



HAL
open science

Le contrôle du set associé à une tâche.

Camille Bonnin

► **To cite this version:**

Camille Bonnin. Le contrôle du set associé à une tâche. : Etude comportementale du contrôle exécutif dans des épreuves de permutation de tâche et des tâches de type Stroop.. Psychologie. Université de Poitiers, 2010. Français. NNT : 2010POIT5022 . tel-01339060

HAL Id: tel-01339060

<https://theses.hal.science/tel-01339060>

Submitted on 30 Jun 2016

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

LE CONTRÔLE DU *SET* ASSOCIÉ À UNE TÂCHE

ÉTUDE COMPORTEMENTALE DU CONTRÔLE EXÉCUTIF DANS DES ÉPREUVES
DE PERMUTATION DE TÂCHE ET DES TÂCHES DE TYPE STROOP

THÈSE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE POITIERS
MENTION PSYCHOLOGIE

PRÉSENTÉE PAR CAMILLE BONNIN
SOUS LA DIRECTION DE DANIEL GAONAC'H ET CÉDRIC BOUQUET

JURY

Philippe ALLAIN, Professeur, université d'Angers
Cédric BOUQUET, Maître de Conférence, université de Poitiers (directeur)
Daniel GAONAC'H, Professeur, université de Poitiers (directeur)
Eric SIÉROFF, Professeur, université Paris Descartes (rapporteur)
Florian WASZAK, Chargé de Recherche CNRS, Lab. Psychologie de la Perception, UMR 8158, Paris (rapporteur)

LE CONTRÔLE DU *SET* ASSOCIÉ À UNE TÂCHE

Étude comportementale du contrôle exécutif dans des épreuves de permutation de tâche et des tâches de type Stroop

Remerciements

Merci à Daniel Gaonac'h d'avoir encadré cette thèse et de m'avoir fait bénéficier de son expertise, notamment dans la maîtrise et le maniement des concepts théoriques de la psychologie cognitive. J'espère que votre charisme et vos capacités pédagogiques et didactiques auront un peu déteint sur moi. Merci à Cédric Bouquet de m'avoir proposé un sujet de recherche aussi passionnant, et de m'avoir toujours activement apporté son aide. J'admire ta créativité, ton autodidactie, ta capacité de travail ainsi que ton talent d'organisateur d'évènements festifs. Messieurs, ce fut un réel plaisir de travailler avec vous!

Merci aux membres de mon jury, Philippe Allain, Cédric Bouquet, Daniel Gaonac'h, Eric Siéroff et Florian Waszak. Je suis honorée d'être lue et critiquée par les plus grands spécialistes en France du contrôle exécutif. Ainsi réunis, ils représentent une très large part des approches théoriques et méthodologiques de ce domaine. Merci également à Olivier Godefroy qui avait accepté de faire partie de ce jury, mais qui n'a malheureusement pu être présent.

L'étude du cinquième chapitre de cette thèse n'aurait pu se faire sans la participation de Roger Gil et de Jean-Luc Houeto qui ont activement collaboré à cette étude, en m'apportant notamment leur savoir et leur expertise dans la neurologie de la maladie de Parkinson. Merci à vous.

Merci à toutes les personnes qui ont participé à mes expériences (étudiants, doctorants, post-doctorants, enseignants, patients, amis, amants, famille, collègues de travail) et à toutes celles qui m'ont aidé à les trouver (Adeline Cottin-Rabelle, Anne-Marie Métais, François Rigalleau, Jean-Luc Houeto, Roger Gil, Françoise Bonnin, etc.). Merci aux personnes du laboratoire et de la MSHS qui m'ont apporté une aide technique et administrative. Merci aux personnes qui m'ont nourrie, logée, blanchie : Hélène (Paris), ma famille (Charente-Maritime), Jérôme (Nantes), ma grand-mère, Samuel, Caroll et Lolo (Poitiers), Ninie (Poitiers, Grenoble). Merci aux personnes qui m'ont aidé à finaliser cette thèse : Lucy, Sophie, Virginie, Caroll & Samuel. Merci aux institutions qui m'ont employée et ont ainsi contribué au financement de ce travail : les CH. de Châtelleraut, Poitiers et La Rochelle, l'université Paris-V et de Poitiers. Merci aux personnes qui m'ont permis d'accéder à ces institutions : Claudine Nedelec, Véronique Bonnaud, François Rigalleau, Eric Siéroff, Danièle Coquin, les agents de la SNCF et de la RATP. Merci aux personnes qui m'ont aidée, soutenue et amusée : Caroll, Samuel, Lolo, Ninie, Sophie, Vanessa, Manu, Stéphanie, Siobhan, Margot, Nat, Antonine, Lucie & Caroline, Jéjé, Anna, Luc et cie, Adeline, Renaud & co, Nono, Robin, Binet, Magali, Hélène, Jérôme, les co-bureaux de tous mes bureaux, ma famille, les collègues de neurologie, etc. Aux personnes rancunières que j'aurais oubliées: oups ! Enfin, merci à Didier Wampas, agent de la RATP, pour sa musique et sa philosophie. Ce que tu dis pour la musique s'applique aussi, je pense, à la recherche : elle est trop importante pour la laisser aux chercheurs !

Résumé

Réaliser une tâche implique la mise en œuvre d'une configuration spécifique des processus cognitifs nécessaires à cette réalisation : c'est cette configuration spécifique qui est désignée par le terme de *set* (Monsell, 1996). Nous étudions les processus de contrôle impliqués dans l'établissement d'un *set* et dans la gestion du conflit entre *sets*, au moyen du paradigme de permutation de tâche et par l'utilisation de stimuli ambigus ou conflictuels (type Stroop) pouvant susciter plusieurs tâches. Le coût de permutation et l'effet d'interférence nous permettent d'apprécier l'efficacité de ces processus de contrôle. L'objectif de ce travail est de déterminer (i) dans quelle mesure les processus de contrôle sont ajustés en fonction de certaines caractéristiques du contexte, et (ii) comment ces variations peuvent éventuellement impliquer la mise en œuvre de processus différents.

Une première étude a examiné comment un contexte de conflit pouvait influencer le contrôle du *set*. Elle montre que la proportion de stimuli conflictuels n'a aucune incidence sur la capacité à changer de tâche (coût de permutation). Cela suggère une indépendance entre les processus liés à l'adoption d'un nouveau *set* et le contrôle dévolu à la gestion du conflit entre les *sets*. Une seconde étude a porté sur le rôle des mécanismes de contrôle du *set* dans le maintien d'un équilibre entre persistance et flexibilité en fonction du contexte. Un contexte d'incertitude sur la nature de la prochaine tâche, associé à une forte probabilité de changement de tâche, favorise la flexibilité. Cela suggère que l'activation d'un *set* n'est pas un processus en tout ou rien, mais est modulé par les caractéristiques du contexte. Cependant, la présence d'un indice levant l'incertitude sur la tâche future réduit très fortement l'influence de la probabilité de changement de tâche. Cela suggère la mise en jeu de deux modes de contrôle différents, selon la possibilité (mode proactif) ou non (mode réactif) d'adopter un *set* avant l'arrivée de l'information à traiter (Braver, Gray & Burgess, 2007). Une troisième étude a testé l'hypothèse de mécanismes d'inhibition spécifiques du type de contrôle mis en œuvre. Les résultats confirment partiellement l'existence d'un mécanisme d'inhibition du *set* spécifiquement associé au contrôle proactif, et apportent de manière originale des preuves comportementales en faveur d'un mécanisme spécifiquement associé au contrôle réactif : la suppression *on line* du *set* évoqué par les distracteurs présents avec le stimulus cible. Enfin, en utilisant un paradigme de type Stroop dans une approche neuropsychologique chez des patients souffrant de la maladie de Parkinson, une dernière étude a permis de préciser les substrats neurophysiologiques des modes de contrôle proactif et réactif.

Les recherches menées permettent par ailleurs de discuter de l'intérêt d'utiliser le concept de *set* associé à une tâche dans l'étude du contrôle exécutif, ainsi que des intérêts et des limites du paradigme de permutation de tâche.

Mots clés : contrôle exécutif, *set*, permutation de tâche, coût de permutation, Stroop, interférence, contrôle proactif, contrôle réactif

Abstract

To perform any cognitive task requires an appropriate organization of cognitive processes and mental representations in order to act in accordance with task requirements. This internal configuration has been called *task set* (Monsell, 1996). In the present work, we studied control processes involved in establishing a task-set and mechanisms involved in the resolution of conflict between task-sets, by using the task switching paradigm and ambivalent or conflict stimuli (Stroop-like stimuli) affording several tasks. The efficiency of control processes was indexed by switch cost and interference effects. The aim of this work was to determine (i) how control processes are adjusted according to contextual characteristics and (ii) how these adjustments reflect the implementation of different processes.

An initial study explored the potential influence of a conflict context on task-set control. The results showed that the proportion of incongruent stimuli modulated the degree of conflict elicited by Stroop-like stimuli, but did not influence task switching performance (switch cost). These results suggest that processes involved in the establishment of a new task-set and those involved in the resolution of conflict between task-sets are independent. A second study explored the role of task set control processes in maintaining a context-dependent balance between stability and flexibility. Results of experiment 2 showed that, in a context where the identity of the upcoming task is uncertain, a high frequency of task changes promoted flexibility. This suggests that task-set activation is not an all-or-none process, but rather a gradual process adjusted to context demand. However, results of experiment 3 showed that when a task-cue abolishing uncertainty about the upcoming task is introduced, the influence of task switch frequency was substantially reduced. This suggests the implementation of two distinct control modes, depending on the possibility (proactive mode), or not (reactive mode), of adopting a task-set before target information onset (Braver, Gray & Burgess, 2007). A third study tested the hypothesis that each control mode is associated with specific inhibitory mechanisms. Our results partially confirmed that proactive control involved retroactive inhibition of the previously preformed, and now irrelevant, task-set. More importantly, we provided behavioural evidence for an inhibitory mechanism specifically linked to reactive control: the on-line suppression of task-sets afforded by the distracters present with the target stimulus. In a fourth study, using a Stroop-like paradigm in patients with Parkinson's disease, we investigated the neurophysiological substrates of proactive and reactive control modes.

Finally, we discuss whether the 'task-set' approach and the related task-switching paradigm are useful tools for the study of executive control.

Key words: executive control, task-set, task-switching, switch cost, Stroop, interference, proactive control, reactive control.

Sommaire

CHAPITRE 1 : LE CONTRÔLE EXÉCUTIF DÉFINITIONS ET EXPOSÉ DES CAUSES POSSIBLES DE SES VARIATIONS D'EFFICIENCE.	9
Introduction	11
Cadre théorique	17
1. Le contrôle exécutif	17
1.1. Nécessité d'un système de contrôle	17
1.2 Système de contraintes lié à l'environnement et aux propriétés du système cognitif	17
1.3 Rôles du contrôle exécutif	18
2. Etude du contrôle exécutif via la réalisation de tâches à étape unique	20
2.1 La tâche de Stroop	22
2.2 Le paradigme de permutation de tâche	25
3. Etude du contrôle exécutif via le concept de contrôle du set	37
3.1 Notion de set	37
3.2 Activation et maintien de la représentation du but	38
3.3 Spécificités de l'approche du contrôle exécutif via le contrôle du set	40
4. Modulations/Ajustements du contrôle	43
4.1 Influence de caractéristiques locales	44
4.2 Influence de caractéristiques globales	46
5. Deux voies de contrôle	50
5.1 Evidence comportementale	51
5.2 Contrôle proactif et contrôle réactif	53
5.3 Arguments en faveur de l'implication des deux modes de contrôle dans les épreuves de permutation de tâche	54
5.4 Substrats neuro-anatomiques	56
6. Synthèse	57
Problématique	59
Influence des facteurs fonctionnels sur les variations d'efficacité du contrôle exécutif	59
Chapitre 2 : Influence de la quantité d'information conflictuelle sur l'adoption d'un nouveau <i>set</i>	60
Chapitre 3 : Ajustement du contrôle du set : influence de la fréquence de permutations de tâche	60
Approche structurale des variations d'efficacité du contrôle exécutif	61
Chapitre 4 : Indices comportementaux attestant l'existence de deux modes de contrôle exécutif	62
Chapitre 5 : Ajustements de la résolution du conflit dans la maladie de Parkinson	62
Variables manipulées dans la thèse	64

CHAPITRE 2	
INFLUENCE DE LA QUANTITÉ D'INFORMATION CONFLICTUELLE SUR L'ADOPTION D'UN NOUVEAU SET	65
Introduction	67
Expérience 1	70
Expérience 2	76
Expérience 3	81
Discussion générale	84
Conclusion	87
CHAPITRE 3	
AJUSTEMENT DU CONTRÔLE DU SET : INFLUENCE DE LA FRÉQUENCE DE PERMUTATIONS DE TÂCHES	89
Introduction générale	91
Expérience 1	95
Expérience 2	104
Expérience 3	109
Discussion générale	112
Conclusion	116
CHAPITRE 4	
INDICES COMPORTEMENTAUX ATTESTANT DE L'EXISTENCE DE DEUX MODES DE CONTRÔLE EXÉCUTIF	117
Introduction	119
Expérience 1	126
Expérience 2	134
Discussion générale	137
Conclusion	141
CHAPITRE 5	
AJUSTEMENTS DE LA RÉOLUTION DU CONFLIT DANS LA MALADIE DE PARKINSON .	143
Introduction	145
Méthode	147
Résultats	150
Discussion	152
Conclusion	154
CHAPITRE 6	
DISCUSSION GÉNÉRALE	155
Rappel du cadre théorique : les variations d'efficience du contrôle exécutif	157

Les déterminants stratégiques des processus de contrôle	158
Contrôle proactif / contrôle réactif : deux modes de contrôle qui se traduisent par des indices comportementaux	160
L'étude comportementale du contrôle exécutif : paradigmes et concepts	161
Conclusion	166
BIBLIOGRAPHIE	169
ANNEXE 1	191
Bonnin, C. A., Houeto, J-L., Gil, R., & Bouquet, C. A. (2010). Adjustments of Conflict Monitoring in Parkinson's Disease. <i>Neuropsychology</i> , 24, 542-546.	
ANNEXE 2	196
Bonnin, C., Gaonac'h, D., & Bouquet, C. Adjustments of task-set control processes: Effect of task switch frequency on task-mixing and task-switching costs (in submission). <i>Journal of Cognitive Psychology</i> .	

Chapitre 1

Le contrôle exécutif

Définitions et exposé des causes possibles de ses variations d'efficience

Introduction

Alors qu'il nous arrive de réaliser certaines activités qui s'offrent à nos yeux sans but particulier – comme lire l'emballage d'un paquet de céréales en prenant notre café ou griffonner un dessin lors d'une conversation au téléphone – ces mêmes activités peuvent être réalisées en lien avec une intention préalable – comme relire un compte rendu dans l'optique de corriger les fautes d'orthographe ou faire le schéma des circonstances d'un accident lors d'un constat amiable. Cette seconde façon de réaliser une activité, correspondant à l'action volontaire (Goschke, 2003), est supposée imposer à notre système cognitif des contraintes supplémentaires que ne requiert pas la première (ibid.). Par ailleurs, il nous arrive parfois d'échouer à mener à bien ces mêmes activités, étant à la merci des habitudes, impulsions, compulsions ou obsessions : nous faisons des choses que nous n'avons pas l'intention de faire, et quittons sans les faire des choses que nous avons l'intention de faire (Monsell & Driver, 2000).

Le problème du contrôle de l'action volontaire – ou contrôle exécutif - est ainsi posé. Le cerveau contient de multiples représentations de l'information (perceptives, sémantiques, motrices, etc.), et les procédures pour transférer l'information d'une représentation à une autre et transformer ces représentations. La réalisation de n'importe quelle habileté cognitive implique seulement un sous-ensemble de ces ressources, qui doivent être organisées d'une manière particulière pour la tâche en cours, et pour se défendre contre les perturbations des autres influences. Bien que certains processus reliés au but en cours soient déclenchés de manière inflexible par le stimulus approprié, d'autres ne le sont pas. Ces autres processus doivent être permis ou empêchés, connectés ou déconnectés, réglés, organisés, dirigés, programmés ou surveillés (pour certains d'entre eux) pour accomplir des actions en lien avec des buts particuliers (Monsell & Driver, 2000).

L'objectif général de ce travail de thèse est d'explorer les facteurs déterminant les variations d'efficacité du contrôle exécutif lors de la réalisation d'une tâche. L'étude du contrôle exécutif est envisagée ici dans une perspective neuroscientifique impliquant des interactions entre différents systèmes sous-tendus par des régions cérébrales distinctes, à l'image du modèle de fonctionnement de l'attention de Posner et Petersen (1990). Dans le cadre d'une telle perspective, un ou plusieurs réseaux de fonctionnement du contrôle peuvent être envisagés (e.g. Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001 et

Braver, Gray, & Burgess, 2007, qui envisagent respectivement une versus deux boucles de contrôle). Nous adoptons en premier lieu une approche fonctionnelle et en deuxième lieu une approche structurale des déterminants des variations d'efficacité du contrôle exécutif.

L'approche fonctionnelle s'intéresse aux déterminants susceptibles de moduler le fonctionnement du contrôle exécutif envisagé dans son ensemble, i.e. sans distinguer différents systèmes ou processus de contrôle pour expliquer les variations d'efficacité du contrôle exécutif. Parmi ces facteurs modulants, nous pouvons distinguer notamment les facteurs motivationnels inhérents au sujet (e.g. effort de préparation si intérêt à le faire) et les facteurs environnementaux susceptibles d'induire des attentes de la part du système cognitif (comme par exemple la prédictibilité d'un événement permettant une préparation). Dans ce contexte, les échecs de contrôle peuvent notamment être induits par un manque de ressources énergétiques disponibles (cf. profil de performances exécutives chez les populations présentant des atteintes cérébrales diffuses) plus que par une incapacité réelle du système cognitif.

L'approche structurale s'intéresse à la possible mise en jeu de systèmes et processus de contrôle exécutif distincts, sous-tendus par des réseaux neuronaux différents, permettant d'expliquer les variations d'efficacité du contrôle exécutif. Par exemple, Braver et al. (2007) proposent l'emprunt d'une boucle de contrôle ou d'une autre selon que le sujet ait la possibilité ou non de se préparer à l'avance à la réalisation d'une activité. Dans ce contexte, les variations dans l'efficacité du contrôle dépendent des ressources cognitives disponibles – i.e. du type de processus ou du système utilisé -et donc notamment de l'intégrité des structures neuro-anatomiques sous-tendant ces différents processus ou systèmes.

L'étude du contrôle cognitif s'appréhende ici à travers celle du contrôle du set associé à une tâche. Nous postulons que la réalisation d'une tâche serait cognitivement déterminée par sa représentation abstraite : le set associé à cette tâche. Un set associé à une tâche correspond à une configuration de processus cognitifs nécessaires à la réalisation de la tâche (e.g. Monsell, 1996). Les processus cognitifs en jeu sont des processus perceptifs, attentionnels, mnésiques et moteurs nécessaires pour réaliser la tâche. Dans cette perspective, un set lié à une tâche peut être déclenché de manière exogène par l'environnement, mais peut être également en partie contrôlé de manière endogène. Les processus de contrôle interviennent notamment pour moduler les processus de traitement perceptif et les processus de sortie de plus bas niveau constitutifs d'un set lié à

une tâche, afin de produire un comportement approprié en fonction d'un but en cours et des caractéristiques du contexte.

De manière générale, il est intéressant d'utiliser le concept de *set* associé à une tâche pour étudier le contrôle exécutif car (1) l'activation et le maintien des informations liées à un *set* constituent deux fonctions principales associées au contrôle exécutif (e.g. Miller & Cohen, 2001) et (2) le concept de *set* associé à une tâche permet de rendre compte d'une grande partie des processus de résolution du conflit, qui correspond à une autre fonction principale du contrôle exécutif (ibid.).

La possibilité d'établir un *set* lié à une tâche et de le maintenir avant l'arrivée de l'information cible à traiter facilite la réalisation ultérieure de la tâche (e.g. Rogers et Monsell, 1995). Ces opérations d'activation et de maintien du *set* ont été associées à une partie de l'activité neuronale soutenue durant l'intervalle précédant la réalisation d'une tâche particulière (e.g. Braver, Reynolds, & Donaldson, 2003). Cette activité neuronale est principalement localisée dans le cortex préfrontal (Sakai, 2008). Par ailleurs, une des caractéristiques unanimement partagées par les modèles du contrôle exécutif est celle du maintien temporaire en mémoire d'informations relatives au but (e.g. Anderson, 1993 ; Lovett, Reder, & Lebiere, 1999), dont le substrat anatomique serait le cortex préfrontal (Miller & Cohen, 2001). Les informations contenues dans le *set* activé et maintenues avant l'arrivée de l'information cible à traiter correspondraient notamment aux informations relatives au but (ou instructions de tâche, e.g. Rubin & Meiran, 2005), maintenues temporairement dans le cortex préfrontal (e.g. Braver et al., 2003). Nous voyons donc ici en quoi l'étude de l'établissement et du maintien d'un *set* lié à une tâche correspond à l'étude du contrôle exécutif dans sa fonction de maintien temporaire d'informations relatives au but.

En outre, le concept de *set* permet d'étudier la fonction du contrôle exécutif qu'est la résolution du conflit. En effet, dans les épreuves de permutation de tâche par exemple, les sujets opèrent une sélection entre au moins deux *sets* ou deux tâches en compétition. Comme un *set* est une configuration de processus perceptifs, attentionnels, mnésiques et moteurs, le conflit et sa résolution par le contrôle exécutif peuvent avoir lieu à différentes étapes des processus cognitifs selon le locus d'interférence entre les deux tâches. Le conflit peut avoir lieu à l'étape de sélection de la réponse, de représentation du stimulus (e.g. Liston, Matalon, Hare, Davidson, & Casey, 2006) ou encore à l'étape conceptuelle de traitement des règles des deux tâches (Badre & Wagner, 2006). Par ailleurs, la

résolution du conflit par le contrôle exécutif peut se faire de manière anticipée, par la sélection anticipée et le maintien du *set* de tâche approprié, ou de manière réactive par la détection *on line* de l'information conflictuelle susceptible d'amener à l'activation d'un *set* non pertinent par rapport au but en cours.

L'intérêt d'utiliser le concept de *set* lié à une tâche pour étudier le contrôle exécutif peut être illustré par l'exemple suivant. Un patient présentant un déficit du contrôle exécutif peut réaliser n'importe quelle activité, puisque les fonctions cognitives élémentaires qui le permettent sont préservées. Cependant, il aura des difficultés à maintenir cette activité face aux stimulations externes, ou au contraire persévèrera dans une activité alors que des indices internes ou environnementaux suggèrent d'en changer. En laboratoire, la réalisation d'une activité peut être modélisée par la réalisation d'une simple tâche de temps de réaction à choix. Comme la réalisation d'une tâche est déterminée cognitivement par l'activation du *set* associé à cette tâche, alors l'étude du contrôle exécutif peut se faire par l'étude des processus de contrôle qui régulent l'état d'activation de ce *set*. La réalisation d'une tâche, médiatisée par l'activation d'un *set* de tâche pouvant être régulée par le contrôle exécutif, constitue ainsi une modélisation à la fois relativement simple mais suffisamment complexe permettant de rendre compte d'une grande partie du fonctionnement du contrôle exécutif, ainsi que de ses déterminants structuraux (processus en jeu) et fonctionnels (modulation de la mise en jeu de ces processus en fonction des caractéristiques inhérentes au sujet et à l'environnement).

L'étude des **déterminants qui agissent sur les aspects fonctionnels** du contrôle exécutif concerne les **deux premiers chapitres expérimentaux** (chapitres 2 et 3) et s'intéresse plus précisément à l'influence du contexte sur les modulations opérées par le contrôle cognitif. Des manipulations implicites du contexte peuvent-elles influencer le contrôle d'un *set* lié à une tâche ?

Les aspects **structuraux** susceptibles d'expliquer les **variations d'efficience** du contrôle exécutif concernent les **deux derniers chapitres expérimentaux** (chapitres 4 et 5). Les conditions qui permettent ou non de se préparer, déclenchent non pas des stratégies différentes, mais conduisent à mettre en œuvre des processus différents, sous-tendus par des systèmes différents. Le chapitre 4 tente d'isoler des traces comportementales révélant la mise en jeu de processus distincts, selon que le contrôle du *set* est mis en place de manière anticipée ou déclenché de manière réactive par l'arrivée de l'évènement à traiter.

Le chapitre 5 aborde l'hypothèse que le contrôle préparatoire ou proactif serait spécifiquement sous-tendu par le système de neurotransmission dopaminergique.

Le premier chapitre pose le cadre théorique de ce travail. La première partie définit l'approche du contrôle exécutif que nous adoptons, conçu comme un ensemble de processus non spécifiques d'un type d'information – contrairement aux processus dits «de base» - impliqués dans la réalisation d'une tâche. La deuxième partie présente les deux paradigmes expérimentaux utilisés dans ce travail de thèse et précise parallèlement la pertinence du concept de *set* associé à une tâche dans l'étude du contrôle exécutif. La troisième partie définit plus précisément la notion de *set* et situe notre approche du contrôle exécutif – comme contrôle du *set* associé à une tâche – par rapport à d'autres modèles ou approches. La quatrième partie est consacrée aux déterminants contextuels de l'efficacité du contrôle exécutif, et la cinquième partie aux aspects structuraux de l'efficacité du contrôle tels qu'envisagés par un modèle de fonctionnement du contrôle exécutif à deux voies.

Cadre théorique

1. Le contrôle exécutif

1.1. Nécessité d'un système de contrôle

Initialement, l'idée d'un processus spécifique de contrôle a été fortement nourrie par l'observation de patients atteints de lésions du cortex préfrontal, dont certains troubles ont été expliqués par l'atteinte d'une fonction supérieure de contrôle, conduisant par la même occasion à postuler que le rôle fonctionnel des régions préfrontales est justement d'assurer ce contrôle cognitif (Damasio, 1994 ; Luria, 1973 ; Shallice, 1988 ; Shallice & Burgess, 1991). Il a été rapporté chez ces patients une désorganisation du comportement, tandis que la plupart des fonctions cognitives élémentaires (langage, mémoire, praxie) étaient préservées. Un aspect particulier du syndrome frontal est notamment que les patients présentent fréquemment une grande distractibilité, ou à l'opposé des tendances à la persévération (Luria, 1973 ; Shallice, 1988) : le système cognitif, privé de son mécanisme de régulation, tend à traiter de façon indifférenciée l'ensemble des stimulations présentes dans l'environnement, ou bien à persister dans un mode de fonctionnement. Comme le notait Luria (1973), c'est l'organisation du comportement qui est altérée, tandis que les formes plus élémentaires de l'activité sont préservées : l'idée sous-jacente est que les processus altérés occuperaient une position élevée dans la hiérarchie du système cognitif, et qu'ils interviendraient dans la régulation de l'activité mentale et l'attention volontaire (Luria, 1973 ; Shallice, 1988 ; Damasio, 1994 ; Miller & Cohen, 2001).

1.2. Système de contraintes lié à l'environnement et aux propriétés du système cognitif

Les multiples traitements de l'information qui ont lieu en parallèle, et les exigences imposées par un environnement changeant et offrant diverses possibilités d'actions, déterminent un ensemble de contraintes auxquelles doit répondre un mécanisme de contrôle régulant le fonctionnement du système cognitif.

Une multitude d'informations et de possibilités d'actions sont présentes dans l'environnement et plusieurs systèmes de traitement fonctionnant en parallèle peuvent répondre à ces afférences. Le traitement en parallèle d'informations impose que certains systèmes soient sélectionnés et coordonnés pour effectuer

les opérations adéquates sur les informations afférentes, car la conséquence de systèmes fonctionnant en parallèle est qu'ils peuvent potentiellement interférer les uns avec les autres (Mozer & Sitton, 1998). La cohérence comportementale exige que seulement certaines de ces affordances soient prises en compte, car très peu d'actions peuvent être réalisées en concurrence de façon compatible et efficace. Ainsi, la saisie d'un objet parmi d'autres nécessite de définir les paramètres du mouvement (amplitude, direction, ouverture de la main, etc.) en relation avec les caractéristiques de cet objet, en ignorant celles des autres objets. Pour que l'action puisse être correctement exécutée, seulement certaines informations afférentes doivent donc être prises en compte, et en accord avec cela, seulement certains systèmes utilisés (choix d'un effecteur, d'une source d'information, etc.). L'action doit rester orientée vers l'objet à saisir, malgré les possibilités d'actions offertes par les autres objets présents.

En fonction du but fixé, une certaine configuration du système cognitif doit être établie, et il est nécessaire de maintenir cette configuration, tout en résistant aux interférences possibles dues aux affordances présentes dans l'environnement. Ainsi pour ne pas répondre seulement aux exigences des stimulations environnementales immédiates, mais sélectionner une action sur la base de plans ou de buts internes, une forme de contrôle de l'activité cognitive est donc nécessaire. L'objectif premier d'un système de contrôle exécutif est ainsi d'assurer la cohérence du comportement. Pour assurer la cohérence du comportement, un système de contrôle exécutif doit répondre à des contraintes liées à la fois aux propriétés l'environnement et aux propriétés du système cognitif.

1.3. Rôles du contrôle exécutif

Le contrôle exécutif intervient dans l'action volontaire (Monsell & Driver, 2000), caractérisée par l'habileté à se représenter l'état final (*goal state*) auquel doit arriver le sujet pour atteindre un but fixé, et par la capacité à anticiper les actions permettant d'y arriver (Goschke, 2003). Une telle représentation du but peut être formée en l'absence d'input sensoriel de sorte que, quand l'action volontaire est exécutée, cette représentation peut fournir les éléments nécessaires pour la réaliser (Jeannerod, 2006). Dans cette optique, le contrôle exécutif joue 2 rôles majeurs : (a) la gestion de l'interférence, qui implique la sélection et le maintien d'une configuration cérébrale appropriée, et (b) la modulation d'actions préétablies, qui implique le maintien de la représentation du but.

De plus, la force des opérations de maintien impliquées doit être dosée pour garantir une certaine flexibilité du système (c).

1.3.1. Gestion de l'interférence

Plusieurs auteurs pensent que les diverses opérations de contrôle, comme la sélection d'une configuration du système cognitif et le maintien de cette configuration, servent à une fonction majeure du contrôle qu'est la gestion de l'interférence (Braver et al., 2003 ; Braver & Cohen, 2000 ; Casey, Durston, & Fossel, 2001 ; Engle, Kane, & Tuholski, 1999 ; Goschke, 2003). La gestion de l'interférence inclut la gestion de l'ensemble des informations conflictuelles, distractrices et perceptivement saillantes, pouvant inciter à effectuer des actions ou des traitements en non-adéquation avec les intentions initiales.

D'autres modèles cognitifs, centrés sur la mémoire de travail, insistent sur l'importance de la fonction de gestion de l'interférence. Ainsi Engle (Engle et al., 1999 ; Engle & Kane, 2004 ; Kane & Engle, 2002) propose que le contrôle repose sur une mémoire de travail dont la capacité limitée conditionne les possibilités de contrôle. Le contrôle consiste à maintenir en mémoire de travail une représentation en résistant aux interférences, c'est-à-dire en évitant l'activation d'informations non pertinentes par rapport au but de la tâche en cours. C'est cette résistance à l'interférence qui conditionne la possibilité de mener à terme une action orientée vers un but.

1.3.2. Modulations top-down

D'autres auteurs insistent également sur la modulation d'actions préétablies dans l'action volontaire. Dans le modèle de Norman et Shallice (1986), le contrôle exécutif est assuré par un centre de contrôle ou Système Attentionnel Superviseur (SAS), et l'un de ses rôles essentiels est de moduler (biaiser) l'activation de schémas d'action ou séquences d'opérations de traitement prédéfinies. Le SAS intervient notamment lorsque les opérations activées par les indices présents dans l'environnement ne sont pas en accord avec le but fixé. L'intervention du SAS consiste alors en une inhibition des actions déclenchées automatiquement de façon exogène et pouvant interférer avec le but.

L'intention de réaliser une action orientée vers un but se traduit par l'activation de la représentation du but, activation essentielle pour l'établissement d'une configuration cognitive particulière - ou *set*. L'activation en mémoire de

travail du but et des informations relatives peut avoir une origine exogène ou se faire sur la base d'un contrôle exécutif endogène. Cette activation contraindrait d'autres niveaux de traitement dont le fonctionnement serait biaisé (activation ou inhibition) de telle sorte que leurs états (d'activation ou d'inhibition) soient compatibles avec l'atteinte du but (e.g. Goschke, 2003 ; Norman & Shallice, 1986). Lorsque les affordances externes et les buts internes ne coïncident pas, il doit y avoir mise en œuvre d'un contrôle endogène, afin d'assurer une certaine *stabilité* en limitant les possibilités des stimuli externes de déclencher une réponse ou une action incompatible avec le but actuel.

1.3.3. Balance stabilité/flexibilité

Le contrôle consiste ici à maintenir la configuration cognitive choisie initialement en accord avec le but de la tâche face aux sollicitations externes. Toutefois, dans un environnement incertain et changeant, il peut être inapproprié de maintenir une configuration cognitive particulière. De même, si la résistance aux interférences est nécessaire pour conduire à terme une activité de façon efficace, sans interruption inopportune du fait des stimulations externes, il est important de maintenir un minimum de sensibilité aux stimuli extérieurs pouvant indiquer un danger ou une priorité par rapport au but actuel. Le contrôle endogène exercé doit donc être optimum, afin de garantir une *flexibilité* minimum permettant au système de réagir à un événement externe important, et d'adopter rapidement un nouveau *set* (Allport, 1989 ; Goschke, 2000, 2003). Dans cet esprit les actions volontaires se caractérisent par une combinaison entre flexibilité et stabilité (Goschke, 2003) : les réponses à des stimuli peuvent changer si de nouvelles intentions sont formées, et les réponses à des stimuli changeants peuvent rester constantes, si les buts sont maintenus dans le temps et au cours de différentes situations (Gladwin, Lindsen, & De Jong, 2006).

Les processus de contrôle s'exercent donc ici à trois niveaux : la configuration endogène du système cérébral, le maintien de cette configuration, et le dosage de la force de maintien de cette configuration, afin de garantir le rapport approprié entre flexibilité et stabilité.

2. Étude du contrôle exécutif via la réalisation de tâches à étape unique

Les questions très générales qui viennent d'être évoquées ne peuvent être traitées empiriquement qu'à travers des paradigmes expérimentaux impliquant des tâches précises. Nous présentons ici les deux paradigmes utilisés dans ce

travail – les tâches de type «Stroop» et le paradigme de permutation de tâche - et cherchons à analyser dans chaque cas les modalités d'intervention d'un contrôle exécutif.

Ces deux paradigmes ont en commun l'utilisation de tâches à étape unique (*single step task*) dans lesquelles sont recueillis des temps de réponse (TR) : les participants sont invités à répondre «le plus vite possible et sans faire d'erreur» à une série de stimuli d'un ensemble spécifique (chiffres, mots), en réalisant une action (appuyer sur un bouton) selon des règles arbitraires (e.g. «appuyer sur le bouton gauche si le mot désigne un animal, ou sinon sur le droit») (Monsell, 2005). L'utilisation d'une telle méthode expérimentale présente l'avantage de constituer une situation standardisée : il se passe toujours la même chose à l'entrée et à la sortie, un nombre limité de variables est manipulé et leurs conséquences sur les TR sont examinées. Nous participons ici à étayer les données d'une cohorte d'études reposant sur une même famille de paradigmes, partageant donc des variables et des concepts communs et fournissant ainsi un matériel appréciable pour tenter de cerner un phénomène psychologique comme le contrôle exécutif, depuis longtemps exploré à travers une grande diversité de tests, de protocoles et de variables.

Les tâches de type Stroop et les épreuves de permutation de tâche sont deux paradigmes qui permettent d'étudier la sélection et l'activation d'une configuration cérébrale en lien avec un but interne (qui équivaut ici à une instruction de tâche), ainsi que la force du maintien exercé sur cette configuration, permettant de résister aux schémas d'action concurrents, notamment lors du traitement d'un stimulus bivalent. Le paradigme de permutation de tâche permet en outre d'étudier les processus mis en place quand il y a changement de but interne. Ces deux paradigmes sont liés dans la mesure où, dans les deux cas, il s'agit de réaliser une tâche en résistant à la tentation de réaliser une tâche concurrente, plus habituelle (dans le cas du Stroop) ou récemment activée (dans le cas d'épreuves de permutation de tâche).

Pour chaque paradigme, nous allons présenter en quoi les situations qu'il modélise nécessitent l'intervention du contrôle exécutif. Nous montrerons également que les opérations de contrôle sollicitées par ces deux paradigmes sont notamment réalisées sur des représentations cognitives de haut niveau, que nous avons désignées par le terme de *set*. Sur cette base, nous présentons de manière détaillée le concept de *set*, le contrôle exécutif étant envisagé dans ce travail de thèse comme le contrôle du *set* lié à une tâche.

2.1. La tâche de Stroop

2.1.1. Description

Dans la tâche de Stroop classique (Stroop, 1935) les participants nomment à haute voix la couleur de l'encre d'un mot désignant une couleur. L'effet Stroop désigne le fait que la dénomination de la couleur est réalisée plus rapidement pour les items congruents (e.g. le mot ROUGE écrit en rouge) que pour les items dits incongruents¹ (e.g. le mot ROUGE écrit en bleu). L'intérêt de l'effet Stroop est qu'il constitue un outil opérant pour explorer les processus qui contrôlent la sélection de l'information pertinente et non pertinente durant la performance (mais voir Dishon-Berkovitz & Algom, 2000). Un large effet Stroop indiquerait une sélection peu efficace de l'information pertinente, contrairement à un effet Stroop réduit indiquant une sélection efficace de l'information pertinente (Crump, Vaquero, & Milliken, 2008).

2.1.2. Origine de l'effet Stroop

Il existe un consensus sur un conflit entre deux traitements distincts dans les situations de type Stroop. Dans la tâche de Stroop classique, il s'agit de la lecture du mot et du traitement de la couleur de l'encre (pour revue, voir MacLeod, 1991). Considérant que ce type de situation est soumis à l'intervention du contrôle exécutif, qui permet d'éviter que le traitement de la dimension non-pertinente (lecture du mot) n'aboutisse à la production d'une réponse erronée, une question est de savoir à quel(s) niveau(x) opère ce contrôle.

L'interférence de type Stroop est typiquement discutée comme provenant de la compétition entre des réponses incompatibles (e.g. Posner & Snyder, 1975 ; Botvinick et al., 2001). Par exemple dans l'épreuve de Stroop classique, les deux traitements qui opèrent en parallèle impliquent la même modalité de réponse (réponse orale). Par conséquent un conflit (créant l'interférence) aurait lieu seulement dans le cas où l'information à ignorer (e.g. le mot *vert*) correspondrait à une réponse différente de celle évoquée par l'information pertinente à laquelle le sujet doit répondre (e.g. la couleur d'encre rouge), c'est-à-dire quand le stimulus est incongruent. Un mécanisme de contrôle, dont le but serait de réduire cette interférence, agirait donc en empêchant l'information interférente d'aboutir à une réponse erronée. Ceci peut être réalisé soit en rehaussant la dimension

1. Ce néologisme dérivé directement du terme anglais sera préféré ici à la traduction française plus correcte qui serait «non-congruent».

pertinente (i.e. la couleur, cf. Egner & Hirsh, 2005a), soit en ignorant la dimension non pertinente (i.e. le mot, e.g. Allport, 1987), soit par les deux mécanismes (e.g. Cohen, Dunbar, & McClelland, 1990). Dans ce cas, le contrôle opère suite à la détection d'un 'conflit informationnel' (Goldfarb & Henik, 2007).

En considérant des épreuves de type Stroop incluant des essais neutres (où le stimulus évoque une seule tâche), ce niveau de conflit explique l'effet classique d'interférence Stroop (TR plus longs pour les stimuli incongruents que pour les stimuli neutres), mais également l'effet de facilitation (TR plus courts pour les stimuli congruents que pour les stimuli neutres, e.g. MacLeod & MacDonald, 2000). En effet, selon l'hypothèse du conflit informationnel, il y aurait conflit seulement quand l'information portée par la dimension non pertinente (le mot) correspond à une réponse différente de celle évoquée par la dimension pertinente (la couleur). L'effet de facilitation témoigne d'une absence de conflit pour les stimuli congruents, car les mêmes réponses sont activées par les deux traitements. Dans ce cas l'information produite par un stimulus congruent serait plus compatible que l'information produite par n'importe quel stimulus neutre (non-mot ou mot différent d'un mot de couleur).

En résumé, d'après l'hypothèse du conflit informationnel, l'étape du traitement de l'information où aurait lieu le conflit, et qui serait responsable de l'effet d'interférence Stroop, serait l'étape de sélection de la réponse. Cela implique que l'effet d'interférence Stroop doit être d'autant plus important que les noms des réponses concurrentes sont similaires (MacLeod, 1991), comme cela se reflète dans le fort effet d'interférence observé dans la tâche classique de Stroop, où la réponse désirée et la réponse concurrente appartiennent à la même catégorie (couleur). Or, nous allons voir que ce n'est pas toujours le cas (e.g. Monsell, Taylor, & Murphy, 2001).

2.1.3. Localisation du conflit au niveau de la représentation abstraite de la tâche

Certaines études suggèrent que l'interférence n'est pas seulement le reflet d'un conflit de réponse, mais qu'il existe également un conflit en amont, au niveau des deux tâches considérées dans leur ensemble (i.e. au niveau des sets liés à ces tâches). Ainsi, des études utilisant des tâches de Stroop classique montrent que les mots qui ne désignent pas une couleur, interfèrent quand même avec la dénomination de la couleur de l'encre, par rapport à des séquences de lettres de type *xxxx* (Klein, 1964 ; Monsell et al., 2001). Cette interférence est cependant moins importante que celle suscitée par un mot désignant une

couleur. Monsell et al. (2001) montrent également une plus forte interférence de la part de pseudo-mots prononçables par rapport à des séquences de fausse police. De plus, ils ne trouvent pas de différence dans l'amplitude de l'effet d'interférence entre des mots de haute fréquence, des mots de basse fréquence et des pseudo-mots prononçables, quand ils ne sont présentés qu'une seule fois. Ils en concluent qu'une séquence de lettres prononçable suscite une activité de lecture, et que cette seule tendance à lire le mot interfère avec la dénomination de la couleur attendue : cette interférence est due à la compétition provenant de la représentation abstraite de la tâche non pertinente activée par le stimulus, et non uniquement à la compétition entre des réponses opposées.

S'il y a compétition au niveau des représentations abstraites des tâches, les TR des essais congruents devraient être plus longs que ceux des essais neutres qui comprennent une séquence de lettres non prononçable. Il ne devrait donc pas y avoir d'effet de facilitation pour les essais congruents. Or, à part l'étude de Sichel et Chandel (1969), aucun résultat d'épreuves de type Stroop ne montre une telle expression comportementale. Cependant, des études d'imagerie cérébrale fonctionnelle apportent des données en faveur d'un conflit au niveau des tâches. Il apparaît que le cortex cingulaire antérieur est activé quand un conflit a lieu (e.g. Bush, Luu, & Posner, 2000 ; MacLeod & MacDonald, 2000), et des études montrent que dans le cas du Stroop, le cortex cingulaire antérieur est plus activé pour les stimuli incongruents et congruents que pour les stimuli neutres (Bench et al., 1993 ; Carter, Mintun, & Cohen, 1995). Ceci suggère donc la présence d'un conflit également pour les stimuli congruents et est compatible avec l'idée d'un conflit au niveau des tâches.

Goldfarb et Henik (2007) proposent une interprétation de l'absence de trace comportementale d'un conflit entre les tâches. Ils partent de l'idée que le cortex cingulaire ne fait rien d'autre que signaler la présence d'un conflit à des instances de contrôle devant résoudre le conflit (e.g. Botvinick et al., 2001). Ces auteurs postulent l'existence d'un conflit entre les tâches qui serait résolu plus rapidement par le contrôle que le conflit de réponse, expliquant ainsi l'absence d'évidence comportementale de ce conflit entre les tâches. Afin de faire apparaître au niveau comportemental l'existence d'un conflit de tâches, les auteurs procèdent à des manipulations expérimentales dont le but est d'abaisser le niveau du contrôle dévolu à la résolution du conflit de tâches. Ils augmentent considérablement la proportion d'essais neutres (qui sont des séquences de lettres ne suscitant pas ou peu la tâche de lecture), et introduisent sur la moitié des essais seulement, un indice prévenant si le prochain stimulus contiendra ou

non un mot. Avec une telle manipulation, ils observent des TR plus longs sur les essais congruents que sur les essais neutres, pour les essais sans indice (i.e. en situation de faible contrôle), c'est-à-dire le résultat attendu pour témoigner en faveur de l'existence d'un conflit au niveau des représentations abstraites des tâches.

Pour conclure, s'il existe bien dans les expériences de type Stroop un conflit de réponse ou conflit informationnel, des arguments expérimentaux plaident également en faveur de l'existence d'un conflit au niveau des représentations abstraites des tâches – i.e. au niveau des *sets* associés aux deux tâches (*task sets*).

2.2. Le paradigme de permutation de tâche

2.2.1. Description

Dans le paradigme de permutation de tâche, les sujets sont amenés à réaliser des changements de tâche au sein d'une série d'essais. A chaque essai le sujet réalise une tâche (classiquement une tâche de temps de réaction), et la nature de la tâche à réaliser change fréquemment d'un essai à l'autre, soit de manière prédictible selon une consigne donnée au préalable, soit en fonction d'un indice fourni avant chaque stimulus. Il peut s'agir par exemple de stimuli de type Stroop, pour lesquels le sujet doit alterner entre répondre en fonction de l'identité du mot et répondre en fonction de la couleur de l'encre.

Une première version du paradigme de permutation de tâche a été proposée par Jersild en 1927. Dans cette étude, les participants étaient face à des listes de nombres à deux chiffres. Dans une condition, ils devaient effectuer toujours la même opération sur ces nombres (par exemple ajouter 3, ou soustraire 3) et rapporter le résultat à haute voix. Dans une autre condition, ils devaient alterner entre addition et soustraction. Le temps mis par les participants pour parcourir la liste dans la condition d'alternance était supérieur à celui observé dans la condition où ils effectuaient toujours la même opération. Le coût associé à des changements de tâche a ensuite été mis à nouveau en évidence par Spector et Biederman (1976), et plus récemment par Allport, Styles et Hsieh (1994) puis par Rogers et Monsell (1995).

2.2.2. Origine du coût associé au changement de tâche

En utilisant une procédure similaire à celle de Jersild (1927), Allport et al. (1994) ont voulu tester l'hypothèse selon laquelle le coût observé en condition d'alternance était lié aux contraintes du contrôle exécutif, envisagé comme un système unitaire à capacité limitée (Baddeley, 1986 ; Norman & Shallice, 1986). Leur raisonnement était qu'en augmentant la difficulté des tâches, plus de ressources exécutives seraient allouées à celles-ci au détriment du processus d'alternance. Le coût d'alternance devrait alors être augmenté. Les résultats n'ont pas confirmé leur hypothèse, puisque le coût d'alternance n'a pas augmenté avec la difficulté des tâches.

Une autre hypothèse testée par ces auteurs est que le coût d'alternance reflète la durée des processus exécutifs nécessaires pour effectuer un changement de tâche. Augmenter le délai entre deux essais ou RSI (*response-stimulus interval*) devait alors permettre une réduction de ce coût. En effet, les tâches alternant de manière prédictible à chaque essai, augmenter le RSI revenait à augmenter le délai de préparation avant l'exécution de la tâche. Les résultats n'ont pas non plus confirmé cette hypothèse, puisqu'il n'y avait pas de réduction du coût d'alternance avec l'augmentation du RSI.

Allport et al. (1994) ont donc conclu de ces résultats que le coût d'alternance n'était pas lié à la mise en jeu de processus exécutifs. Pour expliquer le coût d'alternance, ils ont proposé une hypothèse selon laquelle ce coût serait lié à l'inertie de la tâche précédente (*task set inertia hypothesis*). Plus précisément, la configuration cérébrale mise en place pour exécuter une tâche déclinerait progressivement de façon passive, et cette inertie du *set* précédemment appliqué interférerait avec l'établissement d'un nouveau *set* pour réaliser la nouvelle tâche.

