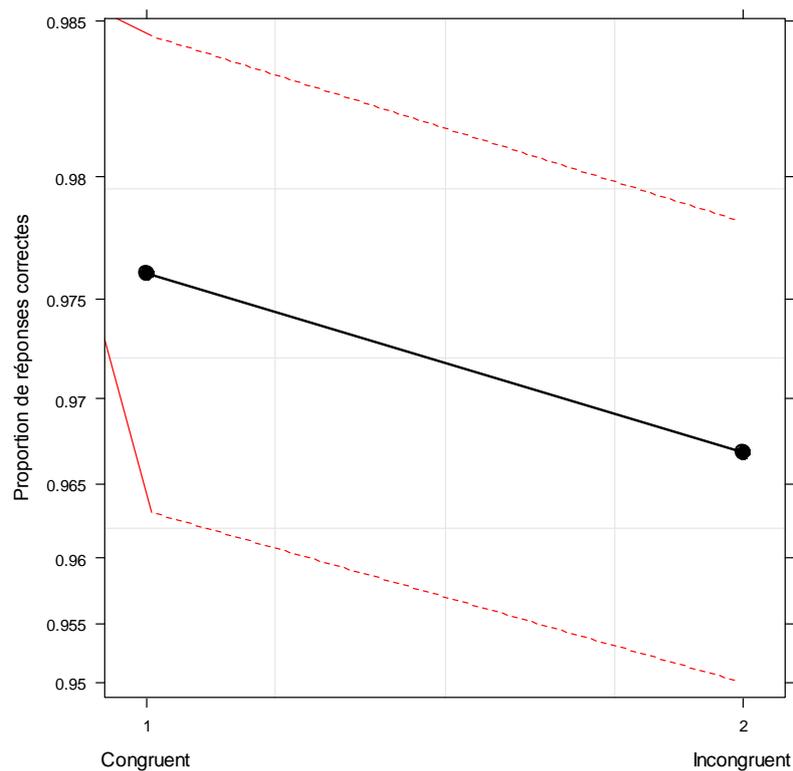


Figure 50 - Précision moyenne des participants aux essais congruents et incongruents.

3.3. Modélisation de la tâche d'alternance : le modèle WB

Les tâches CF et WB possèdent de nombreuses similarités : ce sont d'une part, des paradigmes de tâches d'alternance indicées de type séries alternées présentant des intervalles de temps de préparation (CTI) et de reconfiguration (RSI) longs (supérieurs à 1s). Comme dans la tâche CF, les participants peuvent ainsi profiter de l'intervalle de temps entre l'indice et le stimulus, pour préparer le traitement du stimulus (Roger et Monsell, 1995). D'autre part, dans ces deux tâches, les stimuli sont bivalents et le nombre de stimuli est restreint. Ces particularités laissent supposer que certains mécanismes d'amorçage associatif par exemple sont impliqués dans ces deux tâches (voir partie 3). Cependant, bien que le « cadre » des deux tâches soit relativement similaire, certaines contraintes de la tâche WB sont supposées avoir des conséquences sur les processus impliqués dans le traitement et donc sur les processus implémentés.

Premièrement, dans la tâche WB, l'alternance est réalisée à tous les essais (ABABAB). Selon Mayr et Keele (2000), ce type d'alternance consécutive provoquerait davantage d'interférence. Cette interférence serait produite par le schéma de tâche de l'essai précédent (Allport et al., 1994) et tendrait à rendre moins efficiente la récupération du schéma pertinent. Pour corriger cette inertie, selon Mayr et Keele, (2000), dans ces conditions, des processus inhibiteurs pourraient spécialement intervenir pour inhiber les représentations relatives au schéma non pertinent (voir le l'inhibition proactive, partie 3).

Deuxièmement, une seconde source d'interférence serait liée à l'asymétrie entre les tâches, les deux tâches présentant des niveaux de difficultés différents. Dans la tâche congruente, les stimuli correspondent au nom du bouton alors que dans la seconde tâche, il y a une incohérence entre le bouton réponse (par ex, le bouton de gauche « noir ») et la propriété pertinente du stimulus (blanc). Certaines études indiquent qu'en cas de correspondance entre le stimulus et la réponse devant être donnée, une facilitation est observée. L'idée est la suivante : lorsque les stimuli et les réponses partagent certains traits communs lors de protocoles expérimentaux, les performances des sujets sont modifiées. Par exemple, il est plus aisé de répondre par un bouton de couleur verte à un stimulus de couleur verte et par un bouton rouge à un stimulus rouge plutôt que de répondre par un bouton rouge à un stimulus vert et par un bouton vert à un stimulus rouge. Les performances des participants seraient ainsi influencées par la présence de propriétés communes aux stimuli et aux réponses. Cette influence est

communément appelée compatibilité stimulus-réponse (« S-R compatibility » ; Fitts, 1954) et serait provoquée par la congruence entre les stimuli et les réponses dans la tâche « congruente » et par leur incongruence dans la tâche « incongruente ». Notons que cet effet serait encore accentué par la réciprocité de la tâche (i.e. le fait que les traitements de chacune des tâches soient opposés) et le chevauchement entre les réponses (i.e. le recouvrement des propriétés des réponses, Gade et Koch, 2007).

Le modèle de la tâche WB présente la même structure que modèle CF. Le modèle WB intègre tout d'abord les mêmes étapes et les mêmes modes de résolution que le modèle CF : le premier mode est basé sur une représentation schématique qui guide la sélection de la réponse (Dreisbach, 2009). Le second est basé sur les associations composées de l'indice et du stimulus (Logan et Bundesen, 2003). Un troisième mode de fonctionnement est implémenté en cas d'échec d'initiation des deux premiers (de Jong, 2000). Deuxièmement, à l'exception des processus liés aux modes de réponse (vocal vs manuel), les processus cognitifs implémentés dans le modèle CF sont aussi intégrés dans le modèle WB. Le modèle WB intègre aussi des procédures qui simulent l'interférence provoquée au niveau du traitement de l'indice par l'alternance des représentations de tâche (TSI, Allport et al., 2000) et l'interférence produite par le chevauchement des réponses (Oberauer, 2002, 2005). Enfin, les processus contrôlés implémentés dans le modèle CF, pertinents théoriquement pour la résolution de la tâche WB (Dreisbach, 2009 ; Meiran et al., 2008), ont été également implémentés dans le modèle WB.

Le modèle WB présente la même séquençage de procédures et globalement les mêmes mécanismes que ceux implémentés dans le modèle CF⁸². Cependant bien que le déroulement des étapes du traitement est similaire à celui du modèle CF, l'implémentation des mécanismes d'interférence au niveau de la sélection de la réponse est différente. Dans le modèle CF, cette interférence est modélisée par le mécanisme d'amorçage de la propriété non pertinente du stimulus. Dans le modèle WB, des sources différenciées d'interférence sont intégrées afin de rendre compte des effets du chevauchement des réponses et de la réciprocité des deux tâches.

Implémentation de deux modes de résolution.

⁸² Pour des raisons de redondance, les étapes et processus communs aux deux modèles ne sont que brièvement repris dans cette partie.

Dans le modèle WB, différents modes de traitements sont implémentés. Ils sont issus de l'observation empirique de procédures de résolution pouvant être différenciées et de l'appui de certaines hypothèses théoriques (voir section processus impliqués dans la tâche d'alternance). Concernant la tâche WB, deux principales procédures de résolution ont été distinguées. La première consiste à associer l'indice au stimulus afin de résoudre l'essai. Il sera fait référence à ce mode de fonctionnement sous l'appellation de condition « signification ». La seconde procédure suivie consiste à dénommer l'action devant être réalisée en fonction de l'indice perçue. Par exemple, certains participants mentionnaient le terme « direct » ou « normal » (respectivement « inverse » ou « opposé ») suite à l'apparition de l'indice « + » (resp. « - »). Il sera fait référence à cette condition comme étant la condition « schématique ».

3.3.1.1. Les chunks

Dans le modèle WB, les chunks sont de deux types : les connaissances sémantiques et les représentations épisodiques. Les connaissances sémantiques représentent les connaissances préalables telles que la signification des signes présentés (« plus » ou « moins ») ou la connaissance des couleurs. Les représentations épisodiques sont les connaissances construites à partir de la consigne de la tâche ou au cours du traitement. Dans notre modèle, elles correspondent, aux schémas de tâche, aux associations I-S-R (indice-stimulus-réponse) et autres représentations construites.

- Les chunks « schémas de tâche » sont les représentations des règles et buts de la tâche (« *taskplus* » et « *taskmoins* »). Ils sont constitués de slots référant à l'indice (« + » ou « - »), à la signification de l'indice (« *plus* » ou « *moins* »), à la règle de la tâche (« direct » ou « inverse »), aux réponses potentielles (arg1 et arg2) ainsi qu'une représentation vocale du chunk (voir Tableau 28, slot7, chunk « *taskmoins* »).

- Les chunks réponse sont des représentations « épisodiques » de type « association ISR » et réunissent les informations concernant l'indice (« + », « - »), sa signification (« *plus* » ou « *moins* ») mais également la règle de la tâche (« direct », « *inverse* ») ou la couleur du stimulus (« *black* » ou « *white* »), la réponse correspondante⁸³ (« *black* » ou « *white* »)⁸⁴ et enfin le bouton réponse (« *left* » ou « *right* »). Quatre chunks ISR sont intégrés.

⁸³ Les conséquences de la présence d'un slot correspondant au nom de la réponse seront présentées ultérieurement.

⁸⁴ Comme pour le modèle CF, une partie des chunks ou des slots sont en anglais pour que le modèle fonctionne correctement (par exemple, gauche = left).

Leurs noms correspondent à l'union de la couleur du stimulus (N ou B) et de la condition congruent (C) ou incongruent (I) : le chunk noir-congruent (*NC*), le chunk blanc-congruent (*BC*) le chunk noir-incongruent (*NI*) et le chunk blanc-incongruent (*BI*).

- Troisièmement, comme dans le modèle CF, un chunk « non lié » (« unrelated ») inspiré de la modélisation d'Altmann et Gray (2008) est implémenté et correspond à une représentation aucunement liée à la tâche. Ce chunk est du même type que les schémas de tâche, il peut donc être récupéré lors de la tentative de récupération d'une représentation de la tâche.

- Enfin, des chunks de la règle abstraite de chaque tâche sont implémentés. Ils sont nommés « *pushdirect* » et « *pushinverse* » et associent à la signification de l'indice (« *plus* », « *moins* »), la règle de la tâche sous-jacente (« *direct* », « *inverse* »)⁸⁵.

Chunk	<i>NC</i>	<i>NI</i>	Signification « moins »	Schéma de tâche « <i>taskmoins</i> »
Chunk- Type	select	select	meaning	meaning
Slot 1	association direct	association inverse	type signification	type task
Slot 2	cue "+"	cue "-"	sign "-"	sign "-"
Slot 3	cat plus	cat moins	subvoc "moins"	mean moins
Slot 4	color black	color black		cue inverse
Slot 5	response black	response white		arg1 BI
Slot 6	ans left	ans left		arg2 NI
Slot 7				subvoc "inverse"

Tableau 28 - Quatre chunks du modèle WB et leur slots respectifs : les chunks « noir-congruent » (*NC*), « noir-incongruent » (*NI*), « moins » et « *taskinverse* »).

3.3.1.2. Les procédures

Les essais ayant la même forme dans les tâches CF et WB (i.e. présentation de l'indice puis après un temps de pause présentation du stimulus), le modèle WB présente globalement la

⁸⁵ Le signe de l'indice (« + » ou « - ») est associé à la représentation pour des raisons technique (vérification de la pertinence du chunk extrait).

même séquence de procédures que le modèle CF. Tout d’abord, les mêmes grandes étapes sont implémentées (voir Figure 51) : Quand l’indice apparaît à l’écran, il est perçu et encodé, puis une tentative de récupération d’une représentation de la tâche est effectuée. Ensuite, dès que le stimulus apparaît, ses propriétés sont encodées et une sélection de la réponse est réalisée. Enfin, la réponse est exécutée et des feedbacks sont éventuellement opérés⁸⁶.

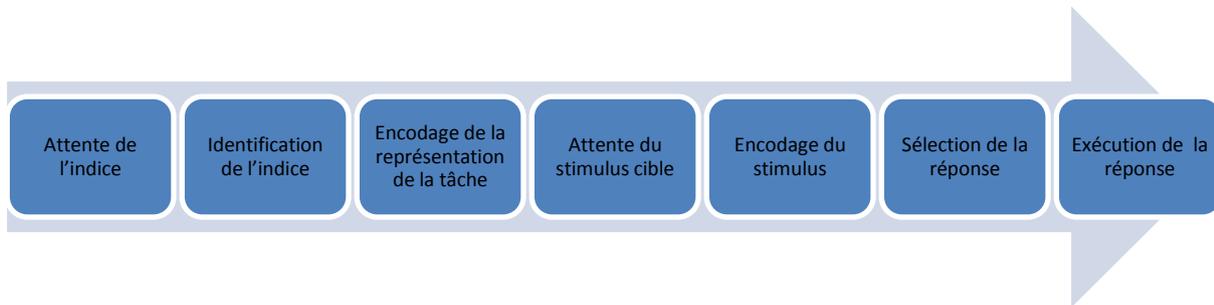


Figure 51 - Les grandes étapes du modèle WB.

3.3.1.2.1. Description des étapes

Les étapes du traitement étant les mêmes que celles du modèle CF, elles ne sont donc globalement rappelées dans cette partie (pour plus de détails, se reporter à la description du modèle CF). Tout d’abord, suite à l’apparition de l’indice, celui-ci est détecté et le focus attentionnel est orienté vers le stimulus afin de l’identifier. Une tentative de récupération d’une représentation de la tâche est ensuite effectuée. Si cette tentative aboutit à une réussite, la représentation récupérée est encodée dans le buffer de but. Dans le cas contraire, aucune information n’est encodée et une seconde opération sera effectuée ultérieurement⁸⁷. Ensuite, quand le stimulus apparaît, sa couleur est encodée dans le buffer de but. Enfin, une réponse est sélectionnée en fonction des représentations présentes dans le buffer de but et des propriétés du stimulus. Après son exécution, des feedbacks sont éventuellement opérés en fonction de la performance réalisée.

⁸⁶ Pour simplifier la compréhension, les procédures ayant un rôle équivalent dans les deux modèles CF et WB ont des appellations similaires (voir annexe 1 et 2).

⁸⁷ A l’exception du schéma non pertinent qui lui, est encodé.

3.3.1.2.2. Traitement de l'indice

Les étapes du traitement de l'indice implémentées dans le modèle WB, présentent de grandes similarités avec celles implémentées dans le modèle CF et ne sont donc que brièvement reprises ici.

Premièrement, les procédures implémentées d'attente de l'indice et d'orientation du focus attentionnel (« *attending-cue* ») sont identiques à celle du modèle CF : l'apparition de l'indice est détectée et le focus attentionnel est orienté vers le stimulus.

Deuxièmement, bien que l'indice ne soit pas verbalisé dans le modèle WB, l'étape suivante d'identification de l'indice (« *identify-cue* ») présente globalement la même structure dans les deux modèles. De manière équivalente dans les deux modèles, suite à cette procédure, une demande est effectuée en MD afin de récupérer une représentation de l'indice qui guidera la suite du traitement. Le processus de récupération de la représentation de l'indice dans le modèle WB est identique à celui du modèle CF : l'information encodée de l'indice amorce à l'aide du mécanisme d'ajustement partiel, les chunks relatifs à la tâche en cours.

Troisièmement, les mécanismes d'interférence proactive et d'inhibition de l'inertie du schéma interférant sont également implémentés dans le modèle WB. Si un schéma non pertinent est présent en MT au début de l'essai, celui-ci influence le processus de récupération en attribuant un malus d'activation aux chunks « schématique » (voir la procédure « *identify-cue-interference* »). Cette interférence proactive peut néanmoins être inhibée par l'exécution de la procédure dite d'« identification de l'indice avec inhibition » de l'interférence (« *identify-cue-inhibition* ») qui efface du buffer de but, le schéma interférant.

Enfin, quatrièmement, comme dans le modèle CF, en fonction de la représentation récupérée, trois conditions sont différenciées à l'issue du traitement de l'indice dans le modèle WB : si la représentation « signification » de l'indice a été récupérée, elle est encodée et le système est considéré comme étant en condition « signification » ; si la représentation « schématique » a été extraite, le chunk correspondant (par exemple « direct ») est également encodé et le système est en condition dite « schématique » ; enfin si aucun chunk n'a été extrait ou seulement un chunk erroné (excepté le schéma de tâche non pertinent), le système est dit en condition « échec » (« E »).

Hormis la verbalisation de l'indice, dans l'ensemble, les procédures liées au traitement de l'indice sont similaires dans les deux modèles. En revanche, les traitements réalisés suite à

l'apparition du stimulus différent en plusieurs points par rapport au modèle CF. Elles sont plus amplement développées dans la section suivante.

3.3.1.2.3. Traitement du stimulus, sélection de la réponse

Encodage du stimulus

Premièrement, dans le modèle WB, après détection et orientation visuelle et attentionnelle vers le stimulus, l'information véhiculée par le stimulus ne consiste qu'en une seule propriété : sa couleur *black* ou *white* (noire ou blanche). En comparaison, dans le modèle CF, deux propriétés pouvaient être extraites du stimulus (la forme ou la couleur)⁸⁸. De plus, dans le modèle CF, la présence de la seconde propriété était implémentée comme étant une cause de l'interférence produite au niveau de la sélection de la réponse (voir modèle CF). Dans le modèle WB, les caractéristiques visuelles du stimulus ne sont pas à l'origine d'interférence.

Sélection de la réponse

L'efficacité du processus de sélection de la réponse comme dans le modèle CF dépend des mécanismes de diffusion de l'activation et du mécanisme d'ajustement. Elle est également fonction de la condition du système et des représentations présentes dans le buffer de but.

Influence du contenu de la MT, la diffusion de l'activation

Comme dans le modèle CF, le contenu du buffer de but oriente la sélection du chunk-réponse par diffusion de l'activation. Son action est d'augmenter le niveau d'activation des chunks de la mémoire déclarative ayant des slots correspondants aux chunks présents en buffer de but (i.e. les chunk-source). Dans le modèle WB, le contenu du buffer de but présente d'une part, le chunk-slot « couleur » correspondant au chunk de la couleur du stimulus (précédemment encodée) et d'autre part, soit un chunk schématique « *direct* » ou « *indirect* », soit le chunk « signification » de l'indice (« *plus* » ou « *moins* »), ou soit aucun autre chunk⁸⁹. Dans les deux premières conditions, le résultat de la diffusion est similaire : le chunk « couleur » (noir par exemple) et le chunk « schématique » ou « signification » diffusent de manière semblable

⁸⁸ Dans le modèle WB, une seule information étant apportée par le stimulus, le processus contrôlé de sélection visuelle n'a plus lieu d'être, il est donc absent du modèle WB.

⁸⁹ Si en condition E, la seconde tentative de récupération d'une représentation de la tâche abouti à un second échec, la sélection de la réponse est effectuée sans représentation de tâche dans le buffer de but.

l'activation aux chunk-réponse présentant ces informations. Dans la dernière condition (condition « E »), seul le chunk « couleur » diffuse de l'activation. L'activation est donc effectuée sans différencier les chunks de l'une ou l'autre tâche.

Dans le modèle WB, l'influence du mécanisme de diffusion sur le processus de sélection de la réponse est similaire dans les conditions « signification » et « schématique ». Les différences d'efficacité entre ces deux principaux modes de fonctionnement sont concentrées exclusivement au niveau du mécanisme d'ajustement partiel.

Influences du mécanisme d'ajustement partiel et interférence simulée

Alors que dans le modèle CF, le mécanisme d'ajustement partiel simulait principalement l'influence ascendante des propriétés du stimulus sur le processus de sélection de la réponse, dans le modèle WB, le même mécanisme simule cet amorçage mais également l'influence de la représentation de la tâche encodée et l'interférence produite par la réciprocité des réponses.

Tout d'abord, le mécanisme d'ajustement partiel est utilisé pour simuler l'influence ascendante de la couleur du stimulus (par exemple, « black ») à l'aide d'une spécification de la requête. Cette spécification consiste à rechercher un chunk ayant la particularité de posséder un slot « couleur » correspondant à la couleur du stimulus (« black »). Ainsi, avec cette spécification, l'extraction des chunks possédant ce slot (i.e. les chunks NC et NI) est facilitée. Cette spécification est présente pour toutes les conditions « signification », « schématique », et « E ».

Deuxièmement, une seconde spécification est implémentée afin de simuler l'interférence latente apportée par la réciprocité des chunks (i.e. le fait que pour tous les stimuli, la réponse est toujours différente si l'essai est « congruent » ou « incongruent »). L'interférence produite par l'opposition entre les deux tâches est implémentée par une spécification de la requête qui consiste en un malus attribué à tous les chunks de manière équitable. Cette spécification n'est pas différenciée selon les conditions « signification », « schématique » et « E ».

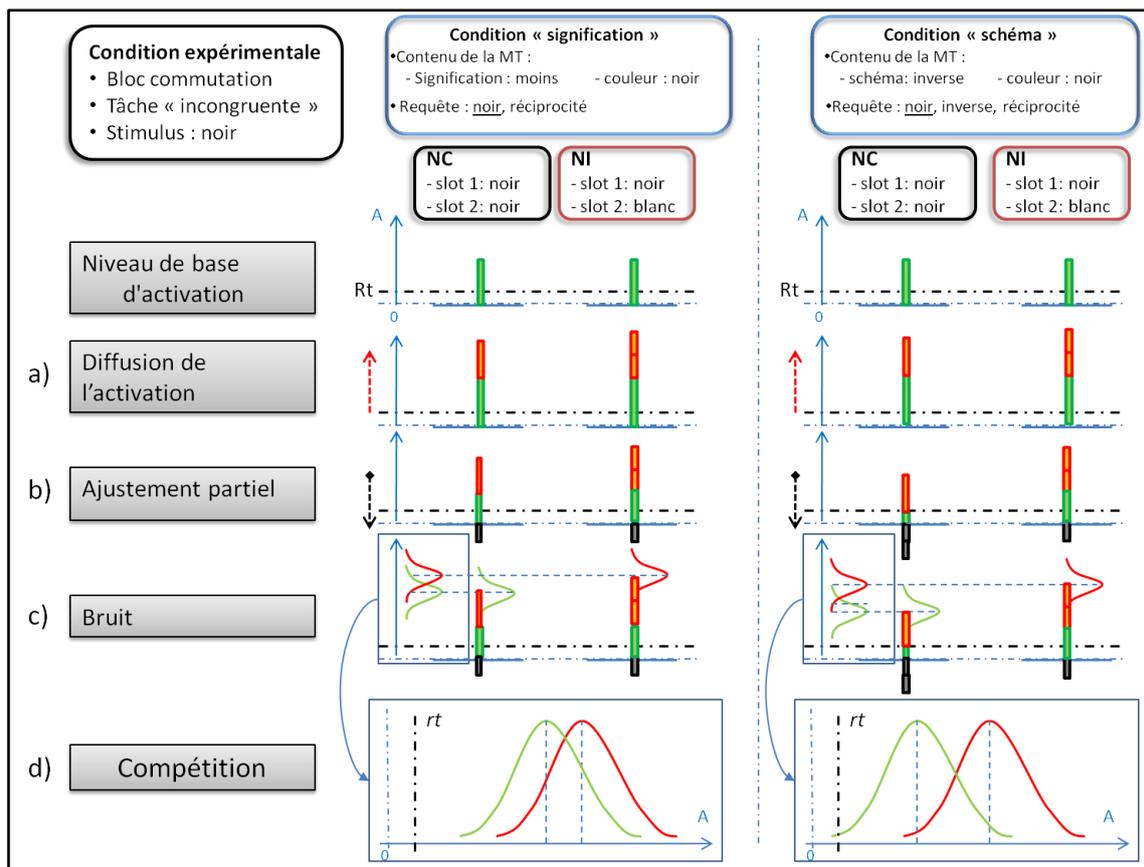


Figure 52 - Représentation à étages de l'effet de l'état du système (condition « signification » ou « schéma ») sur l'efficacité de la récupération de la réponse lors d'un essai alterné « incongruent ». Influence du contenu de la MT et des spécificités de la requête sur le niveau d'activation et la probabilité de récupération du chunk interférent (NC) ou du chunk pertinent (NI). (A = Activation ; rt = seuil de récupération).

Enfin, une troisième et dernière spécification est introduite dans la requête mais cette fois de manière différenciée en fonction de la présence ou non d'un schéma de tâche dans le buffer de but. Cette spécification est inspirée de la modélisation de Meiran et al. (2008) qui dans leur modélisation ont intégré un mécanisme de « contrôle de l'action ». Selon, leur modèle, le schéma de tâche peut orienter l'action devant être réalisée sur les réponses appropriées pour la tâche en cours. Dans leur modèle, cette action consiste en un filtrage des réponses potentielles grâce à des processus descendants (bottom-up). Dans le modèle WB, la troisième spécification ajoutée dans la requête en MD simule ce mécanisme de filtrage de l'action et permet, par la même occasion, de simuler les différences d'efficacité entre les conditions « schématique », « signification » et « E ». Cette spécification consiste en l'attribution d'un malus aux chunk-réponse ne possédant pas dans leur slots respectifs, la représentation schématique (« direct » ou « inverse ») encodée dans le buffer de but (voir Tableau 29). En condition schématique, la représentation de la tâche encodée dans le buffer de but (par exemple, direct) oriente alors la sélection de la réponse par un malus attribué aux chunks non

pertinents (BI et NI) afin de faciliter l'extraction des chunk-réponse potentiels (BC et NC). Cette spécification augmente l'écart d'activation entre les chunks potentiels de l'essai en cours et ceux non pertinents, réduisant ainsi la probabilité de récupérer un chunk non approprié. Dans la condition « signification » ou « E », cette spécification n'est pas implémentée, les représentations présentes dans le buffer de but ne permettant pas d'orienter l'action sur les réponses potentielles (Dreisbach, 2009).

<i>c) Non filtrage de la réponse</i>	<i>d) Filtrage de la réponse</i>
... +retrieval> color noir association reciprocity	... +retrieval> color noir association reciprocity association direct

Tableau 29 - Portion de procédure relative à la requête effectuée en MD pour la sélection du chunk-réponse, selon la condition du modèle : en condition « signification » ou « E » (a) ou en condition « schématique ».

Le processus de sélection de la réponse est influencé par le contenu de la mémoire de travail et de manière appuyée par le mécanisme d'appariement partiel. L'influence du mécanisme d'ajustement partiel implémenté dans le modèle WB simule l'interférence provoquée par la bivalence des stimuli et la réciprocité des réponses. D'une part, il simule le processus ascendant de facilitation du chunk correspondant à la requête en attribuant un malus au chunk ne possédant pas un slot correspondant à la couleur du stimulus. D'autre part, il attribue un second malus à tous les chunk-réponses en MD simulant ainsi l'interférence provoquée par la réciprocité des réponses. Enfin, il permet de différencier l'efficacité des traitements entre les conditions « schématique » et « signification ». Il donne pour cela un malus supplémentaire aux chunks ne satisfaisant pas l'action prescrite par la représentation de la tâche en condition « schématique ». Un mécanisme contrôlé de l'action est par ce dernier malus implémenté.