Rogers et Monsell (1995) aboutissent à une conclusion différente en utilisant une nouvelle procédure consistant à effectuer des changements de tâche prédictible tous les deux essais (*alternating runs paradigm*). Des paires de stimuli constituées d'une lettre et d'un chiffre étaient présentées, et la tâche à réaliser portait soit sur la lettre (voyelle ou consonne ?), soit sur le chiffre (supérieur ou inférieur à 5 ?). La nature de la tâche à effectuer à chaque essai était indiquée par l'emplacement de la paire de stimuli dans un ensemble de 4 carrés (figure 1). Une originalité de cette étude réside dans l'agencement de la séquence des tâches. Les participants effectuaient un changement prédictible de tâche tous les deux essais. Ainsi, considérant une tâche A et une tâche B,

la séquence de tâches était du type : AABBAABB... Un tel procédé permet de comparer à l'intérieur d'un même bloc (bloc mixte), les essais de permutation (e.g. le deuxième essai dans la séquence AB) aux essais de répétition (e.g. le deuxième essai dans la séquence AA). La mesure du coût associée au changement de tâche – appelée ici coût de permutation (i.e. permutations – répétitions) – constitue ainsi une mesure plus épurée des éventuels processus impliqués lors d'un changement de tâche. En effet dans la procédure précédente (Allport et al., 1994 ; Jersild, 1927 ; Spector & Biederman, 1976), la mesure du coût associé au changement de tâche était obtenue en comparant la performance globale de la condition d'alternance à celle des blocs simples dans lesquels n'était réalisée qu'une seule tâche. Une telle mesure du coût d'alternance risque d'être contaminée par des processus supplémentaires à ceux spécifiquement impliqués lors d'un changement de tâche et qui ne sont pas présents dans les blocs simples, comme le maintien actif des différents *sets* associés aux différentes tâches (e.g. Mayr, 2001), ou le processus de décision de tâche (Rubin & Meiran, 2005).

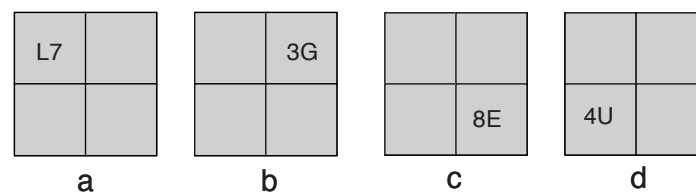


Figure 1. Exemple d'une série de 4 essais (a, b, c et d) dans le protocole utilisé par Rogers et Monsell (1995). Les paires de stimuli apparaissent de façon successive dans les carrés. Lorsque la paire de stimuli apparaît dans les carrés supérieurs (a et b), la tâche est réalisée sur la lettre et consiste à déterminer s'il s'agit d'une voyelle ou une consonne. Lorsque les stimuli apparaissent dans les cases du bas (c et d), la tâche est réalisée sur le chiffre et consiste à déterminer s'il est supérieur ou inférieur à 5. Les essais b et d correspondent à des essais de répétition de la tâche, et les essais a et c à des essais de permutation (la tâche réalisée est différente de la tâche réalisée à l'essai précédent). D'après Rogers et Monsell, 1995.

L'une des principales manipulations réalisée par Rogers et Monsell (1995) consistait à varier le RSI. Contrairement à Allport et al. (1994), qui faisaient varier le RSI d'un essai à l'autre à l'intérieur d'un même bloc d'essais, Rogers et Monsell (1995) ont contrasté des blocs d'essais successifs pour lesquels le RSI était différent d'un bloc à l'autre, mais constant à l'intérieur d'un même bloc. Ils ont alors observé, contrairement à Allport et al. (1994), un effet significatif de l'allongement du délai de préparation : le coût de permutation était réduit par l'allongement du RSI. Ce résultat conforte donc l'idée que le coût de permutation refléterait la mise en œuvre de processus de contrôle exécutif. Rogers et Monsell (1995) ont suggéré plus précisément que le coût de permutation reflète le délai de mise en œuvre d'un processus de contrôle endogène nécessaire à la

reconfiguration du système cognitif : avec l'allongement du délai de préparation, ce processus peut prendre place avant la présentation du stimulus, d'où la réduction du coût de permutation. Les résultats d'Allport et al. (1994) peuvent s'expliquer par le fait que les participants, lorsque le délai varie d'un essai à l'autre de manière imprévisible, ne peuvent savoir si le délai sera suffisant pour effectuer une reconfiguration avant la présentation du stimulus : ils adopteraient alors systématiquement une stratégie consistant à attendre la présentation du stimulus pour s'engager dans le changement de tâche, et ne tireraient donc pas bénéfice de l'allongement du délai de préparation.

Cependant, l'effet de l'augmentation du RSI observé par Rogers et Monsell (1995) peut être confondu avec une réduction de l'interférence liée à l'inertie de la tâche précédente (Allport et al., 1994 ; Allport & Wyllie, 2000 ; Sohn & Carlson, 2000). En effet, augmenter le délai entre la réponse de l'essai précédent et le stimulus suivant permet de donner plus de temps pour se préparer à la prochaine tâche, mais permet également de réduire la potentielle interférence générée par la tâche précédente sur la nouvelle tâche, puisque le délai entre l'exécution des deux tâches est augmenté.

En partant de ce constat, Meiran (1996) a initié une nouvelle version du paradigme de permutation de tâche (*task-cueing paradigm*), permettant de manipuler le délai de préparation tout en contrôlant l'influence de l'inertie de la tâche précédente. Dans cette procédure, l'ordre des tâches est cette fois-ci aléatoire, et la tâche à exécuter est signalée par un indice présenté avant l'arrivée du stimulus. Le délai entre l'indice et le stimulus ou CSI (*cue-stimulus interval*) est variable, mais le RSI est maintenu constant en modifiant l'intervalle réponse-indice ou RCI (*response-cue interval*, voir figure 2). Cette procédure présente donc l'avantage de mesurer un effet de l'augmentation du délai de préparation (augmentation du CSI) non contaminé par une éventuelle réduction de l'interférence liée à l'inertie de la tâche précédente (voir aussi Koch & Allport, 2006).

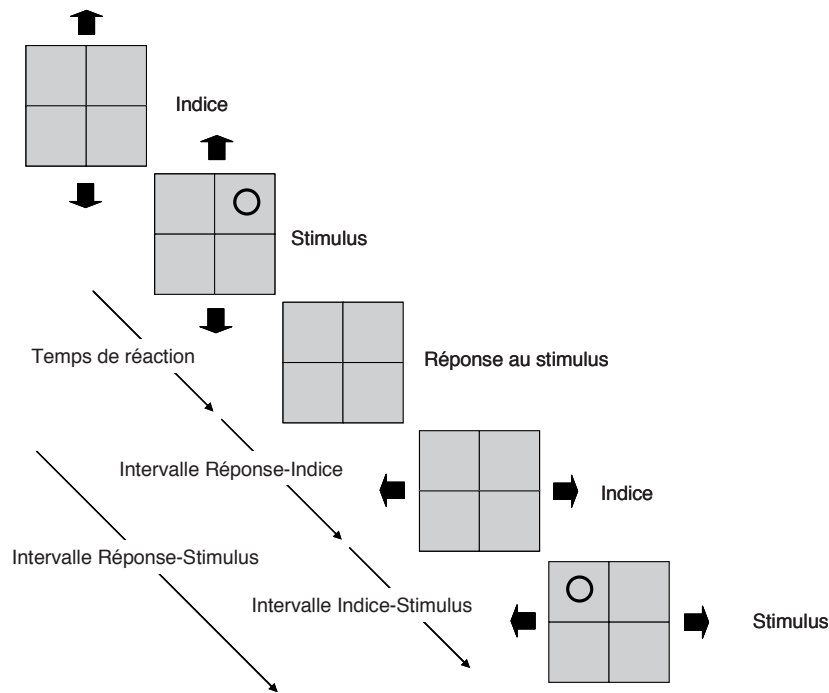


Figure 2. Illustration du paradigme de permutation de tâche utilisé par Meiran (1996). L'ordre des tâches est aléatoire. La tâche à effectuer est précisée à chaque essai par un indice présenté avant l'apparition du stimulus : dans le cas des flèches verticales, le sujet doit répondre en fonction de la localisation du cercle par rapport à l'axe horizontal (le stimulus est-il au dessus ou en dessous ?) ; dans le cas des flèches horizontales, le sujet doit répondre en fonction de la localisation du cercle par rapport à l'axe vertical (le stimulus est-il à droite ou à gauche ?). Le délai indice-stimulus varie, mais l'intervalle réponse-indice varie à l'inverse, ce qui permet de maintenir constant l'intervalle entre la réponse et le stimulus suivant (d'après Meiran, 1996).

Les résultats obtenus dans différentes études avec cette procédure ont permis de confirmer l'existence d'une réduction du coût de permutation avec l'allongement du délai de préparation (voir par exemple Rubin & Koch, 2006 ; Meiran & Daichman, 2005). D'autres travaux (Altmann, 2006, 2007 ; Logan & Bundesen, 2003 ; Mayr & Kliegl, 2003 ; Monsell & Mizon, 2006) ont de plus cherché à contrôler un éventuel coût du changement d'indice : dans le cas en effet où un seul indice est associé à chaque tâche, une répétition de la tâche se traduit nécessairement par une répétition de l'indice, alors qu'un changement de tâche implique un changement d'indice. L'emploi de deux indices différents pour une même tâche (par exemple un indice verbal et un indice pictural) a permis d'introduire une situation dans laquelle l'indice change mais la tâche se répète, et donc d'apprécier au mieux le coût de permutation lui-même.

En utilisant une procédure similaire à celle de Meiran (1996), d'autres études ont montré qu'une partie du coût de permutation reflétait également la dissipation passive du précédent *set* (e.g. Meiran, Chorev, & Sapir, 2000, expérience 1), comme le suggéraient Allport et al. (1994). Ainsi l'hypothèse d'une inertie de la tâche précédente comme source du coût de permutation n'est pas incompatible avec l'idée que le coût de permutation reflète également l'efficacité de processus de contrôle cognitif. L'ensemble des études s'accorde d'ailleurs aujourd'hui sur cette double origine du coût de permutation (pour revue, voir Monsell, 2003).

Un autre débat s'est installé concernant la mise en œuvre de processus de contrôle spécifiques lors d'un changement de tâche. D'après l'*hypothèse de reconfiguration* (Rogers et Monsell, 1995), le coût de permutation refléterait un processus fonctionnel particulier intervenant pour assurer le changement de configuration nécessaire à la réalisation d'une nouvelle tâche. En d'autres termes, parce que la tâche change, un contrôle doit être mis en œuvre afin d'effectuer ce changement. Dans cette perspective, les essais de permutation ont donc un statut particulier en ce sens qu'ils impliquent, à la différence des essais où la tâche se répète, des processus nécessaires à la reconfiguration du système, à l'établissement d'un nouveau *set*. Un *set* a donc besoin d'être établi lors d'un changement de tâche, et une fois cette configuration établie, elle va persister, tant que la tâche demeure inchangée. C'est pourquoi on observerait donc un délai supplémentaire, un coût lors d'une permutation de tâche. Divers travaux précisent que ce processus exécutif nécessaire à la reconfiguration permettant la permutation de tâche désigne plus concrètement des opérations de contrôle telles que la récupération en mémoire du but de la tâche, l'activation et le maintien en mémoire de l'information pertinente, l'inhibition des informations non-pertinentes, la récupération des règles S-R (Rubinstein, Meyer, & Evans, 2001 ; Mayr & Kliegl, 2003 ; Meiran, 2000 ; Mayr & Keele, 2000).

Toutefois, une explication alternative du coût de permutation a été proposée (Altmann, 2002, 2004 ; Altmann & Gray, 2008 ; Gruber, Giabbiconi, Trujillo-Barreto, & Müller, 2006). Cette explication repose sur l'hypothèse que l'activation d'un *set* (ou d'une règle ou d'une instruction en mémoire) diminue graduellement avec le temps. Supportant cette idée, une diminution de la performance au cours d'une série d'essais dans une même tâche a été rapportée dans le cadre d'épreuve de permutation de tâche (Altmann & Gray, 2002 ; Altmann, 2002). Sur cette base, le coût de permutation correspondrait au temps nécessaire à la réactivation (réencodage) du *set* afin de réaliser la tâche nouvelle. Cette proposition implique que les mêmes processus sont engagés dans les essais

de répétition et les essais de permutation. Mais dans les essais de permutation, puisque la tâche devant être effectuée a été abandonnée n essais auparavant, la trace du *set* a donc diminué, et sa réactivation complète demande alors un temps plus important que pour les essais de répétition où le *set* est réactivé à chaque essai. C'est donc ici plus un bénéfice associé aux essais de répétition qui est mis en avant, plutôt qu'un coût lié à la permutation.

Enfin, il convient de préciser que cette hypothèse d'activation n'exclut pas l'utilisation du paradigme de permutation de tâche, sur lequel elle est d'ailleurs construite, pour investiguer les processus de contrôle. Dans *l'hypothèse de reconfiguration*, les processus de contrôle sont recrutés lors d'un changement de tâche car la configuration préalablement établie n'est plus adaptée, et un nouveau *set* doit être adopté à la place. Ces processus de contrôle ne seraient donc pas sollicités lors des essais de répétition car la tâche demeure inchangée. En revanche, dans *l'hypothèse d'activation*, le rôle des processus de contrôle n'est pas de permettre une réorganisation des ressources pour faire face à une nouvelle tâche car cette configuration n'est pas adaptée à la nouvelle tâche, mais d'activer (ou réactiver) une configuration, un *set*, dont l'activation diminue graduellement avec le temps.

Malgré les divergences entre ces deux hypothèses explicatives du coût de permutation, toutes deux indiquent néanmoins qu'une situation de changement de tâche constitue une condition particulière pouvant révéler les processus du contrôle cognitif ainsi que la nature des représentations d'une tâche. La nature des opérations mises en œuvre lors d'un changement de tâche reste à déterminer de façon précise, mais cet ensemble de données permet de considérer que le coût de permutation reflète bien, au moins en partie, la mise en œuvre de processus de contrôle exécutif (Monsell, 1996 ; mais voir Logan & Bundesen, 2003 ; Logan, Schneider, & Bundesen, 2007), dont l'efficacité dépend de facteurs endogènes (préparation volontaire, récence de la tâche à exécuter) et exogènes (ambiguïté du stimulus, etc.). L'étude des conditions et des facteurs qui déterminent l'importance du coût de permutation dans une situation donnée peut par conséquent apporter de nouveaux éléments à la compréhension du contrôle exécutif.

2.2.3. Les différents coûts associés à la flexibilité : coût global, coût mixte, coût de permutation

Dans les protocoles récents (*alternating runs paradigm* et *task-cueing paradigm*), le coût de permutation fait donc référence au contraste entre les essais de permutation et les essais de répétition à l'intérieur d'un même «bloc mixte» (i.e. comprenant deux tâches différentes). Selon Monsell et Driver (2000), ce coût de permutation reflèterait la mise en œuvre des processus de contrôle impliqués dans la reconnexion et la reconfiguration des différents modules de notre cerveau, assurant la réalisation d'une tâche plutôt qu'une autre pour un même stimulus donné. L'objectif des recherches en permutation de tâche est de préciser les déterminants de ce coût pour comprendre la nature du contrôle exécutif.

Le coût associé au changement de tâche tel que mesuré dans les premières études (où des blocs avec alternance de tâches sont contrastés avec des blocs simples comportant une seule tâche ; Allport et al., 1994 ; Jersild, 1927 ; Spector & Biedermann, 1976) correspond à un coût général de permutation (*general switch cost*, Kray, Li, & Lindenberger, 2002). Ce coût, appelé coût de sélection globale (*global set selection cost*, Mayr, 2001), reflète une multitude de phénomènes supplémentaires ayant lieu en situation de bloc mixte, sur tous les essais, y compris les essais de répétition, comparativement à la situation de bloc simple, comme l'interférence liée à l'inertie d'un *set* précédemment sélectionné (Allport et al., 1994) ou l'activation irrésistible d'un *set* concurrent déclenché par un stimulus particulier (Waszack, Hommel, & Allport, 2003), ou encore le maintien de plusieurs *sets* en mémoire de travail ou des processus de décision de tâche, etc. (e.g. Kray et al., 2002 ; Los, 1996, 1999 ; Mayr, 2001 ; Yehene & Meiran, 2007).

Afin d'isoler les phénomènes supplémentaires ayant lieu en situation de bloc mixte comparativement à la situation de bloc simple, indépendamment des phénomènes ayant lieu spécifiquement lors d'un changement de tâche (e.g. inertie du *set* précédent, processus de reconfiguration), une mesure appelée coût mixte (*mixing cost*) a également été proposée. Cette mesure consiste à comparer seulement les TR des essais de répétition dans les blocs mixtes aux TR des essais des blocs simples (e.g. Braver et al., 2003 ; Kray, 2006 ; Rubin & Meiran, 2005 ; Steinhäuser & Hübner, 2005). Diverses données suggèrent que le coût mixte reflète des phénomènes et processus distincts de ceux impliqués dans le coût de permutation. Par exemple un coût mixte peut être observé dans des conditions où il n'y a pas de changement de tâche (Yehene, Meiran,

& Soroker, 2005), tandis que le coût de permutation dépend de la présence réelle de permutations de tâche (Schuch & Koch, 2003). Il existe également des dissociations doubles entre les deux coûts : Cepeda, Cepeda, et Kramer (2000) trouvent que le déficit attentionnel chez les enfants affecte plus fortement le coût de permutation que le coût mixte, tandis que Kray et Lindenberger (2000) trouvent que le vieillissement normal affecte plus fortement le coût mixte que le coût de permutation. L'origine de ce coût mixte (phénomènes passifs d'interférence et/ou processus de contrôles) sera abordée dans le chapitre 3.

Enfin il convient de mentionner – pour la suite de l'exposé – l'existence d'un effet de congruence. Dans un paradigme où alternent deux tâches, les stimuli sont généralement bivalents : ils peuvent évoquer à la fois les deux tâches. L'effet de congruence renvoie au résultat selon lequel les réponses sont plus rapides sur les stimuli qui requièrent la même réponse pour les deux tâches concurrentes que sur les stimuli qui requièrent une réponse différente (e.g. Meiran & Kessler, 2008 ; Monsell & Mizon, 2006). Cet effet, parfois également nommé effet de congruence, renvoie à l'effet d'interférence décrit plus haut dans la tâche de Stroop.

2.2.4. Le rôle d'une représentation abstraite de la tâche

De nombreux auteurs tels qu'Altmann (2003) ou Logan et Bundesen (2003) (voir aussi Kiesel, Kunde & Hoffmann, 2007 ; Koch & Allport, 2006 ; Ruge & Braver, 2007) rejettent l'idée de l'existence d'une représentation abstraite de la tâche au sein du système cognitif. Ils suggèrent, qu'au moins dans les situations appauvries telles que les épreuves de permutation de tâche (2 ou 3 tâches, nombre réduit de stimuli, 1 indice par tâche), il n'est pas nécessaire d'invoquer une classe spéciale de processus de contrôle exécutif pour expliquer les données ; elles peuvent s'expliquer entièrement en termes de processus standards d'apprentissage et récupération associatifs : les participants apprendraient la réponse associée à chaque composé indice-stimulus, convertissant ainsi ce qu'on leur présente comme 2 tâches (avec chacune 2 règles stimulus-réponse) en une seule tâche, impliquant un grand ensemble d'associations indice-stimulus-réponse. Cependant, il existe des contre-arguments empiriques à cette proposition.

D'après Monsell (2005), si de telles associations indice-stimulus-réponse déterminent la performance, alors l'introduction de nouveaux indices ou stimuli devrait dégrader la performance jusqu'à ce que ces nouvelles combinaisons soient également apprises. Or, Rogers et Monsell (1995, expérience 1) n'observent

pas une telle perturbation quand un nouvel ensemble de stimuli (de nouvelles consonnes) est introduit après 2 jours d'entraînement. Dans la même série d'expériences, Rogers et Monsell (1995) observent par ailleurs que les TR sont substantiellement plus courts pour les stimuli neutres que pour les stimuli congruents. Comme nous l'avons précédemment vu pour les expériences de type Stroop, une telle différence est également la marque d'une compétition au niveau des représentations abstraites des tâches.

Dans une de leurs expériences, Monsell et Mizon (2006) demandent aux participants de classer des stimuli d'un ensemble de seulement 4 chiffres comme pair/impair ou grand/petit sur la base de la couleur du fond d'écran. Les TR sont alors substantiellement réduits après 700 essais. Quand, à ce point, un ensemble de 4 autres chiffres est introduit, la performance est seulement perturbée de manière transitoire. Les participants ne doivent donc pas utiliser une telle stratégie indice-stimulus-réponse. Pour vérifier ceci, un second groupe de participants reçoit la consigne d'essayer d'apprendre les associations indice-stimulus-réponse. La performance de ce groupe est nettement plus pauvre. Ainsi, même dans des conditions favorisant la stratégie d'associations indice-stimulus-réponse, celle-ci apparaît notablement inefficace comparée à la stratégie hiérarchique de sélection d'une représentation abstraite de la tâche (le *set*, cf. ci-dessous), dans laquelle il faut trouver la règle appariée à l'intérieur de cette représentation (mais voir Dreisbach, Goschke, & Haider, 2006).

Un autre argument en faveur de l'existence d'une représentation abstraite de la tâche provient d'une étude de Meiran et Kessler (2008). Ces auteurs défendent l'idée que l'effet de congruence observé dans les épreuves de permutation de tâche est une forme d'interférence correspondant à l'activation en mémoire à long terme de la représentation de la tâche concurrente. Ils montrent dans une série d'expériences que cette activation est d'autant plus forte que la tâche concurrente est en lien avec un concept facilement verbalisable et acquis depuis longtemps (avant la réalisation de l'expérience). Par exemple, la tâche qui consiste à spécifier si un stimulus est situé en haut ou en bas d'un indice spatial génère un effet de congruence plus important que la tâche qui consiste à spécifier si un stimulus est situé en haut ou à gauche de l'indice. En effet, la première tâche renvoie au concept unique de verticalité, acquis depuis longtemps, alors que la deuxième tâche est moins habituelle et moins facilement verbalisable. Avec la pratique, cette deuxième tâche suscite un effet de congruence, contrairement à une troisième tâche liant arbitrairement un indice, un stimulus et une réponse, sans verbalisation simple possible. En conclusion, cette série d'expériences

montre que ce qui est responsable de l'effet de congruence n'est pas l'activation de règles indice-stimulus-réponse individuelles, mais plutôt l'activation de la tâche concurrente considérée comme un tout, c'est-à-dire l'ensemble des processus cognitifs impliqués dans sa réalisation, indépendamment de l'identité du stimulus.

Enfin, de la même manière que deux niveaux de conflit (sur lesquels opère le contrôle) pouvaient être distingués dans les épreuves de type Stroop (i.e. conflit de réponse et conflit de tâches), deux niveaux d'interférence entre les tâches peuvent être distingués dans les épreuves de permutation de tâche : un niveau associatif et un niveau séquentiel.

L'interférence d'origine associative a été avancée par Allport et Wylie (2000) qui proposent l'existence d'une forme d'interférence liée au fait qu'un stimulus rencontré dans le contexte d'une tâche deviendrait tout de suite lié de manière associative à cette tâche ; et si ce même stimulus est à nouveau rencontré, la tendance à réaliser la même tâche est activée du fait de cette association stimulus-tâche. Ceci peut alors interférer avec la tâche en cours lorsque le stimulus est rencontré dans le contexte d'une tâche différente. Une telle interférence associative aurait un plus large effet sur les essais de permutation que sur les essais de répétition, car dans le cas d'une permutation, la nouvelle tâche serait moins bien établie et plus vulnérable à l'interférence. Un argument fort en faveur de ces suppositions est apporté par les expériences de Waszack et al. (2003). Ces auteurs utilisent un large ensemble de stimuli composés chacun d'un mot superposé à une image d'objet ; les tâches sont de nommer l'objet ou le mot. Ils obtiennent de plus longs TR et de plus larges coûts de permutation pour la lecture de mots contenus dans les stimuli dont les sujets avaient précédemment dénommé l'image, que pour les stimuli où ils n'avaient pas dénommé l'image avant, même après plus de 100 essais intercalés. Par ailleurs, l'augmentation du coût de permutation avait lieu y compris pour les stimuli congruents – i.e. les stimuli pour lesquels la même réponse était requise lors des essais précédents dans la tâche concurrente. Ce dernier résultat montre que c'est l'association stimulus-tâche et non pas seulement l'association stimulus-réponse qui est responsable de l'effet observé.

L'interférence de type séquentiel correspond au phénomène d'inertie de la tâche précédente, qui interfère sur la nouvelle tâche à réaliser lors d'un changement de tâche (Allport et al., 1994). Une preuve que c'est bien la représentation de la tâche précédemment réalisée qui interfère avec la tâche

en cours, est l'asymétrie du coût de permutation. En effet, si l'on considère une tâche de Stroop, l'effet Stroop inversé (interférence de la couleur sur la lecture du mot) n'est généralement pas trouvé, en raison du plus faible seuil d'activation du *set* associé à la tâche de lecture que du *set* associé à la tâche de dénomination de la couleur (e.g. Cohen, Dunbar, & Mc Clelland, 1990). Paradoxalement, la permutation de la tâche de dénomination de la couleur vers la tâche de lecture du mot engendre un plus fort coût de permutation que la permutation inverse. La présence d'un contrôle endogène précédemment exercé au niveau de la tâche de dénomination de la couleur permet d'expliquer un tel résultat. Un fort degré de contrôle serait requis lors de la tâche de dénomination de couleur pour inhiber la tâche de lecture, de telle sorte que quand le sujet permute vers cette tâche de lecture, celle-ci serait dans un état d'activation réduit et nécessiterait du temps supplémentaire pour rehausser son niveau d'activation (Allport et al., 1994 ; Allport & Wylie, 2000).

Ces deux niveaux d'interférences contribuent au coût de permutation. Bien que Yeung et Monsell (2003a) montrent que le niveau séquentiel contribue plus au coût de permutation que le niveau associatif, ces deux composantes du coût de permutation font toutes les deux appel à une représentation abstraite de la tâche entrant en compétition avec celle d'une autre tâche.

En conclusion, même si le débat reste toujours d'actualité (e.g. Dreisbach et al., 2006), il semble légitime de postuler l'existence dans le cerveau d'une représentation abstraite de la tâche. Cette représentation abstraite de la tâche est communément dénommée par le terme anglo-saxon de *set* lié à la tâche (*task set*).

3. Étude du contrôle exécutif via le concept de contrôle du *set*

3.1. Notion de *set*

Dans cette perspective, l'exécution d'une tâche donnée implique l'adoption d'un *set* approprié. Monsell (1996) illustre ce concept de la façon suivante : face à une succession de mots, nous pouvons entreprendre l'activité de lecture à haute voix. Le *set* correspondant à cette activité implique certains processus particuliers (analyse visuelle des représentations orthographiques, traduction en représentations phonologiques, puis en activité articulatoire, etc.) ; mais face à ce même input visuel, nous pouvons également entreprendre l'activité de correction orthographique, impliquant l'adoption d'un autre *set*, impliquant des processus différents (procédures de détection et de correction d'erreurs) et des processus en commun (reconnaissance de mots) avec le *set* précédent.

Un *set* est donc une sélection d'un sous ensemble de processus disponibles au sein des systèmes cérébraux, qui sont réglés, organisés et reliés de façon appropriée au but actuel. Cette configuration spécifique des circuits cérébraux prédispose un sujet à répondre d'une certaine manière à un stimulus (Allport, 1989 ; Monsell, 1996). L'adoption d'un *set* lié à une tâche dépend des prédispositions du sujet (familiarité, fréquence et récence d'exécution de la tâche), de ses intentions, et de facteurs externes inhérents au stimulus. Un *set* est donc en partie contrôlé de manière endogène (exemple : je décide de prendre des notes, et je les prends), mais il est également conduit de manière exogène par l'environnement (exemple : nous répondons à un téléphone qui sonne). Ainsi, face à un stimulus de type Stroop, c'est le *set* lié à l'activité de lecture qui est activé automatiquement par les stimuli que constituent les lettres ; pour pouvoir nommer la couleur dans laquelle ces lettres sont présentées, le contrôle exécutif consiste alors à activer et maintenir le *set* associé à la tâche de dénomination de la couleur face à l'activation conflictuelle du *set* associé à la lecture. L'intervention de processus de contrôle serait donc nécessaire pour l'établissement de certains *sets* liés à certaines actions, notamment dans les situations de forte interférence, dans lesquelles les actions suscitées par les stimuli environnementaux (affordances) font appel à des *sets* différents de ceux impliqués dans l'action volontaire en lien avec un but interne.

Certains modèles soulignent par ailleurs la flexibilité des représentations de haut niveau (Duncan, 2001). Ces modèles peuvent s'appuyer sur des données neurophysiologiques obtenues chez le singe, qui montrent que certaines cellules

du cortex frontal répondent à l'information pertinente pour la tâche en cours, quelle que soit la tâche ou le type d'information. C'est donc le contexte de la tâche qui détermine les informations qui seront traitées.

On comprend mieux dès lors l'intérêt d'utiliser les paradigmes de permutation de tâche et de Stroop dans l'étude du contrôle exécutif. Afin de déterminer les mécanismes en jeu dans l'établissement d'un *set*, il peut être particulièrement intéressant d'analyser comment on en change, autrement dit d'étudier les mécanismes qui permettent de passer de la réalisation d'une tâche à la réalisation d'une autre via les épreuves de permutation de tâche. Les tâches de Stroop permettent d'étudier plus spécifiquement les possibilités de maintien d'un *set* face aux *sets* concurrents.

Le contrôle endogène du *set* (son établissement, son maintien dans le temps face à d'éventuels déclencheurs externes, et son abandon) peut donc être envisagé comme le but du système de contrôle attentionnel ou exécutif. Dans ce cadre, l'étude du contrôle exécutif peut donc être envisagée comme l'étude du contrôle du *set*. Ainsi définis, les processus de contrôle renvoient aux mécanismes participant à l'établissement et à la régulation du *set* nécessaires à la réalisation d'une tâche. Le fait de se préparer à adopter un nouveau *set* nécessiterait donc la mise en œuvre d'un système de contrôle, notamment pour empêcher l'application des *sets* non pertinents, ou, s'il échoue, pour résoudre le conflit entre les multiples réponses activées.

3.2. Activation et maintien de la représentation du but

La notion de *set* renvoie également aux concepts de mémoire de travail et de représentation du but envisagés dans les modélisations du contrôle exécutif.

La mémoire peut être entendue comme une composante du contrôle assurant le maintien du but et des informations contextuelles pertinentes. Dans divers modèles d'inspiration neuropsychologique, comme dans des modèles structuraux ou des modèles connexionnistes, on retrouve l'idée que le contrôle repose sur un maintien temporaire d'informations en mémoire faisant peser des contraintes sur d'autres niveaux du système (Baddeley & Logie, 1999; Braver & Cohen, 2000 ; Meyer & Kieras, 1997). Par exemple, dans le modèle ACT-R d'Anderson (1993), le comportement est guidé par l'appariement (*matching*) entre d'une part les représentations du but de la tâche et de l'environnement, et d'autre part les connaissances déclaratives de la mémoire à long terme. Une

caractéristique de ce modèle est que le traitement au sein de l'architecture cognitive dépend du but actuel du système : une ressource attentionnelle limitée, focalisée sur le but actuel, favorise l'accessibilité des seules connaissances pertinentes par rapport à ce but. La mémoire de travail renvoie dans ce modèle à la propagation d'une activation source de la part du but (Lovett et al., 1999), et un mécanisme d'activation attentionnel active donc spécifiquement les informations importantes pour le but actuel.

Il semble donc possible de dégager, malgré l'hétérogénéité des processus dits «exécutifs» (Miyake et al., 2000 ; Shallice & Burgess, 1991), une fonction essentielle du contrôle cognitif : le maintien temporaire en mémoire d'informations relatives au but, sur la base desquelles s'effectue une modulation ou un réglage du fonctionnement du système cognitif. Ainsi, une action orientée vers un but implique de maintenir actif au sein du système cognitif, la représentation du but et les informations contextuelles pertinentes pour sa réalisation.

Les résultats d'une étude récente (Olivers, Meijer, & Theeuwes, 2006) apportent un argument en faveur de cette conception. Dans cette étude, les sujets devaient détecter une lettre parmi des distracteurs, tout en gardant en mémoire une couleur. Certains des distracteurs étaient parfois de la même couleur que celle devant être gardée en mémoire. Les résultats indiquent que quand la couleur gardée en mémoire est identique à celle d'un distracteur, les sujets sont alors plus sensibles à l'interférence créée par le distracteur. L'information gardée en mémoire biaise donc le traitement visuel. Ces résultats sont en adéquation avec une conception selon laquelle le maintien temporaire d'informations en mémoire influence le traitement au sein d'autres composantes du système cognitif.

Dans une autre étude, Dreisbach et Haider (2009) utilisent des noms d'habits en tant que mots cibles, pour comparer la résistance du système cognitif à l'information interférente, selon que les participants apprennent par cœur des règles d'association stimulus-réponse ou utilisent un *set* lié à une tâche. Dans cette dernière condition, la tâche était d'appuyer sur le bouton de gauche si le mot correspondait à un habit couvrant une partie des jambes, ou sur le bouton de droite dans le cas contraire. La performance des participants de la condition «stimulus-réponse» était perturbée par tous les distracteurs, tandis que celle des participants de la condition «*set* lié à une tâche» était seulement perturbée par les distracteurs sémantiquement associés aux mots cibles (des dessins d'habits). Ce résultat suggère que la représentation d'une tâche qui s'appuie sur l'activation et le maintien d'un *set* lié à une tâche – qui inclut la représentation du but - aide

à focaliser son attention sur l'information pertinente, en protégeant le système cognitif du traitement de l'information non pertinente.

L'établissement du *set* et son maintien face à de possibles interférences exogènes impliquerait de maintenir active la représentation du but de la tâche (De Jong et al., 1999). L'activation de la représentation du but serait selon différents modèles l'étape première du contrôle exécutif (Botvinick et al., 2001 ; Braver & Cohen, 2000 ; Casey et al., 2001 ; Cohen & Servan-Schreiber, 1992 ; De Jong, Berendsen, & Cools 1999 ; Meyer & Kieras, 1997 ; Shallice & Burgess, 1991), voire une fonction essentielle du contrôle, sous-tendue par un réseau neuronal spécifique (Gruber & Goschke, 2004). L'activation de la représentation du but de la tâche apparaît comme un élément essentiel de l'établissement du *set* associé à cette tâche. La représentation du but en mémoire de travail conditionne la récupération des règles, des liens S-R, la définition des informations pertinentes à traiter dans l'environnement, et module ainsi le fonctionnement du système.

3.3. Spécificités de l'approche du contrôle exécutif via le contrôle du *set*

3.3.1. Similitudes avec le modèle de Norman et Shallice (1986)

L'approche théorique envisagée ici rejoint celle de Norman et Shallice (1986) déjà évoquée ci-dessus. En effet, le concept de *set* est proche du schéma d'action, au sens où ce dernier peut être sélectionné et activé de manière directe ou indirecte via l'intervention du contrôle exécutif représenté par le SAS.

La voie directe de sélection concerne les situations familières. Elle correspond au rehaussement (via le gestionnaire de conflit) du niveau d'activation de base du schéma d'action pertinent, en fonction des aspects perceptifs du contexte, du niveau d'activation des autres schémas, et des objectifs de la tâche en cours.

La voie indirecte de sélection concerne les situations nouvelles. Elle fait intervenir le SAS, qui module l'intervention du gestionnaire de conflit de manière à biaiser la procédure classique de sélection de schéma décrite ci-dessus, en ajoutant de l'activation et de l'inhibition supplémentaire aux schémas. Le SAS peut ainsi fournir un supplément d'activation à un schéma donné afin de lui permettre, en dépit de sa faible activation initiale, de prendre le dessus sur les autres schémas. Cette voie indirecte de contrôle de l'action est plus lente que la voie directe mais plus flexible (Norman & Shallice, 1986 ; Shallice, 1988).

Ces deux voies de sélection de schémas d'action correspondent ainsi respectivement aux sélections exogène et endogène d'un *set* décrites dans le cadre de la conception de Monsell (1996). Dans le modèle de Norman et Shallice (1986), tout comme dans l'approche adoptée ici, le contrôle exécutif intervient notamment quand il y a discordance entre les actions suscitées par les stimuli environnementaux et celles répondant au but interne fixé par le sujet. On retrouve également dans le modèle de Norman et Shallice l'idée d'une modulation par le contrôle exécutif, d'un enchaînement de schémas d'action préétablis. Les auteurs postulent également l'accès nécessaire du SAS aux intentions du sujet, intentions envisagées dans notre approche comme des contraintes qui modulent l'apprêtement du système à des réponses activées par des stimuli spécifiques (Goschke, 2003).

3.3.2. Divergences avec les approches structurales

L'approche du contrôle cognitif en termes de fonctions, dont on peut analyser les dissociations et les relations, en référence à une « structure » hypothétique du contrôle exécutif (Baddeley, 1996 ; Fournier-Vicente, Larigauderie, & Gaonac'h, 2008 ; Miyake et al. 2000), a permis d'avancer dans la compréhension de certains de ces mécanismes.

Dans le modèle de la mémoire de travail de Baddeley (Baddeley, 1986, 1996, 2000 ; Baddeley & Hitch, 1974), l'administrateur central (*executive center*) est un gestionnaire attentionnel amodal, impliqué dans le contrôle et la régulation des processus cognitifs. Il aurait notamment pour fonction de coordonner les flux d'information en provenance de différentes sources, et d'allouer les ressources pour les traitements au cours de la réalisation d'une grande variété de tâches cognitives. Son implication serait notamment nécessaire dans les épreuves mettant en jeu la flexibilité (génération aléatoire de chiffres ou de lettres, Baddeley, 1986), la conduite des doubles tâches (Baddeley, Della Sala, Papagno, & Spinnler, 1997), l'attention sélective et l'activation de la mémoire à long terme (Baddeley, 1996).

Une limite importante de ce modèle est que la nature des fonctions de l'administrateur central qu'il évoque n'est pas clairement spécifiée, puisqu'il s'agit plutôt d'une liste plus ou moins exhaustive des situations qui exigent du contrôle que d'un descriptif de la manière dont est exercé ce contrôle (Monsell & Driver, 2000).

La fonction générale de contrôle, regroupant diverses fonctions exécutives, semble attribuée ici à une seule instance (l'administrateur central) comme dans d'autres modèles (Shiffrin & Schneider, 1977 ; Norman & Shallice, 1986).

Afin d'aller plus loin dans la fragmentation du fonctionnement exécutif selon les processus en jeu, Miyake et al. (2000) examinent les relations entre trois fonctions exécutives régulièrement évoquées dans la littérature : la flexibilité ou alternance entre plans mentaux (passage volontaire d'un processus cognitif à un autre), l'inhibition de réponses dominantes, et la mise à jour de la mémoire de travail en fonction d'entrées nouvelles. Les auteurs montrent que ces trois fonctions, bien que modérément corrélées, sont clairement séparables. Ces trois fonctions exécutives contribueraient de manière différente à la performance aux tâches exécutives complexes habituellement utilisées dans les études cognitives et neuropsychologiques.

Là encore, malgré une volonté d'explorer plus finement le fonctionnement du contrôle, cette approche reste très descriptive, au sens où le mode d'intervention de chacune de ces trois fonctions n'est pas spécifié. Cette lacune est inhérente au choix de la méthode utilisée pour distinguer ces fonctions : pour chacune d'entre elles, les auteurs choisissent plusieurs tâches supposées les évaluer, et en procédant à une analyse factorielle confirmatoire, ils vérifient si les variables latentes dégagées correspondent bien aux fonctions présupposées. Les auteurs décrètent par exemple que l'épreuve de Stroop participe à la mesure d'une fonction générale d'inhibition. La fonction d'inhibition est finalement ici assimilée à la tâche. Notre approche diffère de celle-ci puisque nous utilisons la tâche de Stroop comme situation impliquant une certaine gestion de l'interférence, et nous tentons d'explorer les mécanismes en jeu dans cette gestion, ainsi que le type de représentation impliquée. De manière similaire, Miyake et al. (2000) utilisent le coût de permutation des épreuves de permutation de tâche comme mesure de la fonction générale de flexibilité, postulant que cette fonction implique l'inhibition d'un plan mental inapproprié, alors même que des débats théoriques perdurent sur le fait que le coût de permutation reflète ou non l'efficacité du contrôle exécutif. Notre utilisation du paradigme de permutation de tâche est à nouveau différente, puisque nous l'utilisons comme outil d'exploration indirecte de processus mentaux permettant l'adoption d'un *set* (Monsell, 1996).

Ainsi, dans les modèles structuraux présentés ici, la nature et l'organisation des processus de contrôle ont été relativement délaissées au profit de la description des tâches ou des conditions supposées les solliciter. Cette insuffisance a conduit

certain auteurs à considérer cet aspect de la cognition humaine comme une «zone d'ombre» (Monsell, 1996), où l'ignorance des opérations et du fonctionnement des processus de contrôle conduit finalement à attribuer la fonction de contrôle à un nouvel homoncule (Altmann, 2003 ; Logan & Bundesen, 2003 ; Monsell & Driver, 2000).

Finalement, l'approche théorique et méthodologique du contrôle exécutif que nous avons choisie, c'est-à-dire celle du contrôle du *set* lié à une tâche au moyen de tâches de temps de réaction à choix, se rapproche plutôt des approches théoriques et méthodologiques des chercheurs qui étudient les processus attentionnels. Si les concepts utilisés (e.g. celui de *set*) et les phénomènes observés sont similaires (e.g. amorçage négatif dans l'approche attentionnelle vs. inhibition de la tâche précédente dans l'approche du contrôle du *set* lié à une tâche), il convient cependant de mentionner une différence notable qui concerne le niveau de la représentation cognitive considérée. En effet, là où nous utilisons le concept de *set* lié à une tâche, les approches attentionnelles privilégient une sous partie de ce concept : celui de *set* attentionnel. Le *set* attentionnel correspond à la possibilité de se représenter à l'avance l'information cible à traiter, ce qui facilite le traitement ultérieur de cette cible. Le *set* lié à une tâche est différent du *set* attentionnel car il ne réfère pas à la représentation d'un stimulus précis mais à un ensemble de règles et de réponses possible à appliquer à un ensemble de stimuli possibles (e.g. Sakai, 2008). Aussi, à partir de maintenant, pour des raisons de clarté, nous utiliserons le mot «*set*» de manière isolée pour faire référence au concept de «*set* lié à une tâche» (*task-set*).

4. Modulations/Ajustements du contrôle

Après avoir présenté les caractéristiques méthodologiques et conceptuelles de notre approche du contrôle exécutif, nous présentons ci-dessous un aperçu de certains facteurs pouvant amener à des ajustements de ce contrôle.

Les processus de contrôle exécutif sont soumis à des modulations fonctionnelles dépendant notamment des caractéristiques du contexte (Botvinick et al., 2001 ; De Pisapia & Braver, 2006 ; Monsell & Mizon, 2006). Dans une épreuve de temps de réaction à choix, de tels ajustements du contrôle peuvent avoir lieu à l'échelle locale d'un essai, et/ou à l'échelle globale d'un bloc d'essais.

4.1. Influence de caractéristiques locales

De nombreuses études ont montré l'influence de caractéristiques locales (à l'échelle d'un essai) sur les opérations de contrôle. Ainsi comme nous l'avons vu précédemment pour les épreuves de permutation de tâche, la connaissance de la future tâche à réaliser – via la prédictibilité des séquences de tâche ou la présence d'un indice explicite – couplée à un délai de préparation suffisamment long, permet la configuration du système cognitif avant l'arrivée du stimulus à traiter (Meiran, 1996 ; Rogers & Monsell, 1995). L'allongement du délai de préparation réduit plus fortement les TR des essais de permutation que ceux des essais de répétition (e.g. Meiran et al., 2000 ; Monsell, Sumner, & Waters, 2003). Cette réduction du coût de permutation avec l'allongement du délai de préparation constitue l'argument principal en faveur de l'existence d'un processus supplémentaire de reconfiguration ayant lieu sur les essais de permutation mais pas sur les essais de répétition (Meiran, 1996 ; Monsell & Mizon, 2006).

La congruence du stimulus influe également sur les opérations de contrôle. Dans les épreuves de permutation de tâche et dans les tâches de Stroop, les TR des stimuli bivalents (susitant deux traitements concurrents) sont généralement plus longs pour les stimuli incongruents – appelant deux réponses différentes selon le traitement réalisé – que pour les stimuli congruents – appelant la même réponse pour les deux traitements (e.g. Meiran & Kessler, 2008). Dans le cadre des épreuves de permutation de tâche, cet effet de congruence de l'essai en cours est sujet à de multiples interprétations. Il peut témoigner, comme nous l'avons vu précédemment, de l'existence d'un conflit supplémentaire au niveau de l'étape de sélection de la réponse, lors du traitement d'un stimulus incongruent par rapport à celui d'un stimulus congruent, ou encore d'un conflit entre les tâches (e.g. Botvinick et al., 2001 ; Posner & Snyder, 1975). Pour certains auteurs, il reflète en lui-même l'intervention de processus de contrôle, puisqu'il pourrait témoigner d'un état de préparation général à un potentiel changement de tâche (Rubin & Meiran, 2005). En accord avec ceci, Yehene et al. (2005) observent un effet de congruence chez une patiente cérébrolésée qui ne parvient pas à changer de tâche (conformément aux instructions) malgré son intention de le faire. L'effet de congruence n'est pas observé chez cette même patiente dans un bloc d'essais où elle ne doit réaliser qu'une seule tâche.

L'effet de congruence est généralement plus large sur les permutations que sur les répétitions (Koch & Allport, 2006 ; Meiran, 2000 ; Rogers & Monsell, 1995). Dans ce contexte, il reflèterait une plus grande interférence du *set* de

tâche concurrent quand celui-ci vient juste d'être abandonné (Allport et al., 1994; Yeung & Monsell, 2003a) ou une plus grande susceptibilité à la compétition quand le changement de *set* n'est pas bien établi (Allport & Wylie, 2000 ; Waszak et al., 2003). Cet effet constituerait donc dans ce cas un indice du degré de non suppression du *set* en compétition (Monsell & Mizon, 2006). Pour certains, il serait possible d'exercer un contrôle sur cet effet de congruence : la possibilité de se préparer à la prochaine tâche réduirait cet effet (Goschke, 2000 ; Meiran, 1996 ; Monsell & Mizon, 2006). Cependant ce résultat est loin d'être robuste (e.g. Meiran, 2000 ; Meiran & Kessler, 2008 ; Monsell et al., 2003), et Meiran et Kessler (2008) suggèrent que l'effet de congruence reflète l'activation irrépessible de la tâche concurrente en mémoire à long terme.

Finalement, comme le soulignent Meiran et Kessler (2008), la simple présence de l'effet de congruence sur les TR constitue un challenge pour les théories qui proposent une sélection de tâche en tout ou rien (e.g. De Jong, 2000 ; Sohn & Anderson, 2001). Cet effet fournit déjà un début de preuve que les règles associées aux tâches non pertinentes pour l'essai en cours, opèrent en parallèle avec les règles pertinentes.

Un autre phénomène plus fréquemment observé dans la littérature et témoignant de l'influence de la congruence d'un essai sur les opérations de contrôle à un niveau local, concerne les effets locaux séquentiels, c'est-à-dire l'influence de l'essai précédent sur l'essai en cours. Il a été montré à plusieurs reprises que la congruence du stimulus précédent influence le traitement du stimulus en cours dans les expériences de type Stroop : la présence d'un stimulus incongruent à l'essai *n-1* réduit le temps de traitement du stimulus à l'essai *n*, quelles que soient ses caractéristiques (e.g. Botvinick et al., 2001 ; Egner & Hirsh, 2005b). Botvinick et al. (2001) suggèrent que la rencontre d'un stimulus incongruent à l'essai *n-1* aurait pour conséquence de rehausser le niveau de contrôle appliqué à l'essai suivant, par l'intermédiaire d'une boucle de contrôle impliquant un mécanisme de détection du conflit et un mécanisme de résolution du conflit. Ce mécanisme de résolution du conflit pourrait consister en un rehaussement du *set* en cours et/ou en l'inhibition du *set* concurrent, puisque le traitement d'un stimulus incongruent augmente le TR de l'essai suivant, si celui-ci correspond à un changement de tâche (Brown, Reynolds, & Braver, 2007 ; Goschke, 2000).