D'autres processus contrôlés sont susceptibles d'intervenir pour soit réitérer la réponse soit biaiser par un processus « bottom-up » la sélection effectuée : les mécanismes de préparation des réponses potentielles, le contrôle par signal de biais et les processus inhibiteurs⁹⁰. Ces mécanismes ayant exactement le même fonctionnement que dans le modèle CF, ils ne sont pas repris dans cette partie.

⁹⁰ Le processus de sélection visuelle est exclu de la modélisation, les stimulus ne présentant qu'une seule propriété.

3.3.2. Processus contrôlés

Trois mécanismes contrôlés sont implémentés dans le modèle WB. Les deux premiers sont exécutés de manière réactive, le dernier de manière proactive avant l'apparition du stimulus.

Premièrement, un mécanisme inhibiteur est implémenté et permet d'empêcher l'exécution de la réponse de manière réactive. Il n'est exécuté qu'en condition « schéma ».

Deuxièmement, un mécanisme contrôlé peut être initié pour contrôler de manière réactive l'exécution de la réponse et émettre une réponse correcte. Ce mécanisme contrôlé supplémentaire a été intégré dans le modèle afin de rendre compte d'un mode de fonctionnement permettant de contrôler la réponse sélectionnée en condition « signification » ou « E ». Ce mécanisme consiste en l'émission d'un signal de biais pour contrôler de manière descendante la sélection réalisée. Notons d'une part, que ce mécanisme est initié quelle que soit la validité de la réponse sélectionnée (i.e. qu'elle soit correcte ou incorrecte). D'autre part, la consigne de la tâche WB demandant de privilégier la précision (voir protocole), ce mécanisme est supposé être davantage exécuté par les participants pour compléter la tâche.

Enfin, troisièmement, le modèle intègre un mécanisme préparatoire : la « stratégie » de « coactivation ». Ce mécanisme consiste en l'activation des deux réponses potentielles pour l'essai en cours avant l'apparition du stimulus-cible (i.e. pendant le CTI). Il peut être initié seulement quand un schéma de tâche pertinent est présent dans le buffer de but.

Les deux premiers mécanismes contrôlés réactifs présentés précédemment (inhibition et le « signal de biais contrôlé ») ont pour finalité d'éviter l'exécution d'une réponse erronée. Le processus contrôlé proactif de coactivation a pour rôle de diminuer l'interférence produite par la présence de la caractéristique non pertinente, en amont de l'étape de sélection de la réponse. Notons que le mécanisme contrôlé de sélection visuelle implémenté dans le modèle de la tâche CF, n'est pas intégré dans le modèle WB, le stimulus ne présentant pas de propriété non pertinente.

3.3.3. Spécificités du modèle WB : le chevauchement des réponses

Le modèle WB présente une grande différence avec le modèle CF au niveau des chunk-slot intégrés dans les chunk-réponse. Dans le modèle CF, chaque chunk-réponse possède un chunk-slot correspondant à la propriété pertinente du stimulus. Dans le modèle WB, les chunks sont ambivalents. Ils possèdent un chunk-slot associé à la couleur du stimulus mais aussi un chunk-slot correspondant au nom du bouton de la réponse. Par exemple, le chunk-réponse « noir-incongruent » (*NI*) possède le chunk-slot de la couleur du stimulus auquel il est associé (le chunk-slot « *black* ») mais également le nom du bouton-réponse (le chunk-slot « *white* »), alors que le chunk « noir-congruent » possède le chunk-slot de la couleur du stimulus associé (le chunk-slot « *black* ») mais en revanche le nom de l'autre bouton réponse (le chunk-slot « *white* »). Aussi, les chunks « congruents » présentent deux chunk-slot du même type alors que les chunks « incongruents » présentent deux chunk-slot différents. Cette divergence en termes de contenu des chunk-réponse a un effet sur l'efficacité du processus de diffusion de l'activation puisque la quantité d'activation diffusée diffère selon la force d'association entre le chunk-source (par ex., *white*) et les chunk-slot des chunk-réponse (par ex., *BC* et *BI*) (voir équation 1). Le chunk-réponse « congruent » cohérent avec la couleur du stimulus, intègre deux fois le chunk-slot correspondant au chunk-source (voir Tableau 28), il reçoit par conséquent une quantité d'activation plus importante du chunk-source. Au contraire, les chunk-réponse « incongruent » reçoivent une quantité d'activation moins importante puisqu'ils ne possèdent qu'une seule fois le chunk-slot, en revanche, ils reçoivent cette quantité d'activation quel que soit le chunk-slot couleur présent dans le buffer de but (par ex., *black*), puisqu'ils possèdent soit la couleur du stimulus (*NI*) soit la réponse du même nom (*BI*). Le mécanisme de diffusion a des répercussions sur l'efficacité du processus de sélection de la réponse : la diffusion de l'activation issue du chunk-source « couleur du stimulus » est plus importante pour les chunk-réponse « congruent », alors qu'elle est plus diffuse et non discriminante pour les chunk-réponse « incongruent ».

Ce phénomène a des conséquences au niveau de l'efficacité du processus de sélection de la réponse. En condition « congruent », le chunk pertinent reçoit une quantité importante d'activation du chunk-source mais les chunks « incongruent » reçoivent également une certaine quantité d'activation, ce qui tend à augmenter leurs probabilités de récupération et donc la survenue d'une erreur. En condition « incongruent », la diffusion de l'activation est –

paradoxalement- similaire : les chunks « incongruent » pertinent et non pertinent reçoivent une même quantité d'activation du chunk-source « couleur » mais surtout le chunk « congruent » correspondant à la couleur du stimulus, reçoit comme en condition « congruent », une quantité plus importante d'activation de ce chunk-source.

En condition « incongruent », dans le modèle, la diffusion issue du chunk-source « couleur » favorise donc le chunk « congruent » correspondant à la couleur du stimulus. De même, la spécification de la requête relative à la couleur du stimulus (par ex., color « *black* », voir Tableau 28) n'a pas d'impact pas sur l'activation de ce chunk « congruent » étant donné qu'il possède le chunk-slot « couleur » demandé. En revanche, les autres spécificités de la requête et l'activation diffusée par le chunk-source relatif à la représentation de la tâche (par exemple, « direct » ou « moins ») favorisent l'extraction du chunk « incongruent » pertinent. Ce mécanisme constitue dans le modèle, une source d'interférence supplémentaire plus importante pour les essais « incongruent » comparés aux essais « congruent ». Il simule l'effet du chevauchement entre les réponses (Oberauer, 2002, 2005) mais aussi la différence de difficulté entre les deux modèles (aucun malus supplémentaire n'étant attribué à la tâche « incongruent »).

Bilan modèle

Les choix théoriques réalisés pour le modèle CF au niveau des modes de fonctionnement implémentés, des étapes du traitement, des mécanismes sous-jacents et processus cognitifs sont généralement suivis dans le modèle WB : deux modes de résolution de la tâche sont implémentés mais également un mécanisme d'interférence proactive, un mécanisme d'inhibition de l'interférence, des processus contrôlés réactifs d'inhibition et de « signal de biais » ainsi que le mécanisme contrôlé proactif de préparation des réponses potentielles de la tâche⁹¹. Les principales différences avec le modèle CF (en plus de celles liées à l'action sur l'environnement) concernent le processus de sélection de la réponse. Le modèle WB est différent du modèle CF au niveau des sources interférences simulées. Alors que dans le modèle CF, l'interférence provenait de la bivalence des stimuli, dans le modèle WB, l'interférence est issue de l'asymétrie entre les deux tâches, de la réciprocité des réponses et

⁹¹ Les procédures qui sous-tendent ces mécanismes sont nommées de la même manière dans les deux modèles (voir annexes 1 et 2 et tableau des procédures du modèle partie 3).

de leur chevauchement. D'autres mécanismes implémentés dans le modèle CF sont également intégrés dans le modèle WB tels que le chunk « aucunement lié » simulant une éventuelle fatigue et les procédures relatives aux feedbacks.

3.4. Analyse des simulations

Les résultats des simulations sont présentés dans cette section. Ils correspondent aux performances moyennes recueillies à partir des 500 simulations effectuées pour un même pattern de paramètres. Nous avons utilisé le logiciel « advanced key mouse recorder » pour effectuer consécutivement les simulations de différents modèles. Nous avons également testé la significativité statistique ($p < .05$) de la manipulation des valeurs des paramètres sur les performances simulées [paquet lme4 (Bates, 2005) du logiciel R (R development core team, 2007)]. Les résultats de ces analyses ne sont pas rapportés dans le texte.

3.4.1. Paramètres

3.4.1.1. Paramètres fixés

Pour chaque simulation, un ou plusieurs paramètres du modèle sont manipulés tandis que les autres paramètres gardent une valeur fixée (i.e valeur par défaut). Le tableau ci-dessous regroupe les valeurs des paramètres quand ils ne sont pas manipulés dans le modèle.

<i>Paramètres</i>	<i>Valeurs</i>
Malus attribué par l'indice (<i>md</i>)	-0.9
Malus schema: interference proactive (<i>set-similarities</i>)	0.0
Malus réponse (<i>set-similarities</i>)	-0.9
Seuil de récupération des chunks (<i>rt</i>)	0.50
Déclin de l'activation (BII)	0.53
Bruit (ans)	0.225
Quantité d'Activation (mas)	4.0
Goal activation (ga)	0.90
Facteur latence (lf)	1.0
Apprentissage optimisé (ol)	6
utilité	t
Bruit de la valeur d'utilité	0.2
Alpha (utilité)	0.2

Tableau 30- Valeur des paramètres par défaut

3.4.1.2. Valeur d'utilité fixée

Comme pour le modèle CF, certaines valeurs d'utilité des procédures sont manipulées dans le modèle. Les valeurs d'utilité par défaut des procédures du modèle sont répertoriées dans le tableau ci-dessous.

Valeur d'utilité des procédures (par défaut)	
Identification de l'indice avec interférence	10
Identification de l'indice avec inhibition du schéma interférant	10
Identification de l'indice avec inhibition du schéma pertinent	10
Indice identifié (condition répétée)	10
Indice identifié et coactivation (condition répétée)	8
Encodage du schéma de tâche pertinent	10
Encodage du schéma de tâche pertinent + coactivation	8
Attente du stimulus	20
Attente du stimulus + procédure signal de biais	1
Encodage d'une caractéristique et sélection de la réponse	10
Encodage d'une caractéristique et sélection de la réponse orientée	8
Sélection d'une réponse et exécution	10
Sélection de la réponse pertinente et exécution (ok)	15
Erreur interférence	15
Sélection d'une réponse erronée et Inhibition de la réponse	10
feedback de la réponse	20
Pas de feedback de la réponse	10
Pas de feedback de tâche	10
Feedback chunk non lié	9,8
Amorçage du chunk schéma de tâche	10,4
Amorçage du chunk signification	9,6

Tableau 31 - Procédures et valeur d'utilité fixée

3.4.2. Simulations des effets simples

Nous présentons dans cette partie les résultats des analyses de l'effet de la modification des paramètres sur les performances simulées. Le

Tableau 1 présente la liste des simulations effectuées et les paramètres ou valeurs d'utilité de procédures manipulées.

<i>Simulation</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Paramètre facteur latence <i>lf</i>		X							
Paramètre activation diffusée <i>Gα</i>			X						
Procédure coactivation (Cv)				X					
Procédure interférence proactive (IP)					X				
Procédure inhibition IP (Is)						X			
Procédure signal de biais (S)							X		
Procédure feedback Représentation de tâche							X		
Paramètre bruit <i>ans</i> (B)								X	
Paramètre préparation schéma pré-tâche (Pr)									X

Tableau 32 – Listes des paramètres manipulés dans les différentes simulations.

Notons d'une part que dans le modèle, aucun malus permanent n'est donné au chunk. La différence de difficulté est modélisée par le mécanisme de chevauchement des réponses qui est supposé avoir un impact négatif sur la performance simulée pour la tâche « incongruente ». D'autre part, seules les simulations du bloc AB de 209 essais sont présentées.

3.4.2.1. Simulation 0 : Modèle de base

La figure 1 présente les performances moyennes obtenues avec les valeurs des paramètres fixés du modèle (Tableau 30).

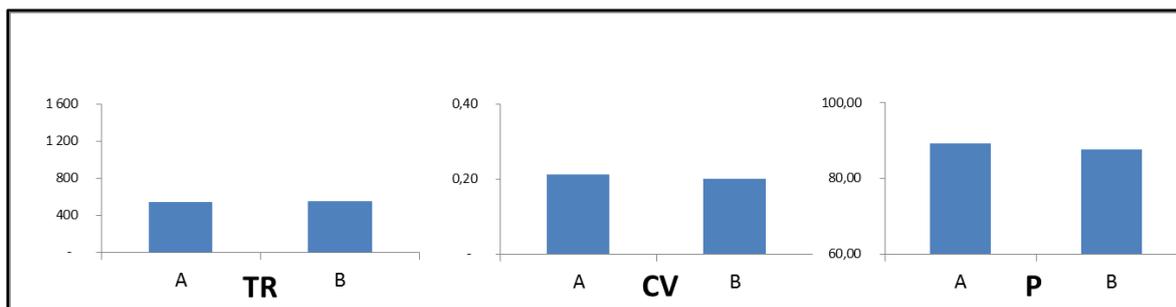


Figure 53 – Pattern simulé du modèle de base (valeur des paramètres par défaut) en condition « congruente » (A) et « incongruente » (B). TR (ms), CV (coefficient de variation), P = Précision (%).

3.4.2.2. Simulation 1 : Effet simple du facteur latence (*lf*).

La Figure 54 présente les conséquences des modifications du paramètre *lf* sur les performances. On remarque que l'augmentation de la valeur du paramètre *lf* (de 1,0 à 1,8) conduit à l'observation d'une augmentation des latences moyennes et du coefficient de variation moyen dans les conditions « congruence » et « incongruence ». En revanche, l'augmentation du paramètre *lf* n'affecte pas la précision des essais qui demeure stable dans les deux conditions.

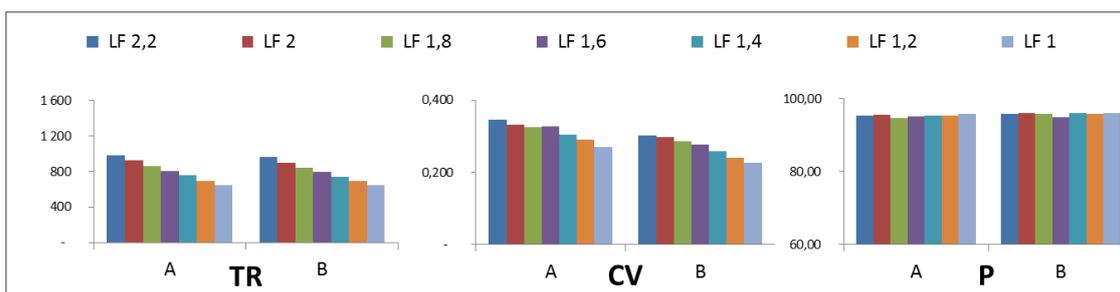


Figure 54- Effet du paramètre de ralentissement LF sur les performances aux essais « congruent » (A) et « incongruent » (B) en condition de base. TR (ms), CV (coefficient de variation), P = Précision (%), LF = Facteur Latence.

3.4.2.3. Simulation 2 : Effet simple du facteur diffusion de l'activation *ga*.

La figure ci-dessous présente l'effet de la manipulation du paramètre *ga* qui détermine la quantité d'activation *W* diffusée au chunk lors des demandes de récupération. Elle indique que l'augmentation de la quantité d'activation diffusée a pour effet en condition « congruente » et « incongruente », d'une part de diminuer les latences et de la variabilité des réponses (CV) et d'autre part d'augmenter la précision des réponses.

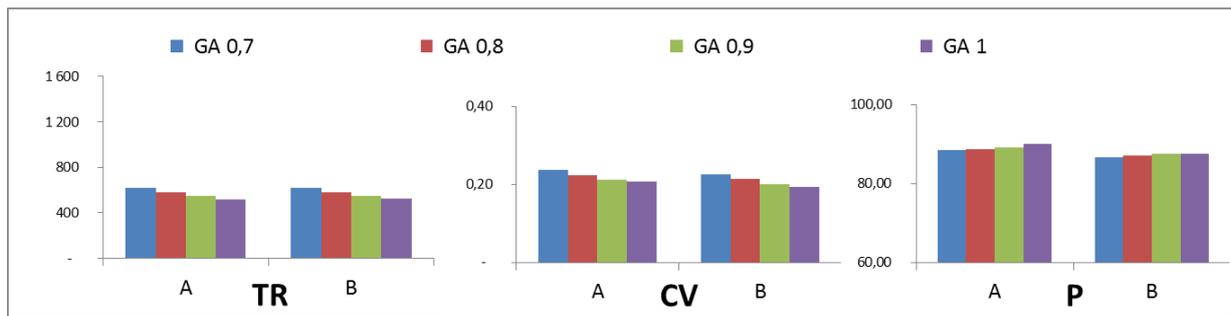


Figure 55 - Effet de la manipulation du paramètre de diffusion de l'activation (ga) sur les performances simulées en condition congruence (A) et « incongruence » (B). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

3.4.2.4. Simulation 3 : Effet simple de la procédure de coactivation (Cv)

La Figure 56 présente l'effet de l'augmentation de la probabilité d'exécution de la procédure de coactivation. Elle indique une réduction des temps de réponse pour les essais couleur et forme en condition « congruence » et « incongruence ». En revanche hormis une légère diminution de l'indice de variabilité CV en condition « congruence » et « incongruence », aucun effet n'est observé sur la précision.

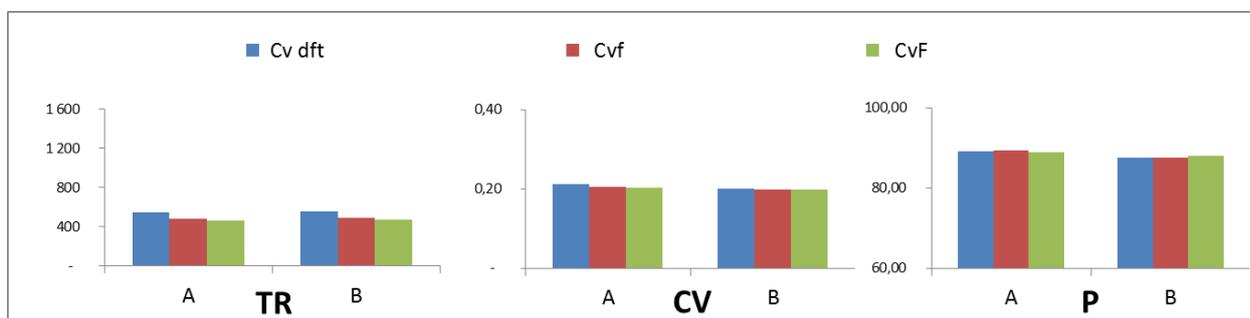


Figure 56 - Effet de la manipulation du valeur d'utilité de la procédure de coactivation (Cv) sur les performances en condition congruence (A) et « incongruence » (B). Valeur d'utilité : Cv dft = 8 (valeur par défaut), Cvf = 10,0 (utilité faible), CvF = 10,4 (utilité forte). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

3.4.2.5. Simulation 4 : Effet simple du malus d'interférence proactive (IP)

La Figure 57 présente les effets de l'augmentation de la valeur du malus d'interférence proactive (IP) attribuée au chunk schéma en cas de présence du schéma interférant dans le buffer de but. L'augmentation de la valeur du malus IP (de 0,0 à 0.9) provoque une augmentation de la variabilité des performances (CV), aussi bien en condition « congruence »

qu'en condition « incongruence ». La précision quant à elle tend à augmenter en condition « congruence » alors qu'elle diminue en condition « incongruence ». Les latences restent en revanche stables avec l'augmentation du malus.

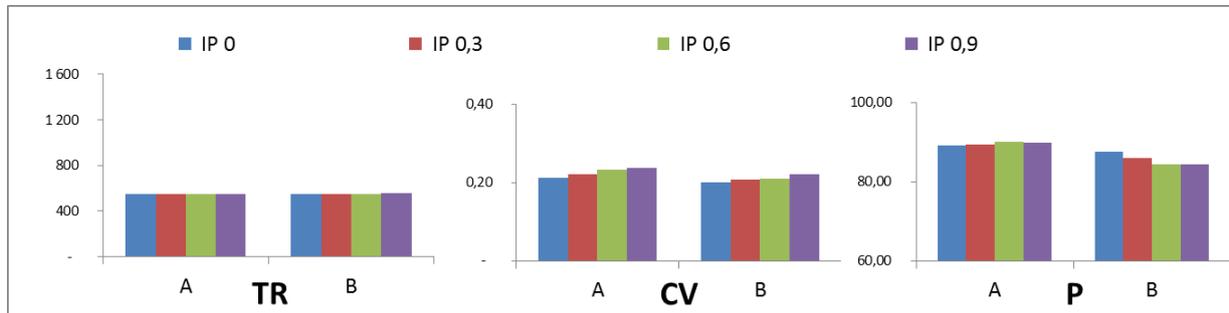


Figure 57 - Effet de l'augmentation du malus d'interférence proactive (IP) sur les performances en condition congruence (A) et « incongruence » (B). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%)

3.4.2.6. Simulation 5 : Effet de l'« inhibition du schéma interférent » (Is).

La Figure 58 présente l'effet de la manipulation de la probabilité d'inhibition du schéma interférent en situation d'interférence proactive (IP = 0.6) sur la performance. Comme on le voit, les latences ne sont pas sensibles à cette manipulation. En revanche, l'augmentation de la probabilité d'exécution de la procédure d'inhibition du schéma interférant tend à diminuer la variabilité des latences en condition « congruence » contrairement à la condition « incongruence » pour laquelle cette variabilité reste stable. La précision tend à diminuer en condition « congruence » alors qu'elle augmente en condition « incongruence ».

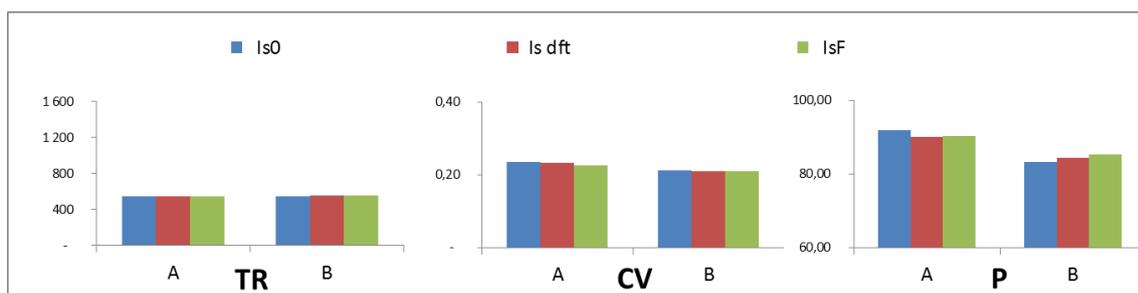


Figure 58 - Effet de l'augmentation du valeur d'utilité de la procédure « inhibition du schéma interférent » sur les performances en condition « congruence » (A) et « incongruence » (B), en situation d'interférence proactive (IP = 0,6). Valeur d'utilité : Is0 dft = 9,7 (valeur par défaut), Isf = 10,0 (utilité faible), IsF = 10,4 (utilité forte). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%)

3.4.2.7. Simulation 6 : Effet simple du signal de biais (S)

La figure ci-dessous présente l'effet de l'augmentation de la valeur d'utilité de la procédure de signal de biais contrôlé en situation d'interférence proactive (IP = 0.6) sur la performance.

L'augmentation de cette probabilité a pour conséquence un ralentissement des latences moyennes en condition « congruent » et « incongruent ». L'augmentation de la probabilité d'exécution du signal de biais contrôlé a également pour effet d'augmenter la variabilité des performances en condition « congruent » contrairement à la condition « incongruente » qui reste stable. On observe enfin une augmentation importante de la précision pour les essais « congruent » et « incongruent ».

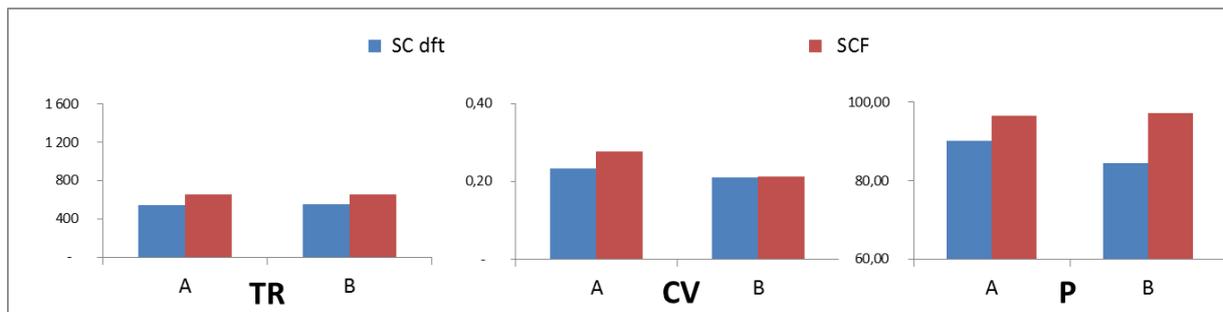


Figure 59 - Effet de l'augmentation de la valeur d'utilité des procédures de signal de biais contrôlé (SC) sur les performances en condition « congruence » (A) et « incongruence » (B). Utilité SC dft = 1 (valeur par défaut), SC = 25 (utilité forte). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

Notons que parallèlement à l'augmentation de l'utilité de la procédure « control-response », la valeur d'utilité des procédures de feedback tâche (resp., feedback signification) diminue de $u = 10,4$ (resp., $u = 9,6$) à $9,6$ (resp., $u = 10,4$). Nous avons apporté cette modification de la valeur d'utilité des procédures de feedback afin de simuler en cas d'erreur un retour sur la performance qui correspond à la représentation de la tâche la plus efficace en termes de précision dans le modèle.

3.4.2.8. Simulation 7 : Effet simple du paramètre bruit (ans)

La Figure 60 présente l'effet des modifications de la valeur du paramètre du bruit *ans* en situation d'interférence proactive ($IP = 0.6$). Les résultats des simulations montrent que lorsque le bruit augmente, les temps de réponse moyens (TR) ne s'accroissent que très légèrement alors que la variabilité des performances croît fortement et que la précision décroît également fortement en condition « congruent » et en condition « incongruent ».