4.2. Influence de caractéristiques globales

D'autres études ont également montré l'influence de caractéristiques plus globales (à l'échelle d'un bloc) sur les opérations de contrôle. Il s'agit ici des caractéristiques du contexte général, de l'appréciation de ce contexte par le sujet, et de l'expérience du sujet (de Jong, 2000 ; de Jong et al., 1999 ; Gotler, Meiran, & Tzelgov, 2003 ; Monsell & Mizon, 2006).

Les effets d'attentes sont particulièrement affectés par ces caractéristiques globales. Ils correspondent à une tendance irrépressible à attendre des événements particuliers, y compris quand les événements sont générés de manière aléatoire (Soetens, Boer, & Hueting, 1985). Ainsi dans une tâche très simple de temps de réaction à deux choix (du type «appuyer sur le bouton de gauche si la diode de gauche s'allume, et sur celui de droite si la diode de droite s'allume»), les sujets attendent l'apparition d'un stimulus particulier et basent leur préparation sur cette attente. Le pattern coût-bénéfice sur les TR qui est généré par cette attente est facilement détectable dans une tâche à deux choix, où l'attente d'un stimulus implique nécessairement la non attente de l'autre. Ainsi par exemple, une série d'alternances induit une attente de la continuation de cette alternance. Si le stimulus qui arrive est conforme à cette attente, le TR sera très court (bénéfice), mais si c'est une répétition il sera plus long (coût). Les coûts et bénéfices créés de cette manière sont plus prononcés pour les plus longues séries d'alternances. De tels effets d'attente ne sont observés que si les RSI sont suffisamment longs, c'est-à-dire autour de 100 ms pour une tâche simple, et pour des RSI plus longs quand les tâches impliquent des processus cognitifs de plus haut niveau (entre 250 et 500 ms en cas d'incompatibilité spatiale entre le stimulus et la réponse par exemple). En deçà (i.e. pour des RSI < 100 ms dans les tâches simples), ce sont plutôt les effets de facilitation automatique qui priment. Ces derniers sont définis par un bénéfice en termes de TR pour des répétitions de stimuli, par rapport aux TR de séries de différents stimuli. Les effets d'attentes correspondent ainsi à une construction dans le temps, résultant de l'accumulation des expériences des essais précédents, et sont donc observables à l'échelle d'un bloc. Il s'agit de processus consommateurs de temps et/ou de ressources qui ne pourraient apparaître que si les RSI sont suffisamment longs (Soetens et al., 1985).

Les effets d'attente qui nous intéressent ici concernent l'influence des manipulations de la probabilité des événements sur les processus de contrôle. Des expériences montrent qu'un stimulus qui apparaît plus souvent qu'un autre bénéficie d'une meilleure préparation attentionnelle, car les sujets ont tendance

à anticiper et se préparer à traiter ce premier stimulus avant son apparition (e.g. Bertelson & Tisseyre, 1966 ; LaBerge, LeGrand, & Hobbie, 1969). Un des enjeux des expériences manipulant la probabilité d'un évènement est de distinguer ce qui relève des effets d'attente de ce qui relève des effets de facilitation liés à la persistance d'une trace mnésique ou à la préactivation automatique des circuits cérébraux. Pour répondre à cette question Lamb, London, Pond et Whitt (1998) ont utilisé une tâche de temps de réaction à choix, dans laquelle la cible pouvait correspondre au niveau global ou local d'un stimulus hiérarchisé (voir figure 3). Les TR sont généralement plus rapides quand la cible est au même niveau durant deux essais consécutifs (e.g. cible qui est au niveau local aux essais $n-1$ et n) que dans le cas contraire. L'enjeu de l'étude menée par Lamb et al. (1998) était de savoir si ce bénéfice de répétition de niveau était lié à des effets d'attente ou à des effets de facilitation automatique. Les auteurs ont manipulé le degré de prédictibilité du niveau (global ou local) d'apparition de la cible. Il était soit entièrement prédictible (100% de répétitions du niveau, 100% d'alternances ou alternance tous les 8 essais) soit non prédictible. Les résultats montrent un bénéfice des répétitions quel que soit le degré de prédictibilité du niveau de présentation de la cible et plaident donc en faveur de processus automatiques pour expliquer ce bénéfice. Une étude ultérieure (Lamb, Pond, & Zahir, 2000) a montré que le changement de niveau (mais pas la répétition de niveau) était soumis à un contrôle volontaire, puisqu'il tirait bénéfice d'un indice informant avant l'arrivée du stimulus, du niveau auquel apparaissait la cible (global ou local). Cependant nous ne savons pas si les ajustements du contrôle générés de manière explicite (via un indice) ont les mêmes effets que ceux générés par une attente plus implicite (via la prédictibilité d'un évènement).

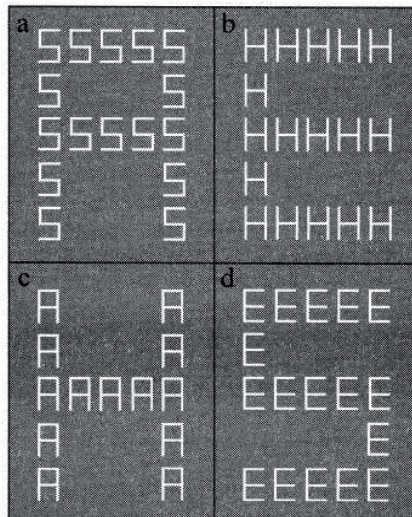


Figure 3. Exemple de 4 Stimuli hiérarchisés utilisés dans les expériences de Lamb et al. (1998, 2000). Ils représentent, respectivement, la lettre globale A composée de Ss locaux (a), un E global composé de Hs locaux (b), un H global composé de As locaux (c), et un S global composé de Es locaux. A chaque essai un tel stimulus est présenté, et la tâche consiste à décider s'il comprend un H ou un S, en appuyant sur l'un des 2 boutons de réponse. De Lamb, Pond et Zahir (2000).

Les ajustements du contrôle selon la prédictibilité d'un changement de tâche ont été envisagés dans une étude de Monsell et al. (2003). Ils ont comparé notamment une situation où les changements de tâche sont prédictibles (changement de tâche tous les quatre essais) à une situation où ils ne sont pas ou peu prédictibles (changements de tâche aléatoire). Dans les deux cas, la probabilité de changement de tâche est la même. Pour les changements de tâche prédictibles, le coût de permutation est limité au premier essai d'une série de quatre essais d'une même tâche. Au contraire, le retour vers une performance de base est plus graduel pour les répétitions d'une même tâche, quand les permutations sont aléatoires (voir figure 4). Le résultat obtenu dans la condition aléatoire est interprété comme une modulation stratégique du contrôle. Il n'y aurait pas de changement radical de l'ancien *set* en faveur du nouveau *set* concurrent. L'ancien *set* resterait relativement plus actif que dans la condition prédictible, afin d'être mieux préparé au cas où un nouveau changement de *set* serait requis.

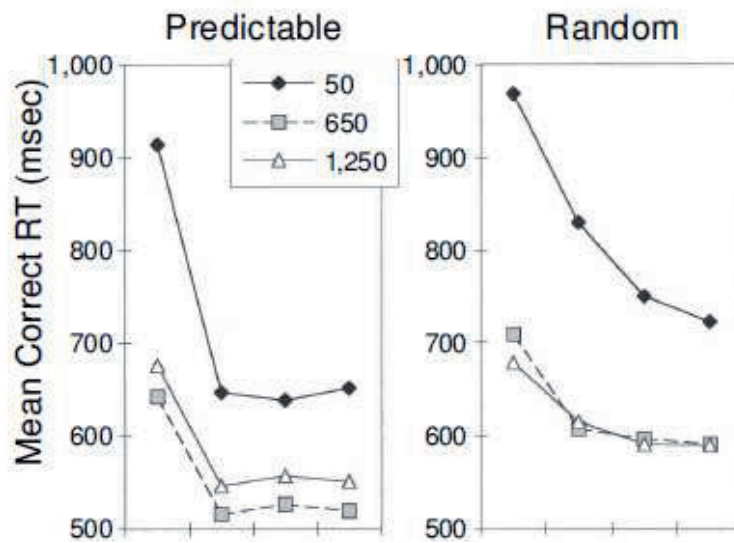


Figure 4. TR moyens en fonction de la prédictibilité de permutation de tâche (prédictible à gauche, aléatoire à droite), de la position d'un essai dans une série d'essais d'une même tâche (la position n°1 est un essai de permutation) et de l'intervalle de préparation (*response-stimulus interval* ou RSI, 50, 650 et 1250 ms). D'après Monsell, Sumner et Water (2003).

Monsell et Mizon (2006) ont manipulé la probabilité d'un changement de tâche dans un paradigme avec des changements de tâche pseudo-aléatoire et des indices informant de la prochaine tâche à réaliser. Ces auteurs ont cherché à approfondir les résultats de Logan et Bundesen (2003) qui ont montré que le coût de permutation est largement éliminé quand la répétition de l'indice est contrôlée pour les essais de répétition, en utilisant deux indices pour une même tâche². D'après ce résultat, le coût de permutation observé dans les autres études serait plutôt la marque d'un avantage d'une répétition de l'indice pour les essais de répétition. Cependant, en utilisant une procédure similaire à celle de Logan et Bundesen (2003), mais en réduisant la probabilité d'un changement de tâche (de 50 à 25%), Monsell et Mizon (2006, expérience 6) observent d'importants coûts de permutation. L'absence de coût de permutation, observée quand la probabilité de permutation de tâche est forte, est liée en fait à une augmentation des TR moyens pour les essais de répétition. Monsell et Mizon (2006) suggèrent que cette augmentation est liée à une tendance des participants à s'engager dans un processus de reconfiguration pour les essais de répétition quand la probabilité

2. Dans les paradigmes avec indices, si un seul indice par tâche est utilisé, une répétition de la tâche est nécessairement associée à une répétition de l'indice, tandis qu'un changement de tâche s'accompagne d'un changement d'indice, donc contribuant potentiellement au coût de permutation.

de changement de tâche est élevée. En conséquence, cette anticipation d'un changement de tâche pour un essai où la tâche se répète se traduit par une augmentation des TR pour les essais de répétition. Cette augmentation pourrait également refléter, non pas un processus de reconfiguration complet en faveur d'un autre *set*, mais plutôt un état d'apprêtement général intermédiaire aux différents *sets*, ou le retour à un état neutre, comme le suggèrent Monsell et Mizon (2006). L'état de préparation du système cognitif à réaliser l'une ou l'autre tâche serait ainsi soumis à des ajustements en fonction de la probabilité de changement de tâche. **Cette hypothèse sera testée dans le troisième chapitre de ce travail de thèse.**

Enfin, une influence du contexte global a été examinée dans des études qui ont manipulé la proportion de stimuli incongruents dans des tâches de Stroop (e.g. Logan & Zbrodoff, 1979). Ces études montrent que la taille de l'effet Stroop varie en fonction de la proportion de stimuli incongruents dans un bloc : une forte proportion de stimuli incongruents réduit l'effet Stroop par rapport à une faible proportion de stimuli incongruents (e.g. Botvinick et al., 2001 ; Crump et al., 2008 ; Logan & Zbrodoff, 1979 ; Tzelgov, Henik, & Berger, 1992). Cet effet de la proportion d'incongruents reflèterait selon les auteurs soit l'influence d'un contrôle volontaire sur la sélection (Botvinick et al., 2001 ; Cohen et al., 1990 ; Logan, Zbrodoff, & Williamson, 1984 ; West, 1999), soit l'action de processus d'apprentissage involontaires (e.g. Dishon-Berkovits & Algom, 2000 ; Jacoby, Lindsay, & Hessels, 2003 ; pour un exposé détaillé voir l'introduction de Crump et al., 2008). Les auteurs en faveur d'ajustements du contrôle cognitif pour expliquer cet effet défendent l'idée que les changements de proportion d'items incongruents amènent à des changements stratégiques. Par exemple Botvinick et al. (2001) proposent qu'une forte proportion de stimuli incongruents amène à une stratégie de filtrage de la lecture du mot, tandis que West (1999) postule une demande accrue des processus de maintien de la tâche de dénomination de couleur quand il y a une forte proportion de congruents. Les épreuves de type Stroop semblent donc être un outil privilégié pour étudier les ajustements du contrôle face à des modifications de la quantité d'information interférente.

5. Deux voies de contrôle

Nous avons vu que le contrôle exécutif était soumis à des ajustements en lien avec des variations des caractéristiques du contexte. Pour certains auteurs, ces ajustements du contrôle – ayant pour conséquence des variations d'efficacité de la performance – s'expliquent par une modulation du fonctionnement

d'une même boucle de contrôle (e.g. Botinick et al., 2001). Pour d'autres, ces ajustements du contrôle exécutif sont associés à des changements structuraux : des processus de contrôle différents sont en jeu selon la situation (e.g. Braver et al., 2007). Ainsi, la possibilité de se préparer à l'avance à la réalisation d'une tâche impliquerait une boucle de contrôle, tandis que l'absence de cette possibilité de préparation mettrait en jeu une autre boucle de contrôle (Braver et al., 2007). Nous présentons ici des arguments en faveur de l'existence de deux voies de contrôle.

5.1. Évidence comportementale

Les études utilisant le paradigme de permutation de tâche permettent d'aboutir au constat suivant. Considérant que la réalisation d'une tâche B après une tâche A implique un contrôle exécutif objectivé par le coût de permutation, et que ce coût de permutation peut être réduit (voire annulé) quand une préparation suffisante à la tâche est possible, il semble donc que le contrôle s'exerce différemment selon les possibilités de le mettre en œuvre de façon anticipée ou non. Lorsque de telles possibilités existent le coût de permutation est réduit. En l'absence de ces possibilités de préparation, un coût de permutation important peut être observé en termes d'erreur et de TR, mais il n'en demeure pas moins que les sujets sont capables, en dépit d'un taux d'erreur plus élevé, de réaliser la plupart du temps la tâche demandée (contrairement à certains sujets frontaux, e.g. Yehene et al., 2005). Une reconfiguration (et donc un contrôle) a ainsi été réalisée en quelque sorte dans l'urgence, de manière réactive, face à la situation. La question est alors de savoir si les mécanismes de contrôle mis en œuvre lorsqu'il est possible d'effectuer ce contrôle à l'avance, de façon proactive, sont différents de ceux mis en œuvre lorsqu'il n'y a pas cette possibilité. Peut-on distinguer des mécanismes de contrôle différents selon qu'une opération est préparée intentionnellement à l'avance, ou qu'elle est déclenchée et contrainte par une stimulation ?

Une étude d'Astor-Jack et Haggard (2005) apporte un argument en faveur de l'existence de deux modes de contrôle impliquant des mécanismes différents. Les auteurs ont mis en évidence une dissociation entre des actions déclenchées de manière externe, réactive, et des actions générées de manière interne. Dans le paradigme qu'ils utilisent, les sujets se préparent à une action intentionnelle, qui est interrompue de manière aléatoire par un stimulus auquel ils doivent réagir à travers la même action que celle qu'ils se préparent à réaliser intentionnellement. Les TR obtenus quand les sujets répondent au stimulus qui arrive de manière impromptue dans cette condition sont comparés aux

TR obtenus dans une condition où ils doivent seulement répondre à ce même stimulus (pas de préparation intentionnelle). Ils observent un coût en termes de TR dans la première condition comparée à la deuxième. Le coût observé apparaît être lié à la désactivation de la préparation à l'action intentionnelle. Les deux modes d'action ne pourraient pas être simultanément actifs. La préparation intentionnelle doit être stoppée avant que la réponse réactive puisse avoir lieu. Il y a une permutation entre deux formes mutuellement exclusives de préparation, plutôt qu'une inhibition générale intentionnelle de toute réactivité.

Une autre validation comportementale de la mise en jeu de deux types de processus de contrôle distincts, selon la possibilité de se préparer ou non à une action future, provient d'études utilisant le paradigme de permutation de tâche. Elles concernent le phénomène d'inhibition rétroactive (*backward inhibition*) mis en évidence par Mayr et Keele (2000). Un tel processus d'inhibition rétroactive avait été postulé à l'origine par Allport (Allport et al., 1994 ; Allport & Willy, 2000), qui proposait que l'inertie du *set* lié à la tâche précédente pouvait inclure une inhibition d'une éventuelle tâche concurrente. Lors de la réalisation d'une tâche A, la mise en place du *set* de cette tâche s'accompagnerait de l'inhibition d'une tâche B concurrente, et cette inhibition du *set* lié à la tâche B concurrente pourrait persister dans le temps, pouvant alors gêner la réalisation ultérieure de la tâche B. En utilisant trois tâches différentes A, B et C, Mayr et Keele (2000) ont pu mettre en évidence un tel phénomène d'inhibition résiduelle, en montrant que le TR d'une tâche A dans une séquence ABAA était plus long que celui de cette même tâche A dans une séquence CBAA, la tâche A ayant été inhibée plus récemment dans la première séquence de tâche que dans la deuxième. Une particularité importante de ce phénomène est qu'il ne serait observé que si les participants ont la possibilité de se préparer à un changement de tâche (e.g. Hübner, Dreisbach, Haider, & Kluwe, 2003 ; Mayr & Keele, 2000) : en effet il n'apparaît pas observé si aucune préparation à la nouvelle tâche n'est possible (Mayr & Keele, 2000, expérience 3). Cette spécificité du phénomène d'inhibition rétroactive du *set* pourrait donc témoigner de la mise en œuvre de processus distincts, selon les possibilités de préparation à l'exécution d'une nouvelle tâche. **Le chapitre 4 portera notamment sur ce phénomène d'inhibition rétroactive, observé dans de nombreuses études (e.g. Arbuthnott, 2005 ; Arbuthnott & Frank, 2000 ; Arbuthnott & Woodward, 2002 ; Schuch & Koch, 2003).**

5.2. Contrôle proactif et contrôle réactif

Braver (Braver et al., 2007 ; De Pisapia & Braver, 2006) propose un modèle du contrôle cognitif qui intègre différentes données issues de la psychologie cognitive, des neurosciences et de la modélisation mathématique. Il part d'un consensus de la littérature de neurosciences cognitives selon lequel le Cortex préfrontal latéral (Koechlin, Ody, & Kouneiher, 2003 ; Miller & Cohen, 2001) et le cortex cingulaire antérieur (Botvinick et al., 2001 ; Posner & Digirolamo, 1998) jouent un rôle critique dans le fonctionnement du contrôle cognitif. Parallèlement, il pointe les contradictions concernant le rôle précis des fonctions associées à ces régions cérébrales, fondées sur des données apparemment contradictoires, concernant notamment leur activation, dans les études de neuroimagerie (e.g. Cohen et al., 1997 versus Rowe, Toni, Josephs, Frackowiak, & Passingham, 2000, pour l'implication du cortex préfrontal dorso-latéral dans le maintien d'informations à court terme). Selon lui, les différences observées dans la littérature concernant la dynamique de l'activité du cortex préfrontal et du cortex cingulaire antérieur, seraient liées à des différences en termes d'utilisation préférentielle d'un mode de contrôle plutôt que d'un autre pour la réalisation d'une tâche. Il propose un modèle de double mécanisme de contrôle qui établit une distinction entre le mode proactif et le mode réactif du contrôle cognitif.

Le contrôle proactif correspond à une forme de sélection précoce dans laquelle l'information relative au but est activement maintenue, avant l'arrivée de l'évènement à venir afin de préparer le focus attentionnel de manière à ce qu'il soit configuré de façon optimale pour traiter l'évènement en fonction des buts fixés. Si la gestion de l'interférence est l'une des fonctions majeures du contrôle, le contrôle proactif est lié à l'anticipation et la prévention de l'interférence avant son arrivée. Le maintien actif soutenu de l'information associée au but dans le contrôle proactif demanderait beaucoup d'effort et serait métaboliquement coûteux, ce qui peut avoir pour conséquence que les stratégies proactives ne soient pas mises en avant, sauf dans les conditions où les coûts des échecs du contrôle cognitif sont élevés et où les demandes en contrôle cognitif sont fréquentes et actuelles. L'engagement du contrôle proactif se traduit notamment par une activation soutenue du cortex préfrontal latéral, indiquant le maintien tonique de l'information liée au but par anticipation d'évènements à venir (e.g. Braver, Cohen, & Barch, 2002 ; Braver et al., 2003 ; De Pisapia & Braver, 2006 ; Speer, Jacoby, & Braver, 2003).

Le contrôle réactif correspond à un mécanisme de correction tardive, mobilisé seulement si nécessaire, après que les processus de détection de conflit aient détecté un événement pouvant produire une forte interférence. Si la gestion de l'interférence est l'une des fonctions majeures du contrôle, le contrôle réactif est lié à la détection et la résolution de l'interférence après son arrivée. Le caractère "juste à temps" du contrôle réactif suggère que de tels mécanismes seront moins efficaces pour contrecarrer les sources d'interférence, amenant à des réponses plus lentes et à une augmentation des erreurs quand de fortes situations d'interférence surgissent. Ainsi il y a plus de chance que le contrôle réactif soit favorisé dans des conditions où les demandes en contrôle sont non fréquentes ou ne peuvent être prédites à l'avance. L'engagement du contrôle réactif se reflète dans l'activation transitoire du cortex cingulaire antérieur et du cortex préfrontal (dans une zone différente que celle dévolue au contrôle proactif), avec un plus large réseau de régions cérébrales additionnelles (e.g. Braver et al., 2002 ; Braver et al., 2003 ; De Pisapia & Braver, 2006 ; Speer et al., 2003). Cette activité transitoire sert à détecter la présence d'interférence ou de conflit (cortex cingulaire antérieur) et à engager les systèmes de contrôle pour rapidement résoudre une telle interférence en faveur de traitements pertinents pour la tâche (cortex préfrontal latéral et régions cérébrales associées).

5.3. Arguments en faveur de l'implication des deux modes de contrôle dans les épreuves de permutation de tâche

Les deux modes de contrôle postulés par Braver sont en accord avec les résultats de De Jong (2000) et De Jong et al. (1999). De Jong cherche à expliquer le phénomène de coût de permutation résiduel souvent observé dans la littérature sur la permutation de tâche : le coût de permutation est réduit par l'allongement du délai de préparation, mais seulement jusqu'à un certain délai, au-delà duquel il cesse de décliner (e.g. Meiran, 1996 ; Monsell, 2003 ; Rogers & Monsell, 1995 ; Ruthruff, Remington, & Johnston, 2001 ; mais voir Verbruggen, Liefoghe, Vandierendonck, & Demanet, 2007).

En analysant les distributions des TR recueillis dans une épreuve de permutation de tâche, De Jong et al. (1999) montrent que les TR d'une partie de ces essais sont équivalents à ceux des essais de répétition (i.e. absence de coût de permutation), tandis que les TR d'une autre partie de ces essais sont largement plus grands que ceux des essais de répétition (i.e. fort coût de permutation). Les auteurs suggèrent que la préparation à un changement de tâche est un processus en tout ou rien, expliquant l'absence de coût pour certaines permutations

(préparation réussie) et la présence d'un fort coût de permutation pour les autres permutations (préparation échouée). Les auteurs montrent également que la réduction du coût de permutation moyen avec l'allongement du délai préparation, correspond en fait à une augmentation de la proportion d'essais de permutation pour lesquels la préparation est réussie. Dans ce contexte, le coût de permutation résiduel s'explique par le fait que même quand il est possible de se préparer pleinement à un changement de tâche, il y a un échec à mettre en place cette préparation sur certains essais.

Une cause possible de cette inconstance dans l'efficacité des processus qui permettent l'adoption anticipée d'un *set* pourrait provenir d'une variabilité dans l'activation et le maintien en mémoire du but de la tâche (de Jong et al., 1999 ; de Jong, 2000). De Jong propose une explication qui s'appuie sur l'idée que la représentation du but est essentielle au contrôle, mais qu'elle est coûteuse : l'échec de la reconfiguration anticipée sur certains essais proviendrait d'une négligence du but. Ces données supportent en fait l'idée que ce n'est pas une limite du système de contrôle qui est à l'origine du coût de permutation résiduel, mais finalement une incapacité (qui n'est pas systématique) à utiliser les capacités de ce système.

Braver et al. (2003) s'appuient sur ces résultats pour suggérer que le mode de contrôle peut aussi varier d'un essai à l'autre, comme par exemple dans les épreuves de permutation de tâche aléatoire avec un indice explicite et un délai de préparation à chaque essai. Ils proposent que les fluctuations entre les essais en termes de rapidité de réponse constituent un index important pour identifier les essais avec un haut niveau de contrôle et ceux avec un bas niveau de contrôle sur les permutations de tâche. Les auteurs observent notamment des différences d'activations cérébrales et de décours temporels de ces activations entre les réponses les plus rapides et les réponses les plus lentes (quel que soit le type d'essai, répétition ou permutation), pouvant correspondre respectivement à l'efficacité du contrôle proactif et réactif. Par exemple, durant les moments initiaux de l'essai - i.e. moments durant lesquels l'indice est présenté et traité -, l'activation du cortex préfrontal latéral gauche était plus forte pour les réponses rapides que pour les réponses lentes. Au contraire, durant les derniers moments de l'essai associés à la présentation de la cible et à la sélection de la réponse, l'activation de cette même région était plus grande pour les réponses lentes que pour les réponses rapides. Cependant, les résultats de cette étude sont particulièrement complexes à interpréter, et il n'existe pas, à notre connaissance, de preuve comportementale de l'existence d'un mode de contrôle réactif. La

mise en évidence de preuves comportementales du contrôle réactif concerne une partie du chapitre 4.

5.4. Substrats neuro-anatomiques

Braver et al. (2007) suggèrent que le système de neurotransmission dopaminergique mésencéphalique aurait un rôle important dans le fonctionnement du contrôle proactif. Le système dopaminergique projette fortement vers le cortex préfrontal. Une simulation de Braver et Cohen (2000) s'appuyant sur des considérations neurobiologiques précise le rôle du système dopaminergique dans les opérations de contrôle de haut niveau. Dans leur modèle, la sélection, la mise à jour et le maintien d'informations contextuelles (pertinentes pour la tâche) auraient lieu au travers d'interactions entre le cortex préfrontal et le système de neurotransmission dopaminergique. L'activité phasique du système dopaminergique aurait deux fonctions : (1) une fonction de blocage/débloqué (*gating function*) qui régule l'accès de l'information contextuelle aux mécanismes actifs de mémoire sous-tendu par le cortex préfrontal, et (2) une fonction d'apprentissage, qui permet au système de découvrir quelle information est pertinente pour la sélection.

Le contrôle proactif requerrait des représentations du contexte qui seraient maintenues sur des périodes étendues (dans les régions latérales du cortex préfrontal). Il y aurait une salve dopaminergique au moment de la présentation d'un indice contextuel, permettant à cette information d'engager le cortex préfrontal de manière appropriée. Durant l'intervalle entre l'indice et l'évènement pertinent à traiter, le maintien de la représentation contextuelle dans le cortex préfrontal serait assuré par une activité dopaminergique tonique, qui éviterait de déclin de l'information dans le cortex préfrontal et l'arrivée d'information interférente (Braver et al., 2007).

A cause de la dépendance supposée du contrôle proactif à des mécanismes neuronaux spécifiques (interactions entre le système dopaminergique et le cortex préfrontal), le modèle fournit une explication cohérente des déficits de certaines populations souffrant de lésion ou de dysfonctionnement de ces systèmes neuronaux qui doit amener à des changements de la fonction de contrôle. Ainsi les populations présentant une atteinte du système dopaminergique seraient principalement déficitaires dans l'utilisation des stratégies proactives. C'est ce que suggère une étude menée notamment auprès de patients schizophrènes (Braver, Barch, & Cohen, 1999). **C'est une des hypothèses que nous testons**

auprès de patients parkinsoniens dans le chapitre 5.

Dans des conditions de contrôle réactif, l'activité du cortex préfrontal serait : 1) transitoire plus que soutenue, 2) présente seulement pour les événements qui requièrent directement la réactivation du contexte pour obtenir une bonne performance, et 3) activée après plutôt qu'avant l'arrivée d'un stimulus impératif (Braver et al., 2007). Le cortex cingulaire antérieur servirait de composant principal au contrôle réactif, en signalant rapidement le besoin d'augmenter le contrôle sur l'essai en cours (Botvinick et al. 2001).

Dans une série de simulation et d'études empiriques, Braver et al. (2002) démontrent que le modèle à deux voies de contrôle peut rendre compte d'un large panel de données comportementales et neurophysiologiques à la fois chez les jeunes adultes et chez différentes populations souffrant de déficit du contrôle. L'originalité de l'approche de Braver par rapport aux approches structurales et neuroscientifiques classiques (e.g. Miyake et al., 2000) est qu'il ne propose pas une décomposition fonctionnelle du contrôle exécutif sur la base de dissociations anatomiques, mais sur la base de fractionnements plus fins à l'intérieur de régions cérébrales communes, et surtout **sur la base de dissociations concernant le décours temporel des activations de ces même régions cérébrales** (Braver, Paxton, Locke, & Barch, 2009).

6. Synthèse

Nous envisageons le contrôle exécutif comme un ensemble de processus non spécifiques d'un type de traitement de l'information, permettant la régulation du comportement en fonction d'un but interne. En fonction du but fixé, une certaine configuration du système cognitif doit être établie et maintenue dans le temps, afin de résister aux interférences de traitements concurrents. Cependant, un tel maintien doit être dosé pour garantir une certaine flexibilité du système cognitif, afin de répondre rapidement à des priorités de plus haut niveau, signalées par des indices environnementaux.

Le comportement dirigé vers un but est ici modélisé par la réalisation de simples tâches de temps de réaction à choix, signalées par des instructions de tâche. La nécessité d'un contrôle exécutif dans la réalisation de ces tâches est provoquée (1) par la possibilité d'exercer sur les stimuli cibles plusieurs tâches concurrentes (dans les épreuves de Stroop et de permutation de tâche) et (2) par des changements de tâche occasionnels signalés par des instructions (dans

les épreuves de permutation de tâche). La réalisation d'une tâche implique l'adoption du *set* associé à cette tâche, défini comme une configuration de processus cognitifs nécessaire à la réalisation de cette tâche. Dans ce contexte, les processus de contrôle renvoient aux mécanismes participant à l'établissement et à la régulation du *set* nécessaire à la réalisation d'une tâche. Le fait de se préparer à adopter un nouveau *set* nécessite la mise en œuvre d'un contrôle exécutif, notamment pour empêcher l'application des *sets* non pertinents, ou, s'il échoue, pour résoudre le conflit entre les multiples réponses activées. La réussite de l'adoption anticipée d'un *set* et de son maintien avant l'arrivée du stimulus cible s'observe notamment dans les épreuves de permutation de tâche par la réduction du coût de permutation. La réussite dans la résolution du conflit s'observe par l'absence ou le nombre réduit d'erreurs lors d'un changement de tâche ou dans le traitement des stimuli cibles dans les épreuves de Stroop.

Les variations d'amplitude du coût de permutation, du coût mixte et de l'effet d'interférence Stroop attestent de variations d'efficacité du contrôle exécutif. L'objectif de ce travail de thèse est d'explorer certains déterminants fonctionnels et structuraux de ces variations d'efficacité. Les déterminants fonctionnels concernent (1) les effets locaux de préparation explicite, de congruence de l'essai en cours, et l'effet local séquentiel de congruence de l'essai précédent sur l'essai en cours et (2) les effets globaux de probabilité d'occurrence d'un essai incongruent et d'une permutation de tâche. L'explication de certaines variations d'efficacité du contrôle exécutif par des facteurs structuraux se fait : (1) par la recherche de traces comportementales distinctes pouvant valider l'existence de deux voies de contrôle dans un paradigme de permutation de tâche et (2) en évaluant si une atteinte du système dopaminergique nigrostrié, nuit spécifiquement au mode de contrôle proactif et non au mode de contrôle réactif.

Problématique

Ce travail de thèse pose la question à la fois conceptuelle et méthodologique de l'intérêt d'utiliser le concept de *set* associé à une tâche et d'utiliser notamment le paradigme de permutation de tâche pour étudier le contrôle exécutif. Pour répondre à cette question, nous avons manipulé les conditions de la mise en place du *set*, notamment dans des épreuves de permutation de tâche au regard de certains postulats et modèles du contrôle cognitif. L'objectif fixé ici est donc d'explorer les aspects fonctionnels (chapitres 2 et 3) et structuraux (chapitres 4 et 5) qui déterminent les variations du contrôle d'un *set*. L'étude des déterminants fonctionnels associés au contrôle exécutif concerne plus précisément l'influence de manipulations du contexte sur l'établissement d'un nouveau *set* (chapitres 2 et 3). L'approche structurale du contrôle exécutif explore l'hypothèse de la mise en œuvre de systèmes et processus différents, selon qu'il y a possibilité ou non pour le sujet de se préparer à l'avance à la réalisation d'une tâche ; cette exploration est réalisée en isolant des traces comportementales spécifiques associées à chacune de ces deux situations (chapitre 4). Le chapitre 5 aborde l'hypothèse que le contrôle proactif serait spécifiquement sous-tendu par le système de neurotransmission dopaminergique.

Il s'agit donc d'une manière générale (i) d'étudier comment le contrôle cognitif est mis en œuvre à partir de l'intention de réaliser une tâche et (ii) d'examiner les processus de contrôle pouvant être impliqués dans la mise en place du *set* associé à cette tâche.

Influence des facteurs fonctionnels sur les variations d'efficacité
du contrôle exécutif

La mise en œuvre des processus de contrôle est soumise à des modulations fonctionnelles dépendant de la motivation, de l'intention et de l'expérience du sujet (De Jong, 2000 ; De Jong et al., 1999), ainsi que des caractéristiques du contexte (De Pisapia & Braver, 2006 ; Monsell & Mizon, 2006). On sait notamment que le contrôle du *set* associé à une tâche implique une balance dynamique entre stabilité (maintien du *set* dans le temps) et flexibilité (changement de *set*) selon l'aspect plus ou moins stable ou changeant du contexte (Goschke, 2003 ; voir aussi Allport, 1989 pour une idée similaire).

Nous étudions ici dans quelle mesure des manipulations du contexte

influencent la mise en œuvre du contrôle nécessaire à la réalisation d'une nouvelle tâche. Les modulations fonctionnelles du contrôle en fonction de variables contextuelles implicites ont été très peu étudiées dans les épreuves de permutation de tâche s'intéressant au processus de (re)configuration d'un *set*. Le chapitre 2 cherche à savoir si les processus de gestion du conflit influencent les processus de reconfiguration lors d'un changement de *set*. Le chapitre 3 teste l'hypothèse de variations de l'état d'apprêtement du système cognitif à un ou plusieurs *sets* en fonction de la probabilité de changement de tâche.

Chapitre 2 : Influence de la quantité d'information conflictuelle sur l'adoption d'un nouveau *set*

Le niveau de contrôle exercé sur la sélection de réponse augmenterait avec la quantité de réponses conflictuelles (Botvinick et al., 2001). En effet, en augmentant la proportion de stimuli incongruents dans des tâches de type Stroop, l'amplitude de l'effet Stroop est réduite (e.g. Logan & Zbrodoff, 1979). Ce résultat témoigne d'un rehaussement progressif du niveau de contrôle, à mesure que le système cognitif intègre que l'information à traiter est très souvent conflictuelle, jusqu'à anticiper la gestion de l'interférence avant l'arrivée du stimulus à traiter (e.g. Botvinick et al., 2001 ; De Pisapia & Braver, 2006). Ce rehaussement du niveau de contrôle témoigne d'un ajustement stratégique du contrôle pour faire face à cette condition de forte interférence (e.g. Botvinick et al., 2001 ; West, 1999). Le chapitre 2 cherche à déterminer si un tel rehaussement du niveau de contrôle dans la résolution du conflit a une incidence sur le niveau de contrôle exercé lors de l'établissement d'un nouveau *set*. Il s'agit de savoir si l'augmentation de la quantité d'information interférente (en augmentant la proportion d'essais incongruents) peut amener à des changements stratégiques des processus de contrôle impliqués lors d'un changement de *set*.

Chapitre 3 : Ajustement du contrôle du *set* : influence de la fréquence de permutations de tâche

Ce chapitre s'intéresse à l'état d'activation d'un ou plusieurs *sets*, selon les caractéristiques du contexte. Y a-t-il différents degrés d'apprêtement du système cognitif à un *set*, c'est-à-dire différents degrés d'activation de ce *set* ? Pour De Jong (De Jong, 2000 ; De Jong et al., 1999), bien que la préparation anticipée à la réalisation d'une activité dépende de facteurs stratégiques (motivation du sujet, caractéristiques du contexte), elle correspond à un phénomène en tout ou rien : le système cognitif est soit entièrement préparé, soit entièrement non préparé.

Au contraire Lien, Ruthruff, Remington et Johnston (2005) défendent l'idée que l'établissement anticipé d'un *set* n'est jamais complet : le système cognitif serait confronté à ses limites structurales de telle sorte que les sujets ne pourraient être pleinement préparés que pour certaines paires stimulus-réponse du *set* en question, mais pas pour les autres paires. Nous postulons qu'une préparation complète à un *set* est possible (e.g. Verbruggen et al., 2007), mais qu'elle n'est pas un processus en tout ou rien, mais plutôt en «juste assez» (Gilbert & Shallice, 2002 ; Goschke, 2003). En effet, étant donné l'effort requis par le contrôle endogène pour se préparer entièrement à un *set* (e.g. Braver et al., 2007 ; De Jong, 2000), et la suppression active de l'activation des *sets* concurrents qu'une préparation complète requiert (e.g. Allport et al., 1994 ; Mayr & Keele, 2000), il ne semble pas nécessaire que cette préparation soit toujours complète, surtout si le sujet est amené à changer de tâche fréquemment.

Nous testons l'hypothèse d'une variation de l'état d'activation d'un ou plusieurs *set(s)* en fonction des caractéristiques globales du contexte. Plus précisément nous testons l'hypothèse d'un état de préparation variable du système cognitif selon la probabilité de changements de tâche dans des épreuves de permutation de tâche. Une forte probabilité de changements de tâche amènerait le système cognitif à un état de préparation intermédiaire à plusieurs *sets* (les niveaux d'activation des différents *sets* seraient proches), tandis qu'une faible proportion de changements de tâche amènerait le système cognitif à un état de préparation plutôt en faveur d'un seul *set* (le *set* pertinent serait dans un état d'activation relativement plus important que les *sets* concurrents).

Approche structurale des variations d'efficacité du contrôle exécutif

Les expériences réalisées à ce jour se sont appuyées sur la possibilité de mettre en œuvre un contrôle favorisant la réalisation d'une tâche, par l'adoption anticipée d'un *set* déterminant notamment le traitement des informations disponibles et la gestion de l'interférence. L'établissement anticipé d'un *set* peut se faire de manière explicite (e.g. via un indice indiquant à l'avance la nature de la tâche qu'il faudra réaliser) ou de manière implicite (e.g. en fonction d'attentes générées par les caractéristiques globales du contexte). En l'absence de telles possibilités de préparation, les sujets sont cependant capables d'établir la plupart du temps un nouveau *set* associé à la réalisation d'une nouvelle tâche lorsque cela leur est demandé, même si dans ce cas, la performance est moindre par rapport à une situation où une préparation est possible. Une reconfiguration, et donc un contrôle, a donc pu être mis en place, de manière réactive, face à la situation.

Les chapitres 4 et 5 abordent la question suivante : est-ce que le contrôle mis en œuvre de façon anticipée est de nature différente de celui mis en œuvre dans l'urgence ?

Le chapitre 4 vise à isoler des traces comportementales distinctes selon qu'un contrôle a été mis en place de manière anticipée ou non. Le chapitre 5 aborde l'hypothèse selon laquelle le système de neurotransmission dopaminergique serait spécifiquement impliqué dans le contrôle préparatoire ou proactif.

Chapitre 4 : Indices comportementaux attestant l'existence de deux modes de contrôle exécutif

Diverses données comportementales (e.g. Astor-Jack & Haggard, 2005 ; Mayr & Keele, 2000), simulées avec succès dans le cadre des modèles connexionniste développés par Braver *et al.* (Braver & Cohen, 2000 ; Braver *et al.*, 2007 ; De Pisapia & Braver, 2006), suggèrent l'existence de deux modes de contrôle, ou pour le moins une distinction entre les effets d'un contrôle mis en place de façon anticipée, d'origine plutôt endogène, et ceux d'un contrôle mis en place de façon réactive. Si des traces comportementales du contrôle proactif ont pu être observées (e.g. Mayr & Keele, 2000), des traces comportementales du contrôle réactif restent encore à découvrir.

En plus d'un décalage temporel distinct des processus de contrôle mis en œuvre, une autre différence entre les deux modes de contrôle pourrait concerner la nature de l'information interférente qui est contrôlée. En manipulant la nature de l'information interférente ainsi que sa localisation temporelle (à l'essai n , $n-1$ ou $n-2$), nous tentons dans ce chapitre d'isoler des indices comportementaux propres à chaque mode de contrôle.

Chapitre 5 : Ajustements de la résolution du conflit dans la maladie de Parkinson

S'il existe bien deux modes de contrôle impliquant des processus différents, ils devraient donc être sous-tendus par des substrats neuroanatomiques distincts. Nous testons ici l'hypothèse que le contrôle proactif implique un système neurophysiologique particulier. Braver (Braver *et al.*, 2007) suggère que l'efficacité des processus de contrôle mis en œuvre lorsqu'il y a possibilité de se préparer à l'avance (contrôle proactif), serait liée à l'intégrité du système de neurotransmission dopaminergique.

Nous devrions donc pouvoir mettre en évidence chez des patients souffrant de la maladie de Parkinson un déficit spécifique de ce type de contrôle.

L'hypothèse d'une implication du système de neurotransmission dopaminergique dans le contrôle proactif a été testé de manière indirecte au moyen de simulations (Braver et al., 2002), et d'études empiriques auprès de sujets âgés (Braver et al., 2001) et de patients souffrant de schizophrénie (Braver et al., 1999). Cependant, un moyen plus direct de tester l'implication du système dopaminergique dans le contrôle proactif serait d'étudier les performances dans des tâches de contrôle de patients souffrant d'une pathologie affectant principalement le système de neurotransmission dopaminergique, comme dans la maladie de Parkinson. Une étude préliminaire présentée à la fin de ce travail, réalisée auprès de patients souffrant de la maladie de Parkinson, pose les fondements méthodologiques qui permettront, lors de futures recherches, de valider ou non cette hypothèse dopaminergique.

Variables manipulées dans la thèse

Dans les épreuves utilisant le paradigme de permutation de tâche (chapitres 2-4), le délai de préparation (ou CSI) sera systématiquement manipulé dans le but de distinguer différents processus selon le niveau de préparation possible à la prochaine tâche.

La proportion de stimuli incongruents sera manipulée afin d'étudier son influence possible en situation de permutation de tâche (chapitre 2), et de tester l'influence de la maladie de Parkinson sur la gestion du conflit (chapitre 5).

La proportion de changements de tâche sera manipulée afin de tester l'hypothèse d'ajustements de l'état d'activation d'un ou plusieurs *sets* par le contrôle exécutif, selon les caractéristiques du contexte (chapitre 3).

Enfin, la nature de l'information interférente ainsi que l'organisation précise de la séquence des tâches qui précède la tâche en cours seront manipulées pour tester l'hypothèse de processus distincts de gestion de l'interférence selon le niveau de préparation à la prochaine tâche (chapitre 4).

Chapitre 2

Influence de la quantité d'information conflictuelle sur l'adoption d'un nouveau *set*

Introduction

Il s'agit dans ce travail de thèse d'étudier certains déterminants des variations d'efficacité du contrôle exécutif. Ce premier chapitre s'intéresse à une variable contextuelle agissant sur les aspects fonctionnels du contrôle exécutif : la quantité d'information conflictuelle. La quantité d'information conflictuelle semble affecter le contrôle lié à la gestion du conflit de réponse (e.g. Botvinick et al., 2001). La question posée ici est la suivante : est-ce que la quantité d'information conflictuelle influence également les processus de contrôle mis en place lors d'un changement de tâche ? Pour répondre à cette question, nous avons varié la proportion de stimuli incongruents – i.e. la proportion de stimuli qui appellent des réponses différentes selon la tâche demandée – dans un protocole où il était ponctuellement demandé aux participants de changer de tâche.

1. Influence de la quantité d'information conflictuelle sur la résolution du conflit de réponse dans les tâches de Stroop

Nous avons vu dans le chapitre 1 que la taille de l'effet Stroop constitue un indice de l'efficacité des mécanismes de contrôle dans la sélection de l'information pertinente (Crump et al., 2008). Nous avons vu aussi que la taille de l'effet Stroop varie en fonction de la proportion de stimuli incongruents dans un bloc : une forte proportion de stimuli incongruents réduit l'effet Stroop par rapport à une faible proportion de stimuli incongruents (e.g. Botvinick et al., 2001 ; Crump et al., 2008 ; Logan & Zbrodoff, 1979 ; Tzelgov et al., 1992).

Tzelgov et al. (1992) apportent dans leur étude une preuve convaincante en faveur d'une interprétation de ce phénomène en termes d'ajustements du contrôle exécutif, par opposition à une interprétation possible en termes d'effets d'amorçage (e.g. Dishon-Berkovits & Algom, 2000 ; Jacoby et al., 2003). Leur étude contraste des blocs dans lesquels la proportion d'essais incongruents est la même que celle des essais congruents : ils varient la proportion d'incongruents en la diluant avec des essais neutres. La condition avec une forte proportion d'incongruents contient 37.5% d'essais incongruents, 37.5% d'essais congruents et 25% d'essais neutres. La condition avec une faible proportion d'incongruents contient 12.5% d'essais incongruents, 12.5% d'essais congruents et 75% d'essais neutres. Les auteurs observent une plus large différence de performance entre les stimuli congruents et incongruents quand les stimuli incongruents sont rares que quand ils sont fréquents. Plus précisément, ils observent une réduction de l'effet

d'interférence (incongruents vs. neutres) avec l'augmentation de la proportion d'incongruents, tandis que l'effet de facilitation (neutres vs. congruents) ne diffère pas statistiquement entre les conditions. Ainsi, la différence de performance entre les conditions est entièrement attribuable à une modification de l'effet d'interférence, et on peut supposer que les mécanismes de contrôle impliqués dans la sélection de l'information pertinente sont d'autant plus importants que la quantité d'information conflictuelle augmente. Ce phénomène peut donc recevoir une interprétation en terme d'adaptation fonctionnelle au conflit fondée sur des ajustements du contrôle exécutif (e.g. Botvinick et al., 2001 ; Crump, Gong, & Milliken, 2006 ; Crump et al., 2008 ; Kane & Engle, 2003).

Pour expliquer ces ajustements du contrôle exécutif, Botvinick et al. (2001) proposent l'existence d'un système de surveillance du conflit (*conflict monitoring*, dont le support anatomique serait le cortex cingulaire antérieur) en communication avec le système de contrôle (plus distribué dans le cerveau, notamment dans le Cortex Préfrontal). Le système de surveillance du conflit spécifie la demande en contrôle, de sorte que le niveau de contrôle exercé sur la sélection de réponse augmente avec la quantité de réponses conflictuelles (c'est-à-dire la proportion de stimuli incongruents). La réduction de l'effet d'interférence Stroop avec l'augmentation de la proportion d'incongruents s'explique donc par un rehaussement du niveau de contrôle exercé sur la sélection de réponse. Ce rehaussement serait progressif, à mesure que le système intègre que l'information à traiter est très souvent conflictuelle, jusqu'à anticiper la gestion de l'interférence avant l'arrivée du stimulus à traiter (e.g. Botvinick et al., 2001 ; De Pisapia & Braver, 2006).

Cet effet d'ajustement du contrôle au contexte global (i.e. à l'échelle d'un bloc) pourrait être associé à un effet local, séquentiel et cumulatif d'amélioration de la performance : les TR des essais qui suivent un stimulus incongruent sont réduits (Botvinick et al., 2001 ; Egner & Hirsh, 2005b). La détection d'un stimulus incongruent amènerait le système de contrôle à réduire son focus attentionnel sur les caractéristiques du stimulus pertinentes pour la tâche (Botvinick et al., 2001). Dans ce contexte, l'ajustement du contrôle observé au niveau global dépend du degré de conflit porté par les essais précédents : une forte proportion d'incongruents amène graduellement à un haut niveau de contrôle top-down et explique ainsi le moindre effet d'interférence, par rapport à une faible proportion d'incongruents qui amène à un contrôle plus laxiste expliquant le plus fort effet d'interférence.