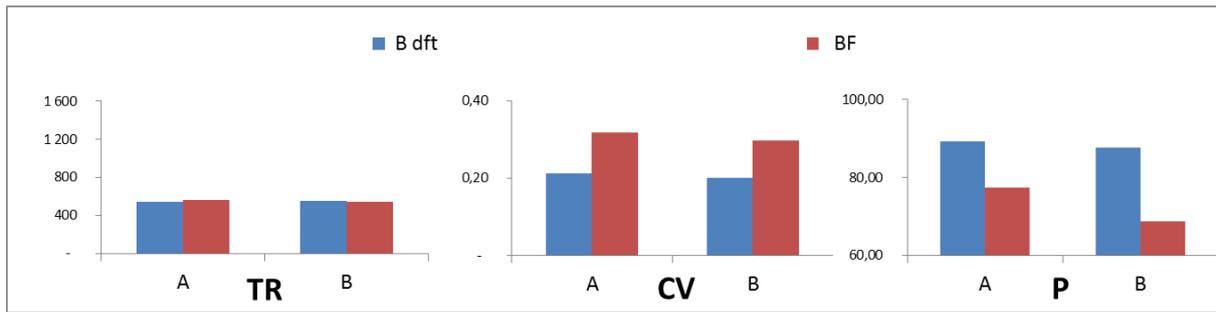


Figure 60 - Effet de la manipulation du paramètre du bruit B (*ans*) sur les performances en condition « congruence » (A) et « incongruence » (B) en situation d'interférence proactive (IP = 0.6). B dft = 0.225 (valeur par défaut), BF = 0.425 (bruit fort). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

3.4.2.9. Simulation 8 : Effet simple de la modification d'un facteur « préparation pré-tâche des représentations schématiques » (Pr).

Ce paramètre consiste en une sur-activation des schémas de tâche, antérieure au début de la tâche. Il simule la possibilité qu'ont les individus de se préparer volontairement aux deux tâches à réaliser. Le changement apporté au modèle consiste en deux activations de la représentation schématique de chaque tâche (« taskplus » et « taskmoins ») juste avant le commencement du bloc. La Figure 61 illustre l'effet de cette préparation en condition d'interférence (IP = 0,6) sur la performance. Elle indique que la simulation d'une préparation anticipée de la tâche diminue la variabilité des performances en condition « congruence » et « incongruence » mais surtout équilibre la précision dans les conditions en accentuant la précision des essais en condition « incongruente » et en la diminuant en condition « congruence ». Les latences moyennes sont en revanche peu affectées.

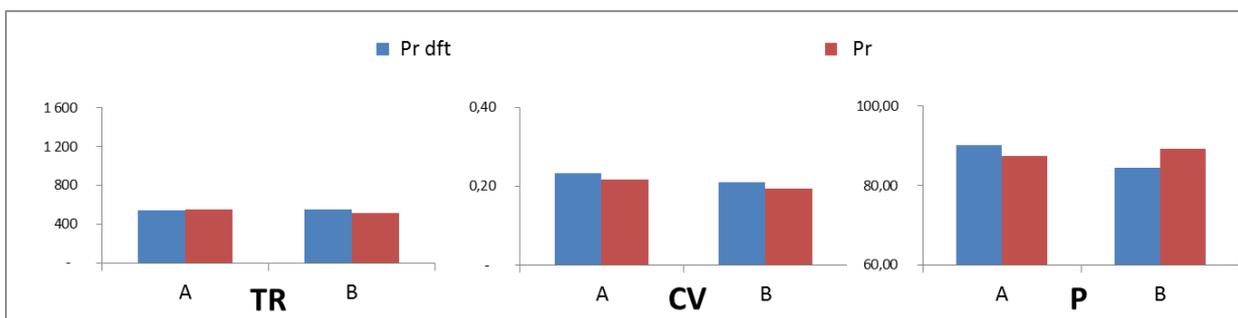


Figure 61 - Effet de la manipulation du paramètre de préparation pré-tâche (PR) sur les performances en condition « congruence » (A) et « incongruence » (B) en situation d'interférence proactive (IP = 0.6). Pr dft (valeur par défaut), Pr = 2 activations à t=-2 et t=-4. TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

3.4.3. Reproduction des patterns empiriques individuels et tests d'hypothèses.

Nous examinons dans cette section la validité de deux hypothèses théoriques du vieillissement cognitif au niveau individuel. L'objectif est de tester « virtuellement » ces hypothèses, les effets observés étant pris comme des arguments en faveur ou en défaveur de leur plausibilité. La question sous-jacente consiste à tester si la modification d'un facteur ou d'un paramètre correspondant en théorie à un processus ou mécanisme psychologique peut rendre compte des différences interindividuelles de performance.

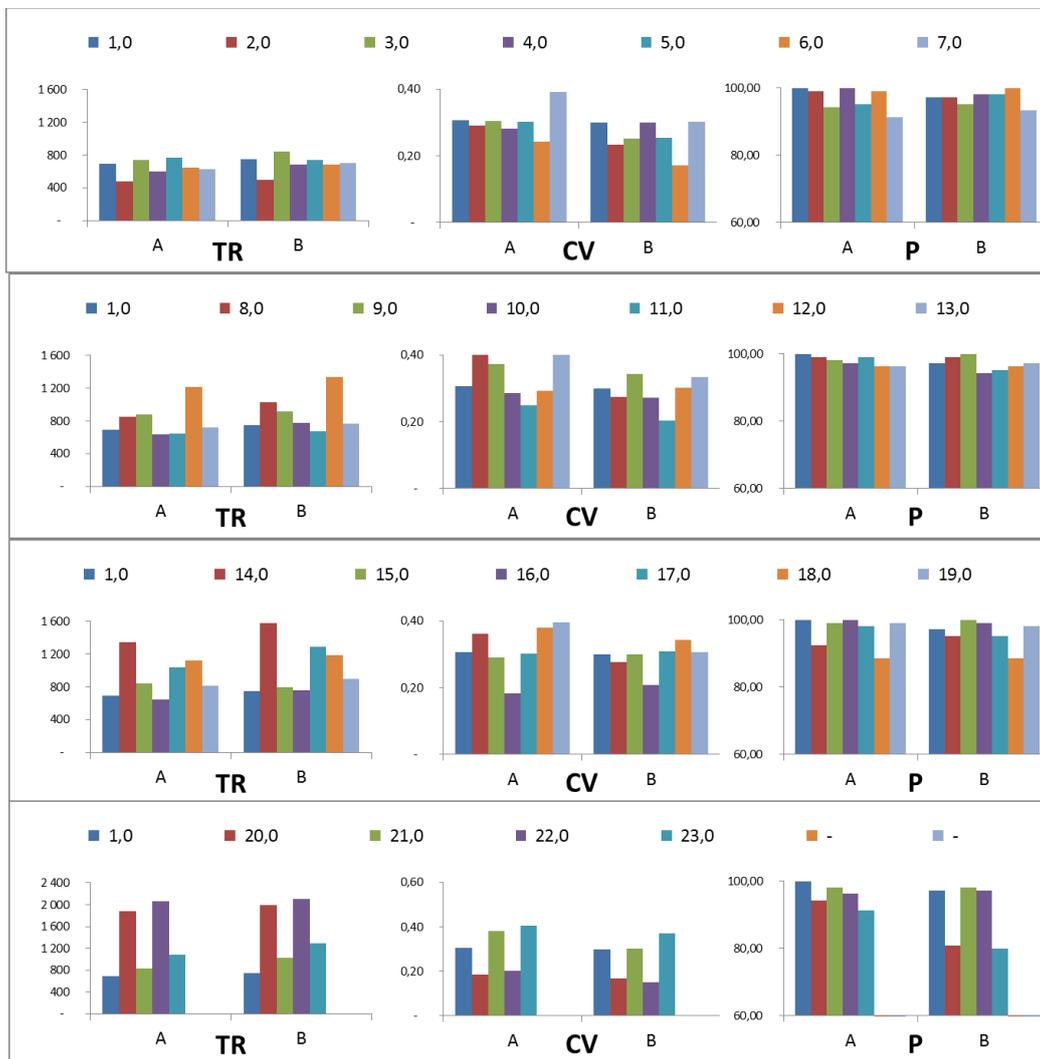


Figure 62 - Patterns individuels empiriques observés du sujet le plus jeune (1) au sujet le plus âgé (23) en condition « congruence » (A) et « incongruence » (B). Le pattern du sujet 1 est répété pour faciliter la comparaison. TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

La démarche employée est la suivante. Nous avons tout d'abord pris pour référence le pattern de performance moyen de l'échantillon puis recherché un pattern de performance simulé le reproduisant aussi correctement que possible. Nous avons ensuite manipulé les valeurs des

paramètres théoriquement pertinents au regard de nos hypothèses. Nous avons enfin étudié les effets de ces manipulations et le degré de similitude entre les observations comportementales individuelles et les patterns simulés. La Figure 62 présente les patterns de performances empiriques individuels observés.

3.4.3.1. Reproduction du pattern du groupe contrôlé.

La Figure 62 présente le pattern de performances moyen empiriques de l'échantillon et le pattern simulé estimé⁹². Plusieurs paramètres ont été modifiés par rapport à la condition de base (ils sont directement indiqués dans le « nom » de la simulation) : le facteur latence ($lf = 2,0$), le malus d'interférence proactive ($IP = 0,3$), l'utilité de la procédure d'inhibition du schéma interférent Is ($u = 10,4$), l'utilité de la procédure « contrôle-réponse » par signal de biais SC ($u = 25$), l'utilité de la procédure d'inhibition de la réponse ($u = 10,6$), le paramètre du bruit ($ans = 0,275$) et la préparation des représentations schématiques de la tâche (Pr).

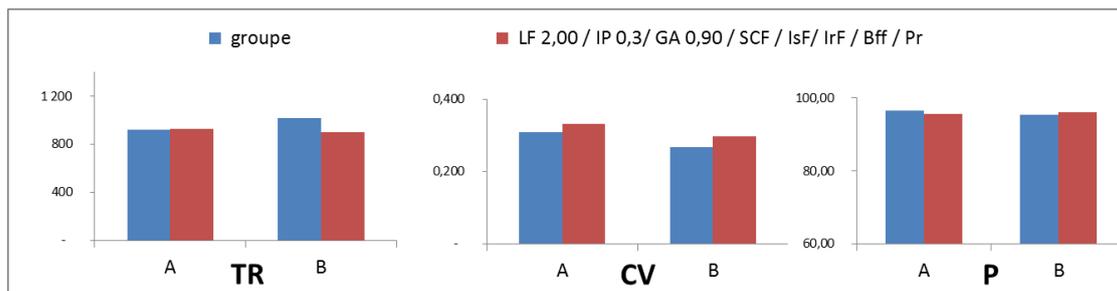


Figure 63 - Pattern de performances empirique du groupe et pattern de performances simulé (en rouge) en condition « congruence » (A) et « incongruence » (B). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

La comparaison des deux patterns indique que cette simulation prédit relativement bien le pattern du groupe de participants au niveau des TR, de la variabilité des TR et de la précision des performances, en condition « congruente » et « incongruente ».

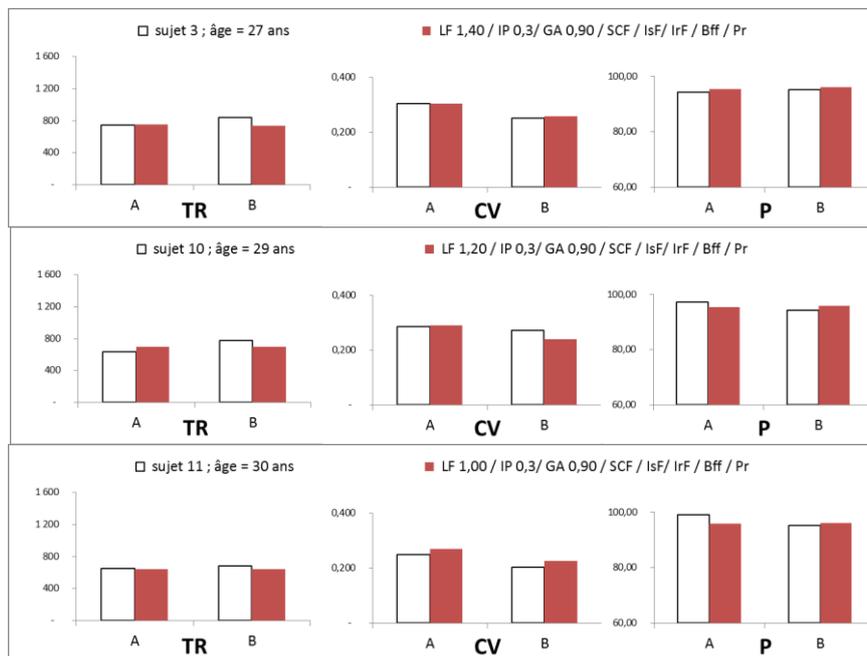
⁹² Le changement d'un paramètre interne au modèle a été effectué pour les simulations présentées dans cette section : le temps depuis la création des chunks de la tâche « congruente » est équivalent à ceux de la tâche « incongruente ». Ils étaient auparavant paramétrés comme étant créés 200s avant les chunks de la tâche « incongruente » (temps nécessaire à la tâche « congruente » pour le bloc A).

3.4.3.2. Reproduction du pattern de performances individuels et test des hypothèses théoriques.

A partir du pattern simulé du groupe, différents paramètres ont été manipulés pour tester la validité de certaines hypothèses théoriques au niveau individuel par la modélisation computationnelle. Deux hypothèses principales ont été testées : l'effet du ralentissement de la vitesse de traitement d'une part, la diminution de la CMT d'autre part.

3.4.3.2.1. Hypothèse du ralentissement de la vitesse de traitement

La première hypothèse testée est l'hypothèse d'une diminution de vitesse de traitement. Le paramètre interpréter comme pouvant simuler la diminution de la vitesse de traitement est le paramètre *lf*. La Figure 64 présente les patterns individuels empiriques (classés par âge croissant) les mieux ajustés aux patterns simulés obtenus par la modification du paramètre de ralentissement.



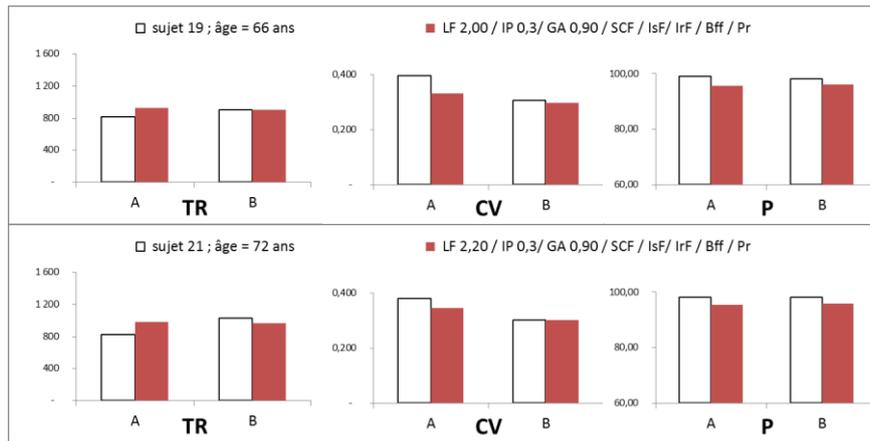
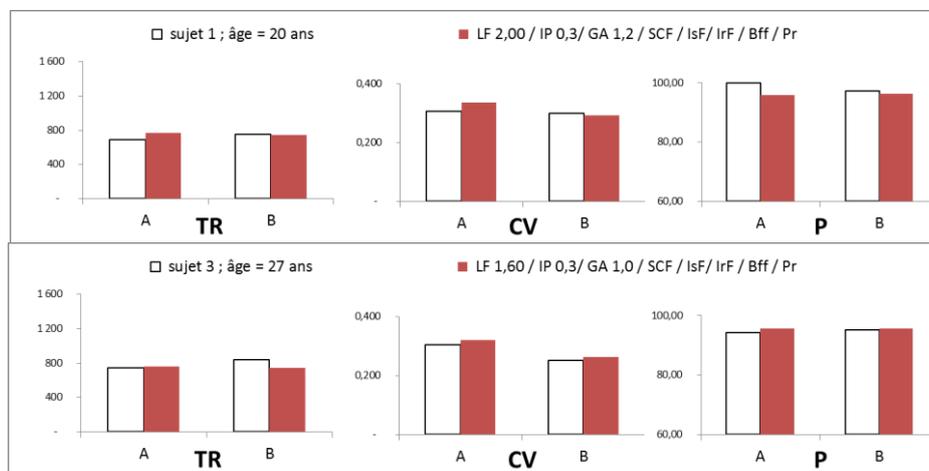


Figure 64 –Patterns empiriques individuels et patterns simulés ajustés par la modification du facteur latence *lf* en condition « congruence » (A) et « incongruence » (B). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

La seule modification du paramètre de ralentissement *lf* permet d’ajuster le modèle du groupe à plusieurs patterns individuels au niveau des TR, de la variabilité et de la précision. On voit cependant que les patterns simulés sont moins bien ajustés aux patterns des individus âgés (par exemple, les sujes 19 et 21) que ceux ajustés aux patterns des individus jeunes (par exemple, les sujets 3 et 10).

3.4.3.2.2. Hypothèse de la diminution de la capacité de la mémoire de travail

Le paramètre *ga* du modèle est généralement interprété en termes de capacité de la mémoire de travail (par ex., Lovett, Reder et Lebiere, 1999). Pour tester l’hypothèse d’une diminution liée au vieillissement de la CMT, nous avons modifié les valeurs des paramètres liés au facteur latence *lf* et à la diffusion de l’activation *ga*. La modification des paramètres a consisté à augmenter indépendamment les valeurs des paramètres *ga* et *lf*.



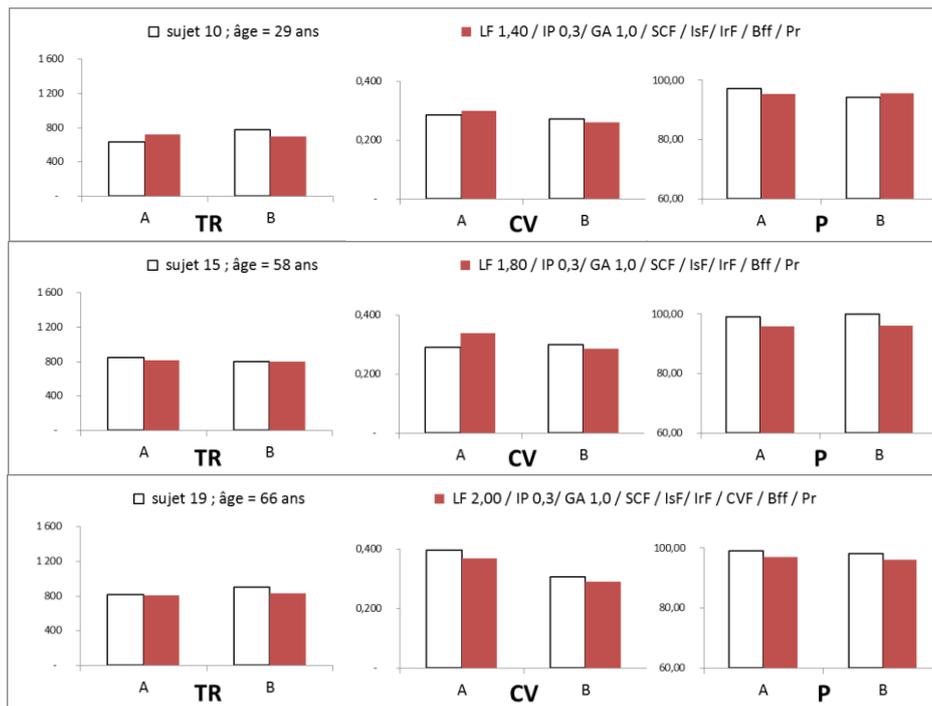


Figure 65 - Patterns empiriques individuels et patterns simulés ajustés par la modification du facteur latence *ga lf* du groupe jeune (PJ) et âgé (PA) en condition « congruence » (A) et « incongruence » (B). TR = Temps de réponse (ms) ; CV = coefficient de variation ; P = Précision (%).

La Figure 65 présente les patterns individuels empiriques (classés par âge croissant) les mieux ajustés aux patterns simulés obtenus par la modification des paramètres *lf* et *ga*. Les simulations effectuées montrent que la modification du paramètre *ga* combinée à celle du paramètre *lf* rend compte de certains profils empiriques individuels. Néanmoins, l'ajustement est assez variable selon les patterns individuels. Il semble en particulier moins bon chez les participants les plus âgés (par exemple, sujet 19). Les patterns obtenus pour une même valeur de *ga* (GA 1,0) apparaissent être en outre les mieux ajustés. Pour ce qui est donc des patterns les mieux ajustés, l'hypothèse d'une différence en termes de ralentissement paraît plus plausible qu'une différence en termes de capacité de la mémoire de travail.

Discussion

Au total, deux types de modélisation ont été ici mises en œuvre. La première catégorie de modèles a cherché à décrire d'un point de vue statistique les effets de certaines variables indépendantes (expérimentales, individuelles) sur la performance d'individus jeunes et âgés à une tâche d'alternance. La seconde catégorie de modèles a cherché à représenter dans le cadre d'un modèle d'architecture cognitive les effets du ralentissement global ou d'une diminution de la capacité de la mémoire de travail (CMT) sur les performances à la tâche d'alternance en

simulant celles-ci. La comparaison des effets observés empiriquement et par simulation apporte des informations intéressantes sur la pertinence des deux hypothèses testées.

Les analyses statistiques effectuées sur les données observées apportent plusieurs informations notables.

Nous avons tout d'abord observé un coût local d'alternance se traduisant par une augmentation des latences en condition « incongruente » par rapport à la condition « congruente ». La mise en évidence d'un effet fixe - négatif - de l'âge sur les latences était également attendue. Nous avons aussi constaté un effet aléatoire significatif de l'intercept, ce qui témoigne une nouvelle fois de l'importance de la variabilité interindividuelle des latences. Nous avons surtout mis en évidence un effet aléatoire de la condition expérimentale « congruent » vs « incongruent ». Ce résultat qui indique que la manipulation expérimentale « congruent » vs « incongruent » n'a pas les mêmes effets selon les individus est évidemment important dans une approche différentielle. Les mécanismes qui sous-tendent cette variabilité restent à élucider.

D'autre part, au niveau de la précision, l'effet de la condition expérimentale indique que les individus répondent moins précisément aux essais « incongruent » en comparaison aux essais de type « congruent ». Un coût d'alternance asymétrique est donc observé : alterner d'un essai « congruent » à un essai « incongruent » conduit à plus d'erreur que passer d'un essai « incongruent » à un essai « congruent ».

Dans le travail de modélisation effectué, tout d'abord le modèle ajusté au pattern de performances moyen du groupe d'individu ne présente pas de différences de TR entre les conditions « congruent » et « incongruent ». Les patterns simulés ne présentent donc pas de coût d'alternance locale alors que ce coût d'alternance est observé empiriquement. Ensuite, par rapport aux patterns individuels ajustés, les patterns simulant le ralentissement présentent généralement un accroissement significatif des TR avec l'augmentation de l'âge des sujets, alors que les patterns simulant la diminution de la CMT ne présentent pas globalement cette tendance. L'hypothèse du ralentissement semble donc reproduire plus correctement l'accroissement des performances associé à l'âge. Cet argument en faveur de l'hypothèse du ralentissement est cependant à interpréter avec prudence étant donné que les individus présentent des différences significatives de performances moyennes. Enfin, aucun pattern simulant le ralentissement ou la diminution de la CMT ne présente de différences de TR ou de précision, entre les conditions « congruente » et « incongruente ». D'autre part, au niveau de

la précision, la différence observée empiriquement entre les essais congruents et incongruents n'est pas reproduite par les patterns simulant les deux hypothèses.

De par, ces nouveaux arguments, le travail de modélisation réalisé ne semble pas prédire suffisamment correctement les performances empiriques individuelles. Cependant, le modèle de base des simulations ne reproduisant pas la différence de performances observées au niveau du groupe entre les essais « congruent » et « incongruent », son ajustement incomplet pourrait être la cause du non ajustement des hypothèses aux performances individuelles empiriques.

Partie 3 - Discussion générale, conclusion et perspectives de recherche

Discussion

L'un des principaux objectifs de cette étude est de mieux comprendre l'origine des effets du vieillissement sur les processus de contrôle attentionnel. Dans ce but, deux tâches d'alternance ont été administrées à des individus jeunes et âgés et un travail de modélisation des processus impliqués dans ces deux tâches d'alternance a été effectué. Dans un premier temps, les études expérimentales ont permis d'observer les effets des contraintes de la tâche sur les performances d'individus jeunes et âgés. Dans un second temps, le travail de modélisation réalisé a permis d'étudier d'une part les effets des manipulations des paramètres sur les performances simulées et d'autre part, la capacité de certaines hypothèses théoriques à pouvoir reproduire les résultats observés empiriquement.

Discussion des résultats empiriques

Les résultats empiriques ont été obtenus par régression linéaires mixtes. Cette méthode présente l'intérêt d'apporter des informations sur les effets des contraintes introduites dans la tâche sur les performances des groupes et des individus.

Concernant la première étude, tout d'abord, les résultats observés indiquent qu'en comparaison au paradigme d'alternance de tâche généralement utilisé, le paradigme « couleur-forme » présente une singularité concernant les effets généraux des contraintes de la tâche sur les performances observées. D'une part, contrairement à la littérature, il n'est pas observé de coût d'alternance global. L'absence de ce coût généralement associé à la capacité de maintien actif des représentations des tâches en mémoire de travail, laisse supposer que dans la tâche « couleur-forme », le maintien actif des représentations des sous-tâches est réalisé sans coût cognitif additionnel. D'autre part, un coût de commutation local est observé. Bien que ce coût soit observé dans la littérature, il est théoriquement surprenant au vu des caractéristiques de la tâche utilisée. En effet, les différentes propriétés de la tâche telles que l'utilisation d'un indice, le nombre restreint de stimuli et de réponses, et l'utilisation de temps de préparation et de récupération longs, tendent à diminuer la probabilité d'observer un coût d'alternance local (Meiran et al., 2000 ; Rogers et Monsell, 1995). En revanche, l'utilisation de réponse bivalente est une variable conduisant à une augmentation du coût d'alternance (Rogers et Monsell, 1995). Cette propriété pourrait donc être à l'origine du coût d'alternance observé.

Ensuite, les résultats indiquent l'absence de coût d'alternance global et local supérieurs chez les personnes âgées d'une part, au niveau des latences (après prise en compte du ralentissement par transformation inverse) et d'autre part au niveau de la précision. Ces résultats divergent partiellement des résultats couramment observés dans la littérature (Wasylyshyn et al, 2011). Les études portant sur l'effet du vieillissement sur les processus de contrôle attentionnel mis en jeu dans les tâches d'alternance indiquent généralement un coût d'alternance local équivalents chez les âgés (Wasylyshyn, et al., 2011), mais en revanche, un coût d'alternance global plus important (Cepeda et al. 2001 ; Kray et Lindenberger, 2000 ; Lien et al. 2008 ; Mayr 2001 ; Verhaeghen et al. 2005 ; pour revue voir Verhaeghen et Cerella 2002 ; voir aussi la méta-analyse de Wasylyshyn, et al., 2011). Seule une étude –publiée– à notre connaissance, celle de Mayr et Kliegl (2000), a également observé cette absence de coût d'alternance global.