2. Une hypothèse concernant l'influence possible de la quantité d'information conflictuelle sur les permutations de tâche

Si l'effet global de la quantité d'information conflictuelle est bien associé à l'effet séquentiel local du traitement d'un stimulus conflictuel sur le contrôle exécutif, alors nous pouvons faire des prédictions sur l'influence de la quantité d'information conflictuelle sur la performance lors d'un changement de *set*.

À un niveau local (d'un essai à l'autre), si le traitement d'un stimulus incongruent amène le système de contrôle à se focaliser sur les caractéristiques du stimulus pertinentes pour la tâche (Botvinick et al., 2001) alors on peut supposer qu'un tel mécanisme sera défavorable à un changement de tâche, surtout en l'absence d'anticipation explicite possible d'un changement de tâche. En effet d'après cette hypothèse, la rencontre d'un stimulus incongruent à l'essai *n-1* amène le système de contrôle à maintenir ou renforcer le *set* pertinent de cet essai pour l'essai *n*. Ce processus de maintien du *set* précédent étant opposé au processus de reconfiguration (e.g. Monsell, 1996) nécessaire au changement de *set*, alors le traitement d'un stimulus incongruent devrait ralentir la performance sur un changement de tâche. Un tel résultat a déjà été observé (Brown et al., 2007 ; Goschke, 2000 ; Hyafil, Summerfield, & Koechlin, 2009), mais aucune de ces études n'a manipulé la proportion de stimuli incongruents à l'échelle d'un bloc.

Si l'augmentation de la proportion d'essais incongruents favorise le maintien du *set*, alors cette augmentation devrait altérer la reconfiguration, et nous devrions donc observer une augmentation des TR et des taux d'erreur aux essais de permutation dans une condition où la proportion d'essais incongruents est forte, par rapport à une condition où elle est faible.

3. Principe général des expériences

Afin d'étudier l'influence de la quantité d'information conflictuelle sur les permutations de tâche, nous avons réalisé trois expériences impliquant une épreuve de permutation, avec des séquences de tâche imprédictibles, dans laquelle nous avons manipulé la proportion de stimuli incongruents. Les deux tâches consistent à répondre au sens d'une flèche (gauche ou droite) ou au mot (GAUCHE ou DROITE) situé à l'intérieur de cette flèche (Aarts, Roelofs, & Van Turenout, 2009 ; Aron, Monsell, Sahakian, & Robbins, 2004 ; Shor, 1970). L'expérience 1 ne permet pas d'anticiper un changement de tâche (*Cue-Stimulus*

Interval ou CSI = 0 ms). Les expériences 2 et 3 utilisent un indice et un CSI variable, afin de voir si l'influence de la quantité d'information conflictuelle sur les essais de permutation, varie ou non en fonction de la possibilité d'anticiper de manière explicite un changement de tâche.

Expérience 1

Introduction - expérience 1

Cette expérience vise au préalable à vérifier si l'influence de la quantité d'information conflictuelle qui a été mise en évidence dans des contextes de bloc simple avec une seule tâche peut être retrouvée dans un contexte de bloc mixte (plusieurs tâches possibles). L'intérêt d'une telle vérification - qui à notre connaissance n'a pas été réalisée - tient au fait qu'un contexte de bloc mixte (plusieurs tâches, deux types d'essais : permutations vs. répétitions) implique un état de préparation général aux différentes tâches, sur tous les type d'essais ; et cet état de préparation a un coût qui implique un rehaussement du niveau de contrôle par rapport aux situations de bloc simple (Rubin & Meiran, 2005 ; Yehene & Meiran, 2007 ; Yehene et al., 2005). Il est donc possible que le contexte de bloc mixte soit défavorable à l'observation d'une réduction de l'interférence avec l'augmentation de la proportion d'essais incongruents. En effet, le coût supplémentaire généré par la situation de bloc mixte peut empêcher le rehaussement du contrôle impliqué dans la résolution du conflit, si ce processus de gestion du conflit utilise un pôle de ressources commun au processus qui permet la préparation aux deux *sets* (e.g. Egner, 2008).

Par ailleurs, nous testons l'hypothèse que l'amélioration de la gestion du conflit, si elle est bien constatée, reflète une amélioration de l'établissement et du maintien du *set*. Ceci devrait donc se faire au détriment de la flexibilité, et on devrait alors observer une augmentation du coût de permutation.

Afin de rendre la situation de bloc mixte comparable à celle des expériences de type Stroop, nous avons utilisé un nombre réduit de permutations de tâche, afin d'obtenir de longues séquences d'essais où la même tâche est répétée, et permettre un ajustement progressif du niveau de contrôle. Pour la même raison, nous n'avons pas utilisé d'indice informant de la nature de la prochaine tâche avant l'arrivée du stimulus. Cette dernière manipulation nous permet de

répondre à l'objectif principal de l'expérience, qui est de tester l'hypothèse de l'influence délétère d'une forte proportion d'essais incongruents sur les essais de permutation, à un niveau global (augmentation des TR des permutations dans les blocs avec une forte proportion d'essai incongruents), en l'absence d'anticipation explicite possible d'un changement de tâche.

Méthode - expérience 1

Participants

Trente deux étudiants volontaires de l'université de Poitiers, âgés entre 18 et 27 ans ($M = 20.8$ ans, $DS = 2.1$ ans), dont 22 femmes, ont participé à l'expérience.

Matériel et stimuli

Les participants étaient assis à 60 cm d'un écran CTR de 15 pouces. Chaque stimulus apparaissait sur un fond noir au centre de l'une des 2 fenêtres blanches (3.5° de haut x 7.8° de large) situées au dessus et au dessous du centre de l'écran (couvrant un angle visuel total de 7.4° de haut). La fenêtre du haut était associée à une tâche et celle du bas à une autre tâche (l'association tâche-localisation était contrebalancée entre les participants). Les stimuli étaient les mots GAUCHE et DROITE (respectivement 4° et 3.5° de large x 0.6° de haut, écrits en police Arial noire) situés à l'intérieur d'une flèche jaune indiquant la gauche ou la droite (6.3° de large x 1.3° de haut). Il y avait donc 2 types de stimulus : congruent versus incongruent. Les 2 stimuli congruents (C) étaient le mot GAUCHE dans la flèche gauche et le mot DROITE dans la flèche droite. Les 2 stimuli incongruents (I) étaient le mot GAUCHE dans la flèche droite et le mot DROITE dans la flèche gauche.

Tâches et modalités de réponse

À chaque essai, les participants réalisaient l'une des 2 tâches suivantes : répondre au sens de la flèche (gauche ou droite) ou répondre au mot (GAUCHE ou DROITE). Les mêmes boutons de réponse étaient utilisés pour les 2 tâches : la touche ALT et la touche CONTROL (respectivement situées à gauche et à droite de la barre espace d'un clavier AZERTY).

La réponse *droite* était associée la touche ALT et la réponse *gauche* à la touche CONTROL pour tous les participants, qui utilisaient leur index gauche pour appuyer sur la touche ALT et leur index droit pour appuyer sur la touche CONTROL.

Déroulement d'un essai

Un exemple de séquence d'essais est présenté figure 5. Chaque essai commençait par la présentation d'un stimulus qui apparaissait dans l'une des deux fenêtres. L'endroit où apparaissait le stimulus déterminait la tâche à réaliser. Le stimulus restait à l'écran jusqu'à la réponse du participant. Un intervalle constant de 1000 ms, nommé RSI (*response-stimulus interval*) séparait la réponse du participant de l'essai suivant. Durant cet intervalle, les deux fenêtres restaient à l'écran. En cas d'erreur, le message *Erreur*, écrit en rouge (police courrier new, 3.9° x 0.6° d'angle visuel), apparaissait immédiatement au centre de l'écran après la réponse et restait à l'écran pendant 1000 ms.

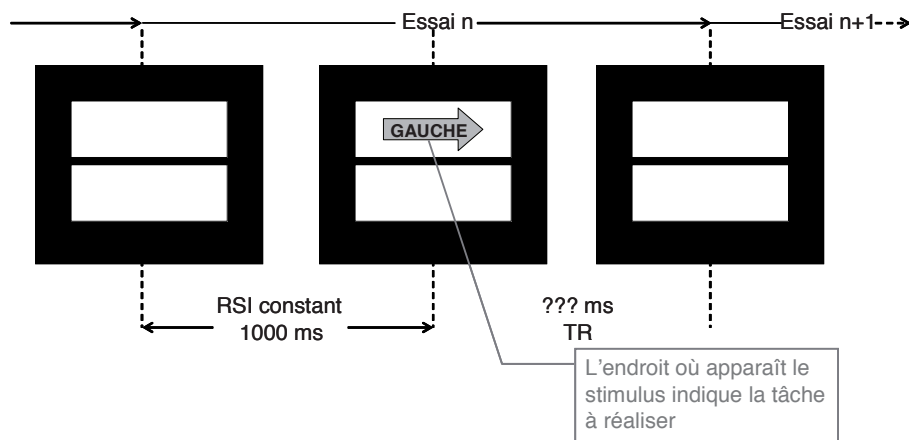


Figure 5. Exemple d'une séquence d'essai. TR = temps de réponse ; RSI = response-stimulus interval – Expérience 1.

Procédure

Pour chaque participant, il y avait deux types de blocs d'essais expérimentaux définis selon la proportion d'essais incongruents. Dans la condition *majorité d'incongruents* (MI), il y avait 70% de stimuli incongruents et 30% de stimuli congruents. Dans la condition *majorité de congruents* (MC), il y avait 70% de stimuli congruents et 30% de stimuli incongruents. Chaque bloc contenait 60 essais expérimentaux. Il y avait 6 blocs pour la condition MI et 6 blocs pour la condition MC. Le type de bloc (MI versus MC) alternait tous les 2 blocs (le

premier type de bloc était contrebalancé entre les participants). Chaque bloc contenait 20% de changements de tâche.

Dans les 360 essais de la condition MI, chaque combinaison stimulus incongruent (2) x tâche (2) apparaissait 9 fois pour les permutations et 54 fois pour les répétitions, et chaque combinaison stimulus congruent (2) x tâche (2) apparaissait 9 fois pour les permutations et 18 fois pour les répétitions. Dans les 360 essais de la condition MC, chaque combinaison stimulus congruent x tâche apparaissait neuf fois pour les permutations et 54 fois pour les répétitions, et chaque combinaison stimulus incongruent x tâche apparaissait 9 fois pour les permutations et 18 fois pour les répétitions.

Quelle que soit la condition de proportion (MI ou MC), la proportion des différentes permutations possibles était contrôlée de la manière suivante. La congruence (I ou C) du stimulus à l'essai n et celle du stimulus de l'essai $n-1$ définissaient 4 types de successions possibles (II, IC, CI, CC). La tâche à l'essai n et celle à l'essai $n-1$ définissaient 2 types de permutation possibles (mot \rightarrow flèche et flèche \rightarrow mot). Sur les 360 essais d'une même condition, chaque combinaison type de succession (4) x type de permutation (2) apparaissait neuf fois.

La sélection du stimulus et de la tâche était pseudo aléatoire avec les deux autres restrictions suivantes : (1) aucune répétition immédiate de stimulus ne pouvait avoir lieu et (2) il ne pouvait pas y avoir deux changements de tâche consécutifs.

A la fin d'un bloc, les participants étaient informés de leur TR moyen, du nombre d'erreur pour ce bloc ainsi que d'un score représentant un mixte des 2 (score = $TR/10 + erreur*5$). A partir du deuxième bloc, ils avaient un score à battre égal à la moyenne des scores réalisés jusque là, avec un message de félicitation en cas de succès et un encouragement à poursuivre leurs efforts en cas d'échec.

Avant la session expérimentale les participants recevaient des instructions décrivant la procédure, les stimuli, les tâches et les modalités de réponse. Ils réalisaient ensuite 2 blocs d'entraînement de 30 essais chacun.

La présentation des stimuli et le recueil des données se faisaient au moyen du logiciel E-prime (Psychology Software Tools, 1999). L'expérience durait 30 minutes.

Résultats – expérience 1

L'analyse porte sur les essais expérimentaux. Les 2 premiers essais de chaque bloc, les essais suivant immédiatement une erreur et les TR supérieurs à 3000 ms et inférieurs à 200 ms n'étaient pas analysés (6.4% des essais). Comme les taux d'erreur sont faibles (3.0%), et vont globalement dans le même sens que celui des TR, les analyses sont centrées sur les TR des bonnes réponses. Le seuil alpha est fixé à .05.

Une ANOVA a été réalisée avec les facteurs intra-participants suivants : Proportion d'incongruents (MI vs. MC), Type de transition (permutation vs. répétition) et Congruence (incongruent vs. congruent) (voir tableau 1). La figure 6 résume les données descriptives. Il n'y a pas d'effet principal de la proportion d'incongruents ($F < 1$). Ce facteur interagit avec la Congruence [$F(1, 31) = 16.96$] : L'effet d'interférence (I-C) est plus petit quand la proportion d'incongruents est élevée (57.3 ms) que quand elle est faible (88.4 ms). Il y a également une interaction entre les 3 facteurs [$F(1, 31) = 27.98$, cf. figure 6]. L'effet de réduction de l'interférence avec l'augmentation de la proportion d'incongruents existe pour les répétitions (-70.1 ms) mais pas pour les permutations (+7.9 ms). Pour les répétitions, des comparaisons planifiées montrent que l'effet de réduction de l'interférence est lié à la fois à une réduction des TR des incongruents [$F(1, 31) = 20.49$] et à une augmentation des TR des congruents [$F(1, 31) = 13.92$]. Enfin, il n'y a pas d'interaction entre la proportion d'incongruents et le type de transition ($F < 1$), donc pas d'augmentation des TR des essais de permutation avec une forte proportion d'incongruents.

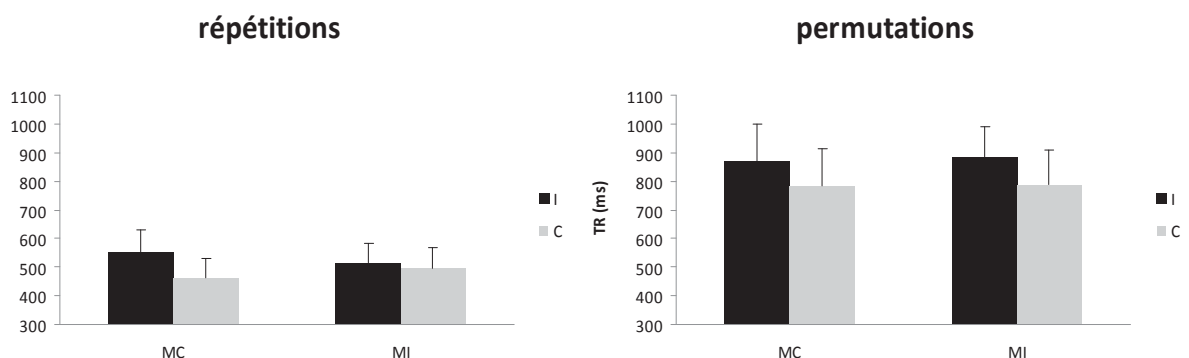


Figure 6. Moyennes des TR moyens (écart-types) en fonction du type de transition, de la proportion d'incongruents, et de la congruence des essais – Expérience 1. MC = majorité de congruents, MI = majorité d'incongruents, I = incongruent, C = congruent.

Tableau 1. Analyse de la variance des TR – Expérience 1.

Effet	df	F	CME	p
Type de transition	1, 31	499.18	6821437.00	<.05
Proportion d'incongruents	1, 31	0.06	325.64	0.80
Congruence	1, 31	130.22	339876.63	<.05
Type de transition X Proportion d'incongruents	1, 31	0.79	795.35	0.38
Type de transition X Congruence	1, 31	10.46	15225.86	<.05
Proportion d'incongruents X Congruence	1, 31	16.97	15453.44	<.05
Proportion d'incongruents X Type de transition X Congruence	1, 31	27.98	24365.45	<.05

Discussion – expérience 1

Dans cette expérience, nous avons voulu vérifier au préalable si l'influence de la quantité d'information conflictuelle sur les essais de répétition démontrée dans des conditions où une seule tâche est réalisée (e.g. Logan & Zbrodoff, 1979 ; Tzelgov et al., 1992) pouvait être observée dans un contexte de bloc mixte où plusieurs tâches sont effectuées. Comme dans les études antérieures fondées sur une seule tâche (e.g. Logan & Zbrodoff, 1979 ; Tzelgov et al., 1992), les résultats montrent que l'effet de la proportion de stimuli incongruents affecte la performance dans un tel contexte. Nous avons observé sur les essais de répétition, une réduction de l'effet d'interférence avec l'augmentation de la proportion de stimuli incongruents. Il est intéressant de noter qu'un tel ajustement du contrôle exécutif a été observé, alors que les séries d'essais de répétition concernaient l'une ou l'autre des deux tâches. Cela témoigne donc d'une certaine flexibilité de ce processus d'ajustement, pouvant être adapté rapidement d'une tâche à l'autre.

L'objectif principal de cette expérience était de voir si l'augmentation de l'information conflictuelle avait un effet délétère sur les essais de permutation. Contrairement à nos attentes, les résultats ne montrent pas d'augmentation globale des TR des essais de permutation, ni même d'augmentation de la taille de l'effet d'interférence.

Finalement, alors qu'une forte proportion d'essais incongruents semble favoriser le maintien du *set* pertinent sur les essais de répétition, elle ne semble pas altérer le processus de reconfiguration sur les essais de répétition. On a donc ici une apparente contradiction entre une amélioration du maintien du *set* pour faire face à l'interférence (Botvinick et al., 2001 ; Crump et al., 2008 ; De Pisapia & Braver, 2006) et une absence d'effet de cet ajustement sur la flexibilité. Il est en fait possible qu'une forte quantité d'information conflictuelle induise

un rehaussement aspécifique du niveau de contrôle, qui compense les effets négatifs de maintien du *set* sur les changements de tâches. L'expérience 2 teste cette hypothèse.

Expérience 2

Introduction – expérience 2

Nous savons que si les participants connaissent suffisamment longtemps à l'avance la nature de la prochaine tâche – au moyen d'un indice explicite et d'un délai ou CSI (*Cue-Stimulus Interval*) suffisamment long – ils peuvent adopter un nouveau *set* de manière anticipée et ainsi améliorer leur performance lors d'un changement de tâche (e.g. Meiran, 1996). Cependant, même dans un tel cas, la performance sur les changements de tâche n'est pas forcément optimale (e.g. Meiran, 1996 ; Monsell, 2003 ; Rogers & Monsell, 1995 ; Ruthruff et al., 2001).

Si une forte quantité d'information conflictuelle induit un rehaussement aspécifique du niveau de contrôle exécutif, alors elle devrait permettre d'optimiser le processus de reconfiguration, et nous devrions observer une réduction des TR et des taux d'erreur des essais de permutations. Pour tester cette hypothèse, nous avons ajouté au protocole de l'expérience 1 un indice spatial arrivant juste avant le stimulus et informant à l'avance les participants de la nature de la prochaine tâche à réaliser. Nous avons utilisé deux délais de préparation : un court et un long. En supposant que le délai court était trop bref pour permettre l'adoption anticipée d'un nouveau *set*, il sert à vérifier si nous obtenons les mêmes effets que ceux décrits dans l'expérience 1 pour les essais de répétition, en présence d'un indice.

Méthode – expérience 2

Participants

Seize étudiants volontaires de l'université de Paris V, âgés entre 21 et 35 ans ($M = 24.2$ ans, $DS = 4.1$ ans), dont 2 hommes, ont participé à l'expérience.

Matériel, stimuli, tâches et modalités de réponse

Le matériel, les stimuli, les tâches et les modalités de réponse étaient identiques à ceux de l'expérience 1.

Déroulement d'un essai

Le déroulement d'un essai était similaire à celui de l'expérience 1 à l'exception des changements suivants (voir figure 7). Un essai commençait cette fois-ci par la présentation d'un indice (le signe * en police noire courier new $0.7^\circ \times 0.7^\circ$ d'angle visuel) qui apparaissait à l'emplacement du futur stimulus, permettant aux participants de connaître la prochaine tâche à réaliser avant l'arrivée du stimulus. Le délai entre l'apparition de l'indice et celle du stimulus ou CSI (*Cue Stimulus Interval*) était court (200 ms) ou long (600 ms). Le stimulus remplaçait ensuite l'indice. L'intervalle séparant la réponse du participant et le début de l'essai suivant (RCI, *response-cue interval*) était de 800 ms dans la condition CSI court et de 400 ms dans la condition CSI long, définissant ainsi un RSI constant de 1000 ms.

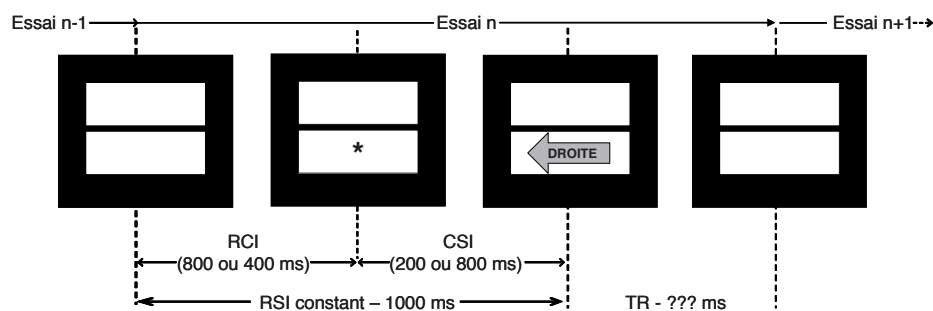


Figure 7. Exemple d'une séquence d'essai. TR = temps de réponse ; RCI = *response-cue interval* ; CSI = *cue-stimulus interval* ; RSI = *response-stimulus interval* – Expériences 2 et 3.

Procédure

La procédure était similaire à celle de l'expérience 1 à l'exception des changements suivants. Il y avait cette fois-ci 24 blocs d'essais expérimentaux, chacun étant défini par sa proportion de stimuli incongruents (MI vs. MC) et son CSI (court vs. long). Le CSI alternait tous les quatre blocs (durée du premier CSI contrebalancé entre les participants). A cause de l'instauration de deux CSI, le nombre de combinaisons définies dans l'expérience 1 était multiplié par 2.

Les deux blocs d'entraînement contenaient chacun 40 essais. Chaque essai d'entraînement contenait un indice qui apparaissait 400 ms avant le stimulus, et

le RCI était de 400 ms également. L'expérience durait 45 minutes.

Résultats – expérience 2

L'analyse est effectuée sur les mêmes essais expérimentaux que ceux décrits dans l'expérience 1 et exclut 6.1% des essais. A nouveau, les taux d'erreur sont faibles (2.8%) et vont dans le même sens que celui des TR. Les analyses sont donc centrées sur les TR des bonnes réponses (seuil = .05).

L'ANOVA implique les mêmes facteurs intra-participants que ceux de l'expérience 1 (Proportion d'incongruents X Type de transition X Congruence) ainsi que le facteur CSI (court vs. long) (voir tableau 2). Les figures 8 et 9 résument les données descriptives.

Il y a un effet principal du CSI [$F(1, 15) = 78.22$] : l'allongement du CSI réduit les TR (-89.8 ms). Il y a une interaction entre le CSI et le type de transition [$F(1, 15) = 165.48$] : le coût de permutation (i.e. permutations – répétitions) est réduit par l'allongement du CSI (-125.0 ms). Le CSI interagit également avec la congruence [$F(1, 15) = 13.49$] : l'effet de congruence (i.e. I – C) est réduit par l'allongement du CSI (-25.0 ms). Il y a une interaction entre ces trois facteurs [CSI, type de transition et congruence, $F(1, 15) = 5.19$] : la réduction de l'effet d'interférence avec l'allongement du CSI est plus importante pour les permutations (-37.6 ms) que pour les répétitions (-12.5 ms) (Figures 8 et 9).

Comme dans l'expérience 1, il n'apparaît pas d'effet principal de la proportion d'incongruents ($p > .3$), mais ce facteur interagit avec la congruence [$F(1, 15) = 37.39$] : l'effet d'interférence (I-C) est plus faible en condition MI (30.8 ms) qu'en condition MC (69.0 ms). Cette interaction est à nouveau modulée par le type de transition [$F(1, 15) = 15.38$] : l'effet de réduction de l'interférence avec l'augmentation de la proportion d'incongruents existe pour les répétitions (-65.0 ms) mais pas pour les permutations (-11.3 ms). Pour les répétitions, l'effet de réduction de l'interférence est à nouveau lié à la fois à une réduction des TR des incongruents [$F(1, 15) = 15.01$] et à une augmentation des TR des congruents [$F(1, 15) = 21.07$]. Pour les permutations il y a seulement de manière tendancielle, une augmentation des TR pour les stimuli congruents [$F(1, 15) = 4.34, p < .055$]. Comme dans l'expérience 1, il n'y a pas d'interaction entre la proportion d'incongruent et le type de transition ($p > .2$). Cependant, il y a une interaction entre ces 2 facteurs et le facteur CSI [$F(1, 15) = 6.65$] : il y a une augmentation du coût de permutation de MC à MI pour le CSI court

(+19.1 ms), mais pas pour le CSI long (-3.8 ms). En résumé, l'influence de la proportion d'incongruents est similaire à celle de l'expérience 1, hormis une légère augmentation du coût de permutation avec l'allongement de la proportion d'incongruents, pour les CSI courts.

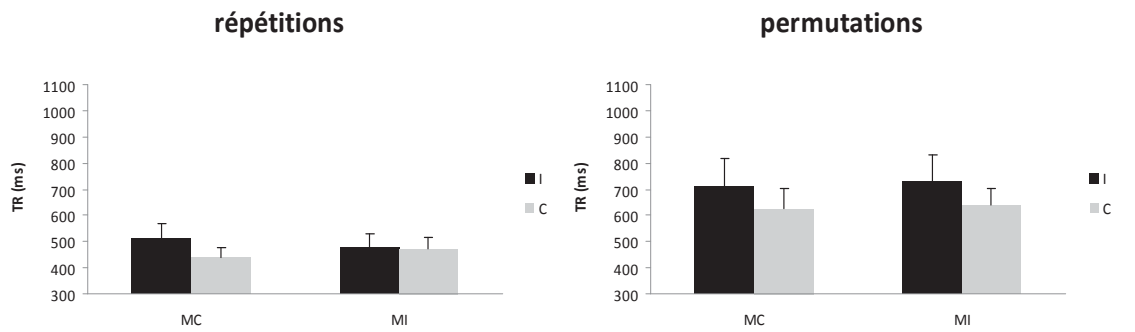


Figure 8. Moyennes des TR moyens (écart-types) en fonction du type de transition, de la proportion d'incongruents et de la congruence des essais – CSI court (200 ms) - Expérience 2. MC = majorité de congruents, MI = majorité d'incongruents, I = incongruent, C = congruent.

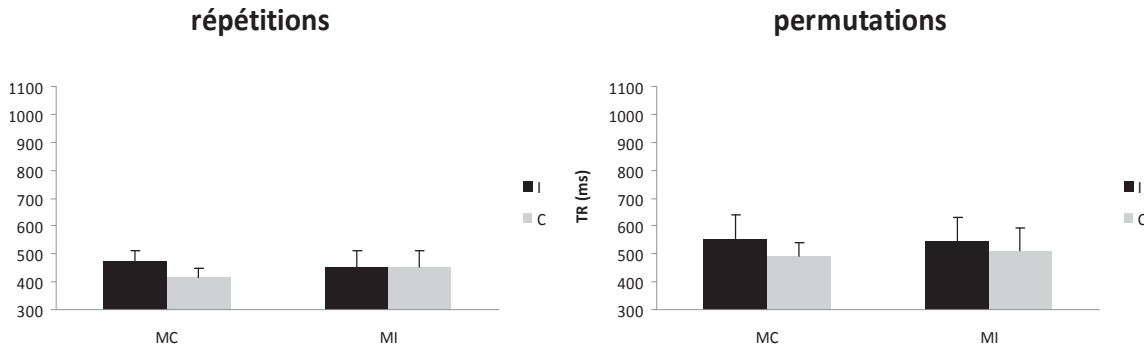


Figure 9. Moyennes des TR moyens (écart-types) en fonction du type de transition, de la proportion d'incongruents et de la congruence des essais – CSI long (600 ms) - Expérience 2. MC = majorité de congruents, MI = majorité d'incongruents, I = incongruent, C = congruent.

Tableau 2. Analyse de la variance des TR – Expérience 2.

Effet	dl	F	CME	p
CSI	1, 15	78.22	515645.16	<.05
Type de transition	1, 15	108.93	1235553.13	<.05
Proportion d'incongruents	1, 15	1.04	4502.33	.32
Congruence	1, 15	54.58	159405.05	<.05
CSI X Type de transition	1, 15	165.48	250126.89	<.05
CSI X Proportion d'incongruents	1, 15	0.12	153.53	0.74
Type de transition X Proportion d'incongruents	1, 15	1.45	940.92	0.25
CSI X Congruence	1, 15	13.49	10023.64	<.05
Type de transition X Congruence	1, 15	17.16	20739.78	<.05
Proportion d'incongruents X Congruence	1, 15	37.39	23327.03	<.05
CSI X Type de transition X Proportion d'incongruents	1, 15	6.65	2106.52	<.05
CSI X Type de transition X Congruence	1, 15	5.19	2513.83	<.05
CSI X Proportion d'incongruents X Congruence	1, 15	2.01	685.16	0.18
Type de transition X Proportion d'incongruents X Congruence	1, 15	15.38	11543.49	<.05
Interaction entre les 4 facteurs	1, 15	1.66	1495.03	0.22

Discussion – expérience 2

Comme dans l'expérience 1, L'effet d'interférence était réduit avec l'augmentation de la proportion d'incongruents, principalement sur les répétitions (et cette fois ci très discrètement sur les permutations).

Deux CSI étaient utilisés dont un très court. Les deux conditions de préparation ont bien permis de distinguer deux niveaux de préparation, avec notamment une réduction générale des TR et une réduction des coûts de permutation pour les CSI longs (e.g. Monsell & Mizon, 2006). Il apparaît que le coût de permutation est légèrement plus important en condition MI qu'en condition MC pour les CSI courts (résultat conforme à notre première hypothèse) tandis qu'il ne diffère pas pour les CSI longs.

Il est donc possible que la quantité d'information conflictuelle n'ait pas (ou peu) d'influence sur l'optimisation du processus de reconfiguration anticipée. Toutefois, certaines failles méthodologiques ont pu interférer avec la détection d'un tel effet. Premièrement, il est possible que l'expérience ne contenait pas assez de permutations de tâche (20%) pour obtenir de quelconques effets de la proportion d'incongruents sur celles-ci, les participants se préparant principalement à répéter une tâche plutôt qu'à en changer. Deuxièmement, alors que la proportion d'incongruents variait sur les répétitions, elle ne variait pas

sur les permutations, ce qui a pu annuler un éventuel effet de la proportion d'incongruents sur celles-ci. Troisièmement, l'expérience présente un biais en faveur d'un plus grand nombre d'alternances que de répétitions de la réponse pour les essais de répétition de tâche. Ce biais, lié aux contraintes imposées à la randomisation des essais (e.g. pas de répétition de stimulus) ainsi qu'au nombre restreint de stimuli utilisés (4), a pu affecter les résultats en générant des effets d'attente en faveur des alternances de réponses motrices (Soetens et al., 1985) et ainsi masquer ou modifier les éventuels effets qui nous intéressent. Quatrièmement, le long CSI n'était peut être pas suffisamment long pour permettre une préparation suffisante.

Expérience 3

Introduction – expérience 3

La dernière expérience a donc été construite en prenant en compte les différentes failles méthodologiques que nous venons d'évoquer. L'épreuve comprenait une fréquence de permutations plus élevée, et la proportion d'incongruents était cette fois-ci également manipulée sur les permutations. Le biais en faveur des alternances de réponse sur les répétitions a été contrôlé en ajoutant des stimuli neutres, de manière à avoir un nombre équivalent d'alternances et de répétitions de réponse. Enfin, deux nouveaux délais de préparation ont été utilisés, 400 et 900 ms.

Méthode – expérience 3

Participants

Seize jeunes adultes volontaires âgés entre 20 et 34 ans ($M = 24.6$ ans, $DS = 4.6$ ans) dont 8 filles, ont participé à l'expérience.

Matériel, stimuli, tâches et modalités de réponse

Le matériel, les stimuli, les tâches et les modalités de réponse étaient identiques à ceux des précédentes expériences, à l'exception de la présence de quatre stimuli neutres (N) supplémentaires. Pour la tâche *mot*, les deux stimuli neutres étaient

les mots GAUCHE et DROITE situés à l'intérieur d'une double flèche jaune (6.3° de long x 1.3° de haut). Ils ne pouvaient apparaître que dans la fenêtre associée à la tâche *mot*. Pour la tâche *flèche* les deux stimuli neutres étaient une suite de «X» (4° de long x 0.6° de haut) à l'intérieur d'une flèche indiquant la gauche ou la droite. Ils ne pouvaient apparaître que dans la fenêtre associée à la tâche *flèche*.

Déroulement d'un essai

Le déroulement d'un essai était similaire à celui de l'expérience 2 (cf. figure 7), à l'exception des CSI et RCI. Le CSI court était cette fois-ci de 400 ms (avec un RCI 600 ms), et le CSI long de 900 ms (avec un RCI de 100 ms).

Procédure

La procédure était similaire à celle de l'expérience 2, à l'exception des changements suivants.

Il y avait cette fois-ci 16 blocs expérimentaux de 56 essais. Dans la condition MI, les proportions de stimuli incongruents, neutres et congruents étaient respectivement : 50%, 25% et 25%. Dans la condition MC ces proportions étaient respectivement : 25%, 25% et 50%.

Chaque bloc contenait un peu moins de 50% de permutations (3/7).

Pour chaque CSI, les 224 essais de la condition MI contenaient les combinaisons suivantes. Pour les répétitions, chaque combinaison A (tâche x stimulus incongruent) apparaissait 16 fois, et chaque combinaison B (tâche x stimulus congruent) et C [tâche x stimulus neutre (2 par tâche)] apparaissait huit fois. Pour les permutations, chaque combinaison A apparaissait 12 fois et chaque combinaison B et C six fois. Pour chaque type de permutation possible (mot flèche versus flèche mot) les neuf types de successions possibles (i.e. congruence de l'essai n-1 et celle de l'essai n : II, CI, NI, IC, CC, NC, IN, CN, NN) apparaissaient avec les proportions suivantes : les successions II, CI et NI apparaissaient huit fois et les successions IC, CC, NC, IN, CN et NN quatre fois.

Pour chaque CSI, les 224 essais de la condition MC contenaient les combinaisons suivantes. Pour les répétitions, chaque combinaison B apparaissait 16 fois, et chaque combinaison A et C huit fois. Pour les permutations, chaque

combinaison B apparaissait 12 fois, et chaque combinaison A et C six fois. Pour chaque type de permutation, les neuf types de succession apparaissaient avec les proportions suivantes : IC, CC et NC huit fois et II, CI, NI, IN, CN et NN 4 fois.

Les deux blocs d'entraînement contenaient cette fois-ci 24 essais.

Résultats – expérience 3

L'analyse porte sur les mêmes essais expérimentaux que ceux décrits dans l'expérience 1, de telle sorte que 10.7% des essais ont été exclus. A nouveaux, les taux d'erreur sont faibles (4.1%) et vont dans le même sens que celui des TR. Les analyses sont donc centrées sur les TR des bonnes réponses (seuil = .05).

Une ANOVA avec les facteurs Proportion d'incongruents, Type de transition, Congruence et CSI ne montre pas d'effet principal du CSI ni d'interaction entre le CSI et les autres facteurs ($p > .2$). Une ANOVA a donc été réalisée sans ce facteur (cf. tableau 3). La figure 10 résume les données descriptives. A nouveau l'intérêt de cette analyse porte principalement sur le facteur proportion de stimuli incongruents.

Comme dans les précédentes expériences, il n'y a pas d'effet principal de la proportion d'incongruents ($p > .2$), mais ce facteur interagit avec la congruence [$F(2, 30) = 13.55$] : l'effet d'interférence (ici I-N) est plus petit en MI (45.5 ms) qu'en MC (74.7 ms), tandis que l'effet de facilitation (i.e. C-N, cf. Goldfarb & Henik, 2007) est similaire en MI (10.0 ms) et en MC (8.7 ms). La réduction de l'effet d'interférence avec l'augmentation de la proportion d'essais incongruents ne s'explique ici que par une réduction des TR des essais incongruents [-27.1 ms, $F(1, 15) = 6.90$], tandis que les TR des essais neutres et des congruents restent inchangés ($F_s < 1$). Contrairement aux précédentes expériences cette interaction n'est pas modulée par le type de transition ($F < 1$) : l'effet est donc présent au niveau des essais de répétition et des essais de permutation. Comme dans les précédentes expériences, il n'y a pas d'interaction entre la proportion d'incongruents et le type de transition ($p > .2$).

Tableau 3. Analyse de la variance des TR – Expérience 3.

Effet	df	F	CME	P
Type de transition	1, 15	44.02	128850.95	<.05
Proportion d'incongruents	1, 15	1.31	3071.28	0.27
Congruence	2, 30	25.38	90844.95	<.05
Type de transition X Proportion d'incongruents	1, 15	1.81	608.30	0.20
Type de transition X Congruence	2, 30	4.65	2373.45	<.05
Proportion d'incongruents X Congruence	2, 30	13.55	4377.39	<.05
Type de transition X Proportion d'incongruents X Congruence	2, 30	0.86	334.31	0.43

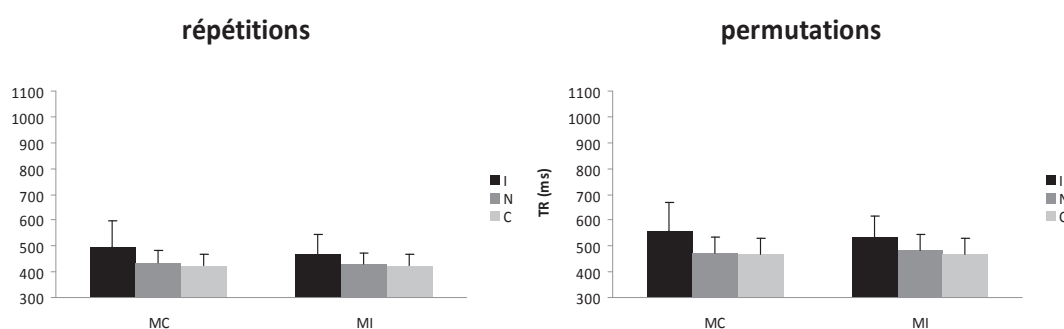


Figure 10. Moyennes des TR moyens (écart-types) en fonction du type de transition, de la proportion d'incongruents et de la congruence des essais – Expérience 3. MC = majorité de congruents, MI = majorité d'incongruents, I = incongruent, C = congruent.

Discussion - expérience 3

Contrairement à l'expérience 2, où l'effet de la proportion de stimuli incongruents était limité aux essais de répétition, nous avons observé ici une réduction de l'interférence avec l'augmentation de la proportion d'incongruents pour les essais de répétition et également les essais de permutation. De plus, cette réduction de l'interférence était cette fois-ci principalement liée à une réduction des TR des essais incongruents. Cependant il n'y avait pas d'effet de la proportion sur le coût de permutation.

Discussion générale

Cette série d'expériences manipulait la proportion de stimuli incongruents dans un contexte de bloc mixte avec deux tâches changeant de manière imprédictible,

afin d'explorer l'influence potentielle de la quantité d'information conflictuelle sur un changement *set*.

Au préalable, à un niveau global, nous observons une réduction de l'effet d'interférence avec l'augmentation de la proportion d'essais incongruents sur les essais de répétition en contexte de bloc mixte, comme celui classiquement observé dans des expériences de type Stroop où une seule tâche est réalisée. L'expérience 2 montre que cet effet est observé y compris dans un contexte de préparation explicite possible à la future tâche (i.e. en présence d'un indice explicite et d'un long CSI). L'expérience 3 montre que cet effet est au moins en partie lié à un rehaussement du contrôle exécutif, car il était principalement lié à une réduction des TR aux stimuli incongruents (Tzelgov et al., 1992).

L'objectif principal de cette étude était de voir si la quantité d'information conflictuelle avait une influence sur les processus de contrôle exécutif mis en place lors d'un changement de tâche. Dans l'expérience 1, nous n'avons pas observé d'effet délétère d'une forte quantité d'information conflictuelle sur les changements de tâche, en l'absence d'indice explicite informant à l'avance de la nature de la prochaine tâche. Cette absence d'effet délétère nous a amenée à supposer qu'une forte quantité d'information conflictuelle pouvait engendrer au contraire, un rehaussement aspécifique du niveau de contrôle exécutif, qui compense les effets négatifs de maintien du *set* sur les changements de tâches. Nous avons donc testé l'hypothèse que si un tel rehaussement aspécifique du niveau de contrôle existait, il pouvait permettre d'optimiser le processus de reconfiguration anticipé lors d'un changement de tâche, dans un contexte où un indice informant de la nature de la future tâche était fourni suffisamment longtemps à l'avance (expériences 2 et 3). A nouveau, notre hypothèse n'a pas été vérifiée, puisque nous n'avons pas observé de diminution des TR des essais de permutation dans la condition MI, par rapport à la condition MC. Ces résultats apportent deux informations théoriques intéressantes.

Premièrement, il semble que la quantité d'information conflictuelle telle que manipulée ici, n'influence que le niveau de contrôle exécutif dévolu à l'étape de sélection de la réponse, puisque seul l'effet d'interférence, reflétant majoritairement une trace du conflit de réponse (e.g. Goldfarb & Henik, 2007), varie en fonction de la proportion d'essais incongruents. En revanche, l'amplitude du coût de permutation, reflétant notamment le processus de reconfiguration, n'est pas affectée par cette variable. Il semble donc exister une dissociation entre les processus de contrôle impliqués dans la gestion du conflit et ceux impliqués

dans un changement de tâche. Cette idée est conforme avec les résultats de l'étude de Ward, Robert et Phillips (2001) ne montrant pas de corrélation entre l'effet d'interférence Stroop et le coût de permutation. En accord avec ceci, des études utilisant le paradigme de permutation de tâche trouvent qu'un long délai de préparation réduit le coût de permutation sans affecter l'effet de congruence (e.g., De Jong, 1995 ; Meiran, 1996). Enfin Brown et al. (2007) proposent l'existence de multiples boucles de contrôle, et distinguent notamment une boucle détectrice de changements (de sets et de réponse motrice) d'une boucle détectrice de conflit permettant de réduire l'effet d'interférence.

Deuxièmement, comme la réduction de l'effet d'interférence avec l'augmentation de la proportion d'essais incongruents était observée dans un contexte où alternaient deux tâches, cette réduction témoigne d'une certaine flexibilité de ce processus d'ajustement du conflit, qui se retrouve dans les deux tâches et pour les deux types d'essais (répétition et permutation). On peut donc dire qu'une forte quantité d'information conflictuelle améliore de manière générale, la capacité à gérer le conflit.

Enfin, un dernier point important réside dans le fait que, dans l'expérience 3, nous avons observé sur les essais de permutation, une réduction de l'effet d'interférence avec l'augmentation de la quantité d'information conflictuelle (comme pour les essais de répétition), contrairement aux autres expériences. Dans les deux premières expériences, la proportion d'items incongruents n'était manipulée que sur les essais de répétition, et les variations correspondantes de l'effet d'interférence n'étaient observées que sur ces essais : une forte proportion de stimuli incongruents au niveau des essais de répétition se traduisait par une réduction de l'interférence uniquement sur ces essais. Au contraire, dans la dernière expérience où la proportion d'items incongruents était manipulée également sur les essais de permutation, des variations de l'effet d'interférence étaient également observées sur ces essais. Ainsi il semble qu'il y ait une anticipation du niveau de conflit propre à chaque type d'essai. D'après l'*hypothèse de reconfiguration*, le coût de permutation reflète notamment des processus de contrôle particuliers intervenant pour assurer le changement de configuration nécessaire à la réalisation d'une nouvelle tâche (e.g. Meiran, 1996 ; Monsell, 2003). Dans ce cadre, les essais de permutation ont donc un statut particulier. Une hypothèse alternative (Altmann, 2002, 2004 ; Altmann & Gray, 2008 ; Gruber et al., 2006) suggère que le coût de permutation correspond au temps nécessaire à la réactivation (réencodage) du set afin de réaliser la tâche nouvelle. Cette proposition implique que les mêmes processus sont engagés dans

les essais de répétition et les essais de permutation. Nos résultats qui montrent un effet spécifique de la proportion d'essais incongruents sur les essais de répétition supportent donc l'hypothèse que les essais de permutation impliquent des processus distincts de ceux mis en place quand la tâche se répète. On peut noter que nos résultats se distinguent des études précédentes allant dans ce sens, puisqu'en général, les dissociations observées consistaient en la mise en évidence d'une influence de certains facteurs limitée aux essais de permutation. Il serait toutefois intéressant, pour confirmer l'hypothèse d'une anticipation du niveau de conflit propre à chaque type d'essai, d'envisager une expérience où la proportion d'essais incongruents ne serait manipulée que sur les permutations.

Conclusion

Contrairement à notre hypothèse de départ, cette série d'expériences montre que la quantité d'information conflictuelle n'influence pas le niveau de contrôle exécutif mis en place lors d'un changement de *set*, puisqu'aucune modulation de la performance globale des essais de permutation n'a été observée. Il semble donc exister une dissociation entre les processus de contrôle impliqués dans la gestion du conflit et ceux impliqués dans un changement de tâche. Cependant, nos résultats montrent que l'augmentation de la quantité d'information conflictuelle rehausse le niveau de contrôle dévolu à la résolution du conflit dans les blocs mixtes avec plusieurs tâches. De plus, nos résultats montrent que l'influence de la quantité d'information conflictuelle sur la résolution de conflit est spécifique du type d'essai (répétition ou permutation de tâche) : si la quantité d'information conflictuelle n'est manipulée que sur les essais de répétition, alors la taille de l'effet d'interférence ne variera que sur ce type d'essai.

Si la proportion d'information conflictuelle n'a pas ou peu d'effet sur l'état de préparation à un nouveau *set* – puisqu'aucune modulation du coût de permutation n'a été observée – la quantité de permutation de tâche peut au contraire en avoir. En effet, si le sujet est amené à changer très souvent de tâche, il est possible que son état de préparation au prochain *set* soit différent que dans la situation inverse, où le sujet ne change que très peu souvent de tâche. C'est ce que nous explorons dans le chapitre suivant.

Chapitre 3

Ajustement du contrôle du *set* : influence de la fréquence de permutations de tâches

Les expériences rapportées dans ce chapitre ont fait l'objet d'un manuscrit soumis au *Journal of Cognitive Psychology* (anciennement nommé *European Journal of Cognitive Psychology*). Ce manuscrit est actuellement en révision (voir annexe 2).

Introduction générale

Comme dans le précédent chapitre, nous nous intéressons ici aux déterminants fonctionnels qui amènent à des variations d'efficacité du contrôle exécutif dans la réalisation d'une tâche de temps de réaction à choix. Nous savons que les manipulations de probabilité d'un événement induisent des effets d'attentes de la part du système cognitif, l'amenant à se préparer à réagir à l'imminence de l'évènement le plus probable (e.g. Laberge, Van Gelder, & Yellott, 1970). Ces effets contextuels agissent par ailleurs sur un autre type de facteur modulateur du contrôle exécutif qu'est la motivation du sujet. En effet un sujet ne s'engagera dans le processus coûteux de préparation complète à la réalisation d'une tâche seulement s'il y voit un intérêt à le faire (De Jong, 2000 ; De Jong et al., 1999). Dans cet esprit il est concevable qu'il ne soit pas rentable de s'engager pleinement à la préparation d'une tâche si l'on est amené très prochainement à en changer.

Cette étude teste l'hypothèse de variations de l'état d'apprêtement du système cognitif à un ou plusieurs sets en fonction de la probabilité de changement de tâche.

La réalisation d'une tâche cognitive requiert la sélection et l'activation d'un *set*, c'est-à-dire la sélection et l'organisation d'un sous-ensemble de représentations et processus cognitifs (Allport, 1987 ; Rogers & Monsell, 1995). Dans les environnements qui fournissent de multiples affordances pour l'action, le maintien d'un tel *set* aide à maintenir la cohérence du comportement. En effet, l'activation du *set* fournit une structure qui module (biaise) le traitement des entrées sensorielles et des sorties motrices en fonction de la tâche en cours ou du but interne, tout en inhibant l'attention et les réponses vers l'information non pertinente (Allport, 1987). Cette stabilité doit cependant être modulée par l'habileté à détecter et à répondre aux changements de situation (Allport, 1987, 1989 ; Goschke, 2003). Un comportement adapté requiert donc une balance dynamique et dépendante du contexte entre 2 contraintes antagonistes : stabilité et flexibilité (Goschke, 2003).