Un second résultat, qui peut être relié au précédent, indique des différences interindividuelles au niveau des coûts d'alternance global et local.

D'une part, concernant le coût d'alternance global, l'effet aléatoire correspondant indique une disparité entre les individus au niveau des effets de changement de contraintes entre la condition « homogène » et « commutation ». Certains individus sont affectés par le changement de contraintes entre les conditions homogène et commutation, et montrent une augmentation significative des latences entre ces deux conditions. Les autres individus ne sont pas affectés ou ont des performances plus rapides en condition « commutation » par rapport à la condition « homogène ». Les premiers individus qui présentent un effet du changement de contraintes entre la condition homogène et la condition commutation semblent donc être sensibles au changement de contraintes comme la théorie le suppose (par exemple, Rogers et Monsell, 1995). En revanche les performances des autres individus qui présentent des latences aucunement affectées ou affectés par le changement de condition peuvent être interprétées comme représentant des choix stratégiques qui consistent à privilégier le traitement de la tâche de commutation. Certains ont ainsi pu se focaliser davantage sur la tâche de commutation et paradoxalement, montrer des latences plus courtes en condition de commutation qu'en condition homogène.

D'autre part, l'observation d'un effet aléatoire concernant le changement de condition expérimentale entre la condition répétée et alternée, indique que le coût d'alternance local est également différent selon les individus. Les individus présenteraient des coûts d'alternance variables certains étant plus affectés par le changement de contraintes (de répété à alterné) que

d'autres. De plus, concernant cet effet aléatoire, la corrélation observée avec l'effet aléatoire de l'intercept laisse supposer que les âgés tendraient à être plus affectés par le changement de contraintes entre la condition « alternée » et « répétée ». Les individus âgés présenteraient ainsi une plus grande sensibilité au changement de contraintes dans ces conditions.

Enfin, un coût d'alternance asymétrique (coûts d'alternance différenciés en fonction de l'alternance vers l'une ou l'autre tâche) est observé chez les individus âgés, alors que le paradigme n'indique pas d'asymétrie au niveau de l'ensemble de l'échantillon. Un tel résultat n'a -à notre connaissance- jamais été observé hormis dans des paradigmes présentant une tâche fortement dominante comme dans le test du Stroop. Dans ce genre de paradigme, l'initiation de processus de contrôle inhibiteur est nécessaire afin d'empêcher l'exécution de procédures ou processus liés à la tâche dominante. Aussi, dans cette étude, une interprétation possible de ces résultats se rapporte à l'hypothèse d'un déclin inhibiteur associé au vieillissement. Les individus âgés présenteraient ainsi une sensibilité accrue à l'interférence. Cette interférence pourrait par ailleurs être issue de la bivalence des stimuli utilisés. Ainsi ce coût d'alternance asymétrique pourraient mettre en exergue les difficultés rencontrées par les personnes âgées pour contrôler l'interférence provoquée par la couleur du stimulus (contrairement à sa forme) lors des essais « forme », en condition alternée mais également en condition répétée. Dans chacune de ces conditions, les processus inhibiteurs pourraient être insuffisamment sollicités ou insuffisamment efficaces pour inhiber ou empêcher l'accès de l'information non pertinente en mémoire de travail (Hasher et Zacks, 1988 ; Hasher et al., 2007).

Concernant la seconde étude réalisée, l'alternance de tâche est demandée à chaque essai, il est par conséquent impossible d'étudier le coût d'alternance global. Les analyses ont donc été effectuées sur le seul bloc de commutation. De plus, à notre connaissance aucune étude ne présentait une telle alternance. Cette tâche constitue donc un paradigme « original » et est en ce sens difficilement comparable avec d'autres résultats de la littérature.

D'un point de vue général, les résultats de cette étude montrent que les deux sous tâches, « congruente » et « incongruente » présentent des niveaux de difficultés différents. Le traitement nécessaire à la réalisation des essais « congruent » serait moins complexe que celui des essais « incongruent ». Cette asymétrie se traduit par des temps de réponse plus importants et une précision moins forte pour les essais de la tâche « incongruente » comparés aux essais de la tâche « congruente ».

Ensuite, concernant l'effet du vieillissement cognitif, les résultats indiquent que les individus âgés ne sont pas plus affectés par les contraintes de la tâche que les individus plus jeunes puisque seul un ralentissement des performances est observé. Dans l'ensemble, les individus âgés ne présentent donc pas de difficultés plus importantes pour compléter la tâche comparées aux jeunes. En revanche, les effets aléatoires apportent des informations notables sur les effets des changements de contraintes situationnelles au niveau individuel. D'une part, l'effet de la condition expérimentale « congruent » et « incongruent » indique une variabilité interindividuelle de la sensibilité aux contraintes situationnelles. Autrement dit, les individus réagissent de manière différenciée selon le type d'essai « congruent » et « incongruent ». Certains individus seraient plus sensibles que d'autres aux changements de contraintes et donc à l'alternance elle-même. D'autre part, la corrélation observée entre l'effet aléatoire de la condition expérimentale et celui de l'intercept témoigne du fait que les sujets présentant une sensibilité plus importante au changement de contraintes ont également tendance à avoir des temporisations moyennes plus importantes. Une plus importante sensibilité au changement de contraintes entre la condition « congruente » et « incongruente » est donc observée chez les individus qui répondent plus lentement, soit *a posteriori*, chez les personnes âgées. De plus, de par l'absence de coût d'alternance supérieur pour le groupe âgé, ces résultats laissent supposer que certains individus âgés seraient plus sensibles que d'autres personnes âgées aux changements de contraintes.

Les interprétations possibles de cette accentuation de la sensibilité chez certains âgés sont très diverses. Néanmoins, certaines études ont relevées que certaines propriétés présentes dans le paradigme WB comme le chevauchement des réponses ou l'utilisation de réponses bivalentes, pouvaient provoquer un tel accroissement du coût d'alternance chez les personnes âgées (Lien, Ruthruff et Kuhns, 2006 ; Lien, Ruthruff et Kuhns, 2008 ; Ruthruff, Remington et Johnston, 2001). Les individus âgés présentant une sensibilité accrue au changement de contraintes entre les conditions « congruent » et « incongruent » pourraient être davantage mis en difficulté par l'interférence produite par le chevauchement et la bivalence des réponses en condition « incongruent ».

D'un point de vue général, les résultats observés sur ces deux études ne permettent pas de discriminer d'effet global du vieillissement sur les processus mis en jeu dans les tâches d'alternance utilisées. En revanche, l'analyse des différences individuelles permet d'observer que les individus se différencient du point de vue de leur sensibilité aux contraintes

situationnelles dans les deux tâches. Elles indiquent également que les individus les plus affectés par les contraintes de la tâche auraient tendance à être les personnes âgées.

Dans une perspective différentielle, l'observation de différences interindividuelles de sensibilité aux changements de contraintes situationnelles met en exergue la variabilité de l'efficacité des processus de contrôle attentionnel chez les jeunes d'une part et de manière plus marquée chez les âgés d'autre part. Cet effet accentuateur des différences interindividuelles reste délicat à interpréter.

Discussion des tests des hypothèses

Un des objectifs principal de ce travail est de tester la validité des hypothèses du vieillissement cognitif par la modélisation cognitive. Le but d'une telle démarche est d'appuyer ou de réfuter les hypothèses qui expliqueraient par la simulation les performances observées. Dans notre étude, cette démarche consiste à apporter des arguments en faveur ou en la défaveur des hypothèses testées en comparant les effets observés et les effets simulés.

Deux principales hypothèses explicatives de l'effet du vieillissement cognitif ont été testées dans ce travail : l'hypothèse de la diminution de la vitesse de traitement et l'hypothèse de la diminution de la capacité de la mémoire de travail. Leur validité a été évaluée selon leur capacité à pouvoir reproduire les patterns du groupe âgé dans la première étude, et les différents patterns individuels dans la seconde étude.

Dans la première étude, les résultats des tests d'hypothèses indiquent au premier abord que les patterns simulant l'hypothèse de la diminution de la vitesse de traitement et de la diminution de la CMT sont relativement bien ajustés aux performances moyennes du groupe âgé, bien qu'ils peinent à reproduire la variabilité des latences observées et la diminution de la précision en particulier pour les essais « forme » en condition répétée. Ensuite, la comparaison des effets simulés et des effets observés nous indique principalement que les patterns simulant les deux hypothèses testées ne reproduisent pas correctement les effets des changements de contraintes observés empiriquement entre les deux tâches (coût d'alternance asymétrique chez les âgés). Les résultats des tests pour cette première étude ne sont donc pas favorables aux hypothèses de la diminution de la vitesse de traitement et de la diminution de la CMT, ces deux hypothèses testées ne reproduisant pas suffisamment correctement les patterns simulés et les effets observés empiriquement. Selon les résultats de cette étude, les hypothèses testées

n'expliquent pas correctement les effets du vieillissement sur les processus de contrôle attentionnels.

Dans la seconde étude réalisée, le test d'hypothèse consiste également à évaluer la capacité de reproduction des patterns empiriques mais cette fois au niveau individuel. Les résultats des tests indiquent que les hypothèses testées reproduisent correctement certains patterns de performances individuels empiriques. Cependant, la comparaison entre les patterns simulés et les effets observés empiriquement indique principalement que les patterns simulant les hypothèses de la diminution de la vitesse de traitement et l'hypothèse de la diminution de la CMT ne rendent pas compte des effets différentiels du changement de contraintes entre les conditions « congruent » et « incongruent ». Comme pour la première étude, les résultats des tests, ne sont donc pas favorables aux deux hypothèses testées, ces dernières ne reproduisant pas suffisamment correctement les effets observés empiriquement.

Pour ces deux études, l'hypothèse du ralentissement ou de la diminution de la capacité de la mémoire de travail ne permettent pas de rendre compte des différences des performances observées entre le groupe jeune et âgé. Le travail de simulation effectué apporte donc des arguments en défaveur de leur plausibilité.

Cependant bien que ces résultats soient concordants, une remarque importante doit être apportée : le fait que les modèles de référence sur lesquelles ont été basés les tests d'hypothèses, n'étaient pas ajustés aux effets généraux observés. Ce défaut d'ajustement pourrait expliquer pourquoi les hypothèses n'ont pas reproduit les patterns empiriques des sujets âgés (en supposant qu'elles soient correctes). En effet, pour chacune des tâches, le modèle de référence présentait des incohérences par rapport aux effets observés. D'une part, pour le pattern de référence du modèle CF, un coût de commutation global était observé alors qu'empiriquement il était absent. De plus, ce pattern présentait une différence significative avec le pattern du groupe de référence au niveau de la variabilité des TR. D'autre part, le modèle WB, présentaient lui aussi une incohérence vis-à-vis des effets empiriques, puisqu'il ne reproduisait pas le coût de commutation asymétrique observé au niveau du groupe. Ces différents points montrent que les modèles de base du test d'hypothèse étaient mal ajustés ce qui par conséquent décrédibilise les résultats des tests observés.

Le travail de modélisation réalisé présente donc certaines carences au niveau de l'ajustement des modèles de base aux données de référence. Par conséquent les tests d'hypothèses

explicatives du vieillissement pourraient avoir été biaisés par ce manque d'ajustement des modèles de référence.

Certaines modifications pourraient être apportées au niveau des paramètres des modèles pour qu'il soit davantage ajusté aux données de référence. D'une part, pour le modèle CF, par exemple un réajustement du paramètre du bruit pourrait être pertinent afin de mieux simuler les variations des TR. D'autre part, pour le modèle WB, l'ajout d'un malus pour les représentations de la tâche WB pourrait mieux rendre compte de la différence de difficulté entre les tâches « congruent » et « incongruent », que l'effet du chevauchement entre les réponses des tâches. Pour ces deux modèles, une répétition des simulations avec ces nouveaux paramètres pourrait être envisagée, afin d'observer si la modification de ces paramètres permet de mieux rendre compte des patterns des groupes de référence. Si tel est le cas, les hypothèses pourraient à nouveau être testées.

Discussion sur l'approche par modélisation cognitive

L'approche de la modélisation cognitive suivie dans ce travail présente de grands intérêts pour la compréhension des processus sous-jacents à l'activité cognitive que ce soit pour la tâche d'alternance ou plus généralement pour toute tâche cognitive pouvant être implémentée. Elle offre de nombreuses opportunités d'étude des processus sous-jacents au fonctionnement cognitif humain.

Tout d'abord, elle présente un intérêt pour l'étude des effets des variables implémentées sur les performances simulées. Par exemple, dans notre étude, les simulations des effets simples nous informent sur les effets différenciés des différents mécanismes implémentés sur la performance simulée. D'une part, elles nous indiquent si les effets des paramètres sur la performance sont cohérents avec les effets attendus (e.g, l'augmentation de la capacité de la mémoire de travail permet d'améliorer les performances sur la tâche). D'autre part, elles instruisent également les effets « virtuels » de la manipulation des variables (e.g. l'augmentation de la capacité de la mémoire de travail d'une part, diminue les TR et la variabilité des TR, et d'autre part augmente la précision des performances). La modélisation cognitive permet ainsi de vérifier ou d'apprécier les effets « virtuels » des manipulations de variables sans avoir la nécessité de les tester par la mise en place de protocoles expérimentaux.

Ensuite, la modélisation cognitive a aussi un intérêt du point de vue de l'exploration des effets de la manipulation des variables sur les performances simulées. Par exemple, pour la seconde

étude, il serait intéressant d'essayer de simuler les différences de sensibilité au changement de contraintes observées empiriquement, par la manipulation de facteur présentant une certaine pertinence théorique et psychologique. Ainsi, l'étude de certains mécanismes psychologiques pourrait expliquer la différence de sensibilité observée entre les individus, comme par exemple, le bruit cognitif (Allen, Weber et May, 1993) ou l'initiation de procédures réactives plutôt que proactives (Braver, 2008). De plus, comme l'illustre bien l'exemple précédent, la modélisation permet d'étudier les effets de certaines variables pour lesquelles la mise en place d'un protocole serait complexe voire impossible.

Enfin, la modélisation cognitive permet de tester des hypothèses théoriques et d'observer si ces hypothèses permettent de reproduire les performances empiriques. Dans notre étude, par exemple, les tests d'hypothèses permettent de mesurer la plausibilité des hypothèses à pouvoir rendre compte des différences de performances interindividuelles entre jeunes et âgés.

Conclusion et perspectives de recherches

Ce travail qui porte sur l'étude de l'effet du vieillissement sur les processus de contrôle attentionnels, avait pour objectif de contribuer, à son niveau, à la compréhension des origines des différences interindividuelles observées entre individus jeunes et âgés dans les tâches de commutation attentionnelle. L'originalité de ce travail se situe dans la méthode choisie pour étudier ces effets. Elle consiste en la combinaison d'une part, d'études expérimentales enseignant l'effet du vieillissement sur les processus de contrôle attentionnel mis en jeu dans les tâches d'alternance, et d'autre part, la modélisation cognitive des traitements cognitifs impliqués dans ces tâches. L'intérêt de cette approche dans notre travail est de pouvoir tester la validité de certaines hypothèses théoriques explicatives du vieillissement par la manipulation de paramètres théoriquement pertinents, puis la comparaison des performances simulées aux performances empiriques. En ce qui concerne les résultats des études, les résultats ne confirment pas ceux de la littérature puisque les personnes âgées ne présentent pas un coût supérieur aux personnes jeunes. En revanche, les analyses effectuées ont montré des coûts d'alternance globaux et locaux différenciés selon les individus. Ils présenteraient ainsi une différence de sensibilité aux contraintes situationnelles. En ce qui concerne les tests d'hypothèses réalisés, les deux hypothèses testées ne reproduisent pas suffisamment les effets observés empiriquement pour pouvoir être soutenues.

Parmi les nombreuses perspectives de recherches envisageables, tout d'abord, nous pensons qu'il serait intéressant de corriger certains paramètres des modèles qui semblent finalement mal ajustés. Une réévaluation des simulations pourrait être pertinente à tester, avec en particulier l'insertion d'un bruit cognitif plus important dans le modèle de la tâche CF et l'insertion d'un malus supplémentaire pour les chunks « incongruents » dans le modèle de la tâche WB. Ensuite, nous envisageons également de tester d'autres hypothèses avec le même matériel, par exemple l'hypothèse d'un trouble inhibiteur associé au vieillissement (Hasher et Zacks, 1988) ou la tendance à privilégier l'initiation de processus contrôlés réactifs plutôt que proactifs avec le vieillissement (Braver, 2008). Par ailleurs, une autre perspective de recherche consiste à étudier toujours à partir des modèles réalisés, la dynamique intra-tâche

des processus de la tâche WB (Molenaar et Nesselroade, 2009). Enfin, nous pensons tester la généralisation du modèle sur d'autres tâches d'alternance présentant des structures comparables.

Références Bibliographiques

- Allain, P., Nicoleau, S., Pinon, K., Etcharry-Bouyx, F., Barré, J., Berrut, G., Dubas, F., et al. (2005). Executive functioning in normal aging: A study of action planning using the Zoo Map Test. *Brain and Cognition*, 57(1), 4-7.
- Allport, A., & Wylie, G. (1999). Task-switching: Positive and negative priming of task-set. Dans G. W. Humphreys, J. Duncan, & A. Treisman (Éd.), *Attention, space, and action: Studies in cognitive neuroscience*. (p. 273-296). New York, NY US: Oxford University Press.
- Allport, D. A., Styles, E. A., & Hsieh, S. (1994). Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks. Dans C. Umiltà & M. Moscovitch (Éd.), *Attention and performance 15: Conscious and nonconscious information processing*, Attention and performance series; 1047-0387 (p. 421-452). Cambridge, MA US: The MIT Press.
- Altmann, Erik M. (2007). Cue-independent task-specific representations in task switching: Evidence from backward inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(5), 892-899.
- Altmann, Erik M., & Gray, W. D. (2008). An integrated model of cognitive control in task switching. *Psychological Review*, 115(3), 602-639.
- Anderson, John R. (2007). *How can the human mind occur in the physical universe?* Oxford series on cognitive models and architectures. New York, NY US: Oxford University Press.
- Anderson, John Robert. (1983). *The architecture of cognition*. Cognitive science series. Hillsdale, NJ England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Anderson, J. R. & Lebiere, C. (1998). *The atomic components of thought*. Mahwah, NJ: Erlbaum
- Andrés, P. (2009). Equivalent part set cuing effects in younger and older adults. *European Journal of Cognitive Psychology*, 21, 176-191.
- Andrés, Pilar, & Van der Linden, M. (2000). Age-related differences in supervisory attentional system functions. *The Journals of Gerontology: Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 55B(6), P373-P380.
- Andrés, Pilar, Guerrini, C., Phillips, L. H., & Perfect, T. J. (2008). Differential Effects of Aging on Executive and Automatic Inhibition. *Developmental Neuropsychology*, 33(2), 101-123.
- Arbuthnott, K. D. (2005). The effect of repeated imagery on memory. *Applied Cognitive Psychology*, 19(7), 843-866.
- Arbuthnott, K. D. (2008). Asymmetric switch cost and backward inhibition: Carryover activation and inhibition in switching between tasks of unequal difficulty. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 62(2), 91-100.

- Arbuthnott, K., & Frank, J. (2000). Executive control in set switching: Residual switch cost and task-set inhibition. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 54(1), 33-41.
- Arrington, C. M., & Logan, G. D. (2004). The cost a voluntary task switch. *Psychological Science*, 15(9), 610-615.
- Atkinson, R.C.; Shiffrin, R.M. (1968). "Chapter: Human memory: A proposed system and its control processes". In Spence, K.W.; Spence, J.T.. *The psychology of learning and motivation (Volume 2)*. New York: Academic Press. pp. 89–195.
- Auriacombe, S., Fabrigoule, C., Lafont, S., Amieva, H., Jacqmin-Gadda, H., & Dartigues, J.-F. (2001). Letter and category fluency in normal elderly participants: A population-based study. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 8(2), 98-108.
- Babcock, R. L., & Salthouse, T. A. (1990). Effects of increased processing demands on age differences in working memory. *Psychology and Aging*, 5(3), 421-428.
- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Oxford psychology series; No. 11. New York, NY US: Clarendon Press/Oxford University Press.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology, Working Memory*, 49A(1), 5-28.
- Baddeley, A.(1999) *Essentials of Human Memory*. Psychology Press, Hove.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A., Della Sala, S., & Spinnler, H. (1991). The two-component hypothesis of memory deficit in Alzheimer's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 13(2), 372-380.
- Baddeley, A., Emslie, H., Kolodny, J., & Duncan, J. (1998). Random generation and the executive control of working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 51A(4), 819-852.
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). *Working memory*. In G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 8, pp. 47–89). New York: Academic Press.
- Baddeley, A., Logie, R., Bressi, S., & Sala, S. D. (1986). Dementia and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology, Human memory*, 38(4-A), 603-618.
- Baddeley, A., Thomson, N., & Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 14(6), 575-589.

- Balota, D. A., Dolan, P. O., & Duchek, J. M. (2000). Memory changes in healthy older adults. Dans E. Tulving & F. I. M. Craik (Éd.), *The Oxford handbook of memory*. (p. 395-409). New York, NY US: Oxford University Press.
- Banich, M. T. (2009). Executive Function: The Search for an Integrated Account. *Current Directions in Psychological Science*, 18(2), 89-94.
- Basak, C., & Verhaeghen, P. (2003). Subitizing Speed, Subitizing Range, Counting Speed, the Stroop Effect, and Aging: Capacity Differences and Speed Equivalence. P. Cowan, N. (2000). Processing limits of selective attention and working memory: potential implications for interpreting. *Interpreting*, 5(2), 117-146.
- Belleville, S., Rouleau, N., & Caza, N. (1998). Effect of normal aging on the manipulation of information in working memory. *Memory & Cognition*, 26(3), 572-583.
- Berry, J. M., West, R. L., & Dennehey, D. M. (1989). Reliability and validity of the Memory Self-Efficacy Questionnaire. *Developmental Psychology*, 25(5), 701-713.
- Bopp, K. L., & Verhaeghen, P. (2005). Aging and Verbal Memory Span: A Meta-Analysis. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences & Social Sciences*, 60B(5), P223-P233.
- Bopp, K. L., & Verhaeghen, P. (2007). Age-related differences in control processes in verbal and visuo-spatial working memory: Storage, transformation, supervision, and coordination. *Journal of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 62, P239-P246.
- Bopp, K. L., & Verhaeghen, P. (2009). Working Memory and Aging: Separating the Effects of Content and Context. *Psychology & Aging*, 24(4), 968-980.
- Borst, J. P., Taatgen, N. A., & van Rijn, H. (2010). The problem state: A cognitive bottleneck in multitasking. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(2), 363-382.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108(3), 624-652.
- Brass, M., & von Cramon, D. Y. (2004). Selection for Cognitive Control: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study on the Selection of Task-Relevant Information. *The Journal of Neuroscience*, 24(40), 8847-8852.
- Braver, T. S., & Barch, D. M. (2002). A theory of cognitive control, aging cognition, and neuromodulation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 26(7), 809-817.
- Braver, T. S., & West, R. (2008). Working memory, executive control, and aging. *The handbook of aging and cognition (3rd ed.)*, 311-372.

- Braver, T. S., Barch, D. M., Keys, B. A., Carter, C. S., Cohen, J. D., Kaye, J. A., Janowsky, J. S., et al. (2001). Context processing in older adults: Evidence for a theory relating cognitive control to neurobiology in healthy aging. *Journal of Experimental Psychology: General*, *130*(4), 746-763.
- Braverman, A., & Meiran, N. (2010). Task conflict effect in task switching. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, *74*(6), 568-578.
- Brennan, M., Welsh, M. C., & Fisher, C. B. (1997). Aging and executive function skills: An examination of a community-dwelling older adult population. *Perceptual and Motor Skills*, *84*(3, Pt 2), 1187-1197.
- Brickman, A. M., Paul, R. H., Cohen, R. A., Williams, L. M., MacGregor, K. L., Jefferson, A. L., Tate, D. F., et al. (2005). Category and letter verbal fluency across the adult lifespan: Relationship to EEG theta power. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *20*(5), 561-573.
- Brossard, A., & Cosnier, J. (1981). Processus fondamentaux en oeuvre dans la lecture et la compréhension du langage écrit: Étude des pauses dans la lecture orale. *Psychologie Française*, *26*(2), 133-145.
- Brown, J. (1958). Some Tests of the Decay Theory of Immediate Memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* *10*, 12-21. Peterson, L.R., & Peterson, M.J. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Exp. Psych.*, *58*, 193-198.
- Brown, J. & Braver, T. S (2005). Learned predictions of error likelihood in the anterior cingulate cortex (English). *Science (Wash. D.C.)*, *307*(5712), 1118-1121.
- Brown, J. W., Reynolds, J. R., & Braver, T. S. (2007). A computational model of fractionated conflict-control mechanisms in task-switching. *Cognitive Psychology*, *55*(1), 37-85.
- Bryan, J., & Luszcz, M. A. (2000). Measures of fluency as predictors of incidental memory among older adults. *Psychology and Aging*, *15*(3), 483-489.
- Buchler, N. G., Hoyer, W. J., & Cerella, J. (2008). Rules and more rules: The effects of multiple tasks, extensive training, and aging on task-switching performance. *Memory & Cognition*, *36*(4), 735-748.
- Burgess, P. W., & Shallice, T. (1996). Response suppression, initiation and strategy use following frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, *34*(4), 263-272.
- Butler, K. M., Zacks, R. T., & Henderson, J. M. (1999). Suppression of reflexive saccades in younger and older adults: Age comparisons on an antisaccade task. *Memory & Cognition*, *27*(4), 584-591.
- Cameron, I. G. M., Coe, B. C., Watanabe, M., Stroman, P. W., & Munoz, D. P. (2009). Role of the basal ganglia in switching a planned response. *European Journal of Neuroscience*, *29*(12), 2413-2425.

- Cantor, J., & Engle, R. W. (1993). Working-memory capacity as long-term memory activation: An individual-differences approach. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(5), 1101-1114.
- Cantor, J., Engle, R. W., & Hamilton, G. (1991). Short-term memory, working memory, and verbal abilities: How do they relate? *Intelligence*, 15(2), 229-246.
- Carpenter, P. A., Miyake, A., & Just, M. A. (1994). Working memory constraints in comprehension: Evidence from individual differences, aphasia, and aging. Dans M. A. Gernsbacher (Éd.), *Handbook of psycholinguistics*. (p. 1075-1122). San Diego, CA US: Academic Press.
- Carroll, L. M., Jalbert, A., Penney, A. M., Neath, I., Surprenant, A. M., & Tehan, G. (2010). Evidence for proactive interference in the focus of attention of working memory. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 64(3), 208-214.
- Castel, A. D., Balota, D. A., Hutchison, K. A., Logan, J. M., & Yap, M. J. (2007). Spatial attention and response control in healthy younger and older adults and individuals with Alzheimer's disease: Evidence for disproportionate selection impairments in the simon task. *Neuropsychology*, 21(2), 170-182.
- Cepeda, N. J., Kramer, A. F., & Gonzalez de Sather, J. C. M. (2001). Changes in executive control across the life span: Examination of task-switching performance. *Developmental Psychology*, 37(5), 715-730.
- Cerella, J. (1990). Aging and information processing rate. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (3rd ed., pp. 201-221). San Diego, CA: Academic Press.
- Chen, T., & Li, D. (2007). The Roles of Working Memory Updating and Processing Speed in Mediating Age-related Differences in Fluid Intelligence. *Aging, Neuropsychology & Cognition*, 14(6), 631-646.
- Chevalier, N., & Blaye, A. (2006). Le développement de la flexibilité cognitive chez l'enfant préscolaire: Enjeux théoriques. *L'Année Psychologique*, 106(4), 569-608.
- Chow, S.-M., & Nesselroade, J. R. (2004). General Slowing or Decreased Inhibition? Mathematical Models of Age Differences in Cognitive Functioning. *The Journals of Gerontology: Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 59(3), 101-109.
- Collette, F., & van der Linden, M. (2002). Brain imaging of the central executive component of working memory. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26(2), 105-125.
- Collette, F., Van der Linden, M., & Salmon, E. (1999). Executive dysfunction in Alzheimer's disease. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 35(1), 57-72.

- Collette, F., Van der Linden, M., Laureys, S., Arigoni, F., Delfiore, G., Degueldre, C., Luxen, A., et al. (2007). Mapping the updating process: Common and specific brain activations across different versions of the running span task. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, *43*(1), 146-158.
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, *82*(6), 407-428.
- Compton, D. M., Bachman, L. D., Brand, D., & Avet, T. L. (2000). Age-associated changes in cognitive function in highly educated adults: emerging myths and realities. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, *15*(1), 75-85.
- Connelly, S. L., & Hasher, L. (1993). Aging and the inhibition of spatial location. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *19*(6), 1238-1250.
- Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (1994). Working memory and retrieval: A resource-dependent inhibition model. *Journal of Experimental Psychology: General*, *123*(4), 354-373.
- Conway, A. R. A., Tuholski, S. W., Shisler, R. J., & Engle, R. W. (1999). The effect of memory load on negative priming: An individual differences investigation. *Memory & Cognition*, *27*(6), 1042-1050.
- Corkill, A. J. (1996). Individual differences in metacognition. *Learning and Individual Differences*, *8*, 275-279.
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information processing system. *Psychological Bulletin*, *104*, 163-191.
- Cowan, N. (1993). Activation, attention, and short-term memory. *Memory & Cognition*, *21*, 162-167.
- Cowan, N. (2000). Processing limits of selective attention and working memory: potential implications for interpreting. *Interpreting*, *5*(2), 117-146.
- Craik, F. I. M., & Jennings, J. M. (1992). Human memory. Dans F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Éd.), *The handbook of aging and cognition*. (p. 51-110). Hillsdale, NJ England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Daily, L. Z., Lovett, M. C., & Reder, L. M. (2001). Modeling individual differences in working memory performance: A source activation account. *Cognitive Science: A Multidisciplinary Journal*, *25*(3), 315-353.
- De Jong, R. (2000). An intention-activation account of residual switch costs. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII* (pp. 357-376). Cambridge, MA: MIT Press.
- Dreisbach, G., & Haider, H. (2006). Preparatory adjustment of cognitive control in the task switching paradigm. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*(2), 334-338.
- Dreisbach, G., & Haider, H. (2008). That's what task sets are for: Shielding against irrelevant information. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, *72*(4), 355-361.

- Dreisbach, G., & Haider, H. (2009). How task representations guide attention: Further evidence for the shielding function of task sets. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(2), 477-486.
- Dreisbach, G., Goschke, T., & Haider, H. (2006). Implicit task sets in task switching? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(6), 1221-1233.
- Dreisbach, G., Goschke, T., & Haider, H. (2007). The role of task rules and stimulus-response mappings in the task switching paradigm. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, 71(4), 383-392.
- Druey, M. D., & Hübner, R. (2008a). Response inhibition under task switching: Its strength depends on the amount of task-irrelevant response activation. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, 72(5), 515-527.
- Dujardin, K., Defebvre, L., Grunberg, C., Becquet, E., & Destée, A. (2001). Memory and executive function in sporadic and familial Parkinson's disease. *Brain: A Journal of Neurology*, 124(2), 389-398.
- Dunlosky, J., & Connor, L. T. (1997). Age differences in the allocation of study time account for age differences in memory performance. *Memory & Cognition*, 25(5), 691-700.
- Duverne, S., & Lemaire, P. (2004). Age-Related Differences in Arithmetic Problem-Verification Strategies. *The Journals of Gerontology: Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 59B(3), P135-P142.
- Emerson, M. J., & Miyake, A. (2003). The role of inner speech in task switching: A dual-task investigation. *Journal of Memory and Language*, 48(1), 148-168.
- Engle, R. W. (2002). Working Memory Capacity as Executive Attention. *Current Directions in Psychological Science (Wiley-Blackwell)*, 11(1), 19.
- Engle, R. W., & Kane, M. J. (2004). Executive Attention, Working Memory Capacity, and a Two-Factor Theory of Cognitive Control. Dans B. H. Ross (Éd.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, Vol. 44. (p. 145-199). New York, NY US: Elsevier Science.
- Engle, R. W., Cantor, J., & Carullo, J. (1992). Individual differences in working memory and comprehension: A test of four hypotheses. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 18, 972-992.
- Engle, R. W., Conway, A. R. A., Tuholski, S. W., & Shisler, R. J. (1995). A resource account of inhibition. *Psychological Science*, 6(2), 122-125.
- Engle, R. W., Kane, M. J., & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. Dans A. Miyake & P. Shah (Éd.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. (p. 102-134). New York, NY US: Cambridge University Press.

- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, *128*(3), 309-331.
- Fernandez-Duque, D., Baird, J. A., & Posner, M. I. (2000). Executive attention and metacognitive regulation. *Consciousness & Cognition*, *9*, 288-307.
- Fernandez-Duque, D., & Posner, M. I. (2001). Brain imaging of attentional networks in normal and pathological states. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, Functional neuroimaging and neuropsychology: Convergence, advances and new directions, *23*(1), 74-93.
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive developmental inquiry. *American Psychologist*, *v34 n10 p906*.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2000). Differential roles for visuospatial and verbal working memory in situation model construction. *Journal of Experimental Psychology: General*, *129*(1), 61-83.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The Relations Among Inhibition and Interference Control Functions: A Latent-Variable Analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*(1), 101-135.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, *137*(2), 201-225.
- Garavan, H. (1998). Serial attention within working memory. *Memory & Cognition*, *26*(2), 263-276.
- Gilbert, S. J., & Shallice, T. (2002). Task switching: A PDP model. *Cognitive Psychology*, *44*(3), 297-337.
- Godbout, L., Doucet, C., & Fiola, M. (2000a). The scripting of activities of daily living in normal aging: Anticipation and shifting deficits with preservation of sequencing. *Brain and Cognition*, *43*(1-3), 220-224.
- Goel, V., & Grafman, J. (1995). Are the frontal lobes implicated in « planning » functions? Interpreting data from the Tower of Hanoi. *Neuropsychologia*, *33*(5), 623-642.
- Gombert, J.-L. (1990). *Le développement métalinguistique*. Paris : Presses Universitaires de France, Collection Psychologie d'aujourd'hui.
- Hale, S., Rose, N. S., Myerson, J., Strube, M. J., Sommers, M., Tye-Murray, N., & Spehar, B. (2011). The structure of working memory abilities across the adult life span. *Psychology and Aging*, *26*(1), 92-110.
- Hasher, L., Lustig, C., & Zacks, R. (2007). Inhibitory mechanisms and the control of attention. Dans A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, & J. N. Towse (Éd.), *Variation in working memory*. (p. 227-249). New York, NY US: Oxford University Press.

- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G. H. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*, Vol. 22 (pp. 193-225). New York, NY: Academic Press.
- Hashimoto R, Meguro K, Lee E, Kasai M, et al. (2006). Effect of age and education on the Trail Making Test and determination of normative data for Japanese elderly people: The Tajiri Project. *Psychiatry & Clinical Neurosciences*, 60(4), 422-428.
- Head, D., Kennedy, K. M., Rodrigue, K. M., & Raz, N. (2009). Age differences in perseveration: Cognitive and neuroanatomical mediators of performance on the Wisconsin Card Sorting Test. *Neuropsychologia*, 47(4), 1200-1203. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2009.01.003
- Hong, E. J., & O'Neil Jr, H. F. (2001). Construct validation of a trait self-regulation model. *International Journal of Psychology*, 36(3), 186-194.
- Horoufchin, H., Philipp, A. M., & Koch, I. (2011). The dissipating task-repetition benefit in cued task switching: Task-set decay or temporal distinctiveness? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 37(2), 455-472.
- Hübner, M., Dreisbach, G., Haider, H., & Kluwe, R. H. (2003). Backward inhibition as a means of sequential task-set control: Evidence for reduction of task competition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(2), 289-297.
- Hübner, M., Kluwe, R. H., Luna-Rodriguez, A., & Peters, A. (2004). Response Selection Difficulty and Asymmetrical Costs of Switching Between Tasks and Stimuli: No Evidence for an Exogenous Component of Task-Set Reconfiguration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30(6), 1043-1063.
- Hübner, R., & Druery, M. D. (2008). Multiple response codes play specific roles in response selection and inhibition under task switching. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, 72(4), 415-424.
- Hull, R., Martin, R. C., Beier, M. E., Lane, D., & Hamilton, A. C. (2008). Executive function in older adults: A structural equation modeling approach. *Neuropsychology*, 22(4), 508-522.
- Humes, G. E., Welsh, M. C., Retzlaff, P., & Cookson, N. (1997). Towers of Hanoi and London: Reliability of two executive function tasks. *Assessment*, 4(3), 249-257.
- Jenkins, L., Myerson, J., Hale, S., & Fry, A. F. (1999). Individual and developmental differences in working memory across the life span. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6(1), 28-40.

- Jenkins, L., Myerson, J., Joerding, J. A., & Hale, S. (2000). Converging evidence that visuospatial cognition is more age-sensitive than verbal cognition. *Psychology and Aging, 15*(1), 157-175.
- Jersild A.T. (1927). Mental set and shift. *Archives of Psychology* (Whole No. 89, pp.5–82)
- Juhel, J. (2008). Les fondements cognitifs de l'intelligence. In P.-Y. Gilles (Ed.), *Psychologie différentielle* (pp. 163-226). Paris : Bréal.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review, 99*(1), 122-149.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2000). Working-memory capacity, proactive interference, and divided attention: Limits on long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 26*(2), 336-358.
- Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General, 130*(2), 169-183.
- Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T. W., & Engle, R. W. (2004). The Generality of Working Memory Capacity: A Latent-Variable Approach to Verbal and Visuospatial Memory Span and Reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General, 133*(2), 189-217.
- Kessler, Y., & Meiran, N. (2008). Two dissociable updating processes in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 34*(6), 1339-1348.
- Koch, I. (2001). Automatic and intentional activation of task sets. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 27*(6), 1474-1486.
- Koch, I., Gade, M., & Philipp, A. M. (2004). Inhibition of Response Mode in Task Switching. *Experimental Psychology, 51*(1), 52-58.
- Koch, I., Gade, M., Schuch, S., & Philipp, A. M. (2010). The role of inhibition in task switching: A review. *Psychonomic Bulletin & Review, 17*(1), 1-14.
- Kramer, A. F., Hahn, S., & Gopher, D. (1999). Task coordination and aging: Explorations of executive control processes in the task switching paradigm. *Acta Psychologica, 101*(2-3), 339-378.
- Kramer, A. F., Humphrey, D. G., Larish, J. F., & Logan, G. D. (1994). Aging and inhibition: Beyond a unitary view of inhibitory processing in attention. *Psychology and Aging, 9*(4), 491-512.
- Kray, J., & Lindenberger, U. (2000). Adult age differences in task switching. *Psychology and Aging, 15*(1), 126-147.
- Kray, J., Li, K. Z. H., & Lindenberger, U. (2002). Age-related changes in task-switching components: The role of task uncertainty. *Brain and Cognition, 49*(3), 363-381.

- Lemaire, P., & Bherer, L. (2005). *Psychologie du vieillissement: Une perspective cognitive*. De Boeck Supérieur.
- Liefooghe, B., & Verbruggen, F. (2009). Increasing the difficulty of response selection does not increase the switch cost. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 63(4), 323-327.
- Lien, M.-C., Ruthruff, E., & Kuhns, D. (2008). Age-related differences in switching between cognitive tasks: Does internal control ability decline with age? *Psychology and Aging*, 23(2), 330-341.
- Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (1994). Sensory functioning and intelligence in old age: A strong connection. *Psychology and Aging*, 9(3), 339-355.
- Lindenberger, U., & von Oertzen, T. (2006). Variability in Cognitive Aging: From Taxonomy to Theory. *Lifespan cognition: Mechanisms of change.*, 297-314.
- Lindsen, J. P., & de Jong, R. (2010). Distinguishing between the partial-mapping preparation hypothesis and the failure-to-engage hypothesis of residual switch costs. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*.
- Logan, G. D., & Bundesen, C. (2003). Clever homunculus: Is there an endogenous act of control in the explicit task-cuing procedure? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(3), 575-599.
- Logan, G. D., & Bundesen, C. (2004a). Very clever homunculus: Compound stimulus strategies for the explicit task-cuing procedure. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(5), 832-840.
- Logan, G. D., & Schneider, D. W. (2010). Distinguishing reconfiguration and compound-cue retrieval in task switching. *Psychologica Belgica*, 50(3-4), 413-433.
- Logan, G. D., Schneider, D. W., & Bundesen, C. (2007). Still clever after all these years: Searching for the homunculus in explicitly cued task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(4), 978-994.
- Loonstra, A. S. T. (2001). COWAT Metanorms Across Age, Education, and Gender. *Applied Neuropsychology*, 8(3), 161-166.
- Lovett, M. C. (2005) A strategy-based interpretation of Stroop. *Cognitive Science*, 29, 493-524.
- Luria AR. *Higher cortical functions in man*. New York: Basic Books Inc Publishers, 1966.
- MacDonald, S. W. S., Hultsch, D. F., & Dixon, R. A. (2003). Performance variability is related to change in cognition: Evidence from the Victoria Longitudinal Study. *Psychology and Aging*, 18(3), 510-523.
- Mayr, U., & Keele, S. W. (2000). Changing internal constraints on action: The role of backward inhibition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129(1), 4-26.

- Mayr, U., & Kliegl, R. (1993). Sequential and coordinative complexity: Age-based processing limitations in figural transformations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *19*(6), 1297-1320.
- Mayr, U., & Kliegl, R. (2000). Task-set switching and long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *26*(5), 1124-1140.
- Mayr, U., & Kliegl, R. (2003). Differential effects of cue changes and task changes on task-set selection costs. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *29*(3), 362-372.
- Mayr, U., & Liebscher, T. (2001). Is there an age deficit in the selection of mental sets? *European Journal of Cognitive Psychology*, *13*(1-2), 47-69.
- McDowd, J. M., & Craik, F. I. (1988). Effects of aging and task difficulty on divided attention performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *14*(2), 267-280. doi:10.1037/0096-1523.14.2.267
- McDowd, J. M., & Shaw, R. J. (2000). Attention and aging: A functional perspective. Dans F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Éd.), *The handbook of aging and cognition (2nd ed.)*. (p. 221-292). Mahwah, NJ US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- McElree, B. (2001). Working Memory and Focal Attention. *Journal of Experimental Psychology / Learning, Memory & Cognition*, *27*(3), 817. doi:Article
- Meier, B., Woodward, T. S., Rey-Mermet, A., & Graf, P. (2009). The bivalency effect in task switching: General and enduring. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, *63*(3), 201-210.
- Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *22*(6), 1423-1442.
- Meiran, N., Chorev, Z., & Sapir, A. (2000). Component processes in task switching. *Cognitive Psychology*, *41*(3), 211-253.
- Meiran, N., Kessler, Y., & Adi-Japha, E. (2008). Control by action representation and input selection (CARIS): a theoretical framework for task switching. *Psychological Research*, *72*(5), 473-500.
- Meiran, N., & Gotler, A. (2001). Modelling cognitive control in task switching and ageing. *European Journal of Cognitive Psychology*, *13*(1/2), 165-186.
- Mejia, S. (1998). INDIVIDUAL DIFFERENCES IN MEMORY AND EXECUTIVE FUNCTION ABILITIES DURING NORMAL AGING. *International Journal of Neuroscience*, *95*(3/4), 271.

- Miller, E. K. C., & Cohen, J. D. (2001). AN INTEGRATIVE THEORY OF PREFRONTAL CORTEX FUNCTION. *Annual Review of Neuroscience*, 24(1), 167.
- Miyake, A & Shah, P. (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. (A. Miyake & P. Shah, Éd.). New York, NY US: Cambridge University Press.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex « frontal lobe » tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100.
- Molenaar, P. C. M., & Nesselroade, J. R. (2009). The Recoverability of P-technique Factor Analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 44(1), 130-141.
- Monsell, S. (1996). Control of mental processes. Dans V. Bruce (Éd.), *Unsolved mysteries of the mind: Tutorial essays in cognition*. (p. 93-148). Oxford England: Erlbaum (Uk) Taylor & Francis, Publ.
- Monsell, Stephen. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 134.
- Monsell, Stephen, & Mizon, G. A. (2006). Can the Task-Cuing Paradigm Measure an Endogenous Task-Set Reconfiguration Process? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(3), 493-516.
- Monsell, S., Yeung, N., & Azuma, R. (2000). Reconfiguration of task-set: Is it easier to switch to the weaker task? *Psychological Research*, 63(3/4), 250.
- Monsell, (2000). Reconfiguration of task-set: Is it easier to switch to the weaker task? *Psychological Research*, 63(3/4), 250.
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Psychology*, 81(2), 111.
- Murphy, M. D., Schmitt, F. A., Caruso, M. J., & Sanders, R. E. (1987). Metamemory in older adults: The role of monitoring in serial recall. *Psychology and Aging*, 2(4), 331-339.
- Myerson, J., Hale, S., Rhee, S. H., & Jenkins, L. (1999). Selective interference with verbal and spatial working memory in young and older adults. *The Journals of Gerontology: Series B: Psychological*
- Nelson, T. O., & Narens, L. (1990). Metamemory: A theoretical framework and new findings. In G.Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 26). New York: Academic Press.
- Nelson, T. O., & Narens, L. (1994). Why investigate metacognition? Dans J. Metcalfe & A. P. Shimamura (Éd.), *Metacognition: Knowing about knowing*. (p. 1-25). Cambridge, MA US: The MIT Press.

- Nesselroade, J. R., & Ram, N. (2004). Studying intraindividual variability: What we have learned that will help us understand lives in context. *Research in Human Development, 1*(1-2), 9-29.
- Nieuwenhuis, S., & Monsell, S. (2002). Residual costs in task switching: Testing the failure-to-engage hypothesis. *Psychonomic Bulletin & Review, 9*(1), 86-92.
- Oberauer, K. (2002). Access to information in working memory: Exploring the focus of attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 28*, 411-421.
- Oberauer, K. (2003). Selective attention to elements in working memory. *Experimental Psychology, 50*, 257-269.
- Oberauer, K. (2005). The measurement of working memory capacity. In O. Wilhelm & R. W. Engle (Eds.), *Handbook of understanding and measuring intelligence* (pp 393-408).
- Oberauer, K. (2009). Interference between storage and processing in working memory: Feature overwriting, not similarity-based competition. *Memory & Cognition, 37*(3), 346-357.
- Oberauer, K., & Bialkova, S. (2009). Accessing Information in Working Memory: Can the Focus of Attention Grasp Two Elements at the Same Time? *Journal of Experimental Psychology / General, 138*(1), 64-87.
- Oberauer, K., Süß, H.-M., Wilhelm, O., & Sander, N. (2007). Individual differences in working memory capacity and reasoning ability. Dans A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, & J. N. Towse (Éd.), *Variation in working memory*. (p. 49-75). New York, NY US: Oxford University Press.
- Oberauer, K., Süß, H.-M., Wilhelm, O., & Wittman, W. W. (2003). The multiple faces of working memory: Storage, processing, supervision, and coordination. *Intelligence, 31*(2), 167-193.
- Paxton, J. L., Barch, D. M., Racine, C. A., & Braver, T. S. (2008). Cognitive control, goal maintenance, and prefrontal function in healthy aging. *Cerebral Cortex, 18*(5), 1010-1028.
- Pennequin, V., Sorel, O., & Mainguy, M. (2010). Metacognition, Executive Functions and Aging: The Effect of Training in the Use of Metacognitive Skills to Solve Mathematical Word Problems. *Journal of Adult Development, 17*(3), 168-176.
- Periáñez, J. A., Ríos-Lago, M., Rodríguez-Sánchez, J. M., Adrover-Roig, D., Sánchez-Cubillo, I., Crespo-Facorro, B., Quemada, J. I., et al. (2007). Trail Making Test in traumatic brain injury, schizophrenia, and normal ageing: Sample comparisons and normative data. *Archives of Clinical Neuropsychology, 22*(4), 433-447.
- Phillips, L. H., Kliegel, M., & Martin, M. (2006). Age and planning tasks: The influence of ecological validity. *The International Journal of Aging & Human Development, 62*(2), 175-184.
- Posner, M. I., DiGirolamo, G. J., & Fernandez-Duque, D. (1997). Brain mechanisms of cognitive skills. *Consciousness and Cognition: An International Journal, 6*(2-3), 267-290.

- Postal, V., & Mathey, S. (2007). Différences liées à l'âge lors de la lecture de phrases: Étude des processus d'activation et d'inhibition. *European Review of Applied Psychology/Revue Européenne de Psychologie Appliquée*, 57(2), 91-100.
- Prakash, R. S., Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Kim, J. S., Voss, M. W., & Kramer, A. F. (2009). Age-related differences in the involvement of the prefrontal cortex in attentional control. *Brain and Cognition*, 71(3), 328-335.
- Ram, N., Rabbitt, P., Stollery, B., & Nesselroade, J. R. (2005). Cognitive performance inconsistency: Intraindividual change and variability. *Psychology and Aging, Emotion-Cognition Interactions and the Aging Mind*, 20(4), 623-633.
- Rasmusson, X. D. Z. (1998). Effects of Age and Dementia on the Trail Making Test. *Clinical Neuropsychologist*, 12(2), 169-178.
- Ratcliff, R. (1978). A theory of memory retrieval. *Psychological Review*, 85(2), 59-108.
- Raufaste, E. (2006). Air Traffic Control in ACT-R: a Computational Model of Conflict Detection Between Planes. In *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction in Aeronautics (HCI-Aero'06)* (pp. 258-259). Seattle, USA
- Reder, L. Y., & Schunn, C. D. (1996). Metacognition does not imply awareness: Strategy choice is governed by implicit learning and memory. In L. Y. Reder (Ed.), *Implicit memory and metacognition*. Mahah, NJ: Erlbaum.
- Riby, L. (2004). The effects of age and task domain on dual task performance: A meta-analysis. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16(6), 863-891.
- Riby, L.M., Perfect, T.J. & Stollery, B. (2004). The effects of age and task domain on dual task performance: A meta-analysis. *The European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 863-891
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2), 207-231.
- Rosen, V. M., & Engle, R. W. (1997). The role of working memory capacity in retrieval. *Journal of Experimental Psychology: General*, 126(3), 211-227.
- Rosen, V. M., & Engle, R. W. (1998). Working memory capacity and suppression. *Journal of Memory and Language*, 39(3), 418-436.
- Rubinstein, J. S., Meyer, D. E., & Evans, J. E. (2001). Executive control of cognitive processes in task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(4), 763-797.

- Ruge, H., Braver, T., & Meiran, N. (2009). Attention, intention, and strategy in preparatory control. *Neuropsychologia*, 47(7), 1670-1685.
- Rush, B., Barch, D., & Braver, T. (2006). Accounting for Cognitive Aging: Context Processing, Inhibition or Processing Speed?. *Aging, Neuropsychology & Cognition*, 13(3/4), 588-610.
- Ruthruff, E., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (2001). Switching between simple cognitive tasks: The interaction of top-down and bottom-up factors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(6), 1404-1419.
- Salthouse, T. A., & Fristoe, N. M. (1995). Process analysis of adult age effects on a computer-administered Trail Making Test. *Neuropsychology*, 9(4), 518-528.
- Salthouse, T. A., Fristoe, N. M., Lineweaver, T. T., & Coon, V. E. (1995). Aging of attention: Does the ability to divide decline? *Memory & Cognition*, 23(1), 59-71.
- Salthouse, T. A., Fristoe, N., & Rhee, S. H. (1996). How localized are age-related effects on neuropsychological measures? *Neuropsychology*, 10(2), 272-285.
- Salthouse, T. A., Fristoe, N., McGuthry, K. E., & Hambrick, D. Z. (1998). Relation of task switching to speed, age, and fluid intelligence. *Psychology and Aging*, 13(3), 445-461.
- Salthouse, T. A., Nesselroade, J. R., & Berish, D. E. (2006). Short-term variability in cognitive performance and the calibration of longitudinal change. *The Journals of Gerontology: Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 61(3), P144-PP151.
- Salthouse, T. A., Toth, J., Daniels, K., Parks, C., Pak, R., Wolbrette, M., & Hocking, K. J. (2000). Effects of aging on efficiency of task switching in a variant of the Trail Making Test. *Neuropsychology*, 14(1), 102-111.
- Salvucci, D. D. (2006). Modeling driver behavior in a cognitive architecture. *Human Factors*, 48, 362-380.
- Salvucci, D. D., & Taatgen, N. A. (2008). Threaded cognition: An integrated theory of concurrent multitasking. *Psychological Review*, 115(1), 101-130.
- Schneider, D. W., & Anderson, J. R. (2010). Asymmetric switch costs as sequential difficulty effects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(10), 1873-1894.
- Schneider, D. W., & Logan, G. D. (2009). Selecting a response in task switching: Testing a model of compound cue retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(1), 122-136.
- Smith, E. E. J., & Jonides, J. (1999). Storage and Executive Processes in the Frontal Lobes. *Science*, 283(5408), 1657.
- Sohn, M.-H., & Anderson, J. R. (2001). Task preparation and task repetition: Two-component model of task switching. *Journal of Experimental Psychology: General*.