Nous postulons ici que l'activation d'un *set* n'est pas un processus en tout ou rien, mais plutôt en «juste assez» (Gilbert & Shallice, 2002 ; Goschke, 2003 ; Lien et al., 2005). Elle implique un ajustement de niveaux d'activation ou d'inhibition du *set* variant en fonction du contexte. Cette idée n'est pas nouvelle (Norman & Shallice, 1986) et constitue une caractéristique des modèles récents

de *permutation de tâche* (Brown et al., 2007 ; Gilbert & Shallice, 2002 ; Yeung & Monsell, 2003b). En accord avec cette idée, divers auteurs suggèrent que lors d'un changement de tâche, il n'est pas efficace de supprimer ou d'inhiber le *set* actuellement pertinent **plus que nécessaire** car il sera alors trop difficile de réactiver ce *set* (Goschke, 2000, 2003 ; Mayr & Keele, 2000 ; Monsell, 2005 ; Monsell et al. 2003).

Sur ce principe, en considérant que le contrôle du *set* implique une balance dynamique et dépendante du contexte entre stabilité et flexibilité (Goschke, 2003), la probabilité d'un changement de tâche devrait être cruciale dans l'établissement du contrôle interne. Dans des conditions où la séquence de tâches n'est pas prédictible, les changements de tâche peuvent être plus ou moins fréquents. Une prédiction directe est qu'une condition où les changements de tâche sont fréquents doit promouvoir une certaine flexibilité, i.e. le coût de permutation doit être réduit. Quand les changements de tâche sont fréquents, il peut être fonctionnellement pertinent de maintenir les différents *sets* de tâche relativement actifs afin de permettre une certaine flexibilité. Cela doit, en contrepartie, altérer la stabilité à cause de l'interférence entre les *sets* et donc affecter la performance sur les essais de répétition. A l'inverse, une condition où les répétitions sont fréquentes doit favoriser la stabilité. Une stratégie efficace serait d'activer pleinement seulement un *set*, tout en maintenant le *set* concurrent dans un faible état d'activation, dans le but de promouvoir la stabilité, c'est-à-dire une performance améliorée sur les répétitions mais au prix de la flexibilité.

Alors que des ajustements contextuels du contrôle cognitif sont tacitement admis dans la littérature, peu d'études ont véritablement testé cette hypothèse, et les résultats de ces travaux sont inconsistants.

Monsell et Mizon (2006, Expérience 4) ont étudié l'influence de la probabilité d'un changement de tâche et leurs résultats indiquent une meilleure flexibilité au prix de la stabilité quand les changements de tâche sont fréquents. Dans leur étude, la séquence des tâches est imprédictible et un indice est présenté 140 ou 790 ms avant le stimulus (CSI court vs. long). La fréquence avec laquelle la tâche change est manipulée entre les participants (25%, 50%, 75%). Dans l'ensemble, ils trouvent que le coût de permutation (en termes de TR) est affecté par la fréquence des permutations, avec des coûts de permutation réduits quand la fréquence de changement de tâche est élevée par rapport à une fréquence de permutation plus faible. Une inspection de leurs données indique que cette réduction, variable en fonction du délai de préparation, est liée à la fois

à une augmentation des TR des essais de répétition et à une réduction des TR des essais de permutation.

Meiran et al. (2000, Expérience 1) ont aussi contrasté la performance de différents groupes de sujets expérimentant différentes fréquences de permutation (50% vs. 33%). Ils observent des coûts de permutation similaires dans les différents groupes, bien qu'une forte fréquence de répétitions réduise légèrement les TR des essais de répétition. Dreisbach et Haider (2006) ont manipulé la probabilité d'un changement de tâche (75% vs. 25%) en intra-participants. Dans une condition où les participants étaient informés, au début de chaque bloc, de la probabilité d'un changement de tâche, les résultats de leur étude confirment ceux de l'étude de Meiran et al. (2000) : seuls les essais de répétition étaient affectés par la probabilité de changement de tâche. Enfin Lindsen et De Jong (2007) ont contrasté conjointement la probabilité de permutation (25% vs. 75%) et le CSI (150 et 1500 ms). Ils n'ont pas observé de résultats en faveur de notre hypothèse de balance entre stabilité et maintien, puisque l'ensemble des TR – c'est-à-dire ceux des essais de répétition et ceux des essais de permutation - était réduit dans la condition 25% par rapport à la condition 75%. Cependant la réduction des TR est plus importante pour les répétitions que pour les permutations.

Ainsi il n'y a donc pas de preuve probante d'ajustements de la balance flexibilité/maintien dépendants du contexte. Une forte fréquence de permutation n'est pas nécessairement associée à une réduction des TR des essais de permutation ou du coût de permutation. Il semble que ces ajustements ont majoritairement lieu sur les essais de répétitions.

Par ailleurs, un problème important dans toutes ces études, sauf celle de Meiran et al. (2000), concerne l'estimation du TR moyen des essais de répétition dans les différentes conditions, impliquant par conséquent un potentiel biais dans l'estimation des performances. En effet, moins les permutations sont fréquentes, plus longues sont les séries d'essais d'une même tâche. Dans une séquence d'essais d'une même tâche, les premiers essais doivent souffrir d'une plus grande interférence liée à l'activation persistante de la tâche concurrente récemment abandonnée (Allport et al., 1994 ; Mayr & Keele, 2000). De plus, d'autres effets peuvent s'amplifier ou avoir lieu au sein de la série d'essais, comme les effets d'amorçage positif de la tâche associés aux répétitions du même *set* de tâche (Allport & Wylie, 1999, 2000 ; Monsell et al., 2003), ou à l'inverse, un ralentissement à l'intérieur d'une séquence d'essais (Altmann & Gray, 2002 ; Meiran, 2010). Par conséquent, les ajustements contextuels observés par Monsell

et Mizon (2006) et Dreisbach et Haider (2006) au niveau des essais de répétition peuvent simplement refléter le fait que la performance, dans la condition de faible fréquence de permutations, est mesurée dans des plus longues séries d'essais de la même tâche que dans la condition de haute fréquence de permutations. Contrôler ce facteur est donc important pour mesurer l'impact de la probabilité de changement de tâche.

Aperçu et objectifs des expériences

Le premier objectif de l'étude est de tester l'hypothèse d'un ajustement de la balance entre flexibilité et maintien en testant l'impact sur la performance de la fréquence des permutations. Spécifiquement nous voulons déterminer si la flexibilité et la stabilité sont affectées de manière différente par la fréquence de permutations dans un bloc d'essais. Nous avons demandé aux participants de réaliser des blocs mixtes avec 2 tâches (jugement de la longueur du mot versus de la taille des objets). Dans ces blocs mixtes, les tâches variaient d'un essai à l'autre de manière aléatoire. Pour la moitié des blocs mixtes, la fréquence de changement de tâche était de 25%, et pour l'autre moitié de 50%. Les analyses étaient restreintes aux essais occupant les 3 premières positions d'une séquence d'essais d'une même tâche, la première position (P1) correspondant à une permutation, et les seconde et troisième positions (P2 et P3) à des répétitions de tâche.

La flexibilité est indexée par la performance sur les essais de permutation et par le coût de permutation. Au contraire la stabilité est principalement mesurée par la performance sur les essais de répétition. Afin de mieux apprécier la stabilité nous contrastons aussi la performance obtenue aux essais de répétition au sein d'un bloc mixte à celle obtenue dans les blocs simples dans lesquels les participants ne réalisent qu'une seule tâche.

L'inclusion de blocs simples nous permet donc d'explorer une question importante. Les expériences combinant des blocs mixtes et des blocs simples, dans lesquels les participants réalisent soit une tâche A soit une tâche B (un seul *set* doit être sélectionné et maintenu durant tout le bloc d'essais), montrent que la performance des essais de répétition des blocs mixtes est affectée par rapport à celle des essais des blocs simples (Koch, Prinz, & Allport, 2005 ; Los, 1999 ; Mayr & Liebscher, 2001 ; Mayr, 2001 ; Rubin & Meiran, 2005 ; Steinhäuser & Hübner, 2005). L'origine de ce coût - le coût mixte, mesuré avec les essais de répétition - reste obscure (Braver et al., 2003 ; Goffaux, Phillips, Sinai, & Pushkar, 2006 ;

Koch et al., 2005 ; Los, 1999 ; Mayr & Liebscher, 2001 ; Mayr, 2001 ; Rubin & Meiran, 2005). Il a récemment été proposé que quand une séquence de tâche n'est pas prédictible, le coût mixte est dû à une préparation limitée sur les essais de répétition (Poljac, Koch, & Bekkering, 2009).

Comme nous avons des prédictions particulières sur les essais de répétition, la présente étude permet donc aussi d'explorer l'origine du coût mixte. Montrer des ajustements contextuels au niveau des essais de répétition révélera le rôle du contrôle endogène dans l'émergence du coût mixte. Ainsi, un second objectif est de savoir si le coût mixte est encore présent quand la probabilité de changement de tâche est faible, c'est-à-dire dans une condition qui encourage une pleine activation du *set* pertinent sur les essais de répétition. Il est donc particulièrement intéressant de tester si la performance des essais de répétition est encore différente de celle mesurée dans les blocs simples, quand la probabilité de changement de tâche est seulement de 25%.

Expérience 1

Présentation de l'expérience 1

Dans cette première expérience, l'influence de la probabilité d'un changement de tâche sur le niveau d'activation d'un ou plusieurs *sets* est étudiée à travers un paradigme où la séquence des tâches est imprédictible. L'objectif principal de cette étude est de vérifier si la probabilité de permutation de tâche influence la balance entre stabilité et flexibilité dans le contrôle du *set* associé à une tâche, au moyen d'une méthode d'analyse améliorée par rapport aux études précédentes.

Par ailleurs, nous utilisons ici un indice explicite sur la prochaine tâche à venir ainsi qu'un CSI variable. Cette manipulation nous permet de répondre à un autre objectif qui est de voir si dans une condition permettant une préparation explicite complète à la tâche (i.e. via un indice couplé à un long CSI), la performance reste influencée par les variations du contexte (i.e. ici les variations de la probabilité d'une permutation de tâche). A notre connaissance, seulement 2 études varient conjointement la probabilité de permutation et le CSI avec un indice abolissant complètement l'incertitude sur la nature de la prochaine tâche : celle de Monsell et Mizon (2006, expérience 4) et celle de Lindsen et De

Jong (2007). Les données de Monsell et Mizon (2006, expérience 4, figure 7 p. 504) suggèrent que l'allongement du CSI abolit l'influence de la probabilité de permutation. Les résultats de Lindsen et De Jong (2007) montrent que l'effet d'amélioration de la performance de la condition 25% à la condition 75% est plus important pour les répétitions et les CSI courts, que pour les permutations et les CSI longs. Ces résultats nous amènent à postuler une réduction de l'effet de la probabilité de permutation de tâche avec l'allongement du CSI.

En résumé, nous testons ici l'hypothèse selon laquelle la probabilité de permutation de tâche modifie le niveau d'activation d'un *set*. Dans le cadre d'un paradigme de permutations de tâche aléatoires avec indices, une condition où les permutations sont aussi fréquentes que les répétitions (50%) devrait promouvoir un état de préparation flexible, tels que les deux *sets* associés aux deux tâches concurrentes dans des états d'activation relativement élevés. Cette condition devrait amener à une forte interférence entre les 2 *sets* concurrents. Au contraire, la condition où les permutations sont plus rares que les répétitions (25%) devrait promouvoir un état de préparation stable, en faveur du *set* actuellement pertinent, avec un niveau d'activation du *set* de la tâche concurrente relativement beaucoup plus bas. Ainsi, une condition avec une probabilité de changement de tâche de 50% devrait produire des TR plus courts pour les permutations qu'une condition avec une probabilité de changement de tâche de 25%. Au contraire, la condition avec une probabilité de changement de tâche de 50% devrait induire des TR plus longs sur les répétitions par rapport à l'autre condition. Par conséquent, dans la condition 50%, le coût de permutation devrait être plus faible, et le coût mixte plus élevé, que dans la condition 25%. Ces effets devraient être modulés par le délai de préparation (CSI court ou long), sous la forme d'une réduction de l'influence de la probabilité avec l'allongement du CSI.

Méthode – expérience 1

Participants

Quarante huit jeunes adultes volontaires âgés de 20 à 35 ans ($M = 24.8$ ans, $DS = 3.5$ ans) dont 26 femmes ont participé à l'expérience. Ils ont été divisés en deux groupes de 24 selon les 2 conditions de probabilité de permutation (voir ci-dessous).

Matériel et stimuli

Les participants étaient assis à 60 cm d'un écran CTR de 15 pouces. Chaque stimulus apparaissait sur un fond blanc au centre de l'une des 2 fenêtres (bords noirs, 1.8° de hauteur x 9.4° de largeur) situées au-dessus et au-dessous du centre de l'écran (couvrant un angle visuel total de 3.8°). La fenêtre du haut était associée à une tâche et celle du bas à l'autre tâche (l'affiliation était contrebalancée entre les participants). Les stimuli étaient 8 noms d'animaux : *ver*, *puce*, *autruche*, *babouin*, *escargot*, *abeille*, *lion* et *âne*. Ils étaient écrits en noir, en minuscule avec la police courier new. Ils couvraient un angle visuel compris entre 0.3° et 0.5° verticalement. Ils étaient courts (3 ou 4 lettres couvrant un angle visuel compris entre 1.6° et 2.2° horizontalement) ou longs (7 ou 8 lettres couvrant un angle visuel compris entre 4° et 4.4° horizontalement). Les animaux auxquels ils faisaient référence étaient relativement grands ou petits. La moitié des stimuli était congruente, i.e. associée à la même réponse pour les 2 tâches (*ver*, *puce*, *autruche*, *babouin*) alors que l'autre moitié étaient incongruente, i.e. associée à différentes réponses (*escargot*, *abeille*, *lion*, *âne*).

Tâches et modalités de réponse

A chaque essai les participants réalisaient l'une des deux tâches suivantes : (1) la tâche *longueur* (décider si le mot est *court* ou *long*) et (2) la tâche *taille* (décider si l'animal est *petit* ou *grand*). Les mêmes boutons de réponse étaient utilisés pour les deux tâches : la touche ALT et la touche CONTROL la plus à droite d'un clavier AZERTY. Les réponses *court* et *petit* étaient associées à un même bouton de réponse, de même que les réponses *long* et *grand*, associées à l'autre bouton de réponse (l'attribution des touches ALT et CONTROL aux réponses associées était contrebalancée entre les participants). Les participants utilisaient leur index gauche pour appuyer sur la touche ALT et leur index droit pour appuyer sur la touche CONTROL.

Déroulement d'un essai

Un exemple de séquence d'essais est présenté figure 10.

A chaque essai le stimulus était précédé d'un indice (le signe * en police noire courier new, 0.5 x 0.5° d'angle visuel) apparaissant à l'emplacement du futur stimulus, et permettant aux participants de connaître et se préparer à l'avance à la prochaine tâche. Les deux fenêtres restaient tout le temps à l'écran.

Chaque essai commençait par la présentation de l'indice, 200 ou 1800 ms avant l'arrivée du stimulus, définissant ainsi le CSI. Le stimulus remplaçait ensuite l'indice et restait à l'écran jusqu'à la réponse du participant ou après un délai de 5000 ms. Un intervalle de 200 ms (dans la condition CSI long) ou de 1800 ms (dans la condition CSI court) ou RCI (*Response-Cue interval*) séparait ensuite cet essai du suivant, définissant ainsi un intervalle total réponse-stimulus ou RSI (*Response-Stimulus interval*) constant de 2000 ms, sauf en cas de réponse incorrecte. Dans ce cas, le message *erreur* suivait immédiatement la réponse et restait à l'écran pendant 1000 ms. Il apparaissait en lettres minuscules rouges (police courier new, 3° x 0.3° d'angle visuel) au centre de la même fenêtre concernée (devenue rouge).

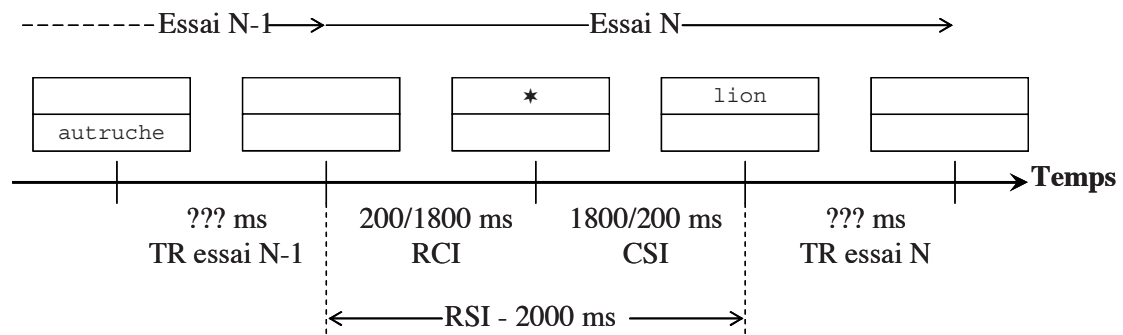


Figure 11. Exemple d'une séquence d'essai – chapitre 3. TR = temps de réponse, RCI = *Response-Cue Interval*, CSI = *Cue-Stimulus Interval*, RSI = *Response-Stimulus Interval*.

Procédure

Il y avait deux types de blocs expérimentaux : les blocs simples dans lesquels les participants ne réalisaient qu'une seule tâche d'un essai à l'autre, et les blocs mixtes dans lesquels la tâche pouvait changer d'un essai à l'autre. Une session expérimentale comportait 12 blocs d'essais. Chaque bloc contenait 8 essais d'entraînement suivis de 32 essais expérimentaux. Les deux premiers blocs étaient des blocs simples. Les participants réalisaient une tâche dans le premier bloc et l'autre tâche dans le deuxième (contrebalancé entre les participants). Les blocs suivants (3 à 10) étaient des blocs mixtes, et les 2 derniers des blocs simples (le 11^{ème} identique au 2nd, et le 12^{ème} identique au 1^{er}). Une séquence de blocs pouvaient être par exemple : bloc simple tâche *longueur* – bloc simple tâche *taille* – 8 blocs mixtes – bloc simple tâche *taille* – bloc simple tâche *longueur*.

Cette procédure permet de contrôler les effets d'apprentissage (Rubin & Meiran, 2005). Avant chaque groupe de blocs (simples ou mixtes) il était demandé aux participants de répondre le plus vite possible sans faire d'erreur.

Dans les blocs mixtes, la probabilité d'une permutation de tâche variait entre les participants. Dans le groupe 25%, il y avait 25% de changements de tâche contre 50% dans le groupe 50%. Dans les blocs simples, les 32 essais expérimentaux incluaient toutes les combinaisons de stimulus (8 : 4 congruents, 4 incongruents) et de CSI (2 : 200 ms et 1800 ms) qui apparaissaient deux fois de manière pseudo-aléatoire avec la restriction qu'aucune répétition immédiate de stimulus ne pouvait avoir lieu. Dans les blocs mixtes, l'ensemble des 256 essais expérimentaux incluaient toutes les combinaisons de stimulus (8), CSI (4) et tâche (2), qui apparaissaient quatre fois pour chaque type de transition (répétition vs. permutation) dans le groupe 50%, et six fois pour les essais de répétition contre deux fois pour les essais de permutation dans le groupe 25%. Chacune de ces combinaisons était présentée de manière pseudo-aléatoire avec la restriction qu'aucune répétition immédiate de stimulus ne pouvait avoir lieu.

A la fin d'un bloc, les participants étaient informés de leur TR moyen et du nombre d'erreurs pour ce bloc. Dans les blocs mixtes, les sujets recevaient en guise de feedback un score représentant un mixte de leur TR moyen et du nombre d'erreurs pour ce bloc ($\text{score} = \text{TR}/10 + \text{erreur} * 5$), qu'ils étaient encouragés à battre.

Avant la session expérimentale les participants recevaient des instructions décrivant la procédure, les stimuli, les tâches et les modalités de réponse. Ils passaient ensuite six blocs d'entraînement de 16 essais : les quatre premiers blocs étaient des blocs simples, alternativement la tâche *longueur* du mot et la tâche *taille* de l'animal (ordre contrebalancé entre les participants) ; les deux autres blocs d'entraînement étaient des blocs mixtes. Ici les participants étaient encouragés à bien tenir compte de l'indice pour se préparer à la future tâche. Dans le premier bloc mixte d'entraînement seulement, le nom de la tâche (*longueur* ou *taille*) apparaissait près de la fenêtre associée à la tâche concernée. Les contraintes de succession des essais des blocs d'entraînement étaient les mêmes que celles décrites ci-dessus pour les essais expérimentaux.

La présentation des stimuli et le recueil des données se faisaient au moyen du logiciel E-prime (Psychology Software Tools, 1999). L'expérience durait 45 minutes.

Analyse des données

Deux analyses principales étaient conduites séparément. La première analyse concernait les essais de répétitions et les essais de permutations des blocs mixtes. Chaque essai était défini selon sa position (P) à l'intérieur d'une série d'essais d'une tâche. Les analyses étaient restreintes aux essais P1 (Position 1 = essai de permutation), P2 (Position 2 = premier essai de répétition) et P3 (Position 3 = second essai de répétition). Il y avait une variable indépendante inter-participant : la Probabilité de permutation (25% versus 50%), et trois variables indépendantes intra-participants : la Position de l'essai dans la série (1, 2 et 3), le CSI (court versus long) et la Congruence (congruents versus incongruents). Les coûts de permutation étaient mesurés par la différence entre P1 et P2.

La seconde analyse était centrée sur le coût mixte, mesuré par la différence entre la moyenne des performances entre les essais P2 et P3 et la performance dans la condition bloc simple. Il y avait une variable indépendante inter-participant : la probabilité de permutation (25% versus 50%), et deux variables indépendantes intra-participants : le CSI (court versus long) et la Congruence (congruents versus incongruents). Nous avons aussi contrasté séparément les performances des essais P2 et P3 avec la condition tâche simple.

Résultats et discussion – expérience 1

Nous avons exclu des analyses les essais avec des TR corrects < 200 ms et > 3000 ms et les essais suivants une erreur (2.96% des essais). Comme les taux d'erreur sont faibles ($< 2\%$ dans les blocs simples et $< 4.5\%$ dans les blocs mixtes), sans effet évident de compromis entre la vitesse et l'exactitude des réponses (*speed-accuracy trade-off*) entre les conditions de probabilité de changement de tâche, les analyses sont centrées sur les TR des bonnes réponses. Le seuil alpha est fixé à .05 pour toutes les analyses.

Les données descriptives sont présentées dans les tableaux 4 et 5. Une ANOVA avec les facteurs Probabilité, Position, CSI et Congruence montre qu'il n'y a pas d'effet principal de la Probabilité ($F < 1$). L'analyse indique un effet principal du CSI [$F(1, 46) = 47.94$], un effet principal de la congruence [$F(1, 46) = 66.08$] mais pas d'interaction entre ces deux facteurs ($F < 1$). On observe un effet principal de la Position [$F(2, 92) = 117.21$] montrant un déclin graduel des TR de P1 à P3 (les comparaisons planifiées montrent que $P1 > P2$, et $P2 > P3$, $F_s > 29$). Cet effet tend à interagir avec la probabilité de permutation [$F(2,$

92) = 2.80, $p = .066$] dans le sens d'une réduction plus graduelle des TR dans la condition 50% que dans la condition 25%. Il n'y a pas d'autre interaction avec le facteur Probabilité ($F_s < 2.5$, $p_s > .1$).

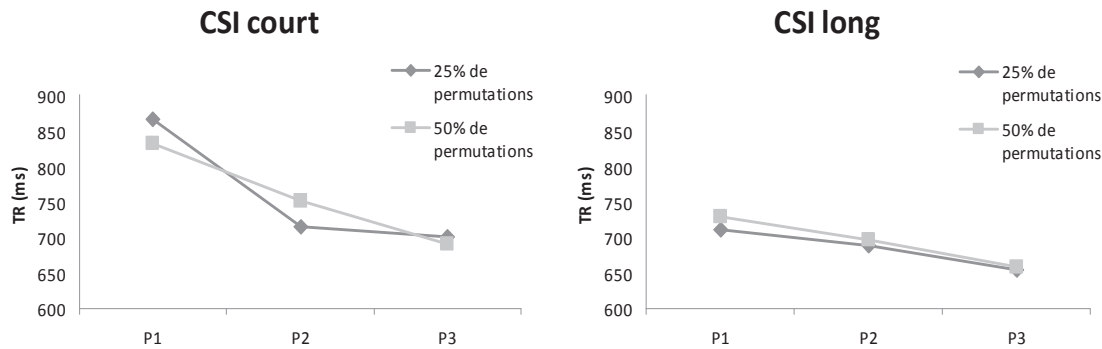


Figure 12. Moyennes des TR moyens en fonction du CSI, de la position de l'essai dans une série et de la probabilité de permutation – Expérience 1. CSI = *Cue-Stimulus Interval*, P = Position.

Une analyse préalable à celle des coûts mixtes montre une absence de différence entre les deux groupes concernant les TR des essais des blocs simples ($F < 1$). Une ANOVA réalisée sur les coûts mixtes avec les facteurs Probabilité, CSI et Congruence montre un effet principal du CSI [$F(1, 46) = 18.17$] et de la Congruence [$F(1, 46) = 12.89$] sans autre effet ni interaction significatifs ($F_s < 1$).

Les moyennes des TR des essais P2 et P3 ont chacune été comparées à la moyenne des TR des blocs simples au moyen d'un test t de Student, et ce pour chaque condition de CSI, Congruence et Probabilité. Dans toutes les conditions, les TR des essais P2 et P3 sont plus importants que ceux des blocs simples, révélant la présence d'un coût mixte dans chacune de ces conditions ($t_s > 2.5$).

Le recouvrement plus graduel des TR des essais de répétition après une permutation dans la condition 50% par rapport à la condition 25% peut témoigner d'une modulation stratégique de l'état d'activation d'un *set* : l'ancien *set* resterait relativement plus actif par rapport à la condition 25%, afin que le système soit mieux préparé à un potentiel nouveau changement de tâche (Monsell et al. 2003).

Mais dans l'ensemble, nos résultats ne sont pas conformes à nos prédictions : nous n'avons pas observé de réduction des TR des essais de permutation, ni d'augmentation des TR des essais de répétition (ni du coût mixte) avec l'augmentation de la proportion de permutation, ni de modulation de ce

phénomène en fonction du CSI. Cependant, une analyse visuelle des données (voir figure 12) laisse penser qu'il existe une interaction entre la probabilité de permutation et la position de l'essai dans une série, dans la condition CSI court seulement. En effet, conformément à nos hypothèses, il semble qu'une faible probabilité de permutation soit défavorable aux essais de permutation (P1), mais favorable aux essais de répétition (P2), par rapport à une plus forte probabilité de permutation.

Un protocole ne permettant aucune préparation explicite (CSI = 0) et manipulant la probabilité de permutation en intra-participants comme dans l'étude de Dreisbach et Haider (2006), permettrait peut-être d'observer un tel phénomène. De plus, indépendamment des considérations statistiques, la manipulation de la probabilité de permutation en intra-participants pourrait permettre au système cognitif d'expérimenter différentes proportions de permutations de tâche, ce qui peut encourager la génération de stratégies d'attente distinctes en fonction du contexte (voir Rogers & Monsell, 1995 et Monsell & Mizon, 2006, qui développent une idée similaire sur la manipulation du CSI). L'expérience 2 a été menée en prenant en compte ces considérations. Un feedback avec encouragements – qui n'était ici présent que dans les blocs mixtes - a également été ajouté dans les blocs simples.

Tableau 4. Moyennes des TR moyens (écart-types) des essais des blocs simples en fonction de la probabilité de permutation, de la congruence et de l'expérience (ms) – Chapitre 3.

	25% de permutation		50% de permutation	
	I	C	I	C
Expérience 1, CSI court (200 ms)	581 (78)	537 (89)	574 (80)	535 (74)
Expérience 1, CSI long (1800 ms)	590 (88)	542 (79)	586 (90)	542 (79)
Expérience 2, RSI court (800 ms)	542 (61)	509 (49)	542 (61)	509 (49)
Expérience 2, RSI long (1300 ms)	554 (66)	526 (67)	554 (66)	526 (67)
Expérience 3, CSI long (1100 ms)	561 (65)	536 (87)	561 (65)	536 (87)

Note. I = incongruent, C = congruent, CSI = *Cue-Stimulus Interval*.

Tableau 5. Moyennes des TR moyens (écart-types) des essais des blocs mixtes en fonction de la probabilité de permutation, de la Position de l'essai dans une série, de la Congruence et de l'expérience (ms) – Chapitre 3.

	25% de permutations						50% de permutations					
	P1		P2		P3		P1		P2		P3	
	I	C	I	C	I	C	I	C	I	C	I	C
Expérience 1, CSI court (200 ms)	923 (175)	808 (184)	752 (158)	677 (176)	757 (194)	644 (154)	869 (148)	792 (171)	789 (140)	713 (132)	725 (134)	656 (132)
Expérience 1, CSI long (1800 ms)	749 (158)	673 (161)	737 (182)	639 (167)	695 (174)	615 (179)	778 (184)	680 (177)	750 (191)	645 (142)	696 (167)	622 (139)
Expérience 2, RSI court (800 ms)	958 (174)	840 (184°)	766 (128)	658 (131)	705 (120)	614 (68)	967 (191)	816 (203)	806 (137)	694 (135)	742 (115)	631 (111)
Expérience 2, RSI long (1300 ms)	1019 (156)	930 (184)	856 (153)	756 (142)	817 (145)	721 (175)	963 (185)	854 (178)	866 (154)	786 (149)	855 (151)	727 (145)
Expérience 3, CSI long (1100 ms)	732 (184)	642 (163)	656 (136)	575 (116)	641 (118)	582 (89)	738 (168)	663 (143)	674 (136)	596 (109)	662 (148)	603 (112)

Note. P = position, I = incongruent, C = congruent, CSI = *Cue-Stimulus Interval*.

Expérience 2

Présentation de l'expérience 2

Nous testons à nouveau l'hypothèse d'une influence de la probabilité de permutation de tâche sur la balance stabilité/flexibilité dans le contrôle du *set* en améliorant le protocole expérimental de l'expérience 1. Notamment cette fois-ci, la probabilité de permutation est manipulée en intra-participants, afin d'améliorer la puissance d'un tel effet sur la performance, si celui-ci existe. De plus, nous n'utilisons pas ici d'indice ni de délai de préparation avant chaque essai, afin d'éliminer toute préparation explicite et d'optimiser ainsi les potentielles stratégies d'attente en fonction du contexte global.

Enfin, nous manipulons le délai inter-essai ou RSI (*response-stimulus interval*) en inter-participants. Premièrement, cela nous permet de vérifier si les résultats peuvent être répliqués dans une condition légèrement différente. Deuxièmement, des études ont montré que les changements de tâche impliquent l'inhibition de la tâche venant juste d'être exécutée, pouvant dégrader la performance à cette même tâche si celle-ci est à nouveau réalisée dans un court délai (Mayr & Keele, 2000 : pour revue voir Koch, Gade, Schuch, & Philipp, 2010). Ainsi, à cause du rétrécissement de la longueur d'une série d'essais d'une même tâche avec l'augmentation de la probabilité de changement de tâche, ce processus d'inhibition pourrait masquer le bénéfice attendu sur les essais de permutation. Comme l'allongement du RSI réduit la dégradation de la performance associée à une tâche venant juste d'être inhibée (Koch, Gade, & Philipp, 2004), cet allongement devrait favoriser l'observation des effets de probabilité de changement de tâche.

Méthode – expérience 2

Participants

Trente deux jeunes adultes volontaires âgés de 19 à 35 ans ($M = 23.1$ ans, $DS = 5.2$ ans) dont 23 femmes ont participé à l'expérience. Ils ont été divisés en deux groupes de 16 selon les deux conditions de RSI (voir ci-dessous).

Matériel, stimuli, tâches et modalités de réponse

Le matériel, les stimuli, les tâches et les modalités de réponse étaient identiques à ceux de l'expérience 1.

Déroulement d'un essai

Le déroulement d'un essai était identique à celui de l'expérience 1 à l'exception des changements suivants. Il n'y avait pas d'indice avant l'arrivée du stimulus, un essai commençait par l'arrivée du stimulus (les participants n'étaient donc pas encouragés lors de l'entraînement à tenir compte de l'indice pour se préparer à la future tâche). Le RSI était égal à 800 ms pour un groupe de participants à 1300 ms pour l'autre groupe.

Procédure

La procédure était similaire à celle de l'expérience 1 à l'exception des changements suivants.

Une session expérimentale contenait cette fois-ci 24 blocs d'essais. Les quatre premiers blocs étaient des blocs simples. Les participants réalisaient une tâche dans les deux premiers blocs puis l'autre tâche dans les deux suivants (ordre des tâches contrebalancé entre les participants). Les 16 blocs suivants étaient des blocs mixtes. Tous les participants passaient cette fois-ci les deux conditions de probabilité de changement de tâche. Le type de bloc mixte (50% versus 25%) alternait tous les deux blocs (l'ordre du premier type de bloc mixte était contrebalancé entre les participants). Avant chaque bloc mixte, les participants étaient explicitement informés de la probabilité de changement de tâche à laquelle ils seraient soumis, par un message les prévenant qu'ils changeraient souvent (condition 50%) ou peu souvent de tâche (condition 25%). Après les 16 blocs mixtes, les participants passaient à nouveau 4 blocs simples (les blocs 21-22 identiques aux blocs 3-4, et les blocs 23-24 identiques aux blocs 1-2).

Dans les blocs simples, les 32 essais expérimentaux incluaient tous les stimuli présentés 4 fois. Dans les blocs mixtes, les 256 essais expérimentaux de la condition 50% incluaient toutes les combinaisons stimulus \times tâche qui apparaissaient chacune 8 fois pour chaque type de transition (répétition versus permutation). Dans la condition 25%, chacune de ces combinaisons apparaissait 12 fois pour les répétitions contre 4 fois pour les permutations.

La succession des essais dans les blocs mixtes était similaire à celle de l'expérience 1 à l'exception des contraintes supplémentaires suivantes : (1) 3 permutations successives étaient interdites et (2) la répétition d'un même stimulus dans un groupe (*run*) d'essais de répétition était évitée.

Enfin les feedbacks des blocs simples étaient cette fois-ci similaires à ceux des blocs mixtes, avec un score à la fin de chaque bloc ainsi qu'un score à battre à partir du 2^{ème} bloc, similaire à celui décrit dans l'expérience 1 pour les blocs mixtes.

Les changements de tâche dans les blocs d'entraînements mixtes étaient déterminés de façon aléatoire.

Analyse des données

L'analyse des données était similaire à l'expérience 1 à l'exception des changements suivants.

Pour des raisons similaires à celles évoquées pour l'analyse des essais de répétition dans l'introduction générale, nous avons ici exclu les essais de permutation qui suivaient immédiatement une permutation (pour détails voir Logan et al., 2007). Autrement dit si deux essais de type P1 se suivent par exemple, le deuxième essai P1 n'est pas pris en compte.

Dans la première analyse, il y avait une variable indépendante inter-participants : le RSI (court versus long), et deux variables indépendantes intra-participants : la Probabilité de permutation (25% vs. 50%) et la position de l'essai dans la série (P1, P2 et P3).

L'analyse sur les coûts mixtes impliquait la variable inter-participants RSI et la variable intra-participant Probabilité de permutation de tâche.

Résultats et discussion – expérience 2

Avec les mêmes critères d'exclusion que ceux de la première expérience, 3.24% des essais corrects ont été exclus. A nouveau les taux d'erreur sont faibles (< 2 % dans les blocs simples et < 4.5 % dans les blocs mixtes des 2 conditions de probabilité) sans effet évident de compromis vitesse/exactitude entre les conditions.

Les analyses étaient donc restreintes aux TR des bonnes réponses avec un seuil alpha fixé à .05.

Les performances en termes de TR sont présentées dans les tableaux 4 et 5. L'ANOVA sur les moyennes des TR révèle un effet principal de la position d'un essai dans une série [$F(2, 60) = 116.66$], indiquant comme dans l'expérience 1 un déclin graduel des TR de P1 à P3 (les comparaisons planifiées montrent que $P1 > P2 > P3$, $F_s > 30$), reproduisant à nouveau les résultats d'expériences similaires (Milán, Sanabria, Tornay, & Gonzalez, 2005 ; Monsell et al., 2003 ; Tornay & Milán, 2001). Il n'y a pas d'effet principal de la probabilité de changement de tâche, $F(1, 30) = 2.82$, $p > .1$, mais il y a cette fois-ci une interaction significative entre la probabilité de changement de tâche et la position d'un essai dans une série [$F(2, 60) = 13.37$] (voir partie gauche de la figure 13). Comparé à la condition 25%, il y a une réduction des TR des essais de permutation et une augmentation des TR des essais de répétition dans la condition 50%. Les comparaisons planifiées contrastant les deux conditions de probabilité de permutation montrent : une différence significative pour les essais de permutation P1 [$F(1, 30) = 11.30$] et pour les essais de répétition P2 [$F(1, 30) = 6.98$], tandis que la différence entre les deux conditions de probabilité de permutation est seulement tendancielle pour les essais de répétition P3 [$F(1, 30) = 3.15$, $p = .86$]. Cette interaction n'est pas modulée par le RSI : l'interaction entre les trois facteurs n'est pas significative, $F(2, 60) = 2.19$, $p = .121$. Il existe de manière tendancielle une interaction entre le facteur RSI et la position d'un essai dans une série, [$F(2, 60) = 2.59$, $p = .084$] : le déclin des TR est moins abrupte dans la condition RSI long que dans la condition RSI court. Ce résultat peut s'expliquer au regard de l'étude de De Jong et al. (1999) qui montre que la réduction du RSI facilite la focalisation attentionnelle sur la tâche pertinente sur des essais où la tâche se répète. Aucun autre effet, ni interaction, n'est significatif ($F_s < 2.85$, $p_s > .1$).

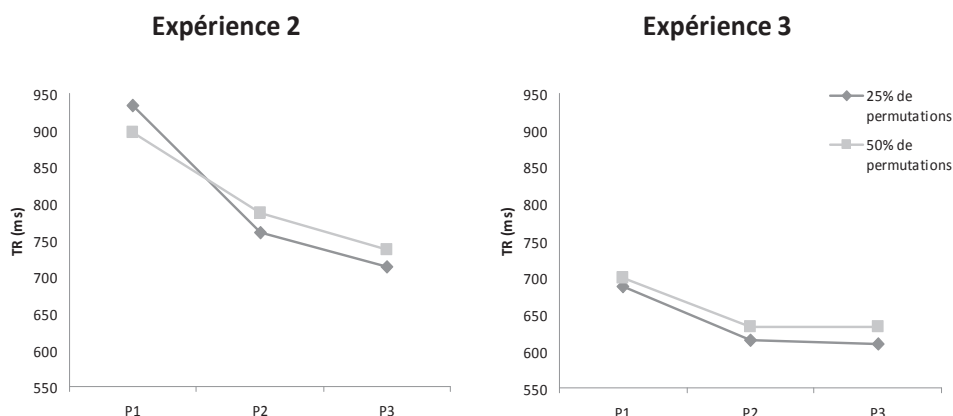


Figure 13. Moyennes des TR moyens en fonction de l'expérience, de la position de l'essai dans une série et de la probabilité de permutation – Expériences 2 et 3. P = position.

L'ANOVA sur les coûts mixtes montre cette fois-ci un effet principal de la Probabilité de permutation, $F(1, 30) = 20.64$: les coûts mixtes sont plus importants dans la condition 50% (244 ms) que dans la condition 25% (206 ms). Il y a également un effet du RSI, $F(1, 30) = 4.41$: les coût mixtes sont plus important avec le RSI long (264 ms) qu'avec le RSI court (186 ms).). A nouveau ce dernier résultat supporte l'explication d'une meilleure focalisation attentionnelle sur la tâche pertinente avec la réduction du RSI (De Jong, 1999). L'interaction entre les deux facteurs (Probabilité de permutation et RSI) n'est pas significative, $F < 1$. Par ailleurs, dans toutes les conditions de Probabilité, de RSI et de Congruence, les TR des essais P2 et P3 sont plus importants que ceux des blocs simples, révélant la présence d'un coût mixte dans chaque cas [ts > 5.7].

Cette fois-ci l'ensemble des résultats supporte l'idée d'un ajustement contextuel du contrôle du set associé à une tâche. L'absence de modulation par le RSI des effets observés suggère que l'inhibition résiduelle (qui est supposée être modulée par le RSI) n'est pas à l'origine des effets obtenus.

En utilisant une procédure avec tâche indicée, Monsell et Mizon (2006) rapportent des résultats vraiment similaires, avec une plus forte probabilité de changement de tâche (75%) facilitant le changement de tâche et dégradant la répétition de tâche, comparée à une condition de changement de tâche plus faible (25%). Ils proposent une explication simple de ces effets de probabilité de permutation. Dans la condition où la probabilité de permutation est forte, les participants tendent à se préparer à une tâche différente de celle qu'ils viennent juste de réaliser, avant de connaître avec certitude l'identité de la tâche à venir.

Cette condition favoriserait ainsi la permutation de tâche comparée à la condition où il y a de fortes chances que la tâche ne change pas. Anticiper un changement de tâche impliquerait un coût quand des essais de répétition apparaissent, car la mauvaise tâche a été préparée.

De manière générale, cette explication s'accorde bien avec nos résultats. Cependant, ce point de vue implique que dans une série d'essais de la même tâche, la différence entre les conditions doit être plus prononcée sur le deuxième essai de répétition (P3) que sur le premier (P2). En effet, comme le suggèrent Monsell et Mizon, les sujets devraient percevoir une augmentation de la probabilité d'un changement de tâche avec le nombre d'essais de répétition consécutifs : l'attente d'un changement de tâche devrait être très forte après un essai de répétition dans la condition 50%, et les TR des essais de répétition devraient donc augmenter de P2 à P3. Ce n'est pas ce que nous avons observé. En fait, dans les 2 conditions, les TR tendaient à décliner dans une série de répétitions.

Cependant, nous avons décidé d'explorer plus en détail cette possibilité. Une manière d'empêcher une telle anticipation basée sur la probabilité d'un changement de tâche vs. d'une répétition de tâche est de fournir à l'avance aux participants avant chaque essai, des informations sur la tâche à venir, comme dans l'expérience 1.

Expérience 3

Introduction – expérience 3

Afin d'exclure la contribution de l'attente probabiliste de l'identité de la tâche, la même manipulation de probabilité de changement de tâche était conduite, mais un indice était fourni avant l'arrivée du stimulus afin de permettre aux participants de se préparer à l'avance, sans incertitude, à la tâche à venir. Les résultats de l'étude de Monsell et Mizon (2006) prédisent une réduction des effets de Probabilité de permutation de tâche en présence d'un indice et d'un CSI suffisamment long.

L'introduction d'un intervalle de préparation est également intéressante au regard du coût mixte. En effet, il a été montré que le coût mixte peut être

aboli quand l'ordre des tâches est prédictible (Poljac et al., 2009). On peut ainsi se demander s'il y a toujours un coût mixte avec des séquences de tâches imprédictibles, quand les participants ont le temps de se préparer à la prochaine tâche et quand la probabilité d'un changement de tâche est seulement de 25%.

Méthode – expérience 3

Participants

Seize jeunes adultes volontaires, âgés de 19 à 30 ans ($M = 22.4$ ans, $DS = 3.7$ ans), dont 10 femmes ont participé à l'expérience.

Matériel procédure et analyse des données

La méthode utilisée était la même que dans l'expérience 2 à l'exception des changements suivants. Un essai commençait cette fois-ci à nouveau par la présentation d'un indice, comme dans l'expérience 1. Le CSI était égal à 1100 ms. Il y avait un seul RSI de 1300 ms. Comme dans l'expérience 1, les participants étaient encouragés lors de l'entraînement, à bien tenir compte de l'indice pour se préparer à la future tâche.

Résultats et discussion expérience 3

Toujours avec les mêmes critères d'exclusion, 3.14% des essais corrects ont été exclus. À nouveau les taux d'erreur sont faibles (< 3% dans les blocs simples et < 4% dans les blocs mixtes des 2 conditions de probabilité) sans effet évident de compromis vitesse/exactitude entre les conditions. Les analyses sont donc centrées sur les TR des bonnes réponses ($\alpha = .05$).

Les données descriptives sont présentées dans les tableaux 4 et 5. L'ANOVA sur les TR moyens révèle un effet principal de la Position dans la série [$F(2, 30) = 20.80$] ; les comparaisons planifiées montrent que $P2 = P3$, $F < 1$ et que $P1 > P2$ et $P3$ [$F(1, 15) = 22.81$]. Il apparaît également une tendance en faveur d'un effet de la probabilité de permutation [$F(1, 15) = 3.53$, $p = .080$] : les TR tendent à être plus courts dans la condition 50% que dans la condition 25%. L'interaction entre les 2 facteurs n'est pas significative ($F < 1$, voir figure 13).

L'analyse des coûts mixtes indique que la condition 50% est associée à un plus large coût mixte que dans la condition 25% [86 vs. 62 ms, $t(15) = 2.44$].

De plus, dans toutes les conditions de probabilité et de congruence, les TR des essais P2 et P3 sont plus importants que ceux des blocs simples, révélant la présence d'un coût mixte dans chaque cas [$t_s > 2.7$].

L'absence d'interaction indique que dans la condition 50%, les TR des essais de répétitions aussi bien que ceux des essais de permutation sont légèrement plus importants que dans la condition 25%.

Un indice était fourni 1100 ms avant l'arrivée du stimulus permettant aux participants de se préparer sans incertitude pour la tâche à venir. Cela était censé permettre une anticipation similaire sur les répétitions et les permutations dans les deux conditions de probabilité de permutation. Un fort argument en faveur de cette idée est que le pattern de résultats sur les essais de répétition s'accorde bien avec ceux reportés dans les études où la séquence des tâches était prédictible (Milán, González, Sanabria, Pereda, & Hochel, 2006 ; Milán et al., 2005 ; Monsell et al., 2003 ; Sumner & Ahmed, 2006). Contrastant avec l'expérience 2, où nous avons observé une réduction graduelle des TR après une permutation, les TR semblaient être ici à leur plus bas niveau juste après un essai suivant un changement de tâche (P2). Cette différence dans l'évolution des TR est précisément ce qui est observé dans les études contrastant des séquences de tâches fixes vs. aléatoires (Milán et al., 2005, 2006 ; Monsell et al., 2003 ; Tornay & Milán, 2001).

La légère augmentation des TR aux essais de répétition dans la condition 50% ne peut pas être attribuée au fait que les participants ont anticipé un changement de tâche au lieu d'une répétition, étant donnée la longueur du CSI. Il est intéressant de noter que les résultats de cette expérience sont similaires à ceux rapportés par Monsell et Mizon (2006, Expérience 4). Ils observent une augmentation des TR, à la fois pour les essais de répétition et pour les essais de permutation, quand la probabilité de changement de tâche augmente de 25% à 50%, avec seulement des variations mineures dans le coût de permutation. De plus, ils trouvent que l'augmentation du délai de préparation réduit le coût de permutation dans les deux conditions de probabilité de changement de tâche. Dans notre étude, quand on compare l'expérience 2 et l'expérience 3, il est clair que le coût de permutation est substantiellement réduit par l'introduction d'un indice dans l'expérience 3, dans les deux conditions de probabilité de changement de tâche (voir figure 13). Ainsi, une explication assez simple de l'absence de réduction des TR des essais de permutation – et donc du coût de permutation - avec l'augmentation de la probabilité de changement de tâche dans l'expérience 3, est

que la performance sur les essais de permutation a atteint un niveau maximum avec la préparation induite par l'indice, rendant la probabilité de changement de tâche inefficace pour influencer cette performance sur les essais de permutation. En effet, de nombreuses études montrent que le coût de permutation est réduit par l'allongement du délai de préparation, mais seulement jusqu'à un certain délai, au-delà duquel la performance n'évolue plus (e.g. Allport et al., 1994 ; Goschke, 2000 ; Meiran, 1996 ; Meiran & Chorev, 2005 ; Rogers & Monsell, 1995). Les résultats de l'expérience 3 montrent donc que lorsqu'une information explicite concernant la future tâche à exécuter est disponible, les manipulations implicites du contexte n'ont plus d'effet. La préparation endogène déclenchée par un indice prime donc sur les caractéristiques générales du contexte.