- Sohn, M.-H., & Anderson, J. R. (2003). Stimulus-related priming during task switching. *Memory & Cognition*, *31*(5), 775-780.
- Somberg, B. L., & Salthouse, T. A. (1982). Divided attention abilities in young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *8*(5), 651-663.
- Sorel, O., & Pennequin, V. (2008). Aging of the planning process: The role of executive functioning. *Brain and Cognition*, *66*(2), 196-201.
- Souchay, C., & Isingrini, M. (2004). Age related differences in metacognitive control: Role of executive functioning. *Brain and Cognition*, *56*(1), 89-99.
- Titz, C., & Verhaeghen, P. (2010). Aging and Directed Forgetting in Episodic Memory: A Meta-Analysis. *Psychology & Aging*, *25*(2), 405-411
- Tomer, R., & Levin, B. E. (1993). Differential effects of aging on two verbal fluency tasks. *Perceptual and Motor Skills*, *76*(2), 465-466.
- Treitz, F. H. H. (2007). Differential Course of Executive Control Changes During Normal Aging. *Aging, Neuropsychology & Cognition*, *14*(4), 370-393.
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2008). Speed and Accuracy of Accessing Information in Working Memory: An Individual Differences Investigation of Focus Switching. *Journal of Experimental Psychology / Learning, Memory & Cognition*, *34*(3), 616-630.
- Van Asselen, M., & Ridderinkhof, K. R. (2000). Shift costs of predictable and unexpected set shifting in young and older adults. *Psychologica Belgica*, *40*(4), 259-273.
- Van der Linden, M., Brédart, S., & Beerten, A. (1994). Age-related differences in updating working memory. *British Journal of Psychology*, *85*(1), 145-152.
- Van Gerven, P. W. M., Meijer, W. A., & Jolles, J. (2007). Education does not protect against age-related decline of switching focal attention in working memory. *Brain and Cognition*, *64*(2), 158-163.
- Van Gerven, P. W. M., Meijer, W. A., Prickaerts, J. H. M., & Van der Veen, F. M. (2008). Aging and Focus Switching in Working Memory: Excluding the Potential Role of Memory Load. *Experimental Aging Research*, *34*(4), 367-378.
- van Maanen, L., van Rijn, H., & Borst, J. P. (2009). Stroop and picture–word interference are two sides of the same coin. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*(6), 987-999.
- Vandamme, K., Szmalec, A., Liefooghe, B., & Vandierendonck, A. (2010). Are voluntary switches corrected repetitions? *Psychophysiology*, *47*(6), 1176-1181.

- Vaughan, L., Basak, C., Hartman, M., & Verhaeghen, P. (2008). Aging and working memory inside and outside the focus of attention: Dissociations of availability and accessibility. *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 15*(6), 703-724.
- Verhaeghen, Paul. (2011). Aging and executive control: Reports of a demise greatly exaggerated. *Current Directions in Psychological Science, 20*(3), 174-180.
- Verhaeghen, Paul, & Basak, C. (2005). Ageing and switching of the focus of attention in working memory: results from a modified N -Back task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A, 58*(1), 134-154.
- Verhaeghen, Paul, & Cerella, J. (2002). Aging, executive control, and attention: A review of meta-analyses. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 26*(7), 849-857.
- Verhaeghen, Paul, & De Meersman, L. (1998a). Aging and the Negative Priming Effect: A Meta-Analysis. *Psychology & Aging, 13*(3), 435. doi:Article
- Verhaeghen, Paul, & De Meersman, L. (1998b). Aging and the Stroop effect: A meta-analysis. *Psychology & Aging, 13*(1), 120.
- Verhaeghen, Paul, & Hoyer, W. J. (2007). Aging, Focus Switching, and Task Switching in a Continuous Calculation Task: Evidence Toward a New Working Memory Control Process. *Aging, Neuropsychology & Cognition, 14*(1), 22-39.
- Verhaeghen, Paul, & Salthouse, T. A. (1997). Meta-analyses of age-cognition relations in adulthood: Estimates of linear and nonlinear age effects and structural models. *Psychological Bulletin, 122*(3), 231-249.
- Verhaeghen, Paul, Cerella, J., & Basak, C. (2006). Aging, Task Complexity, and Efficiency Modes: The Influence of Working Memory Involvement on Age Differences in Response Times for Verbal and Visuospatial Tasks. *Aging, Neuropsychology & Cognition, 13*(2), 254-280.
- Verhaeghen, Paul, Cerella, J., Bopp, K. L., & Basak, C. (2005). Aging and Varieties of Cognitive Control: A Review of Meta-Analyses on Resistance to Interference, Coordination, and Task Switching, and an Experimental Exploration of Age-Sensitivity in the Newly Identified Process of Focus Switching. Dans R. W. Engle, G. Sedek, U. von Hecker, & D. N. McIntosh (Éd.), *Cognitive limitations in aging and psychopathology*. (p. 160-189). New York, NY US: Cambridge University Press.
- Verhaeghen, Paul, Marcoen, A., & Goossens, L. (1993). Facts and fiction about memory aging: A quantitative integration of research findings. *Journals of Gerontology, 48*(4), P157-P171.
- Verhaeghen, Paul, Steitz, D. W., Sliwinski, M. J., & Cerella, J. (2003). Aging and Dual-Task Performance: A Meta-Analysis. *Psychology & Aging, 18*(3), 443.

- Verhaeghen, PaulHoyer. (2007). Aging, Focus Switching, and Task Switching in a Continuous Calculation Task: Evidence Toward a New Working Memory Control Process. *Aging, Neuropsychology & Cognition*, 14(1), 22-39.
- Voigt, S., & Hagendorf, H. (2002). The role of task context for component processes in focus switching. *Psychologische Beiträge, Working memory*, 44(2), 248-274.
- Wasylyshyn, C., Verhaeghen, P., & Sliwinski, M. J. (2011). Aging and task switching: A meta-analysis. *Psychology and Aging*.
- Waszak, F., Hommel, B., & Allport, A. (2003). Task-switching and long-term priming: Role of episodic stimulus-task bindings in task-shift costs. *Cognitive Psychology*, 46(4), 361-413.
- Wecker, N. S., Kramer, J. H., Wisniewski, A., Delis, D. C., & Kaplan, E. (2000). Age effects on executive ability. *Neuropsychology*, 14(3), 409-414.
- West, R., & Alain, C. (2000). Effects of task context and fluctuations of attention on neural activity supporting performance of the Stroop task. *Brain Research*, 873(1), 102-111.
- Wylie, G., & Allport, A. (2000). Task switching and the measurement of « switch costs ». *Psychological Research*, 63(3/4), 212.
- Yeung, N., & Monsell, S. (2003). Switching between tasks of unequal familiarity: The role of stimulus-attribute and response-set selection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(2), 455-469.
- Zhang, Y., & Verhaeghen, P. (2009). Glimpses of a one-speed mind: Focus-switching and search for verbal and visual, and easy and difficult items in working memory. *Acta Psychologica*, 131(3), 235-244.

Annexe

Annexe 1 : Le modèle CF de la tâche de commutation AB (3^e bloc)⁹³.

⁹³ Certaines procédures étant spécifiques à certaines situations (par ex., encoder la forme « carré » du stimulus), leurs appellations spécifient l'action réalisée (par ex., « encode-stimulus-square-filter »).

```

(define-model ModelCF_AB3
  (sgp :mp 1.0 :ms 0.0 :md -0.9 :rt
  0.50 :bll 0.53 :ans 0.225 :mas 4.0 :ga
  0.90 :lf 1.00 :ol 6 :trace-detail low :ul t
  :egs 0.2 :v nil :act t :esc t :le 1.0)
  (chunk-type denomination word
  mean cue value color forme keep kind
  arg1 arg2 ans state )
  (chunk-type meaning type word
  value color mean cue arg1 arg2 )
  (chunk-type denomminate shape
  color cat feature ans )

  (chunk-type match mean kind )

  (add-dm
  (couleur ISA meaning type
  signification word "couleur")
  (forme ISA meaning type
  signification word "forme" )
  (taskcouleur ISA meaning type task
  word "couleur" mean couleur cue
  "capturecolor" arg1 red arg2
  blue )
  (taskforme ISA meaning type task
  word "forme" mean forme cue
  "captureshape" arg1 carre arg2
  rond )
  (taskunrelated ISA meaning word
  "unrelated" type task mean noise cue
  "unrelated")

  (noise ISA meaning)
  (task ISA meaning)
  (signification ISA meaning)
  (catcouleur ISA match mean
  couleur kind "couleur" )
  (catforme ISA match mean forme
  kind "forme" )
  (carre ISA meaning value "carre"
  )
  (rond ISA meaning value "rond"
  )
  (sayrouge ISA denomminate cat
  couleur feature red ans
  "rouge" )
  (saybleu ISA denomminate cat
  couleur feature blue ans "bleu"
  )
  (saycarre ISA denomminate cat
  forme feature carre ans "carre"
  )
  (sayrond ISA denomminate cat
  forme feature rond ans "rond"
  )

  (start isa chunk )
  (attending-cue isa chunk )
  (active isa chunk )
  (attending-meaning isa
  chunk)(attending-meaning2 isa
  chunk)
  (find-meaning isa chunk)(find-
  meaning2 isa chunk)(find-meaning3
  isa chunk)

  (attending-item isa chunk )
  (activating isa chunk )
  (attending-end-subvocalize isa
  chunk )

```

```

(waiting isa chunk)
(denomminating isa chunk)
(denomminate isa chunk)
(identificating isa chunk )
(identificate isa chunk )
(denomminating-bis isa chunk)
(feedback-response isa chunk)
(control-response isa chunk )
(feedback-task isa chunk)
(fb-response isa chunk)
(fb-task isa chunk)
(control-feedback-response isa
meaning)
(attending-subvoc isa chunk
)(attending-sound1 isa
chunk)(attending-sound2 isa
chunk)(attending-sound3 isa chunk)
(attending isa chunk)
(goal isa denomination state start ))
(set-similarities
(CARRE ROND -0.9)
(RED BLUE -0.9)
(CARRE RED -0.9)
(CARRE BLUE -0.9)
(ROND BLUE -0.9)
(ROND RED -0.9)
(task signification -0.6)
(task noise 0.0)
)
(p attending-cue
=goal>
isa denomination
state start
=visual-location>
isa visual-location
?vocal>
state free
==>
+visual>
isa move-attention
screen-pos =visual-location
=goal>
state attending-cue
+aural>
isa clear
)
(p identify-cue
=goal>

```

```

isa denomination
cue nil
state attending-cue
=visual>
isa text
value =val0
?retrieval>
state free
?vocal>
state free
==>
+vocal>
isa speak
string =val0
=goal>
word =val0
cue nil
kind =val0
state find-meaning
+retrieval>
isa meaning
word =val0
+visual>
isa clear
)
(p identify-cue-inhibition-taskA
=goal>
isa denomination
cue "capturecolor"
state attending-cue
=visual>
isa text
value "forme"
?retrieval>
state free
?vocal>
state free
==>
+vocal>
isa speak
string "forme"
=goal>
word "forme"
cue nil
kind "forme"
state find-meaning

```

```

+retrieval>
  isa meaning
  word "forme"
+visual>
  isa clear
)
(p identify-cue-inhibition-taskB
=goal>
  isa denomination
  cue "captureshape"
  state attending-cue
=visual>
  isa text
  value "couleur"
?retrieval>
  state free
?vocal>
  state free
==>
+vocal>
  isa speak
  string "couleur"
=goal>
  word "couleur"
  cue nil
  kind "couleur"
  state find-meaning
+retrieval>
  isa meaning
  word "couleur"
+visual>
  isa clear
)
(p identify-cue-interference-taskA
=goal>
  isa denomination
  cue "captureshape"
  state attending-cue
=visual>
  isa text
  value "couleur"
?retrieval>
  state free
?vocal>
  state free
==>

```

```

+vocal>
  isa speak
  string "couleur"
=goal>
  word "couleur"
  cue nil
  kind "couleur"
  state find-meaning
+retrieval>
  isa meaning
  word "couleur"
  type signification
+visual>
  isa clear
)
(p identify-cue-interference-taskB
=goal>
  isa denomination
  cue "capturecolor"
  state attending-cue
=visual>
  isa text
  value "forme"
?retrieval>
  state free
?vocal>
  state free
==>
+vocal>
  isa speak
  string "forme"
=goal>
  word "forme"
  cue nil
  kind "forme"
  state find-meaning
+retrieval>
  isa meaning
  word "forme"
  type signification
+visual>
  isa clear
)
(p identified-cue-taskA
=goal>
  isa denomination

```

```

  cue "capturecolor"
  state attending-cue
=visual>
  isa text
  value "couleur"
?vocal>
  state free
==>
+vocal>
  isa speak
  string "couleur"
=goal>
  word "couleur"
  cue nil
  keep "capturecolor"
  kind "couleur"
  state attending-item
+visual>
  isa clear
)
(p identified-cue-taskB
=goal>
  isa denomination
  cue "captureshape"
  state attending-cue
=visual>
  isa text
  value "forme"
?vocal>
  state free
==>
+vocal>
  isa speak
  string "forme"
=goal>
  word "forme"
  cue nil
  keep "captureshape"
  kind "forme"
  state attending-item
+visual>
  isa clear
)
(p inhibe-cue-meaning-taskB
=goal>
  isa denomination

```

```

    cue "captureshape"
    state attending-cue
=visual>
    isa text
    value "forme"
?retrieval>
    state free
?vocal>
    state free
==>
+vocal>
    isa speak
    string "forme"
=goal>
    word "forme"
    cue nil
    kind "forme"
    state find-meaning
+retrieval>
    isa meaning
    word "forme"
+visual>
    isa clear
)
(p inhibe-cue-meaning-taskA
=goal>
    isa denomination
    cue "capturecolor"
    state attending-cue
=visual>
    isa text
    value "couleur"
?retrieval>
    state free
?vocal>
    state free
==>
+vocal>
    isa speak
    string "couleur"
=goal>
    word "couleur"
    cue nil
    kind "couleur"
    state find-meaning
+retrieval>

```

```

    isa meaning
    word "couleur"
+visual>
    isa clear
)
(p identified-cue-taskA-coactive
=goal>
    isa denomination
    cue "capturecolor"
    state attending-cue
=visual>
    isa text
    value "couleur"
?vocal>
    state free
==>
+vocal>
    isa speak
    string "couleur"
=goal>
    mean nil
    keep "capturecolor"
    arg1 red
    arg2 blue
    kind "couleur"
    state attending-subvoc
)
(p identified-cue-taskB-coactive
=goal>
    isa denomination
    cue "captureshape"
    state attending-cue
=visual>
    isa text
    value "forme"
?vocal>
    state free
==>
+vocal>
    isa speak
    string "forme"
=goal>
    mean nil
    keep "captureshape"
    arg1 carre
    arg2 rond

```

```

    kind "forme"
    state attending-subvoc
)
(p encodage-signification-taskA-
wrong
=goal>
    isa denomination
    word "couleur"
    mean nil
    arg2 nil
    state find-meaning
=retrieval>
    isa meaning
    word "forme"
    cue nil
==>
=goal>
    arg1 "listened"
    state attending-item
)
(p encodage-signification-taskB-
wrong
=goal>
    isa denomination
    word "forme"
    mean nil
    arg2 nil
    state find-meaning
=retrieval>
    isa meaning
    word "couleur"
    cue nil
==>
=goal>
    arg1 "listened"
    state attending-item
)
(p cannot-identify-cue
=goal>
    isa denomination
    word =val0
    mean nil
    arg2 nil
    state find-meaning
?retrieval>
    state error
==>
=goal>

```

```

    arg1 "listened"
    state attending-item
  )
  (p encodage-schema-task-unrelated
  =goal>
    isa denomination
    value nil
    color nil
    forme nil
    arg2 nil
    state find-meaning
  =retrieval>
    isa meaning
    mean noise
  ==>
  =goal>
    cue nil
    value nil
    color nil
    forme nil
    keep nil
    arg1 "listened"
    state attending-item
  )
  (p encoding-interference-taskA-keep
  =goal>
    isa denomination
    word "couleur"
    keep "capturecolor"
    arg2 nil
    state find-meaning
  =retrieval>
    isa meaning
    word "forme"
    cue nil
  ==>
  =goal>
    arg1 "finish"
    state attending-item
  )
  (p encoding-interference-taskB-keep
  =goal>
    isa denomination
    word "forme"
    keep "captureshape"
    arg2 nil

```

```

    state find-meaning
  =retrieval>
    isa meaning
    word "couleur"
    cue nil
  ==>
  =goal>
    arg1 "finish"
    state attending-item
  )
  (p encodage-schema-task-interference-taskA
  =goal>
    isa denomination
    word "couleur"
    arg2 nil
    state find-meaning
  =retrieval>
    isa meaning
    word "forme"
    cue =val2
  ==>
  =goal>
    mean nil
    cue =val2
    arg1 "finish"
    state attending-item
  )
  (p encodage-schema-task-interference-taskB
  =goal>
    isa denomination
    word "forme"
    arg2 nil
    state find-meaning
  =retrieval>
    isa meaning
    word "couleur"
    cue =val2
  ==>
  =goal>
    mean nil
    cue =val2
    arg1 "finish"
    state attending-item
  )
  (p encodage-schema-taskA-simple
  =goal>

```

```

    isa denomination
    word "couleur"
    arg2 nil
    state find-meaning
  =retrieval>
    isa meaning
    word "couleur"
    cue =val2
  ==>
  =goal>
    word nil
    mean nil
    cue =val2
    arg1 "finish"
    state attending-item
  )
  (p encodage-schema-taskB-simple
  =goal>
    isa denomination
    word "forme"
    state find-meaning
  =retrieval>
    isa meaning
    word "forme"
    cue =val2
  ==>
  =goal>
    word nil
    mean nil
    cue =val2
    value nil
    color nil
    forme nil
    arg1 "finish"
    arg2 nil
    state attending-item
  )
  (p encodage-schema-taskA-coactive
  =goal>
    isa denomination
    word "couleur"
    arg1 nil
    arg2 nil
    kind "couleur"
    state find-meaning
  =retrieval>

```

```

isa meaning
word "couleur"
cue =val2
arg1 =CAT1
arg2 =CAT2
==>
=goal>
word nil
mean nil
cue =val2
arg1 =CAT1
arg2 =CAT2
state attending-subvoc
)
(p encodage-schema-taskB-coactive
=goal>
isa denomination
word "forme"
arg1 nil
arg2 nil
kind "forme"
state find-meaning
=retrieval>
isa meaning
word "forme"
cue =val2
arg1 =CAT1
arg2 =CAT2
==>
=goal>
word nil
mean nil
cue =val2
arg1 =CAT1
arg2 =CAT2
state attending-subvoc
)
(p encodage-signification-taskA
=goal>
isa denomination
word "couleur"
mean nil
state find-meaning
=retrieval>
isa meaning
word "couleur"

```

```

cue nil
==>
=goal>
mean =retrieval
state attending-item
)
(p encodage-signification-taskB
=goal>
isa denomination
word "forme"
mean nil
state find-meaning
=retrieval>
isa meaning
word "forme"
cue nil
==>
=goal>
mean =retrieval
state attending-item
)
(p imaginal-B1
=goal>
isa denomination
value nil
arg1 carre
state attending-subvoc
?imaginal>
state free
?vocal>
processor free
==>
=goal>
cue "captureshape"
value nil
forme nil
arg1 "carre"
state attending-end-subvocalize
+imaginal>
isa denomminate
cat forme
feature carre
ans "carre"
+vocal>
isa subvocalize
string "carre"

```

```

)
(p imaginal-B2
=goal>
isa denomination
value nil
arg2 rond
state attending-subvoc
?imaginal>
state free
?vocal>
processor free
==>
=goal>
cue "captureshape"
value nil
color nil
forme nil
arg2 "rond"
state attending-end-subvocalize
+imaginal>
isa denomminate
cat forme
feature rond
ans "rond"
+vocal>
isa subvocalize
string "rond"
)
(p imaginal-A1
=goal>
isa denomination
value nil
arg1 red
state attending-subvoc
?imaginal>
state free
?vocal>
processor free
==>
=goal>
cue "capturecolor"
value nil
color nil
forme nil
arg1 "rouge"
state attending-end-subvocalize

```

```

+imaginal>
  isa denomminate
  cat couleur
  feature red
  ans "rouge"
+vocal>
  isa subvocalize
  string "rouge"
)
(p imaginal-A2
=goal>
  isa denomination
  value nil
  arg2 blue
  state attending-subvoc
?imaginal>
  state free
?vocal>
  processor free
==>
=goal>
  cue "capturecolor"
  value nil
  color nil
  forme nil
  arg2 "bleu"
  state attending-end-subvocalize
+imaginal>
  isa denomminate
  cat couleur
  feature blue
  ans "bleu"
+vocal>
  isa subvocalize
  string "bleu"
)
(p imaginal-subvocal
=goal>
  isa denomination
  state attending-end-subvocalize
=imaginal>
  isa denomminate
==>
=goal>
  value nil
  color nil

```

```

  forme nil
  state attending-subvoc
-imaginal>
)
(p imaginal-end-subvocal-taskA
=goal>
  isa denomination
  state attending-end-subvocalize
  arg1 "rouge"
  arg2 "bleu"
=imaginal>
  isa denomminate
==>
=goal>
  value nil
  color nil
  forme nil
  state attending-item
-imaginal>
)
(p imaginal-end-subvocal-taskB
=goal>
  isa denomination
  state attending-end-subvocalize
  arg1 "carre"
  arg2 "rond"
=imaginal>
  isa denomminate
==>
=goal>
  value nil
  color nil
  forme nil
  state attending-item
-imaginal>
)
(p attending-stimulus-keep
=goal>
  isa denomination
  word =val0
  keep =VAL2
  state attending-item
=visual-location>
  isa visual-location
?vocal>
  state free

```

```

==>
+visual>
  isa move-attention
  screen-pos =visual-location
=goal>
  mean nil
  cue =VAL2
  keep nil
  arg1 nil
  arg2 nil
  state waiting
)
(p attending-stimulus-keep-filter
=goal>
  isa denomination
  word nil
  value nil
  color nil
  forme nil
  keep =VAL2
  state attending-item
=visual-location>
  isa visual-location
?vocal>
  state free
==>
+visual>
  isa move-attention
  screen-pos =visual-location
=goal>
  word nil
  mean nil
  cue =VAL2
  keep nil
  arg1 nil
  arg2 nil
  state waiting
)
(p attending-stimulus
=goal>
  isa denomination
  color nil
  forme nil
  keep nil
  state attending-item
=visual-location>

```

```

    isa visual-location
?visual>
    state free
==>
+visual>
    isa move-attention
    screen-pos =visual-location
=goal>
    value "no control"
    arg1 nil
    arg2 nil
    state waiting
)
(p attending-stimulus-control-A
=goal>
    isa denomination
    value nil
    color nil
    forme nil
    keep nil
    kind "couleur"
    state attending-item
=visual-location>
    isa visual-location
?visual>
    state free
==>
+visual>
    isa move-attention
    screen-pos =visual-location
=goal>
    arg1 nil
    arg2 nil
    state waiting
)
(p attending-stimulus-control-B
=goal>
    isa denomination
    value nil
    color nil
    forme nil
    keep nil
    kind "forme"
    state attending-item
=visual-location>
    isa visual-location

```

```

?visual>
    state free
==>
+visual>
    isa move-attention
    screen-pos =visual-location
=goal>
    arg1 nil
    arg2 nil
    state waiting
)
(p encode-stimulus1
=goal>
    isa denomination
    word =VAL0
    cue nil
    state waiting
=visual>
    isa text
    value "carre"
    color =color
==>
=goal>
    color =color
    forme carre
    state denomminate
+retrieval>
    isa denomminate
    feature =color
    feature carre
)
(p encode-stimulus2
=goal>
    isa denomination
    word =VAL0
    cue nil
    state waiting
=visual>
    isa text
    value "rond"
    color =color
==>
=goal>
    color =color
    forme rond
    state denomminate

```

```

+retrieval>
    isa denomminate
    feature =color
    feature rond
)
(p encode-stimulus1-taskA
=goal>
    isa denomination
    cue "capturecolor"
    state waiting
=visual>
    isa text
    value "carre"
    color =color
==>
=goal>
    color =color
    forme nil
    state denomminate
+retrieval>
    isa denomminate
    feature =color
    feature carre
)
(p encode-stimulus2-taskA
=goal>
    isa denomination
    cue "capturecolor"
    state waiting
=visual>
    isa text
    value "rond"
    color =color
==>
=goal>
    color =color
    forme nil
    state denomminate
+retrieval>
    isa denomminate
    feature =color
    feature rond
)
(p encode-stimulus1-taskB
=goal>
    isa denomination

```

```

    cue "captureshape"
    state waiting
=visual>
    isa text
    value "carre"
    color =color
==>
=goal>
    color nil
    forme carre
    state denomminate
+retrieval>
    isa denomminate
    feature =color
    feature carre
)
(p encode-stimulus2-taskB
=goal>
    isa denomination
    cue "captureshape"
    state waiting
=visual>
    isa text
    value "rond"
    color =color
==>
=goal>
    color nil
    forme rond
    state denomminate
+retrieval>
    isa denomminate
    feature =color
    feature rond
)
(p encode-stimulus-color-filter
=goal>
    isa denomination
    cue "capturecolor"
    value nil
    color nil
    forme nil
    state waiting
=visual>
    isa text
    value =shape

```

```

    color =color
?retrieval>
    state free
==>
=goal>
    value nil
    color =color
    forme nil
    state denomminate
+retrieval>
    isa denomminate
    feature =color
)
(p encode-stimulus-square-filter
=goal>
    isa denomination
    cue "captureshape"
    color nil
    forme nil
    state waiting
=visual>
    isa text
    value "carre"
    color =color
?retrieval>
    state free
==>
=goal>
    forme carre
    state denomminate
+retrieval>
    isa denomminate
    feature carre
)
(p encode-stimulus-round-filter
=goal>
    isa denomination
    cue "captureshape"
    state waiting
=visual>
    isa text
    value "rond"
    color =color
?retrieval>
    state free
==>

```

```

=goal>
    forme rond
    state denomminate
+retrieval>
    isa denomminate
    feature rond
)
(p select-response-taskAbis
=goal>
    isa denomination
    word "couleur"
    color =color
    state denomminating-bis
?retrieval>
    state free
==>
=goal>
    state denomminate
+retrieval>
    isa denomminate
    feature =color
    feature =color
)
(p select-response-taskA-bis
=goal>
    isa denomination
    cue "capturecolor"
    color =color
    state denomminating-bis
?retrieval>
    state free
==>
=goal>
    state denomminate
+retrieval>
    isa denomminate
    feature =color
    feature =color
)
(p select-response-taskBbis
=goal>
    isa denomination
    word "forme"
    forme =forme
    state denomminating-bis
?retrieval>

```

```

state free
==>
=goal>
state denomminate
+retrieval>
isa denomminate
feature =forme
feature =forme
)
(p select-response-taskB-bis
=goal>
isa denomination
cue "captureshape"
forme =forme
state denomminating-bis
?retrieval>
state free
==>
=goal>
state denomminate
+retrieval>
isa denomminate
feature =forme
feature =forme
)
(p control-response
=goal>
isa denomination
cue nil
value nil
kind =kind
state denomminate
=retrieval>
isa denomminate
cat =association
ans =ans
==>
=goal>
cue =association
ans =ans
value nil
state control-response
+retrieval>
isa match
kind =kind
)

```

```

(p response-control-A1
=goal>
isa denomination
color red
kind "couleur"
state control-response
=retrieval>
isa match
mean couleur
?vocal>
state free
==>
+vocal>
isa speak
string "rouge"
=goal>
value "rouge"
state feedback-response
+visual>
isa clear
)
(p response-control-A2
=goal>
isa denomination
color blue
kind "couleur"
state control-response
=retrieval>
isa match
mean couleur
?vocal>
state free
==>
+vocal>
isa speak
string "bleu"
=goal>
value "bleu"
state feedback-response
+visual>
isa clear
)
(p response-control-B1
=goal>
isa denomination
forme carre

```

```

kind "forme"
state control-response
=retrieval>
isa match
mean forme
?vocal>
state free
==>
+vocal>
isa speak
string "carre"
=goal>
value "carre"
state feedback-response
+visual>
isa clear
)
(p response-control-B2
=goal>
isa denomination
forme rond
kind "forme"
state control-response
=retrieval>
isa match
mean forme
?vocal>
state free
==>
+vocal>
isa speak
string "rond"
=goal>
value "rond"
state feedback-response
+visual>
isa clear
)
(p response-control-erroné
=goal>
isa denomination
ans =ans
state control-response
=retrieval>
isa match
?vocal>

```

```

state free
==>
+vocal>
isa speak
string =ans
=goal>
value =ans
state feedback-response
+visual>
isa clear
)
(p cannot-control
=goal>
isa denomination
ans =ans
state control-response
?retrieval>
state error
?vocal>
state free
==>
+vocal>
isa speak
string =ans
=goal>
value =ans
cue nil
state control-feedback-
response
+visual>
isa clear
)
(p control-no-FB-response-A1
=goal>
isa denomination
color red
value "rouge"
ans "rouge"
kind "couleur"
cue couleur
state control-feedback-
response
==>
=goal>
value nil
cue nil
color nil
forme nil

```

```

state feedback-task
)
(p control-no-FB-response-A2
=goal>
isa denomination
color blue
value "bleu"
ans "bleu"
kind "couleur"
cue couleur
state control-feedback-
response
==>
=goal>
value nil
cue nil
color nil
forme nil
state feedback-task
)
(p control-no-FB-response-B1
=goal>
isa denomination
forme carre
value "carre"
ans "carre"
kind "forme"
cue forme
state control-feedback-
response
==>
=goal>
value nil
cue nil
color nil
forme nil
state feedback-task
)
(p control-no-FB-response-B2
=goal>
isa denomination
forme rond
value "rond"
ans "rond"
kind "forme"
cue forme
state control-feedback-
response

```

```

==>
=goal>
value nil
cue nil
color nil
forme nil
state feedback-task
)
(p control-FB-response
=goal>
isa denomination
state control-feedback-
response
==>
=goal>
value nil
cue nil
state feedback-response
)
(p inhibition-wrong-response-taskA-
1
=goal>
isa denomination
cue "capturecolor"
color red
arg1 nil
kind "couleur"
state denomminate
=retrieval>
isa denomminate
ans "bleu"
==>
=goal>
arg1 "inhibe"
state denomminating-bis
)
(p inhibition-wrong-response-taskA-
2
=goal>
isa denomination
cue "capturecolor"
color blue
arg1 nil
kind "couleur"
state denomminate
=retrieval>
isa denomminate
ans "rouge"

```

```

==>
=goal>
  arg1 "inhibe"
  state denomminating-bis
)
(p inhibition-wrong-response-taskB-
1
=goal>
  isa denomination
  cue "captureshape"
  forme carre
  arg1 nil
  kind "forme"
  state denomminate
=retrieval>
  isa denomminate
  ans "rond"
==>
=goal>
  arg1 "inhibe"
  state denomminating-bis
)
(p inhibition-wrong-response-taskB-
2
=goal>
  isa denomination
  cue "captureshape"
  forme rond
  arg1 nil
  kind "forme"
  state denomminate
=retrieval>
  isa denomminate
  ans "carre"
==>
=goal>
  arg1 "inhibe"
  state denomminating-bis
)
(p inhibition-response-interference-
by-cue-taskA
=goal>
  isa denomination
  cue "capturecolor"
  arg1 nil
  kind "couleur"
  state denomminate
=retrieval>

```

```

  isa denomminate
  cat forme
==>
=goal>
  arg1 "inhibe"
  state denomminating-bis
)
(p inhibition-response-interference-
by-cue-taskB
=goal>
  isa denomination
  cue "captureshape"
  arg1 nil
  kind "forme"
  state denomminate
=retrieval>
  isa denomminate
  cat couleur
==>
=goal>
  arg1 "inhibe"
  state denomminating-bis
)
(p erreur-interference-taskA
=goal>
  isa denomination
  cue "captureshape"
  kind "couleur"
  state denomminate
=retrieval>
  isa denomminate
  cat forme
  ans =ans
?vocal>
  state free
==>
+vocal>
  isa speak
  string =ans
=goal>
  color nil
  forme nil
  cue nil
  state feedback-task
+visual>
  isa clear
)

```

```

(p erreur-interference-taskB
=goal>
  isa denomination
  cue "capturecolor"
  kind "forme"
  state denomminate
=retrieval>
  isa denomminate
  cat couleur
  ans =ans
?vocal>
  state free
==>
+vocal>
  isa speak
  string =ans
=goal>
  color nil
  forme nil
  cue nil
  state feedback-task
+visual>
  isa clear
)
(p cannot-select-error-
feedbackresponse
=goal>
  isa denomination
  arg1 =val4
  state denomminate
?vocal>
  state error
?vocal>
  state free
==>
+vocal>
  isa speak
  string "error"
=goal>
  state feedback-response
+visual>
  isa clear
)
(p cannot-select-error-retry
=goal>
  isa denomination
  arg1 nil

```

```

state denomminate
?retrieval>
state error
==>
=goal>
state denomminating-bis
)
(p select-response-correct-B1
=goal>
isa denomination
forme carre
kind "forme"
state denomminate
=retrieval>
isa denomminate
ans "carre"
?vocal>
state free
==>
+vocal>
isa speak
string "carre"
=goal>
color nil
forme nil
state feedback-task
+visual>
isa clear
)
(p select-response-correct-B2
=goal>
isa denomination
forme rond
kind "forme"
state denomminate
=retrieval>
isa denomminate
ans "rond"
?vocal>
state free
==>
+vocal>
isa speak
string "rond"
=goal>
color nil

```

```

forme nil
state feedback-task
+visual>
isa clear
)
(p select-response-correct-A1
=goal>
isa denomination
color red
kind "couleur"
state denomminate
=retrieval>
isa denomminate
ans "rouge"
?vocal>
state free
==>
+vocal>
isa speak
string "rouge"
=goal>
color nil
forme nil
state feedback-task
+visual>
isa clear
)
(p select-response-correct-A2
=goal>
isa denomination
color blue
kind "couleur"
state denomminate
=retrieval>
isa denomminate
ans "bleu"
?vocal>
state free
==>
+vocal>
isa speak
string "bleu"
=goal>
color nil
forme nil
state feedback-task

```

```

+visual>
isa clear
)
(p selected-response
=goal>
isa denomination
state denomminate
=retrieval>
isa denomminate
ans =ans
?vocal>
state free
==>
+vocal>
isa speak
string =ans
=goal>
state feedback-response
+visual>
isa clear
)
(p response-feedback-B1
=goal>
isa denomination
forme carre
kind "forme"
state feedback-response
?imaginal>
state free
==>
=goal>
state fb-response
+imaginal>
isa denomminate
cat forme
feature carre
ans "carre"
)
(p response-feedback-B2
=goal>
isa denomination
forme rond
kind "forme"
state feedback-response
?imaginal>
state free

```

```

==>
=goal>
  state fb-response
+imaginal>
  isa denomminate
  cat forme
  feature rond
  ans "rond"
)
(p response-feedback-A1
=goal>
  isa denomination
  color red
  kind "couleur"
  state feedback-response
?imaginal>
  state free
==>
=goal>
  state fb-response
+imaginal>
  isa denomminate
  cat couleur
  feature red
  ans "rouge"
)
(p response-feedback-A2
=goal>
  isa denomination
  color blue
  kind "couleur"
  state feedback-response
?imaginal>
  state free
==>
=goal>
  state fb-response
+imaginal>
  isa denomminate
  cat couleur
  feature blue
  ans "bleu"
)
(p feedback-response
=goal>
  isa denomination

```

```

  state fb-response
=imaginal>
  isa denomminate
==>
=goal>
  mean nil
  cue nil
  forme nil
  color nil
  value nil
  ans nil
  state feedback-task
-imaginal>
)
(p no-response-feedback
=goal>
  isa denomination
  mean nil
  cue nil
  state feedback-response
==>
=goal>
  forme nil
  color nil
  state feedback-task
)
(p no-response-feedback-A
=goal>
  isa denomination
  cue "captureshape"
  forme =forme
  kind "couleur"
  state feedback-response
==>
=goal>
  forme nil
  cue nil
  state feedback-task
)
(p no-response-feedback-B
=goal>
  isa denomination
  cue "capturecolor"
  color =color
  kind "forme"
  state feedback-response

```

```

==>
=goal>
  color nil
  cue nil
  state feedback-task
)
(p encode-stimulus-reactiveA
=goal>
  isa denomination
  mean nil
  cue nil
  arg1 nil
  state waiting
=visual>
  isa text
  value "carre"
  color =color
==>
=goal>
  color =color
  forme carre
  state attending-meaning2
)
(p encode-stimulus-reactiveB
=goal>
  isa denomination
  mean nil
  cue nil
  arg1 nil
  state waiting
=visual>
  isa text
  value "rond"
  color =color
==>
=goal>
  color =color
  forme rond
  state attending-meaning2
)
(p retrieve-meaning-cue-reactive
=goal>
  isa denomination
  word =VAL0
  state attending-meaning2
?retrieval>

```

```

state free
==>
=goal>
state find-meaning2
+retrieval>
isa meaning
word =VAL0
)
(p retrieve-meaning-cue-reactive-
lost-cue
=goal>
isa denomination
arg2 nil
state attending-meaning2
=aural-location>
isa audio-event
?aural>
state free
==>
=goal>
word nil
state attending-sound3
+aural>
isa sound
event =aural-location
)
(p encodage-schema-taskA-
meaning-reactive
=goal>
isa denomination
color =color
forme =forme
kind "couleur"
state find-meaning2
=retrieval>
isa meaning
word "couleur"
cue nil
==>
=goal>
mean =retrieval
cue nil
state denomminate
+retrieval>
isa denomminate
feature =color
feature =forme
)

```

```

(p encodage-schema-taskB-
meaning-reactive
=goal>
isa denomination
color =color
forme =forme
kind "forme"
=retrieval>
isa meaning
word "forme"
cue nil
==>
=goal>
mean =retrieval
cue nil
state denomminate
+retrieval>
isa denomminate
feature =forme
feature =color
)
(p encodage-schema-taskA-cue-
reactive
=goal>
isa denomination
color =color
forme =forme
kind "couleur"
state find-meaning2
=retrieval>
isa meaning
word "couleur"
mean =val1
cue =val2
==>
=goal>
word nil
mean nil
cue =val2
state denomminate
+retrieval>
isa denomminate
feature =color
feature =forme
)
(p encodage-schema-taskB-cue-
reactive
=goal>
isa denomination

```

```

color =color
forme =forme
kind "forme"
state find-meaning2
=retrieval>
isa meaning
word "forme"
mean =val1
cue =val2
==>
=goal>
word nil
mean nil
cue =val2
state denomminate
+retrieval>
isa denomminate
feature =forme
)
(p encoding-wrong-meaning-taskA-
reactive
=goal>
isa denomination
color =color
forme =forme
kind "couleur"
state find-meaning2
=retrieval>
isa meaning
word "forme"
==>
=goal>
state denomminate
+retrieval>
isa denomminate
feature =color
feature =forme
)
(p encoding-wrong-meaning-taskB-
reactive
=goal>
isa denomination
color =color
forme =forme
kind "forme"
state find-meaning2
=retrieval>
isa meaning

```

```

word "couleur"
==>
=goal>
state denomminate
+retrieval>
isa denomminate
feature =color
feature =forme
)
(p cannot-encoding-meaning
=goal>
isa denomination
color =color
forme =forme
state find-meaning2
?retrieval>
state error
==>
=goal>
state denomminate
+retrieval>
isa denomminate
feature =color
feature =forme
)
(p encoding-unrelated
=goal>
isa denomination
color =color
forme =forme
state find-meaning2
=retrieval>
isa meaning
mean noise
==>
=goal>
state denomminate
+retrieval>
isa denomminate
feature =color
feature =forme
)
(p find-cue-A
=goal>
isa denomination
state attending-sound3

```

```

=aural>
isa sound
content "couleur"
==>
=goal>
word "couleur"
arg1 "find"
state attending-meaning2
)
(p find-cue-B
=goal>
isa denomination
state attending-sound3
=aural>
isa sound
content "forme"
==>
=goal>
word "forme"
arg2 "find"
state attending-meaning2
)
(p cannot-find-cue_val
=goal>
isa denomination
state attending-sound3
=aural>
isa sound
content =val3
==>
=goal>
arg2 "loose"
state find-meaning3
)
(p find-cue-nil
=goal>
isa denomination
state attending-sound3
=aural>
isa sound
content nil
==>
=goal>
arg2 "loose"
state find-meaning3
)

```

```

(p find-cue-error
=goal>
isa denomination
state attending-sound3
?aural>
state error
==>
=goal>
arg2 "loose"
state find-meaning3
)
(p retrieve-meaning-cue-lost
=goal>
isa denomination
state find-meaning3
?retrieval>
state free
==>
=goal>
state find-meaning2
+retrieval>
isa meaning
word "loose"
)
(p feedback-error-task
=goal>
isa denomination
cue nil
state fb-response
=imaginal>
isa denomminate
==>
=goal>
mean nil
forme nil
color nil
state feedback-task
-imaginal>
)
(p no-FB-task
=goal>
isa denomination
state feedback-task
==>
=goal>
word nil

```

```

mean nil
color nil
forme nil
value nil
keep nil
arg1 nil
arg2 nil
ans nil
kind nil
state start
)
(p taskunrelated-priming
=goal>
  isa denomination
  state feedback-task
?imaginal>
  state free
==>
=goal>
  state fb-task
+imaginal>
  isa meaning
  type task
  word "unrelated"
  mean noise
  cue "unrelated"
)
(p meaningA-FB
=goal>
  isa denomination
  mean nil
  cue nil
  kind "couleur"
  state feedback-task
?imaginal>
  state free
==>
=goal>
  state fb-task
+imaginal>
  isa meaning
  type signification
  word "couleur"
)
(p meaningB-FB
=goal>

```

```

isa denomination
mean nil
cue nil
kind "forme"
state feedback-task
?imaginal>
  state free
==>
=goal>
  state fb-task
+imaginal>
  isa meaning
  type signification
  word "forme"
)
(p taskA-FB
=goal>
  isa denomination
  mean nil
  cue nil
  kind "couleur"
  state feedback-task
?imaginal>
  state free
==>
=goal>
  state fb-task
+imaginal>
  isa meaning
  type task
  word "couleur"
  mean couleur
  cue "capturecolor"
  arg1 red
  arg2 blue
)
(p taskB-FB
=goal>
  isa denomination
  mean nil
  cue nil
  kind "forme"
  state feedback-task
?imaginal>
  state free
==>

```

```

=goal>
  state fb-task
+imaginal>
  isa meaning
  type task
  word "forme"
  mean forme
  cue "captureshape"
  arg1 carre
  arg2 rond
)
(p taskA-priming
=goal>
  isa denomination
  cue "capturecolor"
  arg1 nil
  arg2 nil
  kind "couleur"
  state feedback-task
?imaginal>
  state free
==>
=goal>
  state fb-task
+imaginal>
  isa meaning
  type task
  word "couleur"
  mean couleur
  cue "capturecolor"
  arg1 red
  arg2 blue
)
(p taskB-priming
=goal>
  isa denomination
  cue "captureshape"
  arg1 nil
  arg2 nil
  kind "forme"
  state feedback-task
?imaginal>
  state free
==>
=goal>
  state fb-task

```

```

+imaginal>
  isa meaning
  type task
  word "forme"
  mean forme
  cue "captureshape"
  arg1 carre
  arg2 rond
)
(p meaning-priming-taskA
=goal>
  isa denomination
  word "couleur"
  cue nil
  state feedback-task
?imaginal>
  state free
==>
=goal>
  forme nil
  state fb-task
+imaginal>
  isa meaning
  type task
  word "couleur"
  mean couleur
  cue "capturecolor"
  arg1 red
  arg2 blue
)
(p meaning-priming-taskB
=goal>
  isa denomination
  mean forme
  cue nil
  kind "forme"
  state feedback-task
?imaginal>
  state free
==>
=goal>
  state fb-task
+imaginal>
  isa meaning
  type task
  word "forme"

```

```

  mean forme
  cue "captureshape"
  arg1 carre
  arg2 rond
)
(p feedback-building-task
=goal>
  isa denomination
  state fb-task
=imaginal>
  isa meaning
==>
=goal>
  word nil
  mean nil
  color nil
  forme nil
  value nil
  keep nil
  arg1 nil
  arg2 nil
  ans nil
  kind nil
  state start
)
(setf *actr-enabled-p* t)
(goal-focus goal)
(spp identify-cue :u 10)
(spp identify-cue-inhibition-taskA :u 10.3)
(spp identify-cue-inhibition-taskB :u 10.3)
(spp identified-cue-taskA :u 10)
(spp identified-cue-taskB :u 10)
(spp identified-cue-taskA-coactive :u 8.0)
(spp identified-cue-taskB-coactive :u 8.0)
(spp identify-cue-interference-taskA :u 10)
(spp identify-cue-interference-taskB :u 10)
(spp inhibe-cue-meaning-taskA :u 1)
(spp inhibe-cue-meaning-taskB :u 1)
(spp encodage-schema-taskBsimple :u 10)
(spp encodage-schema-taskAsimple :u 10)
(spp encodage-schema-taskA-coactive :u 8.0)
(spp encodage-schema-taskB-coactive :u 8.0)

```

```

(spp imaginal-end-subvocal-taskA :u 20)
(spp imaginal-end-subvocal-taskB :u 20)
(spp control-response :u 30.0)
(spp response-control-A1 :u 30.0)
(spp response-control-A2 :u 30.0)
(spp response-control-B1 :u 30.0)
(spp response-control-B2 :u 30.0)
(spp attending-stimulus :u 20)
(spp attending-stimulus-keep :u 20)
(spp attending-stimulus-keep-filter :u 20)
(spp attending-stimulus-control-A :u 25.0)
(spp attending-stimulus-control-B :u 25.0)
(spp encode-stimulus1 :u 10)
(spp encode-stimulus2 :u 10)
(spp encode-stimulus1-taskA :u 10)
(spp encode-stimulus2-taskA :u 10)
(spp encode-stimulus1-taskB :u 10)
(spp encode-stimulus2-taskB :u 10)
(spp encode-stimulus-color-filter :u 8.0)
(spp encode-stimulus-square-filter :u 8.0)
(spp encode-stimulus-round-filter :u 8.0)
(spp encode-stimulus-reactiveb :u 20)
(spp encode-stimulus-reactiveA :u 20)
(spp retrieve-meaning-cue-reactive :u 10)
(spp retrieve-meaning-cue-reactive-lost-cue :u 1.0)
(spp erreur-interference-taskA :u 15)
(spp erreur-interference-taskB :u 15)
(spp inhibition-wrong-response-taskA-1 :u 10.6)
(spp inhibition-wrong-response-taskA-2 :u 10.6)
(spp inhibition-wrong-response-taskB-1 :u 10.6)
(spp inhibition-wrong-response-taskB-2 :u 10.6)
(spp inhibition-response-interference-by-cue-taskA :u 10.6)
(spp inhibition-response-interference-by-cue-taskB :u 10.6)
(spp cannot-select-error-feedbackresponse :u 10)
(spp cannot-select-error-retry :u 10.5)
(spp select-response-correct-B1 :u 14)
(spp select-response-correct-B2 :u 14)
(spp select-response-correct-A1 :u 14)

```

(spp select-response-correct-A2 :u 14)	2.05409)))	(FORME :PERMANENT-NOISE 0.00)
(spp select-response :u 10)	(TASKCOULEUR :PERMANENT-NOISE -0.10)	(FORME :BASE-LEVEL)
(spp no-FB-task :u 10)	(TASKCOULEUR :BASE-LEVEL)	(FORME :CREATION-TIME -700)
(spp feedback-error-task :u 20.0)	(TASKCOULEUR :CREATION-TIME -700)	(FORME :REFERENCE-COUNT 59)
(spp meaningA-FB :u 10.4)	(TASKCOULEUR :REFERENCE-COUNT 60)	(FORME :REFERENCE-LIST (-4.001 -6.001 -8.001 -10.001 -64.822 -75.151 -78.596 -85.76 -131.759 -135.409))
(spp meaningB-FB :u 10.4)	(TASKCOULEUR :REFERENCE-LIST (-2.001 -4.001 -6.001 -8.001 -10.001 -66.38 -84.365 -112.232 -128.229 -138.674 -150.734))	(FORME :SJS ((FORME . 2.390562) (SIGNIFICATION . 2.9013877)))
(spp taskA-FB :u 9.6)	(TASKCOULEUR :SJS ((TASKCOULEUR . 4.0) (TASK . 2.9013877) (COULEUR . 2.6137056)	(SAYROND :PERMANENT-NOISE 0.00)
(spp taskB-FB :u 9.6)	(RED . 2.05409) (BLUE . 2.05409)))	(SAYROND :BASE-LEVEL)
(spp taskA-priming :u 10)	(TASKUNRELATED :PERMANENT-NOISE 0.00)	(SAYROND :CREATION-TIME -700)
(spp taskB-priming :u 10)	(TASKUNRELATED :BASE-LEVEL)	(SAYROND :REFERENCE-COUNT 64)
(spp meaning-priming-taskA :u 10.2)	(TASKUNRELATED :CREATION-TIME -700)	(SAYROND :REFERENCE-LIST (-4.001 -6.001 -8.001 -10.001 -73.515 -76.987 -91.57 -98.473 -116.032 -133.673))
(spp meaning-priming-taskB :u 10.2)	(TASKUNRELATED :REFERENCE-COUNT 48)	(SAYROND :SJS ((SAYROND . 4.0) (FORME . 2.390562) (ROND . 2.05409)))
(sdp)	(TASKUNRELATED :REFERENCE-LIST (-69.863 -83.837 -105.135 -136.939 -157.773 -176.252))	(SAYCARRE :PERMANENT-NOISE 0.00)
(COULEUR :PERMANENT-NOISE 0.00)	(TASKUNRELATED :SJS ((TASKUNRELATED . 4.0) (TASK . 2.9013877) (NOISE . 3.3068528)))	(SAYCARRE :BASE-LEVEL)
(COULEUR :BASE-LEVEL)	(CATCOULEUR :PERMANENT-NOISE 0.00)	(SAYCARRE :CREATION-TIME -700)
(COULEUR :CREATION-TIME -700)	(CATCOULEUR :BASE-LEVEL)	(SAYCARRE :REFERENCE-COUNT 64)
(COULEUR :REFERENCE-COUNT 59)	(CATCOULEUR :CREATION-TIME -510)	(SAYCARRE :REFERENCE-LIST (-4.001 -6.001 -8.001 -10.001 -62.892 -87.834 -102.073 -105.435 -119.488 -130.175))
(COULEUR :REFERENCE-LIST (-4.001 -6.001 -8.001 -10.001 -68.285 -71.665 -96.495 -97.873 -100.244 -110.703))	(CATCOULEUR :REFERENCE-COUNT 27)	(SAYCARRE :SJS ((SAYCARRE . 4.0) (FORME . 2.390562) (CARRE . 2.05409)))
(COULEUR :SJS ((COULEUR . 2.6137056) (SIGNIFICATION . 3.3068528)))	(CATCOULEUR :REFERENCE-LIST (-4.001 -6.001 -8.001 -10.001 -174.001 -172.001 -190.001 -266.001 -268.001 -270.001))	(TASKFORME :PERMANENT-NOISE -0.20)
(SAYBLEU :PERMANENT-NOISE 0.00)	(CATCOULEUR :SJS ((CATCOULEUR . 4.0) (COULEUR . 2.390562)))	(TASKFORME :BASE-LEVEL)
(SAYBLEU :BASE-LEVEL)	(CATFORME :PERMANENT-NOISE 0.00)	(TASKFORME :CREATION-TIME -700)
(SAYBLEU :CREATION-TIME -700)	(CATFORME :BASE-LEVEL)	(TASKFORME :REFERENCE-COUNT 60)
(SAYBLEU :REFERENCE-COUNT 64)	(CATFORME :CREATION-TIME -510)	(TASKFORME :REFERENCE-LIST (-2.001 -4.001 -6.001 -8.001 -10.001 -62.592 -73.215 -76.687 -87.534 -92.848 -106.976))
(SAYBLEU :REFERENCE-LIST (-4.001 -6.001 -8.001 -10.001 -63.192 -66.68 -80.51 -84.137 -98.173 -126.56))	(CATFORME :REFERENCE-COUNT 27)	(TASKFORME :SJS ((TASKFORME . 4.0) (TASK . 2.6137056) (FORME . 2.390562)
(SAYBLEU :SJS ((SAYBLEU . 4.0) (COULEUR . 2.6137056) (BLUE . 2.05409)))	(CATFORME :REFERENCE-LIST (-4.001 -6.001 -8.001 -10.001 -174.001 -172.001 -190.001 -266.001 -268.001 -270.001))	(CARRE . 2.05409) (ROND . 2.05409)))
(SAYROUGE :PERMANENT-NOISE 0.00)	(CATFORME :SJS ((CATFORME . 4.0) (FORME . 2.390562))))
(SAYROUGE :BASE-LEVEL))
(SAYROUGE :CREATION-TIME -700)		
(SAYROUGE :REFERENCE-COUNT 64)		
(SAYROUGE :REFERENCE-LIST (-4.001 -6.001 -8.001 -10.001 -70.163 -94.88 -109.004 -112.532 -123.054 -151.034))		
(SAYROUGE :SJS ((SAYROUGE . 4.0) (COULEUR . 2.6137056) (RED .		