Cependant la légère augmentation de l'ensemble des TR (des essais de répétition et de permutation) avec l'augmentation de la probabilité de changement de tâche dans cette expérience reste inexplicée. Une possibilité est que dans une telle situation abolissant toute incertitude sur la nature de la prochaine tâche – i.e. en présence d'un indice informant suffisamment à l'avance de la nature de la future tâche - la seule différence entre la condition 50% et la condition 25% réside dans la quantité de demande en contrôle cognitif, plus importante dans la condition où il y a plus de permutations (Dreisbach & Haider, 2006) amenant à un ralentissement général des TR dans la condition 50%. De manière alternative, la condition 50% peut générer plus d'interférences entre les sets que la condition 25%, expliquant le ralentissement général des TR dans la condition 50%.

Discussion générale

Existence d'une balance flexibilité/stabilité dépendante du contexte

L'objectif principal de l'étude était de vérifier si les processus de contrôle du set étaient influencés par le contexte. Pour cela nous avons manipulé la probabilité d'un changement de tâche dans un paradigme de permutation de tâche. Postulant l'existence d'une balance flexibilité/stabilité dépendante du contexte (Goschke, 2000), nous avons prédit qu'une forte probabilité de changement de tâche devait promouvoir un comportement flexible, amenant à un état de préparation dans lequel la différence d'activation entre les 2 sets était relativement faible. Au contraire, une faible probabilité de changement de tâche

devait promouvoir un comportement stable, amenant à un état de préparation favorisant un *set* plutôt que l'autre, et dans lequel la différence d'activation entre les 2 *sets* était donc relativement forte. Par conséquent, comme la flexibilité était indexée par les TR des essais de permutation, on s'attendait à ce qu'ils soient réduits dans la condition de forte probabilité de permutation par rapport à la condition de faible probabilité. Comme la stabilité était indexée par les TR des essais de répétition et par les coûts mixtes (répétitions des blocs mixtes – blocs simples), on s'attendait à ce qu'ils soient réduits dans la condition de faible probabilité de permutation par rapport à la condition de forte probabilité.

Les résultats de l'expérience 2, ne comportant pas d'indice ni de délai de préparation, sont conformes à nos hypothèses de départ. Nous avons observé des effets d'ajustement de la balance flexibilité/stabilité à la fois sur les essais de permutation et les essais de répétition confirmant les résultats de précédentes études (Dreisbach & Haider, 2006 ; Monsell & Mizon, 2006). Ces effets d'ajustement étaient également observés dans les mesures des coûts mixtes. De plus, dans l'expérience 2, l'effet d'ajustement n'était pas plus important sur les répétitions que sur les permutations, contrairement à d'autres études (Dreisbach & Haider, 2006 ; Lindsen & De Jong, 2007). En outre, nos résultats ne peuvent pas s'expliquer par des effets passifs d'amorçage liés au plus grand nombre d'essais de répétition dans la condition de faible proportion de permutation. En effet nos analyses des essais de répétition étaient limitées aux 2 premières répétitions d'une série d'essais, contrairement à la majorité des expériences antérieures (Dreisbach & Haider, 2006 ; Lindsen & De Jong, 2007 ; Monsell & Mizon, 2006).

Ces résultats témoignent donc de modulations du contrôle du *set* selon la probabilité de permutation et valident l'existence d'une balance flexibilité/stabilité sensible aux variations du contexte. De plus, les effets observés ne peuvent pas être confondus avec d'éventuels effets liés à des longueurs de séquences d'essais différentes selon les conditions de probabilité.

Enfin, le fait que les essais de répétition soient affectés par la probabilité de permutations s'accorde avec l'idée que les processus de contrôle du *set* ne sont pas limités aux essais de permutation (Altmann, 2002 ; Koch, 2005).

Origine du coût mixte

Nos résultats ont également d'importantes implications concernant l'origine du coût mixte. Certaines études suggèrent que l'interférence entre les *sets* déclenchée

par le stimulus est un facteur critique dans l'émergence du coût mixte (Koch et al., 2005 ; Los, 1999 ; Mayr, 2001 ; Mayr & Liebscher, 2001). Le fait que le coût mixte soit présent pour les stimuli bivalents (évoquant 2 tâches) mais pas pour les stimuli univalents (évoquant une seule tâche) supporte fortement ce point de vue (Rubin & Meiran, 2005). Dans cette perspective, le coût mixte résulterait juste d'une interférence entre *sets* de tâches activés de manière exogène.

Les résultats de l'expérience 2 montrent que les essais de répétition, et donc le coût mixte, sont affectés par la probabilité de permutation. Ils supportent donc le point de vue selon lequel le coût mixte reflèterait des composantes soutenues et endogènes du contrôle cognitif, la situation de bloc mixte impliquant de garder les différents *sets* en jeu à un relativement haut niveau d'activation (Braver, et al., 2003 ; Goffaux, et al., 2006). Un argument en faveur de cette idée provient d'une récente étude montrant que le coût mixte est aboli quand l'ordre des tâches est prédictible (Poljac et al., 2009). Quand aucune permutation n'est attendue, il est moins pertinent de maintenir différents *sets* actifs, et donc le coût mixte n'est pas présent ou réduit.

Cependant, nos résultats ne sont pas incompatibles avec l'idée qu'une partie du coût mixte reflète une interférence entre les tâches déclenchées de façon *bottom up* par la bivalence des stimuli (Rubin & Meiran, 2005 ; Yehene et al., 2005). En effet, s'il est fonctionnellement pertinent de maintenir tous les *sets* relativement actifs, afin de permettre une certaine flexibilité, alors il est possible que l'interférence entre *sets* ait lieu parce que justement de multiples *sets* sont dans un état relativement élevé d'activation. L'activation de *sets* guidée par le stimulus (*bottom-up*) serait modulée par un contrôle endogène (Allport, 1987 ; Duncan, 2001).

Par ailleurs, il existait un coût mixte même dans les conditions les moins propices à son émergence comme par exemple pour les essais congruents dans un contexte de faible probabilité de permutation avec un long CSI (même s'il était fortement réduit dans ce cas). Si le coût mixte existe dans de telles conditions, alors qu'il peut être aboli dans le cas de séquences de tâche prédictibles (Poljac et al., 2009), il pourrait alors aussi refléter l'existence d'un processus de décision de tâche ayant lieu à tous les essais (répétitions et permutations) quand les changements de tâche sont imprédictibles (e.g. Rubin & Meiran, 2005), alors qu'il n'aurait lieu que sur les permutations quand les changements de tâche sont prédictibles (Ibid).

En résumé, des processus de contrôle soutenus sont au moins, en partie, responsables de l'émergence du coût mixte. De manière plus générale nos résultats vont dans le sens que les processus de contrôle du *set* ne sont pas limités aux essais de permutation (Altmann, 2002). La présence d'un coût mixte est en lien avec ceci, puisqu'elle signifie que les essais de répétition impliquent la mise en jeu de processus qui sont absents dans les conditions de blocs simples (e.g. Yehene et al., 2005).

Conclusion

Ces résultats démontrent la présence d'ajustements des processus de contrôle du *set* selon le contexte (Goschke, 2000). En l'absence de préparation explicite possible, ils sont compatibles avec l'hypothèse que l'adoption d'un *set* n'est pas un processus en tout ou rien mais plutôt un processus qui s'ajuste selon les demandes du contexte. Quand de fréquents changements de tâche sont attendus, les différents *sets* seraient relativement actifs, permettant une certaine flexibilité (coût de permutation réduit) mais au prix de la stabilité (coût mixte augmenté). Quand une préparation explicite est potentiellement possible, une forte proportion de changement de tâche aurait un effet délétère à la fois sur les essais de répétition et les essais de permutation. Le fait d'obtenir un pattern de résultats vraiment différent selon la possibilité ou non d'une préparation explicite complète, peut aussi suggérer la présence de mécanismes de contrôle différents dans les deux situations. C'est dans cet esprit que sont menées les expériences des prochains chapitres expérimentaux.

Chapitre 4

**Indices comportementaux
attestant de l'existence de deux
modes de contrôle exécutif**

Introduction

Contrairement aux deux premiers chapitres expérimentaux qui s'intéressaient aux facteurs fonctionnels, nous nous intéressons cette fois-ci aux aspects structuraux du contrôle du *set*. Nous explorons l'hypothèse de la mise en œuvre de systèmes et processus différents, selon qu'il y a possibilité ou non pour le sujet de se préparer à l'avance à la réalisation d'une tâche. Nous cherchons à savoir si le contrôle mis en œuvre de façon anticipée est de nature différente de celui mis en œuvre dans l'urgence (de façon réactive). Si des processus différents sont engagés dans les deux situations, il doit alors être possible d'isoler des traces comportementales spécifiques selon qu'un contrôle a été mis en place de manière anticipée ou non.

Le modèle à deux voies de contrôle de Braver (Braver et al. 2007) suggère l'activation de zones cérébrales distinctes ainsi que des décours temporels d'activation différents selon la possibilité de se préparer (contrôle proactif) ou non (contrôle réactif) à un changement de tâche.

Nous avons vu dans le chapitre 1 que le contrôle proactif correspondait à une forme de sélection précoce (avant l'arrivée du stimulus) et de maintien actif de l'information relative au but. Ces deux mécanismes viseraient à prévenir le traitement de l'information interférente avant son arrivée. Au contraire, le contrôle réactif correspondrait à un mécanisme de résolution tardive du conflit (après l'arrivée du stimulus), mobilisé seulement si les processus de détection du conflit ont détecté un événement pouvant produire une forte interférence. Le mécanisme de résolution du conflit correspondrait ici à la suppression de l'interférence quand elle a lieu, juste avant la production de la réponse (Braver et al., 2007). Cette suppression pourrait correspondre à une forme d'inhibition de l'information interférente.

Si des traces comportementales du contrôle proactif ont pu être observées (e.g. De Pisapia & Braver, 2006), des manifestations comportementales du contrôle réactif restent encore à mettre en évidence. En effet, dans des situations qui impliquent la suppression d'une réponse dominante, des réponses nettement ralenties mais sans augmentation du taux d'erreur peuvent être attribuées par défaut à la mise en jeu du contrôle réactif (e.g. Braver et al., 2001). Cependant, cela ne semble pas attester de la présence d'un mode de contrôle réactif mettant en jeu des processus différents de ceux mis en jeu dans un mode de contrôle

proactif. Nous testons donc ici l'hypothèse de processus distincts de gestion de l'information interférente lors d'un changement de tâche, selon les possibilités de préparation à ce changement.

Le phénomène d'inhibition résiduelle observé dans les épreuves de permutation de tâche, pourrait constituer une trace comportementale de la mise en œuvre du contrôle proactif. En utilisant trois tâches A, B, et C, Mayr et Keele (2000) ont montré que le TR d'une tâche A dans une séquence de type ABA, était plus élevé que celui obtenu pour la même tâche A dans une séquence de type CBA (Figure 14). Ce qui est important, c'est que ce phénomène n'apparaît que dans une condition où le sujet peut adopter un nouveau *set* de manière anticipée, avant l'arrivée du stimulus. Cet allongement du TR dans la séquence ABA témoigne du fait que le retour à une tâche récemment inhibée souffrirait d'une inhibition résiduelle, contrairement à la même tâche A dans la séquence CBA, où la tâche A a été abandonnée n essais auparavant.

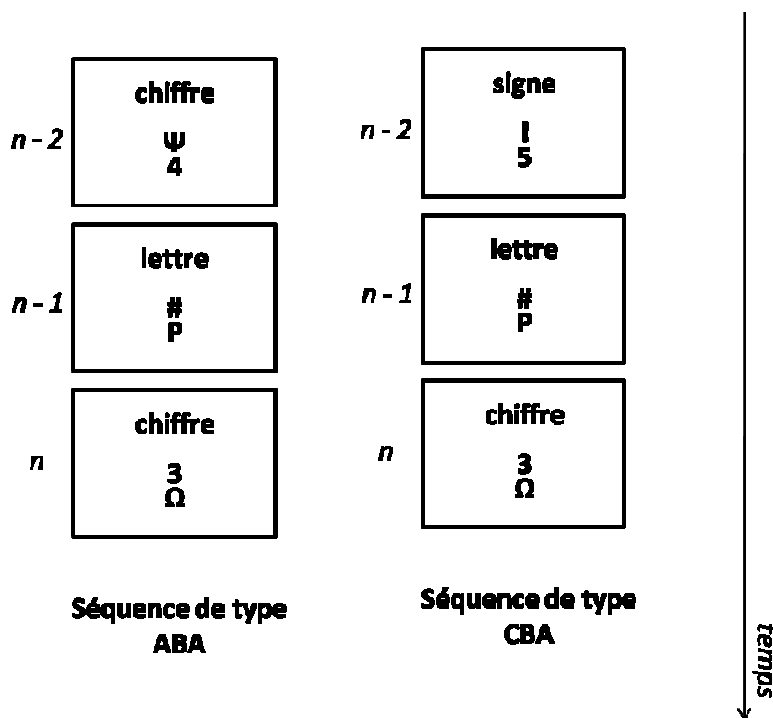


Figure 14. Exemples de séquences de trois tâches de type ABA et de type CBA, permettant de mettre en évidence le phénomène d'inhibition résiduelle. Dans la séquence ABA, la tâche réalisée à l'essai n est identique à celle réalisée à l'essai $n-2$. Dans la séquence ABA, lors du passage de la tâche Chiffre à la tâche Lettre, le set lié à la tâche Chiffre serait inhibé, et une inhibition résiduelle générerait ensuite le retour à cette même tâche à l'essai n . Dans la séquence CBA le TR à l'essai n est plus court car ce n'est pas la tâche Chiffre qui a été abandonnée à l'essai $n-1$.

Cette inhibition rétroactive concerne le *set* lié à la tâche. Elle est différente de l'inhibition du distracteur responsable du phénomène d'amorçage

négatif (Mayr & Keele, 2000, Expérience 2) : elle est observée, même quand le(s) distracteur(s) de l'essai *n-1* n'évoque pas la tâche-cible des essais *n* et *n-2*. Elle persiste même lorsque le sujet est informé au préalable de la séquence des tâches, mais est absente si aucune préparation à la nouvelle tâche n'est possible (Mayr & Keele, 2000, Expérience 3). Ce processus d'inhibition serait donc déclenché de manière automatique suite à la mise en œuvre de certains processus de contrôle : ceux mis en place lors de l'adoption anticipée d'un *set* lié à une tâche (contrôle proactif).

Braver et ses collaborateurs (2007) proposent l'existence d'un mécanisme d'inhibition – similaire à celui d'inhibition latérale du modèle de Norman et Shallice (1986), conçu comme la conséquence émergente du maintien actif du but. Ce maintien exercerait un biais top-down sur la compétition locale entre les systèmes cérébraux postérieurs, sous-tendant les différents traitements concurrents. Nous pouvons donc formuler l'hypothèse que le contrôle proactif consisterait non seulement à activer et maintenir actif le *set* de la tâche qui doit être accomplie, mais également à inhiber le *set* lié à la tâche qui a été exécutée précédemment.

Si un changement de tâche réalisé de manière proactive implique l'inhibition du *set* de la tâche venant juste d'être abandonnée, alors en quoi diffère-t-il d'un changement de tâche réalisé de manière réactive ? Par conséquent, si un contrôle proactif consiste notamment en un rehaussement du *set* pertinent afin d'anticiper le conflit, le contrôle réactif peut être conçu comme un mécanisme de résolution tardive du conflit, pouvant correspondre notamment à un processus d'inhibition de l'information interférente. Cependant, ce processus d'inhibition différerait de celui associé au contrôle proactif, car il ne serait pas la conséquence de la sélection anticipée et du maintien du *set* pertinent, mais la conséquence de la détection *on line* d'un conflit (Braver et al., 2007). Nous formulons ainsi l'hypothèse que, dans un contexte de changement de tâche, le processus d'inhibition associé au contrôle réactif ne concernerait pas le *set* de la tâche venant juste d'être abandonnée, mais plutôt l'information distractive (ou *set* lié à la tâche concurrente) présente avec l'information pertinente à traiter.

De ce fait, nous formulons l'hypothèse de deux mécanismes distincts d'inhibition impliqués lors d'un changement de tâche, chacun étant associé à un mode de contrôle spécifique. Ainsi, alors que l'inhibition associée au contrôle proactif porterait sur **la tâche qui a été réalisée** (inhibition rétroactive), celle associée au contrôle réactif porterait sur **l'information distractive présente** (ou

set lié à la tâche concurrente) lorsque le sujet est face à cette information et doit exécuter la nouvelle tâche. En d'autres termes, lorsqu'un sujet réalise une séquence de tâche AB, s'il a possibilité de mettre en œuvre un contrôle proactif avant la réalisation de la tâche B, le set lié à la tâche A sera inhibé. En revanche si c'est un contrôle réactif qui est mis en place, c'est l'information distractive présente avec la cible qui sera inhibée, que cette information soit relative à la tâche A ou non. La série d'expériences envisagée ici vise à tester l'hypothèse de deux formes d'inhibition pouvant attester de l'existence de deux modes de contrôle impliquant des processus distincts.

Cette hypothèse est vérifiable grâce à l'utilisation d'un protocole de permutation de tâche similaire à celui utilisé par Hübner et al. (2003, voir figure 15). En référence au processus d'inhibition résiduelle décrit par Mayr et Keele (2000), Hübner et al. (2003) ont montré que le rôle de cette inhibition est de réduire l'interférence de la tâche précédente lors de l'exécution d'une nouvelle tâche. En combinant un paradigme de permutation de tâche avec un paradigme de *flankers* (ou distracteurs situés de part et d'autre de la cible, cf. Eriksen & Eriksen, 1974) ils montrent que lors de l'exécution d'une tâche B, l'interférence produite par des distracteurs évoquant une tâche A est réduite si cette tâche A vient d'être exécutée juste avant. Pour illustrer cet effet, considérons par exemple 3 tâches A, B, C et des *flankers* a, b, c, évoquant respectivement chacune de ces 3 tâches, et x l'absence de *flanker*. Notons ensuite bAb un essai où la tâche A est réalisée avec les *flankers* b. Alors, dans une succession d'essais du type xAx → aBa, l'effet négatif des distracteurs «a» est réduit par rapport à l'effet de ces mêmes distracteurs dans une séquence de type xCx → aBa. Cet effet (*flanker lag effect*), en accord avec les résultats de Mayr et Keele (2000), refléterait un effet facilitateur lié à l'inhibition de la tâche A venant d'être abandonnée. Ce *flanker lag effect* n'apparaît que si une préparation à la seconde tâche est possible. D'après notre hypothèse, ce résultat témoigne de la présence d'un phénomène d'inhibition spécifiquement associé au contrôle proactif et permettant la suppression de toute forme d'interférence en provenance de la tâche précédente.

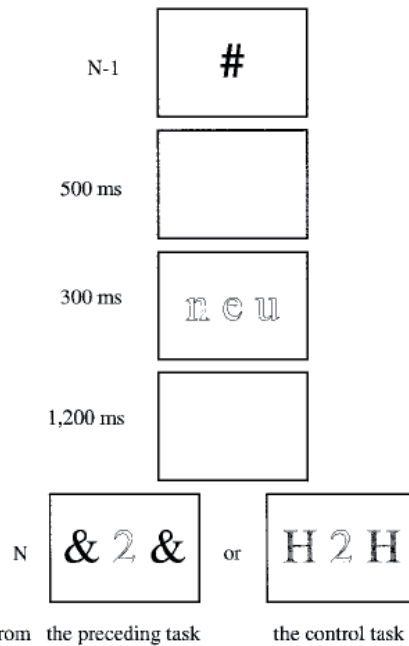


Figure 15. Exemples de séquences d'essais de l'expérience 1 d'Hübner, Dreisbach, & Kluwe (2003) avec une permutation de l'essai $n-1$ à l'essai n , avec des *flankers* issus de la tâche précédente (à gauche) ou non (à droite). Les différentes nuances de gris indiquent les couleurs rouge (pour les nombres), bleu (pour les lettres) et jaune (pour les symboles). Les participants devaient réaliser une tâche de jugement de parité sur les chiffres (pair ou impair ?), de catégorisation sur les lettres (voyelle ou consonnes ?) et de catégorisation de forme sur les symboles (curviligne ou rectiligne ?). De Hübner et al. (2003)

Ce type de protocole devrait également permettre d'observer des indices de l'inhibition des distracteurs spécifiquement associée au contrôle réactif. En effet, comme nous l'avons vu plus haut, lorsqu'aucune préparation n'est possible, la gestion de l'information interférente doit se faire de manière réactive, via une inhibition *on line* des distracteurs. On peut envisager deux indices comportementaux d'une telle inhibition : un effet de répétition des *flankers* et un effet d'amorçage négatif. Il est important de noter que ces effets, comme ceux évoqués précédemment, sont attendus sur la catégorie, et non pas sur l'identité du stimulus.

Le premier effet apparaîtrait dans une situation où deux essais consécutifs impliquent une même catégorie de *flankers*. On devrait observer une moindre gêne des *flankers* «c» dans une séquence de type $cAc \rightarrow cBc$ que dans une séquence de type $zAz \rightarrow cBc$ (où «z» représente n'importe quel autre distracteur que «c»). Parce qu'une inhibition portant sur les *flankers* «c» est mise en œuvre à l'essai cAc ($n-1$), l'effet de ces *flankers* doit être réduit à l'essai suivant qui comporte des *flankers* similaires. Cet **effet de répétition des *flankers*** devrait être prépondérant dans une condition où il n'y a aucune préparation (e.g. Kuhns, Lien, & Ruthruff, 2007 ; Goschke, 2000).

L'autre trace comportementale d'une inhibition *on line* ou réactive des distracteurs serait similaire au phénomène d'amorçage négatif (e.g. Tipper 1985) :

augmentation des TR quand un distracteur présent à l'essai $n-1$, devient la cible à l'essai n . Ce phénomène a notamment été interprété comme la conséquence d'un processus d'inhibition du distracteur lors de la sélection de la cible à l'essai $n-1$ (e.g. Tipper 1985). Mais nous nous intéressons ici à un amorçage négatif au niveau du *set* et non au niveau du stimulus³. Dans un protocole similaire à celui d'Hübner et al. (2003), un tel phénomène serait vérifié par l'augmentation du TR à la tâche B dans une séquence de type $bAb \rightarrow zBz$ par rapport au TR de cette même tâche B dans une séquence de type $zAz \rightarrow zBz$. Nous postulons que l'inhibition *on line* des distracteurs devrait être prépondérante en mode de contrôle réactif. On s'attend donc à ce que l'effet de répétition des *flankers* et le phénomène d'amorçage négatif soient observés de façon plus prononcée, voire uniquement, dans une condition promouvant un contrôle réactif de l'interférence, comparativement à une condition où la mise en œuvre d'un contrôle proactif est possible. En effet, il n'est pas exclu que des phénomènes d'inhibition réactive se produisent également dans une condition de contrôle proactif, car la mise en mode proactif est coûteuse et donc difficile à maintenir dans le temps (Braver et al., 2003, 2007). Cependant, de manière globale, si dans cette condition l'effet des distracteurs est réduit (du fait des processus de contrôle proactif), la demande d'inhibition *on line* ou réactive des distracteurs devrait être moindre, voire absente.

3. Par exemple, dans un protocole où chaque catégorie de stimulus (e.g. les chiffres) n'évoque qu'une seule tâche (e.g. dire si le chiffre est pair ou impair), alors, si le chiffre 4 est présent en tant que distracteur à l'essai $n-1$, et le chiffre 5 en tant que cible à l'essai n , nous sommes dans une situation d'amorçage négatif potentiel au niveau du *set*. Au contraire, dans les protocoles classiques d'amorçage négatif au niveau du stimulus, le chiffre 4 serait par exemple présent à la fois en tant que distracteur à l'essai $n-1$, et en tant que cible à l'essai n .

Tableau 6. Résumé des hypothèses expérimentales testées dans le chapitre 4.

	Contrôle proactif	Contrôle réactif
Effet d'inhibition résiduelle $zAz \rightarrow zBz \rightarrow \underline{zAz} > zCz \rightarrow zBz \rightarrow \underline{zAz}$	oui	non
Flanker lag effect $zAz \rightarrow \underline{aBa} < zCz \rightarrow \underline{aBa}$	oui	non
Effet de répétition des <i>flankers</i> $aCa \rightarrow \underline{aBa} < zCz \rightarrow \underline{aBa}$	non	oui
Amorçage négatif $aCa \rightarrow \underline{zAz} > zCz \rightarrow \underline{zAz}$	non	oui

Notes. Les lettres majuscules A, B et C représentent trois tâches distinctes, les lettres minuscules a, b et c représentent des distracteurs (*flankers*) évoquant respectivement les tâches A, B et C, les «z» représentent l'un ou l'autre des distracteurs qui ne sont pas impliqués dans les hypothèses, et les essais soulignés correspondent à ceux sur lesquels les prédictions sont réalisées en terme de TR et de taux d'erreur.

Principe général des expériences et résumé des hypothèses expérimentales

Nous avons repris le protocole d'Hübner et al. (2003) en comparant une situation censée susciter un contrôle plutôt proactif (avec un indice informant de l'identité de la prochaine tâche avant l'arrivée du stimulus) à une situation censée susciter un contrôle réactif (l'indice arrive en même temps que le stimulus).

Nous avons apporté quelques améliorations méthodologiques au protocole d'Hübner et al. (2003) qui présentait deux limites : (1) les stimuli correspondant à une tâche étaient de la même couleur que les indices informant de la tâche à réaliser, donc le *flanker lag effect* pouvait être confondu avec un effet d'inhibition de la couleur seulement, et (2) il n'y avait pas de mise en évidence du phénomène d'inhibition résiduelle rendant difficile l'association du *flanker lag effect* avec l'inhibition rétroactive de la tâche précédente. Kuhns et al. (2007, Expérience 2) ont répliqué cette expérience d'Hübner et al. (2003) en y apportant des améliorations méthodologiques (notamment les stimuli et les indices étaient tous de la même couleur, et il n'y avait qu'un seul *flanker* et non 2 à chaque essai). Leurs résultats ont bien mis en évidence un phénomène d'inhibition résiduelle, et montrent un *flanker lag effect* évident seulement pour les stimuli incongruents. Cependant on observe un phénomène de *trade off* entre les TR et les taux d'erreur.

Nos hypothèses expérimentales sont résumées dans le tableau 6. Les différents types d'essais définis selon l'essai qui le précède (essai n-1) sont présentés dans la figure 16.

Essai n-1	lettre O P	signe Ω @	lettre P §	lettre 3 E
Essai n	chiffre 4 #	chiffre 4 #	chiffre 4 #	chiffre 4 #
Type d'essai	Lag2+	Lag1	Repetition flanker	Amorçage négatif

Figure 16. Exemple de séquence de deux tâches. La tâche à réaliser est définie par le mot présenté en haut de l'écran. L'essai n est défini par rapport à l'essai qui le précède. Si le distracteur à l'essai n provient d'une tâche réalisée il y a longtemps, alors il est qualifié de *lag2+*. S'il correspond à la cible de l'essai précédent, alors il est qualifié de *lag1*. Si le distracteur à l'essai n et le distracteur à l'essai $n-1$ appartiennent à la même catégorie (évoquent la même tâche concurrente) alors il y a répétition du *flanker*. Si la catégorie distractrice à l'essai $n-1$ devient la cible à l'essai n , il y a amorçage négatif.

Expérience 1

Introduction – expérience 1

L'objectif de cette première expérience était de déterminer la meilleure situation permettant d'observer le phénomène d'inhibition rétroactive et le *flanker lag effect*, supposés témoigner de processus spécifiques du contrôle proactif. Le contrôle proactif est mis en jeu lorsqu'il y a possibilité de se préparer avant l'arrivée du stimulus à la prochaine tâche. Dans ce cas on peut observer une inhibition rétroactive du *set* lié à la tâche précédente (Mayr & Keele, 2000). Par ailleurs, Verbruggen et al. (2007) montrent que le coût de permutation résiduel peut être aboli quand l'indice disparaît un peu avant l'apparition du stimulus, comme si cela encourageait les participants à adopter de manière anticipée le *set* lié à la tâche pertinente (De Jong et al., 1999). Cependant, Druet et Hübner (2007) montrent que lorsque l'indice disparaît, on n'observe pas dans ce cas le phénomène d'inhibition résiduelle (i.e. $TR\ ABA > CBA$), contrairement à une situation dans laquelle l'indice reste à l'écran quand le stimulus apparaît. Afin de déterminer la situation favorable à l'observation du phénomène d'inhibition

rétroactive du *set* précédent, nous avons comparé ici deux situations dites «proactives» permettant de se préparer à l'avance à un changement de tâche : une où l'indice disparaissait avant l'arrivée du stimulus (condition proactive 1) et une où il restait à l'écran (condition proactive 2).

Méthode – expérience 1

Participants

Vingt quatre adultes volontaires âgés entre 19 et 41 ans ($M = 26.4$ ans, $DS = 6.7$ ans) dont 15 femmes ont participé à l'expérience.

Matériel et stimuli

Les participants étaient assis à 85 cm d'un écran CRT de 15 pouces. Chaque stimulus apparaissait sur un fond noir au centre d'une fenêtre rectangulaire à bords blancs (couvrant un angle visuel de 4.4° horizontalement et de 3° verticalement) situé lui-même au centre de l'écran (de fond noir). Chaque stimulus était composé de deux caractères écrits en blanc – une cible et un distracteur – situés l'un au dessus l'autre (couvrant un angle visuel total compris entre 1.1° et 1.8° verticalement). Les positions de la cible et du distracteur (en haut ou en bas de la fenêtre) étaient déterminées de manière aléatoire. Les caractères utilisés en tant que cible ou distracteur étaient : (i) les chiffres 2 à 9, (ii) les lettres D, E, H, I, O, P, T, U et (iii) les symboles #, =, <, !, §, @, ?,}. Les caractères utilisés en tant que distracteurs neutres étaient les 4 lettres majuscules grecques ψ , Ω , Θ et ϕ ainsi que ces mêmes 4 lettres mais présentées avec une orientation différente (180° pour ψ et Ω , et 90° pour Θ et ϕ). Les caractères étaient écrits avec la police de caractères Arial et couvraient un angle visuel compris entre 0.1° et 0.9° horizontalement et entre 0.3° et 0.9° verticalement.

Tâches et modalités de réponse

À chaque essai, les participants réalisaient l'une des 3 tâches suivantes : (1) décider si un chiffre est pair ou impair, (2) décider si une lettre est une voyelle ou une consonne, ou (3) décider si un signe est curviligne (exemple : §) ou rectiligne (exemple : #). Les mêmes boutons de réponse étaient utilisés pour les 3 tâches. Les réponses *pair*, *voyelle* et *curviligne* étaient associées à la touche ALT, et les réponses *impair*, *consonne* et *rectiligne* étaient associées à la touche CONTROL pour tous les participants. Ils utilisaient leur index gauche pour appuyer sur la

touche ALT et leur index droit pour presser la touche CONTROL.

Déroulement d'un essai et succession des essais

À chaque essai, le stimulus était précédé d'un indice verbal (*Chiffre* écrit en rouge, *Lettre* en bleu et *Signe* en jaune) spécifiant la tâche à réaliser. L'indice apparaissait à 0.3° au dessus de la fenêtre, écrit à l'aide de la police de caractères Courier new et couvrait un angle visuel compris entre 3° et 4.2° horizontalement et entre 0.4° et 0.6° verticalement.

Un essai pouvait se dérouler dans deux conditions de préparation : la condition proactive 1 (voir condition proactive de la figure 17) et la condition proactive 2. Dans la condition proactive 1, un essai commençait par la présentation de l'indice qui restait à l'écran pendant 750 ms. Après la disparition de l'indice, le stimulus (i.e. cible + distracteur) apparaissait après un délai de 550 ms et restait à l'écran jusqu'à la réponse du participant, qui provoquait sa disparition. Un délai de 300 ms précédait l'arrivée de l'indice de l'essai suivant. Une telle configuration définissait ainsi un CSI de 1300 ms, un RCI de 300 ms et un RSI (CSI + RCI) de 1600 ms. Dans la condition proactive 2, un essai se déroulait de façon similaire excepté que l'indice restait à l'écran jusqu'à la réponse du participant au stimulus (l'indice restait donc présent à l'arrivée du stimulus, et disparaissait avec le stimulus à la réponse du sujet). En cas d'erreur, le message *Erreur* (police Courier new en rouge dans la fenêtre dont le fond était alors blanc) apparaissait immédiatement après la réponse du participant et restait à l'écran pendant 500 ms.

À chaque essai, l'identité de la cible et celle du distracteur étaient sélectionnées de manière pseudo aléatoire avec les contraintes suivantes : la tâche changeait à chaque essai, la cible et le distracteur ne pouvaient appartenir à la même tâche, et un intervalle de trois essais minimum était requis entre deux apparitions d'un même caractère particulier (exemple : #) qu'il soit cible ou distracteur. Un caractère présent à un essai n ne pouvait donc jamais avoir été présenté aux essais $n-1$ et $n-2$.

Procédure

Les participants réalisaient 16 blocs expérimentaux en alternant pour chaque bloc entre la condition proactive 1 et la condition proactive 2. La moitié des sujets commençait par la condition proactive 1 et l'autre par la condition proactive

2. Chaque bloc expérimental comprenait 48 essais précédés de quatre essais d'entraînement exclus des analyses.

À la fin d'un bloc, les participants recevaient un *feedback* indiquant le TR moyen et le nombre d'erreur obtenus pour ce bloc, ainsi qu'un score représentant un mixte des deux ($\text{score} = \text{TR}/10 + \text{erreurs} * 5$). A partir du 2^{ème} bloc, ils obtenaient un score à battre égal à la moyenne des scores réalisés jusque là, avec un message de félicitation en cas de succès et un encouragement à poursuivre leur effort en cas d'échec.

Les participants commençait l'expérience par un entraînement sur chacune des 3 tâches pratiquée de façon isolée (trois blocs de 16 essais, ordre des blocs contrebalancé entre les participants). L'indice restait à l'écran et le distracteur restait neutre. Après l'entraînement à chacune des tâches, les participants étaient avertis que, dès lors, ils allaient changer de tâche à chaque essai et qu'ils devaient donc tenir compte de l'indice pour connaître la tâche à réaliser et le stimulus à traiter. Il leur était demandé de profiter du délai entre l'apparition de l'indice et celle du stimulus pour se préparer à l'avance à la nouvelle tâche. Les participants réalisaient ensuite quatre blocs mixtes d'entraînement (deux blocs dans chaque condition de préparation) de 24 essais chacun.

La présentation des stimuli et le recueil des données se faisaient au moyen du logiciel E-prime (Psychology Software Tools, 1999). L'expérience durait approximativement 1 heure.

Résultats – expérience 1

Les TR des essais supérieurs à 3000 ms et inférieurs à 200 ms, ainsi que les essais suivant une erreur étaient exclus des analyses (5.1 %). Puisque le taux d'erreur était faible (4.9 %) et sans *trade-off* évident entre les TR et les taux d'erreur, seules les analyses sur les TR sont rapportées ici. Le seuil alpha est fixé à .05 pour toutes les analyses.

Il s'agit ici de déterminer la meilleure condition de contrôle proactif. Nous comparons donc ici les TR entre les deux situations et nous regardons également s'il existe un effet d'inhibition résiduelle ($\text{ABA} > \text{CBA}$) ainsi qu'un *flanker lag effect*. Nous vérifions également qu'il n'existe pas (ou peu) d'effet de répétition des *flankers* ni d'amorçage négatif, ces deux phénomènes étant supposés être spécifiquement reliés au mode de contrôle réactif.

Effet de préparation

Les TR étaient plus courts dans la condition proactive 1 ($M = 732$ ms, $DS = 162$ ms) que dans la condition proactive 2 ($M = 764$ ms, $DS = 176$ ms), $t(23) = 4.22$.

Inhibition résiduelle (tableau 7) : séquence de type ABA vs. CBA

Une ANOVA avec les facteurs Condition (proactive 1 vs. proactive 2) et Type de séquence (CBA vs. ABA) montre un effet principal de chacun des deux facteurs, respectivement $F(1, 23) = 19.29$ et $F(1, 23) = 12.25$. L'effet du type de séquence montre la présence dans les deux conditions d'un effet d'inhibition résiduelle de 17.7 ms, avec des TR dans les séquences ABA ($M = 757$ ms, $DS = 177$ ms) plus longs que ceux obtenus dans les séquences CBA ($M = 741$ ms, $DS = 162$ ms). L'interaction entre les deux facteurs n'est pas significative, $F(1, 23) = 2.43$, $p > .1$.

Flanker lag effect (tableau 8)

Pour étudier le *flanker lag effect*, les essais ont été divisés en trois catégories, selon la nature du distracteur qui pouvait soit (1) évoquer la tâche de l'essai précédent (e.g. Ab → Ca, dénommé *lag1*), (2) évoquer une tâche réalisée plus longtemps auparavant (dénommé *lag2+*), ou (3) n'évoquer aucune tâche (dénommé neutre). Une ANOVA avec les facteurs Condition et *Flanker lag* (*lag1*, *lag2+*, neutre) montre un effet principal des deux facteurs, respectivement $F(1, 23) = 17.85$ et $F(2, 46) = 18.16$. Cependant il n'y a pas de *flanker lag effect* (i.e. *lag1* < *lag2+*) puisque des comparaisons planifiées montrent que les TR des deux modalités *lag1* ($M = 758$ ms, $DS = 179$ ms) et *lag2+* ($M = 763$ ms, $DS = 175$ ms) n'étaient pas statistiquement différents, $F(1, 23) < 1$, mais étaient seulement plus longs que ceux de la modalité neutre ($M = 724$ ms, $DS = 156$ ms), $F(1, 23) = 27.47$. En d'autres termes, un distracteur évoquant une tâche ayant été exécutée à l'essai précédent n'affectait pas moins la performance qu'un distracteur évoquant une tâche réalisée n essais auparavant. L'interaction entre les deux facteurs Condition et *Flanker lag* n'était pas significative, $F(2, 46) = 1.94$, $p > .1$.

Comme Kuhns et al. (2007) ont observé un *flanker lag effect* uniquement pour les stimuli incongruents (évoquant 2 réponses différentes selon la tâche pertinente), une analyse complémentaire a été réalisée sans la modalité neutre

du facteur *Flanker lag*. Une ANOVA avec les facteurs Condition, *Flanker lag* (*lag 1* versus *lag2+*) et Congruence (Incongruent vs. Congruent) montre un effet principal de la condition [$F(1, 23) = 15.11$], et une interaction entre les facteurs *Flanker lag* et Congruence, $F(1, 23) = 5.47$. Contrairement aux résultats de Kuhns et al. (2007), les comparaisons planifiées montrent un *flanker lag effect* pour les essais congruents [$F(1, 23) = 5.08$] mais pas pour les essais incongruents, $F < 1$. Pour les essais congruents, les TR des essais *lag1* ($M = 752$ ms, $DS = 189$ ms) étaient plus court que ceux des essais *lag2+* ($M = 767$ ms, $DS = 183$ ms), ce qui n'était pas le cas des essais incongruents (respectivement : $M = 761$ ms, $DS = 173$ ms, et $M = 759$ ms, $DS = 172$ ms).

Effet de répétition des *flankers* (tableau 9)

Pour étudier l'effet de répétition des *flankers*, les essais étaient divisés en 2 catégories, selon que le *flanker* évoquait la même tâche à l'essai précédent, (= répétition de la même catégorie de *flanker* aux essais n et $n-1$) ou non (changement). L'ANOVA avec les facteurs Condition et Répétition des *flankers* (répétition versus changement) ne montre qu'un effet principal de la Condition [$F(1, 23) = 17.10$], sans autre effet ni interaction significatifs.

Amorçage négatif (tableau 10)

Pour étudier le phénomène d'amorçage négatif au niveau de la tâche, les TR des essais étaient divisés en 2, selon que le *flanker* de l'essai $n-1$ évoquait ou non la même tâche que la cible de l'essai n . L'ANOVA avec les facteurs Condition et Amorçage négatif (oui vs. non) ne montre qu'un effet principal de la Condition [$F(1, 23) = 13.82$], sans autre effet ni interaction significatifs.

Discussion – expérience 1

Nous avons testé deux conditions de préparation. Un indice informant de la prochaine tâche à réaliser était fourni 1300 ms ou 1450 ms avant l'arrivée du stimulus. Dans la condition proactive 1, l'indice disparaissait 550 ms avant l'apparition du stimulus, tandis que dans la condition proactive 2, il restait à l'écran. Conformément à nos hypothèses concernant le contrôle proactif, nous observons dans les deux situations un phénomène d'inhibition résiduelle, reproduisant les résultats de Grange et Houghton (2009), et en accord avec d'autres études antérieures (Mayr & Keele, 2000). Nos résultats suggèrent également une absence d'effet de répétition des *flankers* et d'amorçage négatif.

Ces deux derniers effets sont supposés être associés plus particulièrement au contrôle réactif. Enfin, l'effet d'inhibition résiduelle était bien associé à un *flanker lag effect*, c'est-à-dire une influence moindre du distracteur si celui-ci évoquait la tâche cible à l'essai précédent, mais seulement pour les essais congruents, contrairement à Kuhns et al. (2007) qui n'observaient cet effet que pour les essais incongruents. Une explication possible de l'absence de *flanker lag effect* pour les essais incongruents dans notre expérience est qu'il y a bien une influence moindre du distracteur évoquant la tâche de l'essai précédent, mais qu'elle était masquée par un processus supplémentaire de résolution du conflit de réponse pour les essais incongruents (voir chapitre 2).

Comme la performance était globalement meilleure dans la condition proactive 1 que dans la condition proactive 2, témoignant d'une meilleure préparation quand l'indice disparaît, nous avons utilisé cette première condition pour la comparer à une situation de contrôle réactif, dans l'expérience 2.

Tableau 7. Inhibition résiduelle : moyennes des TR (écart-types) en fonction de l'expérience, de la Condition et de la Séquence des tâches (ms).

Expérience 1				Expérience 2			
proactif 1		proactif 2		proactif		réactif	
CBA	ABA	CBA	ABA	CBA	ABA	CBA	ABA
727	737	754	776	719	720	996	998
(157)	(170)	(170)	(185)	(135)	(137)	(169)	(173)

Tableau 8. Flanker lag effect : moyennes des TR (écart-types) en fonction de la Condition, du Type de flanker (flanker lag) et de l'expérience (ms).

	proactif 1			proactif 2		
	lag1	lag2+	neutre	lag1	lag2+	neutre
Expérience 1	738 (164)	752 (178)	707 (147)	779 (193)	773 (176)	741 (165)
	proactif			réactif		
	lag1	lag2+	neutre	lag1	lag2+	neutre
Expérience 2	728 (142)	737 (135)	695 (135)	1019 (176)	1026 (178)	947 (161)

Note. Un distracteur est noté *lag1* s'il évoque la tâche de l'essai *n-1*, *lag2+* s'il évoque la tâche d'un essai antérieur à l'essai *n-1*, et neutre s'il n'évoque aucune tâche.

Tableau 9. Effet de répétition des *flankers* : moyennes des TR (écart-types) en fonction de l'expérience, de la Condition et de la Répétition ou non des *flankers* entre l'essai *n-1* et l'essai *n* (ms).

Expérience 1				Expérience 2			
proactif 1		proactif 2		proactif		réactif	
rép.	ch.	rép.	ch.	rép.	ch.	rép.	ch.
727	734	759	766	719	719	971	1004
(162)	(163)	(178)	(177)	(133)	(137)	(162)	(173)

Note. Rép.: répétition : le *flanker* évoque la même tâche que celui de l'essai *n-1*; ch. : changement : le *flanker* évoque une tâche différente de celui de l'essai *n-1*.

Tableau 10. Effet d'amorçage négatif : moyennes des TR (écart-types) en fonction de l'expérience, de la Condition et de l'Amorçage négatif potentiel ou non des *flankers* (ms).

Expérience 1				Expérience 2			
proactif 1		proactif 2		proactif		réactif	
oui	non	oui	non	oui	non	oui	non
735	731	758	767	715	721	1009	992
(168)	(160)	(173)	(179)	(143)	(132)	(189)	(162)

Note. oui : le *flanker* de l'essai *n-1* évoque la même tâche que celle de la cible de l'essai *n*; non : le *flanker* de l'essai *n-1* n'évoque pas la même tâche que celle de la cible de l'essai *n*.

Expérience 2

Introduction – expérience 2

L'objectif de cette expérience était de comparer une situation de contrôle proactif et une situation de contrôle réactif, dans un contexte de changement de tâche. Pour cela, nous avons remplacé la condition proactive 2 de l'expérience 1 par une condition de contrôle réactif (i.e. condition ne permettant aucune préparation), dans laquelle l'indice et le stimulus apparaissaient simultanément à l'écran. Selon les hypothèses énoncées dans l'introduction générale, nous nous attendions à observer des traces comportementales distinctes selon le mode de contrôle mis en œuvre lors d'un changement de tâche. Ainsi pour la condition proactive, nous attendions un effet d'inhibition résiduelle, et éventuellement un *flanker lag effect* (que nous n'observions que partiellement dans l'expérience 1). Au contraire, nous attendions un effet de répétition des *flankers* ainsi qu'un effet d'amorçage négatif du *set* uniquement dans la condition réactive.

Méthode – expérience 2

Participants

Vingt quatre jeunes adultes volontaires âgés entre 21 et 35 ans ($M = 27.0$ ans, D.S = 3.2 ans) dont 14 femmes ont participé à l'expérience.

Matériel et procédure

Le matériel, les stimuli, les tâches, les modalités de réponse, le déroulement d'un essai, la succession des essais et la procédure étaient les mêmes que ceux de l'expérience 1, à l'exception des changements suivants condition proactive 2 était ici remplacée par une condition réactive dans laquelle le délai entre l'indice et le stimulus était égal à zéro. Les deux conditions, proactive et réactive, de cette expérience sont illustrées dans la figure 17. Lors de l'entraînement, l'encouragement à utiliser l'indice pour se préparer à l'avance à la nouvelle tâche était seulement donné pour la condition proactive (strictement identique à la condition proactive 1 de l'expérience 1).

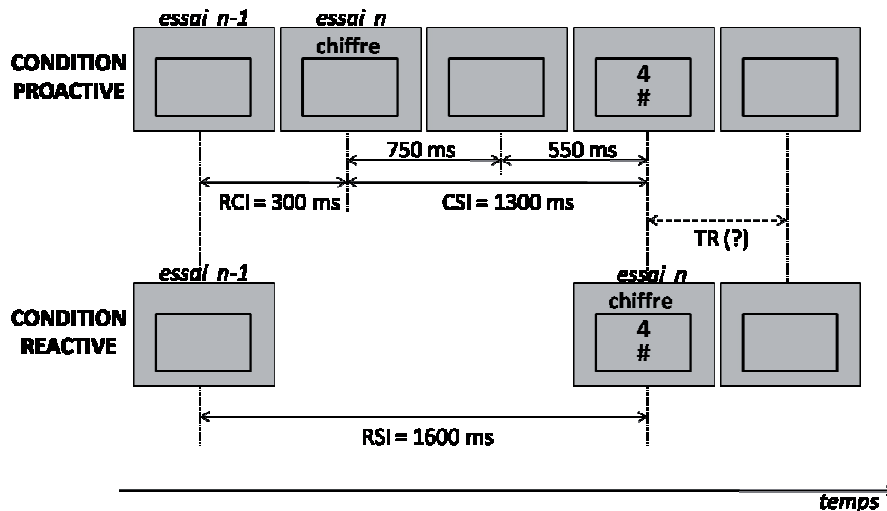


Figure 17. Exemple de déroulement d'un essai selon la condition proactive ou réactive.
Expérience 2 – chapitre 4.

RCI : *response cue interval*, CSI : *cue stimulus interval*, TR : temps de réponse, RSI : *Response stimulus interval*.

Résultats – expérience 2

Les mêmes critères d'exclusion des essais expérimentaux que ceux de l'expérience 1 étaient utilisés (5.1% d'essais exclus). À nouveau, le taux d'erreur était faible (4.7%) sans trade-off entre les TR et les erreurs, et seules les analyses sur les TR sont ainsi rapportées ici ($\alpha = .05$).

Effet de préparation

Les TR étaient plus courts dans la condition proactive ($M = 720$ ms, $DS = 135$ ms) que dans la condition réactive ($M = 997$ ms, $DS = 169$ ms), $t(23) = 16.32$.

Inhibition résiduelle (tableau 7) : séquence de type ABA vs. CBA

Une ANOVA avec les facteurs Condition (proactive vs. réactive) et Type de séquence (CBA vs. ABA) montrait seulement un effet principal de la condition, $F(1, 23) = 266.43$, sans autre effet ni interaction significatifs ($F < 1$).

Flanker lag effect (tableau 8)

Une ANOVA avec les facteurs Condition et *Flanker lag* ($lag1$, $lag2+$, neutre) montre un effet principal des deux facteurs, respectivement $F(1, 23) = 266.06$ et $F(2, 46) = 59.00$. Comme dans l'expérience 1, l'effet principal du facteur *Flanker lag* ne met pas en évidence de *flanker lag effect* puisque des comparaisons

planifiées montrent que les TR des deux modalités *lag1* ($M = 873$ ms, $DS = 216$ ms) et *lag2+* ($M = 881$ ms, $DS = 214$ ms) n'étaient pas statistiquement différents [$F(1, 23) = 2.01, p > .1$]. Ils étaient seulement plus longs que ceux de la modalité neutre ($M = 821$ ms, $DS = 194$ ms), $F(1, 23) = 100.17$. Cet effet était modulé par le facteur condition [interaction entre les deux facteurs, $F(2, 46) = 5.52$] : globalement, la différence entre la moyenne des TR aux essais *Lag1* et *Lag2+* et la moyenne des TR aux essais neutres était moins importante dans la condition proactive (37 ms) que dans la condition réactive (76 ms).

Une ANOVA avec les facteurs Condition, *Flanker lag* (*lag 1* vs. *lag2+*) et Congruence (Incongruent vs. Congruent) montre en plus de l'effet principal de la Condition [$F(1, 23) = 234.77$], un effet principal de la Congruence [$F(1, 23) = 18.28$] et une interaction entre ces deux facteurs [$F(1, 23) = 6.09$] : l'effet de congruence (incongruent – congruent) était moins important dans la condition proactive (14 ms) que dans la condition réactive (39 ms). Cependant, il n'y avait pas de *flanker lag effect*, ni d'interaction entre ce facteur et les autres facteurs ($F_s < 2.1, p_s > .15$).

Effet de répétition des *flankers* (tableau 9)

Une ANOVA avec les facteurs Condition et Répétition des *flankers* (répétition versus changement) montre en plus de l'effet principal de la condition [$F(1, 23) = 234.77$], un effet principal de la répétition des *flankers* [$F(1, 23) = 5.01$] : les TR étaient plus rapides quand le *flanker* évoquait la même tâche aux essais n et $n-1$ (845 ms) que dans le cas contraire (862 ms). L'interaction entre les deux facteurs [$F(1, 23) = 16.03$] montre que l'effet de répétition des *flankers* était uniquement observé dans la condition réactive mais pas dans la condition proactive.

Amorçage négatif (tableau 10)

Une ANOVA avec les facteurs Condition et Amorçage négatif (oui vs. non) montre en plus de l'effet principal de la Condition [$F(1, 23) = 257.58$], une absence d'effet principal de l'Amorçage négatif ($F < 1$) et une interaction significative entre les deux facteurs [$F(1, 23) = 9.43$] : il y avait une tendance en faveur d'un effet d'amorçage négatif dans la condition réactive [$F(1, 23) = 3.57, p < .075$], mais pas dans la condition proactive ($F < 1$).

Discussion – expérience 2

Les résultats obtenus ici confirment partiellement nos hypothèses. Premièrement nous avons obtenu un large effet de préparation : les TR de la condition proactive étaient nettement plus courts que ceux de la condition réactive. Deuxièmement, si les TR de cette dernière condition étaient plus longs, nous obtenons cependant des preuves en faveur d'une gestion spécifique de l'interférence lors d'un changement de tâche dans cette condition. En effet, contrairement à la condition proactive, la condition réactive était associée à un effet de répétition des *flankers*, ainsi qu'à un phénomène d'amorçage négatif du *set*. Ces deux effets témoignent d'une suppression *on line* des caractéristiques non-pertinentes lors de l'essai, permettant de répondre à la tâche sans faire d'erreur.

Cependant, concernant la condition proactive et contrairement à nos hypothèses, nous n'avons obtenu cette fois-ci ni effet d'inhibition résiduelle, ni *flanker lag effect*. Néanmoins, en plus d'une performance plus rapide, il semble que la condition proactive soit associée à une meilleure gestion de l'interférence que la condition réactive puisque l'effet de congruence était moins important dans la condition proactive que dans la condition réactive. Ce dernier résultat s'accorde avec ceux de l'étude d'Hübner et al. (2003) qui observent un effet similaire de la préparation sur l'interférence.

Discussion générale

Nous avons contrasté deux conditions de contrôle dans un paradigme de permutation avec trois tâches : une condition proactive, dans laquelle un indice informant de la nature de la future tâche apparaissait suffisamment longtemps avant le stimulus, et une condition réactive, dans laquelle le même indice apparaissait en même temps que le stimulus. À chaque essai, le stimulus évoquant la tâche cible était associé à un distracteur neutre ou évoquant l'une des deux autres tâches concurrentes.

En nous appuyant sur le modèle à deux voies de contrôle développé par Braver (Braver et al., 2007), nous postulons qu'un changement de tâche sous mode proactif serait plus rapide qu'un changement de tâche sous mode réactif, et que les processus de sélection précoce et de maintien actif du nouveau *set* impliqués dans ce contrôle seraient associés à l'inhibition du *set* de la tâche

venant juste d'être réalisée à l'essai précédent. Nous nous attendions donc à observer dans cette condition proactive des traces comportementales de cette inhibition, à savoir un phénomène d'inhibition résiduelle (i.e. ralentissement de la performance sur une tâche venant juste d'être inhibée) et un *flanker lags effect* (i.e. influence moindre d'un distracteur évoquant une tâche venant juste d'être inhibée).

En revanche, nous postulons qu'un changement de tâche sous mode réactif devait être associé à l'inhibition *on line* du set lié à la tâche évoquée par un distracteur. Nous nous attendions donc à observer, dans cette condition seulement (ou de manière plus importante dans cette condition que dans la condition proactive), deux types de traces comportementales associées à cette inhibition : (1) un effet de répétition des *flankers* (amélioration de la performance si les distracteurs évoquent la même tâche à l'essai *n-1* et à l'essai *n*) et (2) un effet d'amorçage négatif au niveau du set de tâche (dégradation de la performance si la tâche évoquée par le distracteur à l'essai *n-1* correspond à la tâche correcte à l'essai *n*).

Les hypothèses expérimentales sont résumées dans le tableau 6, et les résultats obtenus dans les trois expériences sont résumés dans le tableau 11.

Tableau 11. Synthèse des résultats des 2 expériences – chapitre 4.

	Effet de préparation TR proactif < TR réactif	Inhibition résiduelle TR ABA > TR CBA en proactif	Flanker lags effect TR lag 1 < TR lag 2+ en proactif	Effet de répétition des flankers TR rep flanker < TR ch flanker en réactif	Amorçage négatif aCa → zAz > zCz → zAz en réactif
EXPERIENCE 1					
Proactif 1 RCI = 300 ms L'indice disparaît après 750 ms CSI = 1300 ms	TR proactif 1 < TR proactif 2 (-32 ms)	oui (10 ms)	seulement quand l'essai <i>n</i> est congruent (- 20 ms)	non	non
Proactif 2 RCI = 150 ms L'indice reste à l'écran CSI = 1450 ms		oui (22 ms)	seulement quand l'essai <i>n</i> est congruent (- 9 ms)	non	non
EXPERIENCE 2					
Proactif = proactif 1 de l'expérience 1	oui (- 278 ms)	non	non	non	non
Réactif RCI = RSI = 1600 ms		non	non	oui (- 34 ms)	oui (tendance, 17 ms)

Note. Les cases surlignées en gris clair signifient que les résultats sont peu conformes aux hypothèses, celles surlignées en gris foncé signifient que les résultats ne sont pas conformes aux hypothèses. Rep *flanker* : les *flankers* évoquent la même tâche aux essais *n-1* et *n*, ch *flanker* : les *flankers* n'évoquent pas la même tâche entre les essais *n-1* et *n*.

Un net effet de préparation observé dans l'expérience 2 témoigne de l'efficacité du contrôle proactif. L'expérience 1, qui contrastait deux conditions de contrôle proactif confirme partiellement l'hypothèse d'un processus d'inhibition du *set* de la tâche venant juste d'être exécutée, car nous observons dans les deux conditions, un effet d'inhibition résiduelle, et un *flanker lag effect* pour les stimuli congruents. En accord avec l'hypothèse de processus distincts de gestion de l'interférence selon le mode de contrôle, nous n'observons pas dans l'expérience 1 de trace comportementale d'une inhibition *on line* du *set* évoqué par le distracteur, spécifiquement associée au contrôle réactif (effet de répétition des *flankers* et d'amorçage négatif).

En accord avec nos hypothèses, l'effet de répétition des *flankers* et l'effet d'amorçage négatif sont seulement observés dans la condition réactive de l'expérience 2, qui contraste une condition de contrôle proactif et une condition de contrôle réactif.

Malheureusement, dans l'expérience 2, la condition de contrôle proactif n'est pas associée à un phénomène d'inhibition résiduelle ni à un *flanker lag effect* pouvant témoigner de l'inhibition du *set* lié à la tâche précédente, alors que des traces de cette inhibition rétroactive étaient observées sous les mêmes conditions dans l'expérience 1.

L'absence de trace de cette inhibition rétroactive dans l'expérience 2 peut recueillir une explication intéressante à partir des résultats de l'étude de Druey et Hübner (2007). Les auteurs contrastent une condition où l'indice reste à l'écran à une condition où l'indice disparaît. Comme dans notre seconde expérience, ils n'observent pas de trace comportementale de l'inhibition rétroactive ($TR_{ABA} = TR_{CBA}$) dans la condition où l'indice disparaît. Ils observent en revanche cet effet dans la condition où l'indice reste à l'écran ($TR_{ABA} > TR_{CBA}$). Par ailleurs, comme dans notre expérience 1, les TR dans la condition où l'indice disparaissait étaient nettement plus courts que dans l'autre condition, pouvant témoigner d'une meilleure efficacité du contrôle exécutif dans la première condition. Les auteurs suggèrent donc qu'il y a bien une inhibition rétroactive dans la condition où l'indice disparaît, mais qu'elle concerne cette fois-ci les 2 *sets* concurrents. L'absence de différence de TR entre les séquences ABA et CBA peut alors s'expliquer par l'inhibition conjointe des *sets* C et A lors de l'adoption du *set* B dans la séquence CBA , de sorte que le *set* A soit dans un état inhibé dans la séquence CBA comme dans la séquence ABA . Les résultats de notre expérience 2 supportent cette explication d'une inhibition rétroactive

des deux *sets* concurrents dans la condition proactive, car nous avons observé dans cette condition, par rapport à la condition réactive : (1) une différence moins importante entre les essais neutres (distracteurs non liés à une tâche concurrente) et les essais Lag1 et Lag2+ (comportant des distracteurs liés à une tâche concurrente) et (2) un effet de congruence moins important. Ces deux résultats témoignent d'une moindre influence des *sets* concurrents dans la condition proactive par rapport à la condition réactive, comme si leur état d'activation était réduit.

Comment expliquer alors l'évidence d'une inhibition du *set* précédent dans l'expérience 1 (dans les deux conditions de l'expérience 1 un effet d'inhibition résiduel est trouvé) qui impliquait une condition similaire à celle de l'expérience 2 ? Nous avons observé, en accord avec Druey et Hübner (2007), que la condition proactive 1 (où l'indice disparaissait), commune aux deux expériences, était associée dans l'expérience 1 à un phénomène d'inhibition résiduelle plus faible que dans la condition où l'indice restait à l'écran. Il est possible que la condition proactive où l'indice disparaît, mélangée à une condition réactive sans préparation possible dans l'expérience 2, ait modifié le niveau de préparation des sujets (cf. Rogers & Monsell, 1995). Une étude empirique est nécessaire pour expliquer l'origine de ces différences.

Afin d'observer des traces comportementales plus convaincantes de l'inhibition rétroactive qui opère sous le mode de contrôle proactif, il serait intéressant de répliquer cette dernière expérience, mais en utilisant comme condition de contrôle proactif, la condition proactive 2 de l'expérience 1, c'est-à-dire celle où l'indice reste à l'écran. Si cette condition semble associée à un mode de contrôle proactif moins efficient (e.g. Druey & Hübner, 2007 ; Verbruggen et al., 2007), elle pourrait néanmoins permettre de mettre clairement en évidence une trace comportementale de l'inhibition du *set* précédent, propre au mode de contrôle proactif.

Conclusion

Notre étude a permis de mettre en évidence des traces comportementales distinctes d'un mode de contrôle proactif et d'un mode de contrôle réactif, en référence au modèle de Braver (Braver et al., 2007). Si les traces comportementales de l'inhibition rétroactive – c'est-à-dire le phénomène d'inhibition résiduelle et le *flanker lag effect* – n'étaient pas tout le temps observées dans la condition proactive, le contrôle proactif peut cependant être distingué du contrôle réactif par une performance globalement meilleure quand il y a possibilité d'adopter de manière anticipée le *set* pertinent pour la tâche à venir. L'originalité de notre étude tient surtout au fait qu'elle apporte des preuves comportementales en faveur d'une résolution réactive de l'interférence. En effet, nous avons montré que même sans possibilité d'adopter et de maintenir activement un *set* de manière anticipée, il existait au moins un mécanisme de contrôle dont la fonction était de supprimer juste avant la réponse, les *sets* concurrents qui entrent en compétition avec le *set* pertinent. L'expérience 2 montre que ce processus est spécifique du contrôle réactif, puisque les traces comportementales de celui-ci – à savoir l'effet de répétition des *flankers* et l'amorçage négatif au niveau du *set* – existaient seulement dans la condition réactive mais pas dans la condition proactive.

Dans cette étude nous avons cherché des traces comportementales de processus de gestion de l'interférence spécifiques des modes de contrôle proactif et réactif (Braver et al., 2007). Dans l'étude qui suit, nous nous sommes intéressés aux substrats neurophysiologiques sous-jacents au mode de contrôle proactif, à partir d'une approche neuropsychologique.

Chapitre 5

Ajustements de la résolution du conflit dans la maladie de Parkinson

L'expérience rapportée dans ce chapitre a fait l'objet d'un article publié en 2010 dans *Neuropsychology* (voir annexe 1).

Introduction

Ce dernier chapitre expérimental, comme le chapitre précédent, s'intéresse aux variations d'efficacité du contrôle exécutif d'un *set* lié à une tâche, mais cette fois-ci dans une perspective de mise en lien entre un mode de contrôle spécifique et un réseau neuronal particulier. Il a été suggéré que la mise en œuvre des modes de contrôle proactif et réactif dépendrait notamment de l'intégrité des systèmes dopaminergiques (Braver et al., 2007). Nous proposons ici une étude préliminaire cherchant d'une part à dissocier ces deux modes de contrôle, et d'autre part à tester l'hypothèse dopaminergique.

Dans la maladie de Parkinson, caractérisée par une déplétion dopaminergique au sein des ganglions de la base (Moore, Whone, & Brooks, 2008), les études examinant le contrôle cognitif avec des tâches conflictuelles, rapportent des résultats contradictoires. Certaines études rapportent des difficultés à supprimer l'information interférente (Beste, Dziobek, Hielscher, Willemsen, & Falkenstein, 2009 ; Dujardin, Degreef, Rogelet, Defebvre, & Destee, 1999 ; Wylie, Stout, & Bashore 2005), tandis que d'autres n'observent pas de déficit de cette fonction (Cagigas, Filoteo, Stricker, Rilling, & Friedrich, 2007 ; Falkenstein, Willemsen, Hohnsbein, & Hielscher, 2006 ; Woodward, Bub, & Hunter, 2002). Ainsi, la présence d'un effet d'interférence accru dans la maladie de Parkinson fait toujours l'objet de débat. En réalité, les déficits de contrôle cognitif associés à la maladie de Parkinson sont particulièrement apparents dans des tâches associées à un contrôle interne ou à une forte demande en ressources attentionnelles (Brown & Marsden, 1988 ; Pollux, 2004 ; Woodward et al., 2002). Comme le contrôle proactif est précisément caractérisé par sa forte demande en ressources attentionnelles et par son mode de résolution du conflit, qui consiste à maintenir activement l'information pertinente pour la tâche en cours (Braver et al., 2003, 2007), nous postulons que ce mode de contrôle est spécifiquement déficitaire dans la maladie de Parkinson.

Dans les tâches de type Stroop, il est demandé aux participants de répondre à des stimuli bivalents, c'est-à-dire des stimuli pouvant susciter deux tâches différentes. Les TR sont généralement plus longs pour les stimuli incongruents (i.e. stimuli pour lesquels la réponse à la tâche pertinente diffère de la réponse à la tâche non pertinente) que pour les stimuli congruents (i.e. stimuli qui impliquent la même réponse pour les deux tâches). L'effet d'interférence mesuré (i.e. incongruents moins congruents), est utilisé dans cette étude en

tant qu'indice des mécanismes de contrôle cognitif recrutés pour résoudre le conflit, à l'étape de sélection de la réponse (e.g. Botvinick et al., 2001; Meiran & Kessler, 2008 ; Posner & Snyder, 1975). Cet effet d'interférence est modulé par des facteurs contextuels, aussi bien transitoire que soutenus (Botvinick et al., 2001 ; De Pisapia & Braver, 2006 ; Monsell & Mizon, 2006). En effet, l'effet d'interférence de type Stroop est réduit par la présence d'un stimulus incongruent à l'essai précédent (e.g. Botvinick et al., 2001 ; Egner & Hirsh, 2005b ; Freitas, Bahar, Yang, & Banai, 2007). Cet effet d'interférence est également modulé par la quantité d'information conflictuelle, qui peut être manipulée en variant la proportion de stimuli incongruents et congruents. Ainsi, comme nous l'avons vu dans le chapitre 2, la taille de l'effet d'interférence diminue avec l'augmentation de la proportion de stimuli incongruents (e.g. De Pisapia & Braver, 2006 ; Logan & Zbrodoff, 1979). Ces modulations transitoires (i.e. séquentielles) et soutenues (i.e. influence globale de la proportion de stimuli incongruents) reflèteraient des ajustements des mécanismes de contrôle cognitif (Botvinick et al., 2001 ; De Pisapia & Braver, 2006).

Dans une condition comportant une majorité de stimuli incongruents (condition MI), la détection fréquente du conflit déclencherait l'engagement d'un mode de contrôle cognitif de type proactif. Ce contrôle proactif prévient l'interférence avant l'arrivée du stimulus, de manière préparatoire, en sélectionnant et en maintenant activement l'information pertinente pour la tâche. Le contrôle proactif est très efficace, mais métaboliquement coûteux et il n'est donc mis en place que si la demande en contrôle cognitif est fréquente et imminente (Braver et al., 2007 ; Braver et al., 2003). Au contraire, une condition comportant une majorité de stimuli congruents (condition MC), serait associée à un autre mécanisme – le contrôle réactif – qui détecte et inhibe l'information non pertinente pour la tâche en cours. Ce processus d'inhibition de l'information conflictuelle serait déclenché juste à temps, après l'arrivée du stimulus, et juste avant la production de la réponse, seulement si le système de surveillance du conflit a détecté la présence d'une information conflictuelle. Le contrôle réactif est moins efficace que le contrôle proactif. Il est favorisé quand la demande en contrôle cognitif est non fréquente ou ne peut pas être prédite à l'avance (Braver et al., 2007 ; De Pisapia & Braver, 2006). Ainsi, dans la condition MI, les stimuli incongruents bénéficieraient d'une réduction tonique de l'influence de l'information non pertinente et seraient traités plus rapidement que dans la condition MC.

Nous avons testé l'hypothèse d'un déficit du contrôle proactif dans la maladie de Parkinson, en comparant les performances de patients parkinsoniens sous traitement médicamenteux, à celles de participants contrôles en bonne santé, lors de la réalisation d'une tâche de type Stroop contrastant deux conditions : une condition MI et une condition MC. La condition MI était associée à une forte proportion de stimuli incongruents et la condition MC à une faible proportion de stimuli incongruents. Nous avons également examiné si la performance était modifiée après le traitement d'un stimulus incongruent ou congruent. Nous postulons que chez les participants contrôles, l'effet d'interférence serait réduit dans la condition MI ainsi qu'après un essai incongruent, reflétant des ajustements du contrôle cognitif. Au contraire nous postulons que de telles modulations soutenues et transitoires de la résolution du conflit seraient perturbées chez les patients parkinsoniens.

Méthode

Participants

Dix huit patients présentant une maladie de Parkinson idiopathique et dix huit participants contrôles en bonne santé ont participé à l'étude. Chaque participant contrôle était apparié à un patient parkinsonien selon le sexe, l'âge et le niveau d'étude. Les caractéristiques principales des deux populations sont présentées dans le tableau 12.

Tous les participants ont donné leur consentement éclairé avant leur participation à l'étude. Les patients étaient sous traitement dopaminergique et étaient testés durant leur meilleure phase, en termes de condition motrice. L'ensemble des participants était recruté selon les critères d'exclusion suivants : absence de maladie neurologique (autre que la maladie de Parkinson) et absence d'état démentiel [i.e. score strictement supérieur à 24 au *Mini-Mental State Exam* (MMSE; Folstein, Folstein, & McHugh, 1975)]. En plus de ces critères, les patients étaient recrutés en fonction de leur absence d'état dépressif [(i.e. score strictement supérieur à 15 au *Montgomery-Asberg Depression Rating Scale* (MADRS ; Leentjens, Verhey, Lousberg, Spitsbergen, & Wilmlink, 2000 ; Montgomery & Asberg, 1979)]. La sévérité des symptômes moteurs des patients était mesurée sous traitement en utilisant le *Hoehn and Yahr rating scale* (Hoehn & Yahr, 1967) ainsi que la partie trois du *Unified Parkinson's Disease Rating*

Scale (score moteur, UPDRS ; Fahn, Elton, & UPDRS Development committee, 1987).

Tableau 12. Caractéristiques démographiques et cliniques des patients parkinsoniens et des participants contrôles

	Patients	Contrôles	t	p
Age	63.1 (8.5)	63.2 (9.0)	t = .0	P = .80
Années d'études	11 (3.1)	11.3 (3.5)	t = -.3	P = .80
MMSE	27.7 (1.6)	28.8 (1.4)	t = -2.3	P = .03
n(hommes:femmes)	18 (14:4)	18 (14:4)	-	-
Durée de la maladie	7.7 (4.7)	-	-	-
Equivalents l-dopa (mg/jour)	673.3 (284.1)	-	-	-
Stade Hoehn & Yahr (on)	2.47 (0.55)	-	-	-
Score moteur UPDRS (on)	12.2 (7.1)	-	-	-
MADRS	4.8 (4.1)	-	-	-

Notes. Les données représentent des valeurs moyennes (écart-types). L'âge, le nombre d'années d'études et la durée de la maladie sont exprimés en années; les doses d'équivalent l-dopa ont été calculées en utilisant les conversions proposées par Krack et al. (1998). UPDRS: *Unified Parkinson's Disease Rating Scale* (Fahn et al., 1987); MADRS: *Montgomery-Asberg Depression Rating Scale* (Montgomery & Asberg, 1979); MMSE: *Mini Mental State Examination* (Folstein et al., 1975).

Tâches et stimuli

Des stimuli de type Stroop était présentés sur un écran VGA de 15 pouces, situé à une distance approximative de 60 cm. La cible était le mot GAUCHE ou DROITE (4.4 et 3.8 cm de large respectivement, et 0.6 cm de haut) entouré soit d'une flèche (6.7 cm de large, 1.5 cm de haut) indiquant la gauche ou la droite (pour les stimuli congruents et incongruents), soit d'un rectangle de même dimension que la flèche (pour les stimuli neutres). Il y avait ainsi deux stimuli congruents (e.g. le mot GAUCHE entouré de la flèche orientée à gauche), deux stimuli incongruents (e.g. le mot GAUCHE entouré de la flèche droite) et deux stimuli neutres (e.g. GAUCHE entouré d'un rectangle). L'utilisation de stimuli neutres permettait simplement d'augmenter le nombre de stimuli et ainsi de contrôler la répétition du stimulus (la répétition immédiate du même stimulus sur deux essais consécutifs était exclue ; voir plus bas). Les participants répondaient aux stimuli en appuyant avec leur index droit ou gauche respectivement sur des boutons de réponse situés à droite ou à gauche du centre d'un boîtier de réponse placé devant eux. Il leur était demandé de répondre en appuyant sur le bouton de réponse situé du côté indiqué par le mot cible (e.g. DROITE = bouton de réponse droit). Ils devaient répondre le plus vite possible et sans faire d'erreur.

Procédure

A chaque essai un point de fixation central (+) apparaissait 1000 ms avant la présentation d'un stimulus. Le stimulus restait à l'écran jusqu'à la réponse du participant. Sa réponse était suivie par la présentation d'un nouveau point de fixation, à moins qu'il ne fasse une erreur, auquel cas un message d'erreur apparaissait pendant 1000 ms.

Les participants effectuaient 30 essais avant de réaliser quatre blocs expérimentaux successifs de 40 essais pour chaque condition, c'est-à-dire quatre blocs dans une condition (e.g. condition MC) puis quatre blocs dans l'autre condition (e.g. condition MI). L'ordre des conditions était contrebalancé entre les participants. Dans la condition MC, il y avait 70% d'essais congruents, 15% d'essais neutres et 15% d'essais incongruents. Dans la condition MI, il y avait 15% d'essais congruents, 15% d'essais neutres, et 70% d'essais incongruents. Pour chaque type de stimulus (congruent, incongruent, neutre), les deux stimuli-cibles (GAUCHE et DROITE) apparaissaient aussi fréquemment dans un bloc (e.g. le mot GAUCHE entouré d'un rectangle apparaissait aussi fréquemment que le mot DROITE entouré d'un rectangle). En prenant en compte ces contraintes, chaque stimulus était sélectionné de manière pseudo-aléatoire, avec la restriction que le même stimulus ne pouvait apparaître lors de deux essais successifs. De plus, dans le premier bloc réalisé dans la condition MI (MC), un stimulus congruent (incongruent) apparaissait après 10 essais.

Analyse des données

Une exploration initiale des données montre des distributions déviant de manière significative de la normalité (test de Shapiro-Wilk). Des analyses statistiques inférentielles non paramétriques ont donc été utilisées par la suite. Le test-*U* de Mann-Whitney a été utilisé pour les comparaisons inter-groupes. Le test de Wilcoxon a été utilisé pour les comparaisons intra-groupes, avec une correction de Bonferroni. Les corrélations ont été testées avec le coefficient de corrélation de Spearman (r_s).

Les analyses des TR sont basées sur les médianes des réponses correctes dans un groupe de mesure. Les essais suivant une erreur ainsi que les essais dont les TR sont supérieur à 3000 ms ou inférieurs à 250 ms ont été exclus des analyses (2% des essais).

Résultats

Comme les taux d'erreur sont faibles (parkinsoniens : $M = 1.2\%$; contrôles : $M = 0.4\%$), sans effet de compromis vitesse-exactitude évident entre les conditions pour aucun des deux groupes, l'analyse se focalise sur les TR. Des analyses préalables indiquent que l'ordre de passation des conditions n'a pas de conséquence sur les résultats suivants. Le seuil alpha est fixé à .05.

Effet d'interférence

Dans l'ensemble, les TR sont significativement plus longs sur les essais incongruents que sur les essais congruents ($z = 4.65$) et sur les essais neutres ($z = 4.87$). L'effet d'interférence (Incongruents – Congruents) ne diffère pas statistiquement entre les deux groupes ($U = 146$, $p > .05$, les mêmes résultats sont obtenus avec l'effet d'interférence calculé en comparant les essais incongruents et neutres).

Modulation de la résolution de conflit par la congruence de l'essai précédent

Dans le groupe contrôle, les TR sont plus petits pour les essais incongruents suivant des essais incongruents que pour des essais incongruents suivant des essais congruents ($z = 3.10$), alors que cet effet est absent dans le groupe des patients parkinsoniens ($p > .05$, voir tableau 13). La performance aux essais congruents n'est modulée par la congruence précédente pour aucun des deux groupes ($ps > .05$). Ainsi, pour les participants contrôles, l'effet d'interférence suivant un essai incongruent est significativement réduit par rapport à l'effet d'interférence suivant un essai congruent (33 ms vs. 64 ms; $z = 2.33$). Cette réduction n'existe pas pour les patients parkinsoniens (47 ms vs. 52 ms; $p > .05$).

Tableau 13. Moyennes des temps de réponse médians (écart-types) des participants contrôles et des patients parkinsoniens pour les essais congruents et incongruents en fonction de la congruence précédente ($n-1$) (ms).

	Participants contrôles		Patients parkinsoniens	
	Incongruents	Congruents	Incongruents	Congruents
$n-1$ incongruent	639 (102)	606 (103)	722 (182)	675 (174)
$n-1$ congruent	673 (111)	609 (97)	719 (170)	667 (172)

Modulation de la résolution de conflit par la proportion de stimuli incongruents

Afin de mesurer les ajustements contextuels sur la performance dans chaque condition, les 10 premiers essais réalisés soit dans la condition MI soit dans la condition MC, ont été exclus de cette analyse.

Dans l'ensemble, les patients parkinsoniens sont plus lents que les participants contrôles dans la condition MI ($U = 105$), mais pas dans la condition MC ($U = 130, p > .05$). Dans les deux conditions MI et MC, les patients parkinsoniens présentent le même effet d'interférence que les participants contrôles ($U = 157, p > .05; U = 119, p > .05$, respectivement).

Pour les participants contrôles, les TR des essais incongruents sont réduits dans la condition MI par rapport à la condition MC ($z = 3.33$), alors qu'aucune différence n'est trouvée pour les essais congruents ni pour les essais neutres ($ps < .05$, voir figure 18). Par conséquent l'effet d'interférence des participants contrôles est réduit dans la condition MI ($z = 3.51$). Au contraire, pour les patients parkinsoniens, les TR des essais incongruents, congruents et neutres dans la condition MI ne diffèrent pas de ceux de la condition MC ($ps > .05$) ; l'effet d'interférence n'est pas réduit dans la condition MI par rapport à la condition MC ($p > .05$), bien que la taille de cet effet tend à être plus petite à cause d'une légère augmentation des TR des essais congruents.

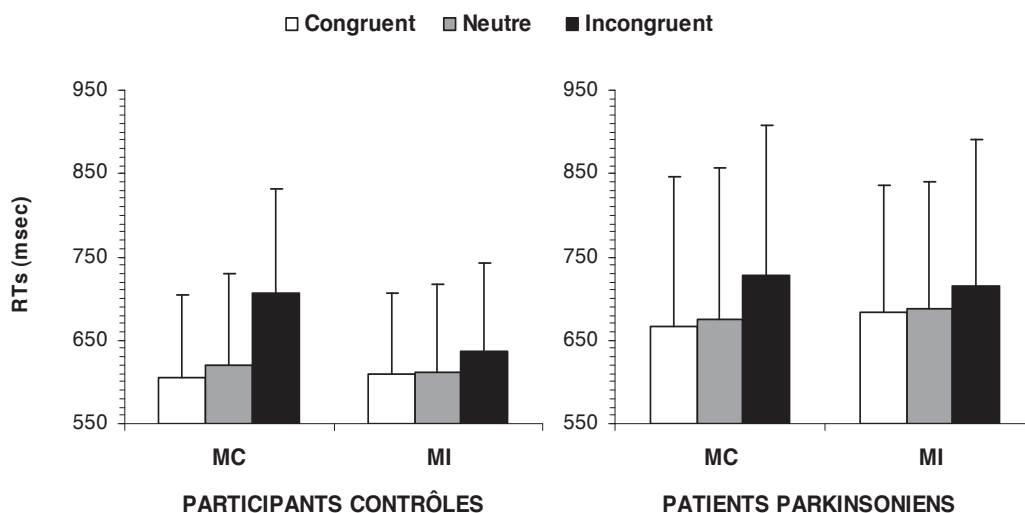


Figure 18. Moyennes des temps de réponse médians des participants contrôles et des patients parkinsoniens en fonction de la congruence de l'essai et de la condition, majoritairement congruente (MC) et incongruente (MI). Les barres d'erreur représentent les écart-types. * indique $p < .05$.

Comme l'analyse en fonction de la congruence chez les participants contrôles indique que le traitement d'un stimulus incongruent réduit l'interférence sur l'essai suivant (voir plus haut), il est donc nécessaire d'exclure la possibilité que la réduction de l'effet d'interférence observée dans la condition MI soit due aux effets de la congruence précédente (car par définition, dans la condition MI, les stimuli incongruents sont plus souvent précédés par un stimulus incongruent que dans la condition MC). Une analyse restreinte aux essais incongruents précédés par un essai congruent exclu cet effet. Cette analyse montre que chez les participants contrôles, les stimuli incongruents sont encore traités plus rapidement dans la condition MI que dans la condition MC (700 ms vs. 641 ms; $z = 2.85$). Cette même analyse montre que chez les patients parkinsoniens, aucune différence n'est observée (734 ms vs. 705 ms; $z = 1.02$; $p > .05$).

Corrélations avec les variables cliniques

Des corrélations ont été calculées entre les scores des patients parkinsoniens à la tâche de type Stroop (TR et scores d'interférence) et leurs caractéristiques cliniques. Aucune corrélation n'est observée entre les performances au test et l'âge, la durée de la maladie, le score moteur UPDRS, le score de l'échelle d'Hoehn et Yahr et le score MADRS ($r_s < .4$ and $ps > .1$).

Discussion

La présente étude visait à déterminer si les ajustements transitoires et soutenus de la résolution de conflit étaient affectés dans la maladie de Parkinson. Dans l'ensemble, bien que la taille de l'effet d'interférence chez les patients parkinsoniens ne diffère pas de celle des participants contrôles, nos résultats différencient clairement les deux groupes en termes de modulation de la résolution de conflit, indiquant un subtil déficit de contrôle dans la maladie de Parkinson. Une analyse des effets séquentiels (influence de l'essai $n-1$ sur l'essai n) montre que dans le groupe des participants contrôles, mais pas dans celui des patients parkinsoniens, le traitement d'un stimulus incongruent améliore le processus de résolution de conflit sur l'essai suivant.

De plus, les participants contrôles, mais pas les patients parkinsoniens, présentent une réduction des TR des essais incongruents dans la condition MI, réduisant ainsi la taille de l'effet d'interférence.

La préservation de la taille globale de l'effet d'interférence dans la maladie de Parkinson est en accord avec les résultats de précédentes études (e.g. Cagigas et al., 2007 ; Falkenstein et al., 2006 ; Woodward et al., 2002), et suggère que certains mécanismes de contrôle nécessaires pour résoudre le conflit suscité par le traitement d'un stimulus incongruent sont préservés chez les patients parkinsoniens. Cependant, le fait que les patients parkinsoniens tendent à présenter de plus larges TR que ceux des participants contrôles dans le traitement des essais congruents, affectant ainsi l'amplitude de l'effet d'interférence, peut expliquer l'absence de différence globale entre les deux groupes. Mais des différences apparaissent quand on s'intéresse aux modulations de l'effet d'interférence.

En accord avec les modulations des processus de résolution de conflit, nos résultats, qui indiquent chez les participants contrôles une réduction de l'interférence suivant un stimulus incongruent et quand la proportion de stimuli incongruents est forte, s'accordent bien avec nos hypothèses de travail et les résultats de précédents travaux (De Pisapia & Braver, 2006; Freitas et al., 2007). De plus, comme prédit, nous avons trouvé que ces modulations des processus de gestion de conflit étaient absentes chez les patients parkinsoniens.

L'absence de modulation de l'interférence d'un essai à l'autre chez les patients parkinsoniens est en accord avec des précédents résultats montrant une absence de modulation séquentielle de même type dans l'effet Simon (*Simon effect* ; Fielding, Georgiou-Karistianisa, Bradshawa, Millist, & White, 2005. Ceci suggère un déficit du mécanisme impliqué dans les ajustements du contrôle cognitif normalement déclenchés par le processus de détection du conflit (Botvinick et al., 2001 ; De Pisapia & Braver, 2006 ; Freitas et al., 2007).

L'absence d'effet de la proportion de stimuli incongruents chez les patients parkinsoniens pourrait refléter un déficit du contrôle proactif dans la maladie de Parkinson. De plus, en lien avec des études précédentes (Troche, Trenkwalder, Morelli-Canelo, Gibbons, & Rammsayer, 2006), l'absence de déficit dans la condition MC pourrait indiquer une préservation des mécanismes impliqués dans le contrôle réactif.

Braver et ses collaborateurs ont postulé que le contrôle proactif implique des interactions entre le système dopaminergique nigro-striatal et le cortex préfrontal latéral (Braver & Cohen, 2000 ; Braver et al., 2007). Il est admis que la maladie de Parkinson affecte le fonctionnement de ces boucles fronto-striatales, mais d'autres systèmes neuronaux et neurotransmetteurs peuvent également contribuer aux dysfonctionnements cognitifs observés dans cette maladie (Jellinger, 1991 ; Moore et al., 2008). Dans la présente étude, comme nous ne comparons pas les performances des patients avec et sans traitement médicamenteux, les rôles de la dopamine et de la demande en ressources attentionnelles des tâches restent à tester lors de futures recherches.

Par ailleurs, il ne peut être exclu que l'absence, chez les patients parkinsoniens, d'ajustements du contrôle cognitif normalement déclenché par une forte proportion de stimuli incongruents, soit liée à un déficit de ressources attentionnelles (Brown & Marsden, 1988; Woodward et al., 2002), la condition MI étant plus demandeuse en termes de ressources que la condition MC. Concernant l'absence de modulation séquentielle de l'interférence chez les patients parkinsoniens, il est en revanche plus difficile de l'attribuer à un déficit de ressources attentionnelles.

Conclusion

Dans l'ensemble, nos résultats montrent que la maladie de Parkinson peut être la cause de subtils déficits cognitifs en termes d'ajustement des processus de résolution du conflit. Nous suggérons que les mécanismes de contrôle proactif peuvent être affectés dans la maladie de Parkinson, alors que le contrôle réactif serait relativement préservé. De plus, comme le test de Stroop et d'autres tâches conflictuelles similaires sont largement utilisés pour explorer le contrôle exécutif, à la fois dans la pratique clinique et en recherche fondamentale, notre étude invite à porter une attention particulière au rôle potentiel des ajustements transitoires et soutenus du contrôle cognitif.

Chapitre 6

Discussion générale

Rappel du cadre théorique : les variations d'efficacité du contrôle exécutif

En vue d'étudier certains aspects du fonctionnement du contrôle exécutif, nous avons considéré une situation classique susceptible de le mobiliser : la réalisation volontaire d'une simple tâche de temps de réaction à choix. Nous avons adopté le cadre théorique communément admis selon lequel le contrôle exécutif interviendrait dans l'action volontaire pour réguler le comportement en fonction d'un but interne, c'est-à-dire 1) pour activer et maintenir les informations relatives au but de l'action et permettant de l'atteindre, et 2) pour gérer l'interférence notamment issue des affordances de l'environnement, susceptibles de déclencher des actions non conformes au but (e.g. Miller & Cohen, 2001). Le contrôle exécutif interviendrait également pour garantir une certaine flexibilité du système cognitif, afin de répondre rapidement à des priorités de plus haut niveau, signalées par l'environnement (Allport, 1989 ; Goschke, 2003).

Cette conception générale a été précisée en référence à une conception théorique selon laquelle la réalisation d'une tâche est déterminée cognitivement par l'activation d'une représentation abstraite de cette tâche, le *set*, qui renvoie à une configuration spécifique du système cognitif (e.g. Monsell, 1996). L'étude du contrôle exécutif a donc été envisagée comme l'étude du contrôle du *set*, à savoir son établissement, son maintien dans le temps face à d'éventuels déclencheurs externes, et son abandon. Les processus de contrôle renvoient donc ici aux mécanismes participant à l'établissement et à la régulation du *set* nécessaires à la réalisation d'une tâche. Ainsi, le fait de se préparer à adopter un nouveau *set* nécessite la mise en œuvre d'un système de contrôle, notamment pour empêcher l'application des *sets* non pertinents. Si l'adoption anticipée du *set* échoue, le système de contrôle intervient alors pour résoudre le conflit entre les multiples réponses activées.

Une manière d'étudier le contrôle exécutif est d'explorer les déterminants de ses variations d'efficacité. Dans une perspective neuroscientifique, on peut envisager que le contrôle exécutif dépende soit d'un seul soit de plusieurs réseaux neuronaux. Dans une conception où un seul système est envisagé (e.g. Botvinick et al., 2001), il convient de s'intéresser aux facteurs susceptibles de moduler le fonctionnement de ce système. Dans cet esprit, on s'est intéressé à des variables contextuelles susceptibles d'influencer l'état d'apprêtement à un nouveau *set* lié à une tâche.

Dans une conception où plusieurs systèmes sont envisagés (e.g. Braver et al., 2007 ; Brown et al., 2007), il convient notamment de s'intéresser aux situations susceptibles de mettre en jeu spécifiquement un système plutôt qu'un autre, pour valider le modèle structural proposé. Dans cet esprit, on s'est intéressé au modèle à deux voies de contrôle de Braver (Braver et al., 2007), qui distingue un mode de contrôle proactif, caractérisé par l'activation anticipée et le maintien du *set* avant l'arrivée de l'évènement à traiter, d'un mode réactif, caractérisé par la résolution tardive de l'interférence si elle a lieu, pour éviter la production d'une réponse erronée.

Enfin, ce travail nous a amenée à nous interroger sur l'intérêt d'utiliser dans ce domaine de recherche le concept de *set* associé à une tâche, et d'utiliser le paradigme de permutation de tâche pour étudier le contrôle exécutif. La dernière section de cette discussion apporte des éléments de réponse à cette question.

Les déterminants stratégiques des processus de contrôle

Les caractéristiques du contexte amènent à des modulations fonctionnelles des processus de contrôle (De Pisapia & Braver, 2006 ; Monsell & Mizon, 2006). Nous nous sommes intéressée plus précisément aux modulations fonctionnelles des processus de contrôle impliqués dans l'établissement d'un *set*, en examinant dans quelle mesure des variations contextuelles pouvaient affecter la réalisation d'une nouvelle tâche.

Le chapitre 3 montre que le degré d'activation d'un ou plusieurs *sets* varie en fonction de certaines caractéristiques du contexte, à savoir ici la probabilité de permutation de tâche dans un bloc d'essais. En effet dans un contexte d'incertitude sur la nature de la prochaine tâche, une forte proportion de changements de tâches est associée à une réduction des TR aux essais de permutation, à une augmentation des TR aux essais de répétition, et donc à une réduction du coût de permutation par rapport à un contexte de faible proportion de changements de tâche. Ces résultats confirment l'existence d'une balance dynamique entre stabilité et flexibilité selon l'aspect plus ou moins stable du contexte (Goschke, 2003 ; Allport 1989). Ces résultats apportent des arguments expérimentaux – moins contestables par rapport aux précédentes études – en faveur de l'hypothèse que l'établissement d'un *set* n'est pas un processus en tout

ou rien mais plutôt en «juste assez» (Goschke, 2003).

Cependant, il semble que certaines variables contextuelles – comme ici la proportion de stimuli conflictuels (chapitre 2) – n’influencent pas le contrôle impliqué dans l’adoption d’un nouveau *set*. Ainsi, contrairement à nos hypothèses de départ, les résultats du chapitre 2 montrent que l’augmentation de la proportion de stimuli conflictuels n’a aucune incidence sur le coût de permutation. Néanmoins, cette étude apporte un résultat nouveau, puisqu’elle montre (1) que l’augmentation de la proportion de stimuli conflictuels provoque une réduction de l’effet d’interférence dans un contexte de **bloc mixte où alternent deux tâches**, et (2) que ce rehaussement peut concerner **les deux types d’essais : répétition et permutation** (expérience 3). Ce résultat reproduit l’effet observé dans les blocs simples avec une seule tâche des expériences de type Stroop (e.g. Botvinick et al. 2001), montrant ainsi la flexibilité d’un tel processus d’ajustement du conflit.

Un résultat important rapporté dans le chapitre 2 est que l’amélioration de la gestion du conflit dans une tâche n’affecte pas la capacité à abandonner cette tâche pour une autre tâche (pas d’effet sur le coût de permutation). D’autres études montrent par ailleurs que le délai de préparation influe sur le coût de permutation, mais pas sur l’effet d’interférence (e.g., De Jong, 1995 ; Meiran, 1996). Les résultats du chapitre 2 concourent ainsi à suggérer l’existence d’une dissociation entre deux mécanismes de contrôle : l’un agissant au niveau de l’établissement du *set*, et l’autre au niveau de la gestion du conflit entre *sets*, dans la mesure où le niveau de contrôle exercé à chacun de ces niveaux n’est pas modulé par les mêmes facteurs contextuels.

Une variante de cette hypothèse est que des processus de gestion du conflit, spécifiques de chaque tâche, opèrent en parallèle (Egner, 2008). Dans ce cas, il est possible que la gestion du conflit n’opère ici par exemple qu’au niveau de l’étape de sélection de la réponse, et n’opère pas plus en amont, c’est-à-dire au niveau de la représentation des règles des tâches, contrairement aux processus impliqués dans l’établissement du *set*. Il est alors logique d’observer une indépendance entre gestion du conflit et changement de tâche.

Considérés conjointement, les résultats des deux premiers chapitres expérimentaux nous renseignent sur l’origine du coût associé à un changement de tâche. Ainsi, contrairement à ce que suggère l’hypothèse de reconfiguration (Rogers & Monsell, 1995), nos résultats montrent que des processus de contrôle

sont en œuvre lorsque la tâche se répète, et pas seulement lorsque la tâche change. Néanmoins, contrairement à ce que suggère l'hypothèse d'activation (Altmann, 2002), nos résultats suggèrent l'existence de processus de contrôle propres aux essais de répétition, et de processus propres aux essais de permutation. Nous montrons en effet que les essais de répétition sont spécifiquement affectés par la proportion de stimuli conflictuels quand celle-ci n'était manipulée que sur ce type d'essai (chapitre 2, expérience 2), et que les essais de répétition sont sensibles aux variations de probabilité de changement de tâche (chapitre 3, expérience 2).

Contrôle proactif / contrôle réactif : deux modes de contrôle qui se traduisent par des indices comportementaux

Nos résultats confirment l'hypothèse de l'existence de deux modes de contrôle différents selon la possibilité ou non d'anticiper et se préparer à une action (Braver et al., 2007).

Premièrement, les résultats du chapitre 3 montrent une influence distincte de la proportion de changement de tâche sur le coût de permutation selon le degré de certitude concernant la tâche à venir. Ils suggèrent la mise en jeu de mécanismes de contrôle différents, selon la possibilité (contrôle proactif) ou non (contrôle réactif), d'adopter un *set* avant l'arrivée du stimulus à traiter (Braver et al., 2007).

Deuxièmement, les résultats des expériences du chapitre 4, suggèrent l'existence de mécanismes d'inhibition spécifiques du mode de contrôle mis en œuvre. Ils confirment partiellement l'existence d'un mécanisme d'inhibition du *set* spécifiquement associé au contrôle proactif. On peut admettre que l'adoption **anticipée** et le maintien actif d'un *set* lors d'un changement de tâche engendreraient l'inhibition du *set* de la tâche venant juste d'être exécutée (e.g. Mayr & Keele, 2000). Ce processus d'inhibition latérale serait spécifiquement associé au contrôle proactif (Braver et al., 2007). Nous observons des traces comportementales de cette inhibition, mais dans certaines conditions seulement. En effet dans l'expérience 1 nous observons 1) un phénomène d'inhibition rétroactive, ou ralentissement de la performance sur une tâche venant juste d'être inhibée (e.g. Mayr & Keele, 2000), et 2) une influence moindre d'un distracteur évoquant une tâche venant juste d'être inhibée (Hübner et al., 2003 ; Kuhns

et al., 2007), mais seulement pour les essais congruents. Nous n'observons pas ces phénomènes dans l'expérience 2. Cependant, nos résultats suggèrent que l'adoption anticipée d'un *set* - et donc le mode de contrôle proactif - est associé à un état réduit d'activation des *sets* concurrents, par rapport à une condition où il n'est pas possible d'établir un *set* de manière anticipée (condition de contrôle réactif). Il est donc possible que, sous certaines conditions, ce processus d'inhibition latérale concerne l'ensemble des *sets* concurrents et pas seulement le *set* associé à la tâche venant juste d'être inhibée (Druey & Hübner, 2007).