Index des figures et des tables

Index des figures

FIGURE 1 - LES DIFFERENTS MODULES IMPLEMENTES DANS ACT-R 6 ET LEURS VOIES D'ECHANGE D'INFORMATIONS.	82
FIGURE 2 - EVOLUTION DU NIVEAU D'ACTIVATION DE BASE DES CHUNKS (SECONDE APRES SECONDE) SELON LE PARAMETRE BBL DE DECLIN D ET LE NOMBRE N DE RECUPERATION DU CHUNK (LA DERNIERE CORRESPOND A LA VALEUR DU PARAMETRE UTILISEE DANS LA MODELISATION : $D=0.53$).	89
FIGURE 3 - TEMPS DE RECUPERATION DES CHUNKS EN FONCTION DU NIVEAU D'ACTIVATION A DES CHUNKS ET DU FACTEUR DE RALENTISSEMENT F.	92
FIGURE 4 - SUCCESSION DES STIMULI DANS LES BLOCKS DE LA TACHE CF.	98
FIGURE 5 - DISTRIBUTIONS DES VITESSES DE REPONSE. (A GAUCHE, 1 : JUNIORS ET 2 : SENIORS ; AU CENTRE 1 : HOMOGENE ET 2 : COMMUTATION ; A DROITE, 1 : REPETE ET 2 : ALTERNE).....	100
FIGURE 6 - DISTRIBUTIONS DES VITESSES DE REPONSE SELON LE GROUPE ET LA CONDITION EXPERIMENTALE. (A GAUCHE, 1.1 : JUNIORS EN CONDITION HOMOGENE ET 2.1 : SENIORS EN CONDITION HOMOGENE, 1.2 : JUNIORS EN CONDITION COMMUTATION ET 2.2 : SENIORS EN CONDITION COMMUTATION ; A DROITE, 1.1 : JUNIORS EN CONDITION REPETEE ET 2.1 : SENIORS EN CONDITION REPETEE, 1.2 : JUNIORS EN CONDITION ALTERNEE ET 2.2 : SENIORS EN CONDITION ALTERNEE).....	101
FIGURE 7 - TRANSFORMATION PUISSANCE BOX-COX DES TR.	102
FIGURE 8 - TEST DE NORMALITE POUR CHAQUE SUJET : DISTRIBUTION THEORIQUE DE LA LOI NORMALE VS DISTRIBUTION EMPIRIQUE DE LA VITESSE DE REPONSE (QQ-PLOT).	103
FIGURE 9 - VISUALISATION DES EFFETS DU RANG DE L'ESSAI (DE 1 A 208) SUR LA VITESSE DE REPONSE CHEZ CHAQUE PARTICIPANT.	104
FIGURE 10 - DEPENDANCE TEMPORELLE ENTRE LA VITESSE DE REPONSE A L'ESSAI N ET CELLE A L'ESSAI N-1.	105
FIGURE 11 - ILLUSTRATION DE L'EFFET D'INTERACTION MATERIEL \times AGE.	110
FIGURE 12 - ILLUSTRATION DE L'EFFET D'INTERACTION VIT-LAG1 \times CONDITION	111
FIGURE 13 - RESIDUS ("RESIDUALS") DU MODELE M14.	114
FIGURE 14 - ESTIMATION DU MODELE E L'EFFET FIXE DU RANG PAR GLMM. (LOGLIK : LOGARITHME DE LA VRAISEMBLANCE)	115
FIGURE 15 - EFFET DU RANG DE L'ESSAI SUR LA PROPORTION DE BONNES REPONSES DANS LA TACHE CF	118
FIGURE 16 - PRECISION DES PERFORMANCES EN CONDITION HOMOGENE ET ALTERNEE	119
FIGURE 17 - ILLUSTRATION DE L'EFFET DE L'AGE SUR LA PROPORTION DE REPONSES CORRECTES DANS LA TACHE CF	119
FIGURE 18 - STRUCTURE DU MODELE DANS L'ARCHITECTURE	169
FIGURE 19 - SUCCESSION DES ETAPES POUR UN ESSAI DANS LE MODELE CF.....	172
FIGURE 20 - PROCEDURES EXECUTEES POUR LE TRAITEMENT DE L'INDICE. L'OBJET DANS LE COIN HAUT DROIT DE CERTAINES PROCEDURES SYMBOLISE LA RECUPERATION D'UN SCHEMA DE TACHE PERTINENT (BLEU) OU INTERFERENT (ROUGE).	173
FIGURE 21 - LES SEQUENCES DE PROCEDURES POUVANT ETRE EXECUTEES LORS DU TRAITEMENT DE L'INDICE EN CAS DE SCHEMA ENCODE LORS DE L'ESSAI PRECEDENT, EN CONDITION REPETEE (A) OU ALTERNEE (B). IP= INTERFERENCE PROACTIVE. (FLECHE BLEU EN POINTILLE = POSSIBILITE DE PROCEDURES INTERMEDIAIRES)	177
FIGURE 22 - LES PRINCIPALES ETAPES DU TRAITEMENT DU STIMULUS.....	178
FIGURE 23 - REPRESENTATION A ETAGES DE L'EFFET DE L'ETAT DU SYSTEME (CONDITION « SIGNIFICATION » OU « SCHEMA ») SUR L'EFFICIENCE DE LA RECUPERATION DE LA REPONSE LORS D'UN ESSAI ALTERNE « COULEUR ». INFLUENCE DU CONTENU DE LA MT ET DES SPECIFICITES DE LA REQUETE SUR LE NIVEAU D'ACTIVATION ET LA PROBABILITE DE RECUPERATION DU CHUNK INTERFERANT (SAYCARRE) OU DU CHUNK PERTINENT (SAYROUGE). (A = ACTIVATION ; RT = SEUIL DE RECUPERATION).	180
FIGURE 24 - SUCCESSION DES ETAPES SUITE A L'APPARITION DU STIMULUS ET SELON LES CONDITIONS DU SYSTEME.....	187
FIGURE 25 - REPRESENTATION DE L'EFFET DU PROCESSUS CONTROLE DE SELECTION VISUELLE SUR L'EFFICIENCE DE LA RECUPERATION DE LA REPONSE LORS D'UN ESSAI ALTERNE « COULEUR ». INFLUENCE DU CONTENU DE LA MT ET DES SPECIFICITES DE LA REQUETE.	189
FIGURE 26 - PLACE DE LA STRATEGIE DE COACTIVATION DANS LE MODELE.....	190
FIGURE 27 - EFFET DE LA MODIFICATION DU PARAMETRE DE RALENTISSEMENT LF SUR LES PERFORMANCES AUX ESSAIS « COULEUR » (A) ET « FORME » (B) EN CONDITION HOMOGENE (HOM), REPETEE (REP) ET ALTERNEE (ALT). TR (MS), CV (COEFFICIENT DE VARIATION), P = PRECISION (%).	197

FIGURE 28 - EFFET DE LA MODIFICATION DU PARAMETRE DE DIFFUSION DE L'ACTIVATION GA SUR LES PERFORMANCES AUX ESSAIS « COULEUR » (A) ET « FORME » (B) EN CONDITION HOMOGENE (HOM), REPETEE (REP) ET ALTERNEE (ALT). TR (MS), CV (COEFFICIENT DE VARIATION), P = PRECISION (%).....	198
FIGURE 29 - EFFET DE LA MANIPULATION DU PARAMETRE DU MALUS D'INTERFERENCE PROACTIVE (IP) SUR LES PERFORMANCES EN CONDITION HOMOGENE (HOM), REPETEE (REP) ET ALTERNEE (ALT) POUR LES TACHES A (COULEUR) ET B (FORME). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%).....	199
FIGURE 30 - EFFET DE L'AUGMENTATION DU VALEUR D'UTILITE DE LA PROCEDURE « INHIBITION DU SCHEMA INTERFERANT » (I°) SUR LES PERFORMANCES EN CONDITION « CONGRUENCE » (A) ET « INCONGRUENCE » (B), EN SITUATION D'INTERFERENCE PROACTIVE (IP = 0,6). VALEUR D'UTILITE : I°DFT = 10, I°F = 10,3. TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%).....	200
FIGURE 31 - EFFET DE L'AUGMENTATION DE LA VALEUR D'UTILITE DE LA PROBABILITE DE SIGNAL DE BIAIS CONTROLE (SC) SUR LES PERFORMANCES EN CONDITION HOMOGENE (HOM), REPETEE (REP) ET ALTERNEE (ALT) POUR LES TACHES COULEUR (A) ET FORME (B). UTILITE SC DFT = 1 (VALEUR PAR DEFAULT), SC = 25 (UTILITE FORTE). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%).....	201
FIGURE 32 - EFFET DE LA MANIPULATION DU PARAMETRE DU BRUIT B (ANS) SUR LES PERFORMANCES EN CONDITION HOMOGENE (HOM), REPETEE (REP) ET ALTERNEE (ALT) POUR LES TACHES A (COULEUR) ET B (FORME) EN SITUATION D'INTERFERENCE PROACTIVE (IP = 0.6). B DFT = 0.225 (VALEUR PAR DEFAULT), BF = 0.325 (BRUIT FAIBLE), BF = 0.425 (BRUIT FORT). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%).....	202
FIGURE 33 - EFFET DE LA MANIPULATION DU MALUS REPONSE (Mr) SUR LES PERFORMANCES EN CONDITION HOMOGENE (HOM), REPETEE (REP) ET ALTERNEE (ALT) POUR LES TACHES A (COULEUR) ET B (FORME). MR DFT (VALEUR PAR DEFAULT) = -0,9, MRf (MALUS REPONSE FAIBLE) = -1,2, MRf (MALUS REPONSE FORT) = -1,5. TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%).....	203
FIGURE 34 - PATTERN DE PERFORMANCES DU GROUPE JEUNE (PJ) ET AGES (PA) EN CONDITION HOMOGENE (HOM), REPETEE (REP) ET ALTERNEE (ALT) POUR LES TACHES A (COULEUR) ET B (FORME). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%).....	204
FIGURE 35 - PATTERN DE PERFORMANCES EMPIRIQUE DU GROUPE CONTROLE (PJ) ET PATTERN DE PERFORMANCES SIMULE ASSOCIE EN CONDITION HOMOGENE (HOM), REPETEE (REP) ET ALTERNEE (ALT) POUR LES TACHES A (COULEUR) ET B (FORME). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%).....	206
FIGURE 36 - PATTERNS EMPIRIQUE DU GROUPE AGE (PA) ET PATTERNS SIMULES DES EFFETS DES MODIFICATIONS DU FACTEUR LATENCE LF EN CONDITION HOMOGENE (HOM), REPETEE (REP) ET ALTERNEE (ALT) POUR LES TACHES A (COULEUR) ET B (FORME). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%).....	208
FIGURE 37 - PATTERNS EMPIRIQUE DU GROUPE AGE (PA) ET PATTERNS SIMULES DES EFFETS DES MODIFICATIONS DU PARAMETRE GA EN CONDITION HOMOGENE (HOM), REPETEE (REP) ET ALTERNEE (ALT) POUR LES TACHES A (COULEUR) ET B (FORME). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%).....	209
FIGURE 38 - CONSIGNE ET CAPTURE ECRAN DE L'ESSAI BC D'ITEMS PRESENTES EN TACHE 1.....	215
FIGURE 39 - CONSIGNE ET CAPTURE ECRAN DE L'ESSAI BI.....	216
FIGURE 40 - TRANSFORMATION PUISSANCE BOX-COX DES TR.....	218
FIGURE 41 - DISTRIBUTIONS DES VITESSES DE REPONSE (EFFETS SIMPLES) SELON LA CONDITION CONGRUENTE (COMPATIBLE) OU INCONGRUENTE (INCOMPATIBLE).....	219
FIGURE 42 - REPRESENTATION GRAPHIQUE DES QUANTILE-QUANTILE POUR CHAQUE SUJET.....	220
FIGURE 43 - VISUALISATION DES EFFETS DU RANG DE L'ESSAI (DE 1 A 208) SUR LA VITESSE DE REPONSE CHEZ CHAQUE PARTICIPANT.....	221
FIGURE 44 - DEPENDANCE TEMPORELLE ENTRE LA VITESSE DE REPONSE A L'ESSAI N ET CELLE A L'ESSAI N-1.....	222
FIGURE 45 - EFFETS FIXES TESTES DANS LE MODELE LMM DE LA VITESSE DE REPONSE.....	223
FIGURE 46 - REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA VITESSE DE REPONSE (1/TR) EN FONCTION DE L'AGE DES INDIVIDUS DE LA VITESSE DE REPONSE A L'ESSAI N-1.....	226
FIGURE 47 - REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA VITESSE DE REPONSE (1/TR) EN FONCTION DE L'AGE DES INDIVIDUS, PAR CONDITION (1 : CONGRUENT ; 2 : INCONGRUENT).....	227
FIGURE 48 - DIAGNOSTIC DES RESIDUS (M1).....	228
FIGURE 49 - ESTIMATION DES EFFETS FIXES ET ALEATOIRES DU MODELE M2 PAR GLMM POUR LA PRECISION. (LOGLIK : LOGARITHME DE LA VRAISEMBLANCE).....	232
FIGURE 50 - PRECISION MOYENNE DES PARTICIPANTS AUX ESSAIS CONGRUENTS ET INCONGRUENTS.....	232
FIGURE 51 - LES GRANDES ETAPES DU MODELE WB.....	237
FIGURE 52 - REPRESENTATION A ETAGES DE L'EFFET DE L'ETAT DU SYSTEME (CONDITION « SIGNIFICATION » OU « SCHEMA ») SUR L'EFFICIENCE DE LA RECUPERATION DE LA REPONSE LORS D'UN ESSAI ALTERNE « INCONGRUENT ». INFLUENCE DU CONTENU DE LA MT ET DES SPECIFICITES DE LA REQUETE SUR LE NIVEAU D'ACTIVATION ET LA PROBABILITE DE RECUPERATION DU CHUNK INTERFERANT (NC) OU DU CHUNK PERTINENT (NI). (A = ACTIVATION ; RT = SEUIL DE RECUPERATION).....	241

FIGURE 53 – PATTERN SIMULE DU MODELE DE BASE (VALEUR DES PARAMETRES PAR DEFAULT) EN CONDITION « CONGRUENTE » (A) ET « INCONGRUENTE » (B). TR (MS), CV (COEFFICIENT DE VARIATION), P = PRECISION (%).....	249
FIGURE 54- EFFET DU PARAMETRE DE RALENTISSEMENT LF SUR LES PERFORMANCES AUX ESSAIS « CONGRUENT » (A) ET « INCONGRUENT » (B) EN CONDITION DE BASE. TR (MS), CV (COEFFICIENT DE VARIATION), P = PRECISION (%), LF = FACTEUR LATENCE.....	249
FIGURE 55 - EFFET DE LA MANIPULATION DU PARAMETRE DE DIFFUSION DE L'ACTIVATION (GA) SUR LES PERFORMANCES SIMULEES EN CONDITION CONGRUENCE (A) ET « INCONGRUENCE » (B). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%).	250
FIGURE 56 - EFFET DE LA MANIPULATION DU VALEUR D'UTILITE DE LA PROCEDURE DE COACTIVATION (CV) SUR LES PERFORMANCES EN CONDITION CONGRUENCE (A) ET « INCONGRUENCE » (B). VALEUR D'UTILITE : CV DFT = 8 (VALEUR PAR DEFAULT), CVF = 10,0 (UTILITE FAIBLE), CVF = 10,4 (UTILITE FORTE). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%)......	250
FIGURE 57 - EFFET DE L'AUGMENTATION DU MALUS D'INTERFERENCE PROACTIVE (IP) SUR LES PERFORMANCES EN CONDITION CONGRUENCE (A) ET « INCONGRUENCE » (B). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%)......	251
FIGURE 58 - EFFET DE L'AUGMENTATION DU VALEUR D'UTILITE DE LA PROCEDURE « INHIBITION DU SCHEMA INTERFERANT » SUR LES PERFORMANCES EN CONDITION « CONGRUENCE » (A) ET « INCONGRUENCE » (B), EN SITUATION D'INTERFERENCE PROACTIVE (IP = 0,6). VALEUR D'UTILITE : IS0 DFT = 9,7 (VALEUR PAR DEFAULT), ISF = 10,0 (UTILITE FAIBLE), ISF = 10,4 (UTILITE FORTE). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%).....	251
FIGURE 59 - EFFET DE L'AUGMENTATION DE LA VALEUR D'UTILITE DES PROCEDURES DE SIGNAL DE BIAIS CONTROLE (SC) SUR LES PERFORMANCES EN CONDITION « CONGRUENCE » (A) ET « INCONGRUENCE » (B). UTILITE SC DFT = 1 (VALEUR PAR DEFAULT), SC = 25 (UTILITE FORTE). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%)......	252
FIGURE 60 - EFFET DE LA MANIPULATION DU PARAMETRE DU BRUIT B (ANS) SUR LES PERFORMANCES EN CONDITION « CONGRUENCE » (A) ET « INCONGRUENCE » (B) EN SITUATION D'INTERFERENCE PROACTIVE (IP = 0.6). B DFT = 0.225 (VALEUR PAR DEFAULT), BF = 0.425 (BRUIT FORT). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%).	253
FIGURE 61 - EFFET DE LA MANIPULATION DU PARAMETRE DE PREPARATION PRE-TACHE (PR) SUR LES PERFORMANCES EN CONDITION « CONGRUENCE » (A) ET « INCONGRUENCE » (B) EN SITUATION D'INTERFERENCE PROACTIVE (IP = 0.6). PR DFT (VALEUR PAR DEFAULT), PR = 2 ACTIVATIONS A T=-2 ET T=-4. TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%)......	253
FIGURE 62 - PATTERNS INDIVIDUELS EMPIRIQUES OBSERVES DU SUJET LE PLUS JEUNE (1) AU SUJET LE PLUS AGE (23) EN CONDITION « CONGRUENCE » (A) ET « INCONGRUENCE » (B). LE PATTERN DU SUJET 1 EST REPETE POUR FACILITER LA COMPARAISON. TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%).	254
FIGURE 63 - PATTERN DE PERFORMANCES EMPIRIQUE DU GROUPE ET PATTERN DE PERFORMANCES SIMULE (EN ROUGE) EN CONDITION « CONGRUENCE » (A) ET « INCONGRUENCE » (B). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%)......	255
FIGURE 64 –PATTERNS EMPIRIQUES INDIVIDUELS ET PATTERNS SIMULES AJUSTES PAR LA MODIFICATION DU FACTEUR LATENCE LF EN CONDITION « CONGRUENCE » (A) ET « INCONGRUENCE » (B). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%).	257
FIGURE 65 - PATTERNS EMPIRIQUES INDIVIDUELS ET PATTERNS SIMULES AJUSTES PAR LA MODIFICATION DU FACTEUR LATENCE GA LF DU GROUPE JEUNE (PJ) ET AGE (PA) EN CONDITION « CONGRUENCE » (A) ET « INCONGRUENCE » (B). TR = TEMPS DE REPONSE (MS) ; CV = COEFFICIENT DE VARIATION ; P = PRECISION (%)......	258

Index des tables

TABLEAU 1 - LATENCES MOYENNES (ECART-TYPE) DES GROUPES D'ADULTES AGES ET JEUNES SUR L'ÉPREUVE EN MS.....	100
TABLEAU 2 – ESTIMATION DES EFFETS FIXES SUR LA VITESSE DE REPONSE (MODELE COMPLET).....	107
TABLEAU 3 – AJUSTEMENT DES DIFFERENTS MODELES TESTES EN SUIVANT LA STRATEGIE « PAS A PAS » (M1 A M12).	108
TABLEAU 4 - EFFETS FIXES DU MODELE FINAL M12.....	109
TABLEAU 5 - RESULTATS DE LA COMPARAISON ANOVA EFFECTUEE ENTRE LES MODELES M12 ET M13. (Df : DEGRE DE LIBERTE ; LOGLIK : LOGARITHME DE LA VRAISEMBLANCE).	112
TABLEAU 6 - RESULTATS DE LA COMPARAISON ANOVA EFFECTUEE ENTRE LES MODELE M0 ET M1. (Df : DEGRE DE LIBERTE ; LOGLIK : LOGARITHME DE LA VRAISEMBLANCE).	112
TABLEAU 7 - ESTIMATION DES EFFETS FIXES ET ALEATOIRES DU MODELE M14 PAR REML SUR L'INVERSE DU TR (1/TR). (DL : DEGRE DE LIBERTE ; LOGLIK : LOGARITHME DE LA VRAISEMBLANCE).	113
TABLEAU 8 - PRECISION AUX ESSAIS COULEUR EN CONDITION HOMOGENE (C-HOM), REPETEE (C-REP) ET ALTERNEE (C-ALT) ET AUX ESSAIS FORME EN CONDITION (F-HOM), REPETEE (F-REP) ET ALTERNEE (F-ALT) SELON LE GROUPE D'APPARTENANCE DE L'INDIVIDU (J : JEUNES, A : AGES).	115
TABLEAU 9 - EFFETS FIXES TESTES DANS LE MODELE COMPLET MC.	116
TABLEAU 10 - MODELES TESTES (MC A M4).....	116
TABLEAU 11 - RESULTATS DE LA COMPARAISON ANOVA EFFECTUEE ENTRE LES MODELES M1, M2, M3 ET M4. (Df : DEGRE DE LIBERTE ; LOGLIK : LOGARITHME DE LA VRAISEMBLANCE).....	117
TABLEAU 12 - ESTIMATION DES EFFETS FIXES ET ALEATOIRES DU MODELE M2 PAR GLMM POUR LA PRECISION. (LOGLIK : LOGARITHME DE LA VRAISEMBLANCE).....	117
TABLEAU 13 – EXEMPLE DE TROIS CHUNKS DU MODELE CF: LE CHUNK « SAYROUGE », « COULEUR » ET « TASKCOULEUR ».	170
TABLEAU 14 - PORTION DES PROCEDURES D'IDENTIFICATION DE L'INDICE DE L'INDICE "COULEUR" CORRESPONDANT A LA REQUETE EFFECTUEE EN MD SELON LA CONDITION : SANS INTERFERENCE PROACTIVE (A) ET AVEC INTERFERENCE PROACTIVE (B).	174
TABLEAU 15 - TABLEAU RECAPITULATIF DES PROCEDURES.....	192
TABLEAU 16- VALEUR DES PARAMETRES PAR DEFAULT.....	194
TABLEAU 17 - PROCEDURES ET VALEUR D'UTILITE FIXEE.....	195
TABLEAU 18 – LISTES DES PARAMETRES MANIPULES DANS LES DIFFERENTES SIMULATIONS.....	196
TABLEAU 19 - PERFORMANCES MOYENNES DU GROUPE D'INDIVIDU POUR LES ESSAIS COMPATIBLE (+) ET INCOMPATIBLES (-) SUR L'ÉPREUVE WB. (TR = TEMPS DE REPONSE, P= PRECISION, ET = ECART-TYPE).....	217
TABLEAU 20 - LES DIFFERENTS MODELES TESTES EN SUIVANT LA STRATEGIE « PAS A PAS » (M1 A M11).	224
TABLEAU 21 - EFFETS FIXES DU MODELE M11.....	224
TABLEAU 22 - RESULTATS DE LA COMPARAISON ANOVA EFFECTUEE ENTRE LES MODELES M0 ET M1. (Df : DEGRE DE LIBERTE ; LOGLIK : LOGARITHME DE LA VRAISEMBLANCE).....	227
TABLEAU 23 - ESTIMATION DES EFFETS FIXES ET ALEATOIRES DU MODELE M1 PAR REML SUR L'INVERSE DU TR (1/TR). (LOGLIK : LOGARITHME DE LA VRAISEMBLANCE).....	229
TABLEAU 24 - MODELES TESTES (M0 A M2).	230
TABLEAU 25 - RESULTATS DE LA COMPARAISON ANOVA EFFECTUEE ENTRE LES MODELES (M0 A M1). (Df : DEGRE DE LIBERTE ; LOGLIK : LOGARITHME DE LA VRAISEMBLANCE).....	231
TABLEAU 26 - LES MODELES TESTES M1 ET M3.....	231
TABLEAU 27 - RESULTATS DE LA COMPARAISON ANOVA EFFECTUEE ENTRE LES MODELES M1 ET M3. (Df : DEGRE DE LIBERTE ; LOGLIK : LOGARITHME DE LA VRAISEMBLANCE).....	231
TABLEAU 28 - QUATRE CHUNKS DU MODELE WB ET LEUR SLOTS RESPECTIFS : LES CHUNKS « NOIR-CONGRUENT » (NC), « NOIR- INCONGRUENT » (NI), « MOINS » ET « TASKINVERSE »).	236
TABLEAU 29 - PORTION DE PROCEDURE RELATIVE A LA REQUETE EFFECTUEE EN MD POUR LA SELECTION DU CHUNK-REPONSE, SELON LA CONDITION DU MODELE : EN CONDITION « SIGNIFICATION » OU « E » (A) OU EN CONDITION « SCHEMATIQUE ».	242
TABLEAU 30- VALEUR DES PARAMETRES PAR DEFAULT.....	246
TABLEAU 31 - PROCEDURES ET VALEUR D'UTILITE FIXEE.....	247
TABLEAU 32 – LISTES DES PARAMETRES MANIPULES DANS LES DIFFERENTES SIMULATIONS.....	248

Différences individuelles dans les processus de contrôle attentionnel chez des personnes jeunes et âgées : approches expérimentale et computationnelle

Résumé

L'effet du vieillissement sur les fonctions cognitives de haut niveau demeure encore relativement incompris. Cette recherche vise à mieux comprendre les différences interindividuelles de performances entre les individus jeunes et âgés par l'étude des processus de contrôle attentionnel mis en jeu dans les tâches de commutation attentionnelle. Dans un premier temps, deux tâches d'alternance de type séries alternées ont été administrées à des adultes jeunes et âgés. Les résultats n'indiquent pas d'effet de l'âge sur les coûts d'alternance mesurés mais en revanche un coût d'alternance asymétrique (étude 1) et des coûts d'alternance locaux et globaux différents selon les individus (étude 1 et 2). Dans un second temps, un travail de modélisation du fonctionnement cognitif à l'aide de l'architecture cognitive ACT-R a été réalisé. Il permet de tester la plausibilité des hypothèses de diminution de la vitesse de traitement (VT) et de diminution de la capacité de la mémoire de travail (CMT), à pouvoir reproduire les différences de performances entre jeunes et âgés. Les résultats des tests d'hypothèse pour les deux études réalisées indiquent que ces hypothèses ne reproduisent pas assez les effets empiriquement observés ce qui suppose que les hypothèses de diminution de la VT ou de la CMT sont insuffisantes pour expliquer les différences de performances individuelles observées. Cette étude met en évidence l'intérêt de la modélisation cognitive computationnelle dans la compréhension des processus sous-jacent le fonctionnement cognitif humain.

Mots clés : Vieillissement cognitif, contrôle attentionnel, différences individuelles, modélisation computationnelle

Individual differences in attentional control processes in people young and old: experimental and computational approaches

Abstract

The effect of aging on high level cognitive functions is still relatively misunderstood. The aim of this research is to better understand individual performance differences between young and elderly individuals, by studying the attentional control processes involved in task switching. Initially, two switching tasks were administered to young and elderly adults. The results indicate no age effect on the switching cost but show an asymmetric switching cost (Study 1) and different local and global switching costs between individuals (study 1 and 2). In a second step, a computational cognitive modeling of cognitive functioning is built using the ACT-R architecture. It enables to test the veracity of the assumptions of reduced processing speed (VT) and reduced capacity of working memory (WCL), to reproduce the observed performance differences between young and old individuals. The results of the hypothesis tests for both studies indicate that these assumptions do not reproduce adequately the empirically observed effects, which implies that the assumptions of decreased VT or CMT are insufficient to explain the individual performance differences observed. This study highlights the interest of computational cognitive modeling in the understanding of the processes underlying human cognitive functioning.

Keywords : Cognitive aging, attentional control, individual differences, computational modeling