De manière originale et plus convaincante, les résultats du chapitre 4 apportent des preuves comportementales en faveur d'un mécanisme spécifiquement associé au contrôle réactif, à savoir la suppression *on line* du *set* évoqué par les distracteurs présents avec le stimulus cible. En effet, nous avons observé dans la condition réactive de l'expérience 2, mais dans aucune des conditions proactives des expériences 1 et 2, des traces comportementales d'un mécanisme de suppression *on line* de l'interférence des *sets* concurrents, à savoir : 1) un effet d'amorçage négatif au niveau du *set* et 2) une performance plus rapide sur l'essai *n*, si son distracteur provenait de la même tâche que le distracteur de l'essai *n-1* (effet de répétition des distracteurs au niveau du *set*).

Troisièmement, en utilisant un paradigme de type Stroop dans une approche neuropsychologique chez des patients souffrant de la maladie de Parkinson, le chapitre 5 tend à valider l'hypothèse d'un lien entre le système dopaminergique nigrostrié et l'efficacité du contrôle proactif (Braver et al., 1999, 2001, 2002, 2007). En effet, contrairement aux participants contrôles, les patients ne présentaient pas de réduction de la taille de l'interférence quand la proportion de stimuli conflictuels augmentait, ni après le traitement d'un stimulus conflictuel, ces deux phénomènes étant associés au contrôle proactif (De Pisapia & Braver, 2006). Il convient cependant, pour confirmer cette hypothèse, d'envisager une étude comparant la performance des patients avec et sans traitement dopaminergique.

L'étude comportementale du contrôle exécutif : paradigmes et concepts

L'utilisation d'un paradigme aussi simple que celui de Stroop nous a permis d'appréhender finement les processus de gestion de l'interférence et de mettre ainsi en évidence un subtil déficit d'ajustement des processus de résolution du

conflit dans la maladie de Parkinson. Cependant, en utilisant un tel paradigme, il est difficile de discerner à quel niveau les processus de gestion de conflit ont lieu : au niveau du traitement du stimulus, du *set* ou de l'étape de sélection de la réponse (e.g. Goldfarb & Henik, 2007). De plus, ce paradigme ne permet pas d'étudier les processus de contrôle potentiellement en jeu dans l'établissement d'un *set*.

L'utilisation du paradigme de permutation de tâche nous a permis d'étudier les processus de gestion de conflit qui se produisent au niveau du *set* (chapitre 4). En effet, seul le changement de tâche semble permettre d'observer des mécanismes spécifiques de gestion de l'interférence au niveau du *set*. De plus, nous avons pu mettre en évidence ici des traces comportementales de l'efficacité du contrôle réactif jusque là inexistantes. Ce dernier résultat nous permet potentiellement de tester l'hypothèse spéculative de Braver (Braver et al., 2007), selon laquelle les patients souffrant de troubles obsessionnels compulsifs (TOC) pourraient présenter la dissociation inverse de celle que nous observons dans le chapitre 5 chez les patients parkinsoniens, à savoir une sur-dépendance de ces patients au contrôle proactif, même sous des conditions promouvant normalement des stratégies réactives. Un certain nombre d'études électrophysiologiques et d'imagerie cérébrale fonctionnelle peuvent constituer des arguments en faveur de cette hypothèse. En effet, plusieurs études suggèrent un déficit d'ajustement du contrôle en fonction du contexte dans cette pathologie (Endrass et al., 2010 ; Gründler, Cavanagh, Figueroa, Frank, & Allen, 2009 ; Hammer, Kordon, Heldmann, Zurowski, & Münte, 2009). Cependant, contrairement aux patients parkinsoniens, ce déficit irait plutôt dans le sens d'un excès de contrôle dans les situations qui exigent peu de contrôle (Endrass et al., 2010 ; Hammer et al., 2009). Si la mobilisation des processus de contrôle est souvent associée à des performances comportementales normales dans cette pathologie (Endrass, Klawohn, Schuster, & Kathmann, 2008 ; Endrass et al., 2010 ; Gründler et al., 2009 ; Hammer et al., 2009 ; Maltby, Tolin, Worhunsky, O'Keefe, & Kiehl, 2005 ; Page et al., 2009 ; Roth et al., 2007), les études neurophysiologiques observent généralement une suractivité des circuits striato-frontaux et des régions cérébrales engagées dans la détection d'erreur et la surveillance du conflit, comme le cortex cingulaire antérieur (Endrass et al., 2008 ; Endrass et al., 2010 ; Fitzgerald et al., 2005 ; Hammer et al., 2009 ; Malby et al., 2005). Nous pourrions tenter d'objectiver la présence de traces comportementales associées au contrôle proactif et l'absence de traces associées au contrôle réactif dans des conditions censées promouvoir la mise en jeu du contrôle réactif, en utilisant un protocole similaire à celui utilisé dans le chapitre 4.

Par ailleurs, contrairement aux tâche de type Stroop, le paradigme de permutation de tâche permet d'inférer les processus de contrôle impliqués dans l'établissement d'un *set*, en regardant notamment quels sont les facteurs susceptibles de moduler l'amplitude du coût de permutation lors d'un changement de tâche. En effet, mesurer la taille du coût de permutation constitue une manière indirecte d'explorer les processus mentaux impliqués dans l'adoption d'un *set* (Monsell, 1996). Cette mesure nous a permis d'appréhender des facteurs contextuels susceptibles (chapitre 3) ou non (chapitre 2) de moduler le degré d'activation d'un ou plusieurs *set*, avant l'arrivée du stimulus à traiter.

Cependant, nous avons également été confrontée aux limites de l'utilisation de ce paradigme. Premièrement, les résultats du chapitre 2 questionnent l'utilisation de ce paradigme et notamment l'interprétation du coût de permutation, comme mesure indirecte des processus de contrôle permettant l'établissement d'un *set* (Meiran, 1996 ; Monsell, 1996 ; Rogers & Monsell, 1995). Si les facteurs contextuels favorisant l'adoption d'un nouveau *set* lors d'un changement de tâche engendrent une réduction de l'interférence des *sets* concurrents (voir chapitre 4) et donc une réduction du coût de permutation (e.g. Rogers & Monsell, 1995), alors à l'inverse les facteurs contextuels favorisant le maintien d'un *set* (e.g. Logan & Zbrodoff, 1979) auraient dû engendrer une augmentation de cette interférence lors d'un changement de tâche, et donc une augmentation du coût de permutation. Or, les résultats du chapitre 2 suggèrent que l'augmentation de la quantité d'information conflictuelle n'a pas d'incidence sur l'amplitude du coût de permutation. De plus, ils suggèrent que l'influence de la quantité d'information conflictuelle sur la gestion de l'interférence est spécifique du type d'essai : quand cette quantité n'était manipulée que sur les essais de répétition, seule l'amplitude de l'interférence sur ces essais était affectée, alors que quand cette quantité était manipulée sur les deux types d'essai, l'interférence était affectée sur les deux types d'essai. Finalement, à défaut d'étudier ici les processus qui régissent l'établissement d'un *set*, nous mettons en évidence l'existence d'un statut particulier pour les essais de répétition d'une part, et les essais de permutation d'autre part.

Deuxièmement, le paradigme de *permutation de tâche* s'avère être un protocole relativement complexe, au sein duquel les effets observés - quand on arrive à les obtenir et quand ils ne sont pas confondus avec d'autres effets - sont souvent sujets à de multiples interprétations. En effet, les temps de réponse obtenus sont souvent relativement longs et impliquent une multitude d'étapes de traitements de l'information (voir chapitre 1), rendant difficile l'obtention de

certains phénomènes. Par exemple, tout au long de ce travail de thèse, il nous a été particulièrement difficile d'obtenir le phénomène d'inhibition résiduelle (voir chapitre 4) associé à l'inhibition de la tâche précédente quand l'adoption anticipée d'un nouveau *set* est possible, malgré les multiples remaniements méthodologiques dont a fait l'objet un grand nombre de nos expériences. Druey et Hübner (2007) font d'ailleurs part dans leur étude de leur difficulté à observer ce même phénomène.

De plus les effets observés sont souvent sujets à de nombreuses interprétations. Par exemple, un nombre conséquent d'études a tenté de mieux caractériser le subtil déficit de contrôle associé à la maladie de Parkinson au moyen du paradigme de *permutation de tâche*. Plusieurs études ont trouvé une augmentation du coût de permutation chez les patients parkinsoniens comparativement à des sujets sains (e.g. Cools, Barker, Sahakian, & Robbins, 2001 ; Hsieh, Chuang, Hwang, & Pai, 1998 ; Pollux, 2004 ; Rogers et al., 1998 ; mais voir Meiran, Friedman, & Yehene, 2004). Selon les études, et étant données les diverses variations des paramètres utilisés, l'allongement du coût de permutation a été attribué à différents déficits. Il a parfois été attribué à un déficit pour inhiber l'information non pertinente (Pollux, 2004, mais voir Flowers & Robertson, 1985 ; Gauntlett-Gilbert, Roberts, & Brown, 1999 ; Richards, Cote, & Stem, 1993), ou au contraire à une exacerbation de l'inhibition latérale de la tâche venant juste d'être réalisée dans le cas d'un changement de tâche anticipé (Bouquet, Bonnaud, & Gil, 2005 ; Fales, Vanek, & Knowlton, 2006). D'autres fois, l'allongement du coût de permutation a été attribué à un problème de maintien ou de surcharge en mémoire de travail (Brown & Marsden, 1988 ; Cools et al., 2001 ; Rogers et al., 1998).

Enfin, d'un point de vue théorique, nous avons choisi d'étudier les déterminants des variations d'efficacité du contrôle à travers le concept de *set*, parmi une multitude d'approches possibles (e.g. Baddeley, 1986 ; Goldman-Rakic, 1995 ; Grafman, 1989 ; Laberge, Auclair, & Siéroff, 2000 ; Miyake et al., 2000). Dans le chapitre 1, nous avons insisté sur l'intérêt d'utiliser d'une telle approche, par rapport aux approches dites structurales (Miyake et al., 2000), et nous avons conclu à une similitude entre notre approche, et les approches attentionnelles (e.g. Laberge et al. 2000). Il convient donc de s'interroger sur l'intérêt de l'approche que nous avons adoptée, par rapport à une approche attentionnelle.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, la différence principale entre les deux approches concerne le niveau de la représentation cognitive utilisée. En effet, le *set* lié à une tâche est différent du *set* attentionnel car il ne réfère pas à la représentation d'un stimulus précis, mais à un ensemble de règles et de réponses possibles d'appliquer à un ensemble de stimuli possibles (e.g. Sakai, 2008). L'approche plus complexe du contrôle exécutif au moyen du *set* associé à une tâche n'a d'intérêt que si elle permet de mettre en évidence des mécanismes de contrôle distincts de ceux mis en jeu via l'utilisation d'un *set* attentionnel.

Dans certains cas, les deux types d'approche semblent faire référence aux mêmes mécanismes de contrôle exécutif. Par exemple, dans le chapitre 4, nous avons mis en évidence dans une condition réactive ne permettant pas de préparation à un *set*, un phénomène d'amorçage négatif au niveau du *set* lié à une tâche, pouvant refléter un mécanisme d'inhibition de l'ensemble des stimuli se rapportant à une même tâche, comme par exemple l'inhibition de l'ensemble des chiffres impliqués dans une tâche de type «dire si le chiffre est pair ou impair» (voir aussi Mayr & Keele, 2000). Ce phénomène d'amorçage négatif au niveau du *set* lié à une tâche, pourrait refléter le même mécanisme d'inhibition que celui associé au phénomène d'amorçage négatif d'un stimulus particulier (comme par exemple le chiffre 5), distracteur à l'essai $n-1$ et cible à l'essai n (e.g. Tipper, 1985).

Dans d'autre cas cependant, les deux niveaux de représentation semblent appeler des mécanismes de contrôles distincts, ou tout au moins un décours temporel distinct des processus de contrôle en jeu. Considérons par exemple les processus impliqués dans la préparation à l'action. Au niveau du *set* attentionnel, s'il s'agit de se préparer à traiter un stimulus particulier au lieu d'un autre (comme par exemple le chiffre 6 au lieu du chiffre 5), Posner et Dehaene (1994) ont proposé une suppression précoce des informations non pertinentes (le chiffre 5), suivie par une amplification anticipée de l'activité évoquée par le stimulus cible (le chiffre 6) dans les réseaux corticaux pertinents. Au contraire, au niveau du *set* lié à une tâche, un ensemble de travaux concourent à montrer que s'il s'agit de se préparer à réaliser une tâche plutôt qu'une autre, l'inhibition d'un *set* lié à une tâche venant juste d'être réalisée serait la conséquence de l'activation anticipée du *set* lié à la tâche pertinente (voir chapitre 4 ; Dreisbach, Haider, & Kluwe, 2002). Cet exemple permet d'argumenter en faveur de l'intérêt d'étudier le contrôle exécutif via le contrôle du *set* lié à une tâche : le contrôle du *set* lié à une tâche doit être associé à un décours de processus spécifiques à un tel niveau de représentation. A l'appui de cette idée, il convient de mentionner l'existence

d'interactions entre les phénomènes observés dans l'étude du contrôle du *set*, et les ceux observés dans la sélection précoce de localisations. Par exemple, Arbuthnott (Arbuthnott, 2005 ; Arbuthnott & Woodward, 2002) montre que le phénomène d'inhibition rétroactif associé à l'inhibition de la tâche venant juste d'être réalisée, n'est plus observé quand la tâche pertinente est pré-indicée de manière spatiale.

Ainsi, l'étude du contrôle exécutif via l'étude du contrôle du *set* lié à une tâche a toute sa légitimité par rapport à des approches utilisant des représentations cognitives de plus bas niveau, pour étudier comment le contrôle cognitif est mis en œuvre à partir de l'intention de réaliser une tâche, en spécifiant les processus de contrôle impliqués dans la mise en place d'un *set*. Dans la mesure où le *set* lié à une tâche fait référence à un ensemble de stimuli, de règles et de réponses possibles, cela semble permettre d'induire une plus grande variété de mécanismes de contrôle que l'approche du contrôle exécutif via le *set* attentionnel.

Conclusion

Ce travail de thèse montre que certains facteurs contextuels, comme la probabilité de changement de tâche, amènent à des modulations du contrôle impliqué dans l'adoption d'un *set*, tandis que d'autres, comme la proportion de stimuli conflictuels, n'ont pas d'incidence sur ce processus. Il apporte également des preuves comportementales et neurophysiologiques en faveur de l'existence de deux modes distincts de contrôle selon la possibilité ou non d'adopter un *set* avant l'arrivée du stimulus.

C'est l'utilisation du paradigme de permutation de tâche qui nous a permis de mettre en évidence des variations dans le degré d'activation d'un ou plusieurs *sets* selon les caractéristiques plus ou moins changeantes du contexte, et de recueillir des preuves comportementales validant l'existence de modes distincts de contrôle du *set*. La découverte de telles preuves offre ainsi la possibilité de mieux comprendre les spécificités du fonctionnement exécutif associé à certains désordres neurologiques et psychiatriques.

Cependant, certains résultats obtenus avec ce paradigme sont difficiles à interpréter. Ils questionnent par exemple l'idée que le coût de permutation permette réellement de cibler de manière indirecte les processus de contrôle

impliqués dans l'établissement d'un *set*. Aussi, il est difficile d'interpréter les déficits de performance observés dans certaines pathologies en utilisant un paradigme aussi complexe. Pour cette raison, nous avons préféré utiliser une épreuve de type Stroop pour caractériser le subtil déficit de contrôle exécutif observé dans la maladie de Parkinson.

Ce travail de thèse légitime cependant l'intérêt d'utiliser le concept de *set* associé à une tâche dans l'étude du contrôle exécutif impliqué dans l'action volontaire, dans la mesure où il semble exister dans certains cas, une dynamique de processus de contrôle distincts, selon que l'on utilise une telle représentation cognitive, ou une représentation cognitive de plus bas niveau comme le *set* attentionnel.

Pour conclure, certaines questions non abordées dans ce travail de thèse et encore peu explorées dans la littérature, méritent l'attention de futures recherches s'intéressant à l'établissement d'un *set*. Par exemple, si le rôle de la trace épisodique a été largement évoqué pour expliquer la baisse de performance observée lors d'un changement de tâche (e.g. Allport & Wylie, 2000 ; Waszack et al., 2003), aucune étude n'a, à notre connaissance, étudié l'impact de patients souffrant d'un déficit antérograde de la mémoire épisodique sur la performance des essais de permutation. Par ailleurs, la question de l'aspect distribué ou localisé des fonctions exécutives, pourrait recevoir des éléments de réponse au moyen de paradigmes de permutations de tâches permettant de distinguer un déficit stratégique d'une réelle incapacité (De Jong, 1999), en comparant les performances de patients présentant des atteintes cérébrales distribuées versus focales.

Bibliographie

- Aarts, E., Roelofs, A., & Van Turenout, M. (2009). Attentional Control of Task and Response in Lateral and Medial Frontal Cortex: Brain Activity and Reaction Time Distributions. *Neuropsychologia*, 47, 2089-2099.
- Allport, D.A. (1987). Selection for action: some behavioral and neuropsychological considerations of attention and action. In H. Heuer & A. F. Sanders (Eds.), *Perspectives on Perception and Action* (pp. 395–419). Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum.
- Allport, D. A. (1989), Visual Attention. In M. I. Posner (Ed.), *Foundations of Cognitive Science*. Cambridge, MA: MIT Press
- Allport, D. A., Styles, E. A., & Hsieh, S. (1994). Shifting Intentional set: Exploring the dynamic control of tasks. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention & performance XV: Conscious and nonconscious information processing* (pp. 421-452). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Allport, D. A., & Wylie, G. (1999). Task-switching: Positive and negative priming of task-set. In G. W. Humphreys, J. Duncan, & A. M. Treisman (Eds.), *Attention, space and action: Studies in cognitive neuroscience* (pp. 273–296). Oxford, England: Oxford University Press.
- Allport, D. A., & Wylie, G. (2000). Task switching, stimulus-response bindings, and negative priming. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of cognitive processes* (pp 35-70). Cambridge, MA: MIT Press.
- Altmann, E. M. (2002). Functional decay of memory for tasks. *Psychological Research*, 66, 287–297.
- Altmann, E. M. (2003). Task switching and the pied homunculus: Where are we being led? *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 340–341.

- Altmann, E. M. (2004). Advance preparation in task switching. *Psychological Science, 15*, 616-622.
- Altmann, E. M. (2006). Task switching is not cue switching. *Psychonomic Bulletin & Review, 13*, 1016-1022.
- Altmann, E. M. (2007). Comparing Switch Costs: Alternating Runs and Explicit Cuing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 33*, 475-483.
- Altmann, E. M., & Gray, W. D. (2002). Forgetting to remember: The functional relationship of decay and interference. *Psychological Science, 13*, 27-33.
- Altmann, E. M., & Gray, W. D. (2008). An Integrated Model of Cognitive Control in Task Switching. *Psychological Review, 115*, 602-639.
- Anderson, J. R. (1993). *Rules of the Mind*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Arbuthnott, K. D. (2005). The influence of cue type on backward inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 31*, 1030-1042.
- Arbuthnott, K., & Frank, J. (2000). Executive control in set switching: Residual switch cost and task-set inhibition. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 54*, 33-41.
- Arbuthnott, K. D., & Woodward, T. S. (2002). The influence of cue-task association and location on switch cost and alternating-switch cost. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 56*, 18-29.
- Aron, A. R., Monsell, S., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (2004). A componential analysis of task-switching deficits associated with lesions of left and right frontal cortex. *Brain, 127*, 1561-1573.
- Astor-Jack, T., & Haggard, P. (2005). Intention and reactivity. In G. W. Humphreys & M. J. Riddoch (Eds.), *Attention in action: Advances from cognitive neuroscience* (pp. 109-130). Hove, UK: Psychology Press.

- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. London/New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the Central Executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *49*, 5-28.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory ? *Trends in Cognitive Science*, *4*, 417-423.
- Baddeley, A. D., Della Sala, S., Papagno, C., & Spinnler, H. (1997). Dual-task performance in dysexecutive and nondysexecutive patients with a frontal lesion. *Neuropsychology*, *11*, 187-194.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G.A. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation* (pp.47-90). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). Working memory: The multiplecomponent model. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 28–61). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Badre, D., & Wagner, A. D. (2006). Cognitive and neurobiological mechanisms underlying cognitive flexibility. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, *103*, 7186-7191.
- Bench, C. J., Frith, C. D., Grasby, P. M., Friston, K. J., Paulesu, E., Frackowiak, R. S., & Dolan, R. J. (1993). Investigations of the functional anatomy of attention using the Stroop test. *Neuropsychologia*, *32*, 907–922.
- Bertelson, P., & Tisseyre, F. (1966). Choice reaction time as a function of stimulus versus response relative frequency of occurrence. *Nature*, *212*, 1069–1070.
- Beste, C., Willemsen, R., Saft, C., & Falkenstein, M. (2009). Error processing in normal aging and in basal ganglia disorders. *Neuroscience*, *159*, 143–149.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. C. (2001).

- Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, *108*, 624-652.
- Bouquet, C. A., Bonnaud, V., & Gil, R. (2005). Evaluation de la flexibilité de patients atteints de la maladie de Parkinson dans une épreuve de permutation de tâches : Effets du type de séquence de tâches. *Revue Neurologique*, *161*, 110-1112.
- Braver, T. S., Barch, D. M., & Cohen, J. D. (1999). Cognition and control in schizophrenia: A computational model of dopamine and prefrontal function. *Biological Psychiatry*, *46*, 312-328.
- Braver, T. S., Barch, D. M., Keys, B. A., Carter, C. S., Cohen, J. D., Kaye, J. A., ... Reed, B. R. (2001). Context processing in older adults: Evidence for a theory relating cognitive control to neurobiology in healthy aging. *Journal of Experimental Psychology: General*, *130*, 746-763.
- Braver, T. S., & Cohen, J. D. (2000). On the Control of Control : The Role of Dopamine in Regulating Prefrontal Function and Working Memory. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of cognitive processes* (pp 713-737). Cambridge, MA: MIT Press.
- Braver, T. S., Cohen, J. D., & Barch, D. M. (2002). The role of the prefrontal cortex in normal and disordered cognitive control: A cognitive neuroscience perspective. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of Frontal Lobe Function* (pp. 428-448). Oxford: Oxford University Press.
- Braver, T. S., Gray, J. R., & Burgess, G. C. (2007). Explaining the many varieties of working memory variation: Dual mechanisms of cognitive control. In A. Conway, C. Jarrold, M. Kane, A. Miyake, & J. Towse (Eds.), *Variation in working memory* (pp.76-106). Oxford: Oxford University Press.
- Braver, T. S., Paxton, J. L., Locke, H. S., & Barch, D. M. (2009). Flexible neural mechanisms of cognitive control within human prefrontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*, 7351-7356.
- Braver, T. S., Reynolds, J. R., & Donaldson, D. I. (2003). Neural mechanisms of transient and sustained cognitive control during task switching. *Neuron*, *39*, 713-726.

- Brown, J.W., Reynolds, J.R., & Braver, T.S. (2007). A computational model of fractionated conflict-control mechanisms in task-switching. *Cognitive Psychology*, *55*, 37-85.
- Brown, R. G., & Marsden, C. D. (1988). Internal Versus External Cues and the Control of Attention in Parkinson's Disease. *Brain*, *111*, 323-345.
- Bush, G., Luu, P., & Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 215–222.
- Cagigas, X. E., Filoteo, J. V., Stricker, J. L., Rilling, L. M., & Friedrich, F. J. (2007). Flanker compatibility effects in patients with Parkinson's disease: Impact of target onset delay and trial-by-trial stimulus variation. *Brain and Cognition* *63*, 247–259
- Carter, C. S., Mintun, M., & Cohen, J. D. (1995). Interference and facilitation effects during selective attention: An H215O PET study of Stroop task performance. *NeuroImage*, *2*, 264–272.
- Casey, B. J., Durston, S., & Fossell, J. A. (2001). Evidence for a mechanistic model of cognitive control. *Clinical Neuroscience Research*, *1*, 267-282.
- Cepeda, N. J., Cepeda, M. L., & Kramer, A. F. (2000). Task switching and attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *28*, 213–226.
- Cohen, J. D., Dunbar, K., & McClelland, J. L. (1990). On the control of automatic processes: A parallel distributed processing account of the Stroop effect. *Psychological Review*, *97*, 332-361.
- Cohen, J. D., Perstein, W. M., Braver, T. S., Nystrom, L. E., Noll, D. C., Jonides, J., & Smith, E.E. (1997). Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature*, *386*, 604-608.
- Cohen, J. D., & Servan-Schreiber, D. (1992). Context, cortex, and dopamine: A connectionist approach to behavior and biology in schizophrenia. *Psychological Review*, *99*, 45–77.

- Cools, R., Barker, R. A., Sahakian, B. J., & Robbins, T.W. (2001). Mechanisms of cognitive set flexibility in Parkinson's disease. *Brain*, *124*, 2503-2512.
- Crump, M. J. C., Gong, Z., & Milliken, B. (2006). The context-specific proportion congruent Stroop effect: Location as a contextual cue. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*, 316-321.
- Crump, M. J. C., Vaquero, J. M. M., & Milliken, B. (2008). Context-specific learning and control: The roles of awareness, task-relevance, and relative salience. *Consciousness & Cognition*, *17*, 22-36.
- Damasio, A. R. (1994). *Descartes' error: Emotion, reason, and human brain*. New York: Grosset/Putnam.
- De Jong, R. (1995). The role of preparation in overlapping-task performance. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *48*, 2-25.
- De Jong, R. (2000). An Intention-Activation Account of Residual Switch Costs. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of cognitive processes* (pp 357-376). Cambridge, MA: MIT Press.
- De Jong, R., Berendsen, E., & Cools, R. (1999). Goal neglect and inhibitory limitations: dissociable causes of interference effects in conflict situations. *Acta Psychologica*, *101*, 379-394.
- De Pisapia, N., & Braver, T. (2006). A model of dual control mechanisms through anterior cingulate and prefrontal cortex interactions. *Neurocomputing*, *69*, 1322-1326.
- Dishon-Berkovits, M., & Algom, D. (2000). The Stroop effect: It is not the robust phenomenon that you have thought it to be. *Memory & Cognition*, *28*, 1437-1449.
- Dreisbach, G., Goschke, T., & Haider, H. (2006). Implicit task sets in task switching ? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *32*, 1221-1233.

- Dreisbach, G., & Haider, H. (2006). Preparatory adjustment of cognitive control in the task switching paradigm. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*, 334–338.
- 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*, 477–486.
- Dreisbach, G., Haider, H., & Kluwe, R.H. (2002). Preparatory processes in the task-switching paradigm: Evidence from the use of probability cues. *Journal of Experimental Psychology, Learning, Memory and Cognition*, *28*, 468-483.
- Druey, M., & Hübner, R. (2007). The role of temporal cue–target overlap in backward inhibition under task switching. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*, 749–754.
- Dujardin, K., Degreef, J. F., Rogelet, P., Defebvre, L., & Destee, A. (1999). Impairment of the supervisory attentional system in early untreated patients with Parkinson's disease. *Journal of Neurology*, *246*, 783–788.
- Duncan, J. (2001). An adaptive coding model of neural function in the prefrontal cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, *2*, 820-829.
- Egner, T. (2008). Multiple conflict-driven control mechanisms in the human brain. *Trends in Cognitive Sciences*, *12*, 374-380.
- Egner, T., & Hirsch, J. (2005a). Cognitive control mechanisms resolve conflict through cortical amplification of task-relevant information. *Nature Neuroscience*, *8*, 1784 –1790.
- Egner, T., & Hirsch, J. (2005b). The neural correlates and functional integration of cognitive control in a Stroop task. *NeuroImage*, *24*, 539– 547.
- Endrass T., Schuermann B., Kaufmann C., Spielberg R., Kniesche R., & Kathmann N. (2010). Performance Monitoring and Error Significance in Patients with Obsessive-Compulsive Disorder. *Biological Psychology*. *84*, 257-263.

- Endrass, T., Klawohn, J., Schuster, F., & Kathmann, N. (2008). Overactive performance monitoring in obsessive-compulsive disorder: ERP evidence from correct and erroneous reactions. *Neuropsychologia*, *46*, 1877–1887.
- Engle, R. W., & Kane, M. J. (2004). Executive attention, working memory capacity, and a two-factor theory of cognitive control. In B. Ross (Ed.). *The psychology of learning and motivation* (Vol. 44, pp. 145-199). NY: Elsevier.
- 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. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 102–134). New York: Cambridge University Press.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, *16*, 143-149.
- Fahn, S., Elton, R., & UPDRS Development committee (1987). Unified Parkinson's Disease Rating Scale. *Recent Developments in Parkinson's Disease*, *2*, 153–163.
- Fales, C. L., Vanek, Z. F., & Knowlton, B. J. (2006). Backward inhibition in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, *44*, 1041–1049.
- Falkenstein, M., Willemsen, R., Hohnsbein, J., & Hielscher, H. (2006). Effects of stimulus–response compatibility in Parkinson's disease. A psychophysiological analysis. *Journal of Neural Transmission*, *113*, 1449–1462
- Fielding, J., Georgiou-Karistianis, N., Bradshaw, J., Millist, L., & White, O. (2005). No sequence dependent modulation of the Simon effect in Parkinson's disease. *Cognitive Brain Research*, *25*, 251-260.
- Fitzgerald, K. D., Welsh, R. C., Gehring, W. J., Abelson, J. L., Himle, J. A., Liberzon, I., & Taylor, S. F. (2005). Error-related hyperactivity of the

anterior cingulate cortex in obsessive–compulsive disorder. *Biological Psychiatry*, 57, 287–294.

Flowers, K. A., & Robertson (1985). The effect of Parkinson's disease on the ability to maintain a mental set. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 48, 517-529.

Folstein, M.F., Folstein, S.E., & McHugh, P.R. (1975). «Mini-mental state». A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12, 189-198.

Fournier-Vicente, S., Larigauderie, P., & Gaonac'h, D. (2008). More dissociations or interactions within central executive functioning: A comprehensive latent-variable analysis. *Acta Psychologica*, 129, 32-48.

Freitas, A. L., Bahar, M., Yang, S., & Banai, R. (2007). Contextual adjustments in cognitive control across tasks. *Psychological Science*, 18, 1040–1043.

Gauntlett-Gilbert, J., Roberts, R., & Brown, V. J. (1999). Mechanisms underlying attentional set-shifting in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 37, 605-616.

Gilbert, S., & Shallice, T. (2002). Task switching: A PDP model. *Cognitive Psychology*, 44, 297–337.

Gladwin, T. E., Lindsen, J. P., & De Jong, R. (2006). Pre-stimulus EEG effects related to response speed, task switching and upcoming response hand. *Biological Psychology*, 72, 15–34.

Goffaux, P., Phillips, N. A., Sinai, M., & Pushkar, D. (2006). Behavioural and electrophysiological measures of task switching during single and mixed-task conditions. *Biological Psychology*, 72, 278–90.

Goldfarb, L., & Henik, A. (2007). Evidence for Task Conflict in the Stroop Effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 1170–1176.

Goldman-Rakic, P.S. (1995). Architecture of the prefrontal cortex and the central executive. In J. Grafman, K.J. Holyoak & F. Boller (Eds), *Structure and*

functions of the human prefrontal cortex. Special Issue of *Annals of the New York Academy of Science* (pp. 71-83). New York : The New York Academy of Science.

- Goschke, T. (2000). Intentional reconfiguration and involuntary persistence in task set switching. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of cognitive processes* (pp 331-355). Cambridge, MA: MIT Press.
- Goschke, T. (2003). Voluntary action and cognitive control from a cognitive neuroscience perspective. In S. Maasen, W. Prinz, & G. Roth (Eds.), *Voluntary action: Brains, minds, and sociality* (pp. 49–85). Oxford: Oxford University Press.
- Gotler, A., Meiran, N., & Tzelgov, J. (2003). Nonintentional task-set activation: Evidence from implicit task sequence learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, *10*, 890–896.
- Grafman, J. (1989). Plans, actions, and mental sets: Managerial knowledge units in the frontal lobes. In E. Perecman (Ed.), *Integrating Theory and Practice in Neuropsychology*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Grange, J. A. & Houghton, G. (2009). Temporal cue–target overlap is not essential for backward inhibition in task–switching. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *62*, 2069–2080.
- Gruber, O., & Goschke, T. (2004). Executive control emerging from dynamic interactions between brain systems mediating language, working memory and attentional processes. *Acta Psychologica*, *115*, 105–121.
- Gruber, T., Giabbiconi, C. M., Trujillo-Barreto, N. J., & Müller, M. M. (2006). Repetition suppression of induced gamma band responses is eliminated by task switching. *European Journal of Neuroscience*, *24*, 2654–2660.
- Gründler, T. O., Cavanagh, J. F., Figueroa, C. M., Frank, M. J., & Allen, J. J. (2009). Taskrelated dissociation in ERN amplitude as a function of obsessive-compulsive symptoms. *Neuropsychologia*, *47*, 1978–1987.

- Hammer, A., Kordon, A., Heldmann, M., Zurowski, B., & Münte, T. F. (2009). Brain Potentials of Conflict and Error-Likelihood Following Errorful and Errorless Learning in Obsessive-Compulsive Disorder. *PLoS ONE* 4(8): e6553. doi:10.1371/journal.pone.0006553.
- Hoehn, M. M., & Yahr, M.D. (1967). Parkinsonism: onset, progression, and mortality. *Neurology*, 57, S11-S26.
- Hsieh, S., Chuang, Y-Y., Hwang, W-J., & Pai, M-C. (1998). A specific shifting deficit in Parkinson's disease : a reversal shift of consistent stimulus-response mappings. *Perceptual and Motor Skills*, 87, 1107-1119.
- 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, 289-297.
- Hyafil, A., Summerfield, C., & Koechlin, E., (2009). Two mechanisms for task switching in the prefrontal cortex. *Journal of Neuroscience*, 29, 5135–5142.
- Jacoby, L. L., Lindsay, D. S., & Hessels, S. (2003). Item-specific control of automatic processes: Stroop process dissociation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10, 638-644.
- Jeannerod, M. (2006). The origin of voluntary action. History of a physiological concept. *C. R. Biologies*, 329, 354-362.
- Jellinger, K. A. (1991). Pathology of Parkinson's disease. Changes other than the nigrostriatal pathway. *Molecular and Chemical Neuropathology*, 14, 153–197.
- Jersild, A. T. (1927). Mental set and shift. *Archives of Psychology*, 14 (Whole No. 89), 5–82.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: the contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132, 47–70.

- Kane, M. J., & Engle, R. W., (2002). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: an individual-differences perspective. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9, 637–671.
- Kiesel, A., Kunde, W., & Hoffmann, J. (2007). Unconscious priming according to multiple S-R rules. *Cognition*, 104, 89-105.
- Klein, G. S. (1964). Semantic power measured through the interference of words with color-naming. *American Journal of Psychology*, 77, 576-588.
- Koch, I. (2005). Sequential task predictability in task switching. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 107-112.
- Koch, I., & Allport, A. (2006). Cue-based preparation and stimulus-based priming of tasks in task switching. *Memory & Cognition*, 34, 433–444.
- Koch, I., Gade, M., & Philipp, A. M. (2004). Inhibition of response mode in task switching. *Experimental Psychology*, 51, 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, 1-14.
- Koch I., Prinz, W., & Allport, A. (2005). Involuntary retrieval in alphabet-arithmetic tasks: Task-mixing and task-switching costs. *Psychological Research*, 69, 252–261.
- Koechlin, E., Ody, C., & Kouneiher, F. (2003). The architecture of cognitive control in the human prefrontal cortex. *Science*, 302, 1181–1185.
- Krack, P., Pollak, P., Limousin, P., Hoffman, D., Xie, J., Benazzouz, A., & Benabid, A. L. (1998). Subthalamic nucleus or internal pallidal stimulation in young onset Parkinson's disease. *Brain*, 121, 451–457.
- Kray, J. (2006). Task-set switching under cue-based versus memory based switching conditions in younger and older adults. *Brain Research*, 1105, 83-92.
- 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, 363–381.
- Kray, J., & Lindenberger, U. (2000). Adult age differences in task switching. *Psychology and Aging*, 15, 126–147.
- Kuhns, D., Lien, M., & Ruthruff, E. (2007). Proactive versus reactive task-set inhibition: Evidence from flanker compatibility effects. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 977–983.
- Laberge, D., Auclair, L., & Siéoff, E. (2000). Preparatory attention: Experiment and theory. *Consciousness and Cognition*, 9, 396-434.
- LaBerge, D., LeGrand, D. R., & Hobbie, R. K. (1969). Functional identification of perceptual and response biases in choice reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, 79, 295–299.
- LaBerge, D., VanGelder, P., & Yellott, J. (1970). A cueing technique in choice reaction time. *Perception and Psychophysics*, 7, 57-62.
- Lamb, M. R., London, B., Pond, H.M., & Whitt, K.A. (1998). Automatic and controlled processes in the analysis of hierarchical structure. *Psychological Science*, 9, 14–19.
- Lamb, M. R., Pond, H., M., & Zahir, G. (2000). Contributions of automatic and controlled processes to the analysis of hierarchical structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 234-245.
- Leentjens, A. F., Verhey, F. R., Lousberg, R., Spitsbergen, H., & Wilmlink, F. W. (2000). The validity of the Hamilton and Montgomery–Åsberg depression rating scales as screening and diagnostic tools for depression in Parkinson's disease. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 15, 644–649.
- Lien, M.-C; Ruthruff, E., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (2005). On the limits of advance preparation for a task switch: do people prepare all the task some of the time or some of the task all the time? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 299-315.

- Lindsen, J.P., & De Jong, R. (2007, August). *An Integrated Account of Mixing Costs and Residual Switch Costs*. Poster presented at the 15th ESCoP Conference, Marseille, France.
- Liston, C., Matalon, S., Hare, T. A., Davidson, M. C., & Casey, B. J. (2006). Anterior cingulate and posterior parietal cortices are sensitive to dissociable forms of conflict in a task-switching paradigm. *Neuron*, *50*, 643–653.
- 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*, 575-599.
- 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*, 978–994.
- Logan, G. D., & Zbrodoff, N. J. (1979). When it helps to be misled: Facilitative effects of increasing the frequency of conflicting stimuli in a Strooplike task. *Memory and Cognition*, *7*, 166-174.
- Logan, G. D., Zbrodoff, N. J., & Williamson, J. (1984). Strategies in the color-word Stroop task. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *22*, 135–138.
- Los, S. A. (1996). On the origin of mixing costs: Exploring information processing in pure and mixed blocks of trials. *Acta Psychologica*, *94*(2), 145-188.
- Los, S. A. (1999). Identifying stimuli of different perceptual categories in mixed blocks of trials: Evidence for cost in switching between computational processes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *25*, 2–23.
- Lovett, M. C., Reder, L. M., & Lebiere, C. (1999). Modeling working memory in a unified architecture: an ACT-R perspective. In: A. Miyake & P. Shah (Eds), *Models of working memory* (pp. 135-182). Cambridge: Cambridge University Press.
- Luria, A. R. (1973). *The working brain*. London: Penguin Books.

- MacLeod, C. M. (1991). Half a Century of Research on the Stroop Effect: An Integrative Review. *Psychological Bulletin*, *109*, 163-203.
- MacLeod, C. M., & MacDonald, P. A. (2000). Interdimensional interference in the Stroop effect: Uncovering the cognitive and neural anatomy of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*, 383–391.
- Maltby, N., Tolin, D. F., Worhunsky, P., O’Keefe, T. M., & Kiehl, K. A. (2005). Dysfunctional action monitoring hyperactivates frontal-striatal circuits in obsessive-compulsive disorder: an event-related fMRI study. *Neuroimage*, *24*, 495–503.
- Mayr, U. (2001). Age Differences in the Selection of Mental Sets : The Role of Inhibition, Stimulus Ambiguity, and Response-Set Overlap. *Psychology and Aging*, *16*, 96-109.
- Mayr, U., & Keele, S. W. (2000). Changing Internal Constraints on Action: The Role of Backward Inhibition. *Journal of Experimental Psychology: General*, *129*, 4-26.
- 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*, 362–372.
- Mayr, U., & Liebscher, T. (2001). Is there an age deficit in the selection of mental sets? *European Journal of Cognitive Psychology*, *13*, 47–69.
- Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology*, *22*, 1423-1442.
- Meiran, N. (2000). Modeling cognitive control in task switching. *Psychological Research*, *63*, 234-249.
- Meiran, N. (2010). Task switching: Mechanisms underlying rigid vs. flexible self-control. *Self control in society, mind, and brain* (pp. 202–220). New York, NY US: Oxford University Press.
- Meiran, N., & Chorev, Z. (2005). Phasic alertness and the residual task-switching cost. *Experimental Psychology*, *52*, 109-124.

- Meiran, N., Chorev, Z., & Sapir, A. (2000). Component Processes in task switching. *Cognitive Psychology*, *41*, 211-253.
- Meiran, N., & Daichman, A. (2005). Advance task preparation reduces task error rate in the cuing task-switching paradigm. *Memory & Cognition*, *33*, 1272-1288.
- Meiran, N., Friedman, G., & Yehene, E. (2004). Parkinson's disease is associated with goal setting deficits during task switching. *Brain and Cognition*, *54*, 260-262.
- Meiran, N., & Kessler, Y. (2008). The Task Rule Congruency Effect in Task Switching Reflects Activated Long-Term Memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *34*, 137-157.
- Meyer, D. E., & Kieras, D. E. (1997). A computational theory of executive control processes and human multiple-task performance: Part 1. Basic Mechanisms. *Psychological Review*, *104*, 3-65
- Milán, E.G., González, A., Sanabria, D., Pereda, A., & Hochel, M. (2006). The nature of residual cost in regular switch response factors. *Acta Psychologica*, *122*, 45-57.
- Milán, E.G., Sanabria, D., Tornay, F.J., & Gonzalez, A. (2005). Exploring task-set reconfiguration with random task sequences. *Acta Psychologica*, *118*, 319-331.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, *24*, 167-202.
- Miyake, A., Friedman, N.P., Emerson, M.J., Witzki, A.H., Howerter, A., & Wager, T.D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex «frontal lobe» tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*, 49-100.
- Monsell, S. (1996). Control of mental processes. In V. Bruce (Ed.), *Unsolved mysteries of the mind: Tutorial essays in cognition* (pp. 93-148). Hove, England: Erlbaum, Taylor, & Francis.

- Monsell, S. (2003). Task switching. *Cognitive Sciences*, 7, 134-140.
- Monsell, S. (2005). The chronometrics of task-set control. In J. Duncan, L. Phillips, & P. McLeod (Eds.), *Modelling the mind: Speed, control and age* (pp. 161–190). Oxford, England: Oxford University Press.
- Monsell, S., & Driver, J. (2000). Banishing the Control Homunculus. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of cognitive processes* (pp 3-30). Cambridge, MA: MIT Press.
- Monsell, S., & 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, 493–516.
- Monsell, S., Sumner, P., & Waters, H. (2003). Task-set reconfiguration with predictable and unpredictable task switches. *Memory & Cognition*, 31, 327-342.
- Monsell, S., Taylor, T. J., & Murphy, K. (2001). Naming the color of a word: Is it responses or task sets that compete? *Memory & Cognition*, 29, 137–151.
- Montgomery, S., & Asberg, M. (1979). A new depression scale designed to be sensitive to change. *British Journal of Psychiatry*, 134, 382–389.
- Moore, R.Y., Whone, A.L., & Brooks, D.J. (2008). Extrastriatal monoamine neuron function in Parkinson's disease: an 18F-dopa PET study. *Neurobiology of Disease*, 29, 381–390.
- Mozer, M. C., & Sitton, M. (1998). Computational modelling of spatial attention. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 341-393). London: UCL Press
- Norman D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: willed and automatic control of behaviour. In R. J. Davidson, G.E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds), *Consciousness and self-regulation* (pp 1–18). New York: Plenum.
- Olivers, C., Meijer, F., & Theeuwes, J. (2006). Feature-based memory-driven attentional capture: Visual working memory content affects visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and*

Performance, 32, 1243–1265.

- Page, L. A., Rubia, K., Deeley, Q., Daly, E., Toal, F., Mataix-Cols, D., Giampietro, V., Schmitz, N., & Murphy, D. G. M. (2009). A functional magnetic resonance imaging study of inhibitory control in obsessive-compulsive disorder. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 174, 202–209.
- Poljac, E., Koch, I., & Bekkering, H. (2009). Dissociating restart cost and mixing cost in task switching. *Psychological Research*, 73, 407–416.
- Pollux, P. M. J. (2004). Advance preparation of set-switches in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 42, 912-919.
- Posner, M.I., & Dehaene, S. (1994). Attentional Networks. *Trends in Neurosciences*, 17, 75-79.
- Posner, M. I., & DiGirolamo, G. J. (1998). Executive attention: Conflict, target detection and cognitive control. In R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain* (pp. 401–423). Cambridge, MA: MIT Press.
- Posner, M.I., & Petersen, S.E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.
- Posner, M. I., & Snyder, C. R. R. (1975). Attention and cognitive control. In R. L. Solso (Ed.), *Information processing and cognition: The Loyola symposium* (pp. 55-85). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Psychology Software Tools. E-Prime: Beta 3 [Computer software]. (1999). Pittsburgh, PA: Author.
- Richards, M., Cote, L. J., & Stern, Y. (1993). Executive function in Parkinson's disease: set-shifting or set-maintenance ? *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 15, 266-279.
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a Predictable Switch Between Simple Cognitive Tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 207-231.
- Rogers, R. D., Sahakian, B. J., Hodges, J. R., Polkey, C. E., Kennard, C., & Robbins,

- T. W. (1998). Dissociating executive mechanisms of task control following frontal lobe damage and Parkinson's disease. *Brain*, *121*, 815-842.
- Roth, R. M., Saykin, A. J., Flashman, L. A., Pixley, H. S., West, J. D., & Mamourian, A. C. (2007). Event-related functional magnetic resonance imaging of response inhibition in obsessive-compulsive disorder. *Biological Psychiatry*, *62*, 901-909.
- Rowe, J. B., Toni, I., Josephs, O., Frackowiak, R. S. J., & Passingham, R. E. (2000). The prefrontal cortex: Response selection or maintenance within working memory? *Science*, *288*, 1656-1660.
- Rubin, O., & Koch, I. (2006). Exogenous influence on task-set activation in task switching. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *59*, 1033-1146.
- Rubin, O., & Meiran, N. (2005). On the origins of the task mixing cost in the cuing task switching paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *31*, 1477-1491.
- 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*, 763-797.
- Ruge, H., & Braver, T. S. (2007). Neural mechanisms of cognitive control in task switching: rules, representations, and preparation. In Bunge, S.A. and Wallis, J.D. (Eds.), *The Neuroscience of Rule-Guided Behavior* (pp 255-282). Oxford University Press: New York, NY.
- 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 & Performance*, *27*, 1404-1419.
- Sakai, K. (2008) Task set and prefrontal cortex. *Annual Review of Neuroscience*, *31*, 219-245.
- Schuch, S., & Koch, I. (2003). The role of response selection for inhibition of

- tasks sets in task shifting. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 92-105.
- Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Shallice, T., & Burgess, P. W. (1991). Higher-order cognitive impairments and frontal lobe lesions in man. In Levin, H. S., Eisenberg, H. M., Benton, A. L. (Eds.) *Frontal Lobe Function and Dysfunction* (pp. 125-138). New York: Oxford University Press.
- Shiffrin, R. M., & W. Schneider (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological review* 84, 127-190.
- Shor, R. (1970). The processing of conceptual information on spatial directions from pictorial and linguistic symbols. *Acta Psychologica*, 32, 346-365.
- Sichel, J. L., & Chandler, K. A. (1969). The color-word interference test: The effects of varied color-word combinations upon verbal response latency. *Journal of Psychology*, 72, 219-231.
- Soetens, E., Boer, L. C., & Hueting, J. E. (1985). Expectancy or automatic facilitation? Separating sequential effects in two-choice reaction time. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 598-616.
- Sohn, M-H., & Anderson, J. R. (2001). Task preparation and task repetition : two-component model of task switching. *Journal of Experimental Psychology : General*, 130, 764-778.
- Sohn, M. H., & Carlson, R. A. (2000). Effects of repetition and foreknowledge in task-set reconfiguration. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26, 1445-1460.
- Spector, A., & Biederman, I. (1976). Mental set and mental shift revisited. *American Journal of Psychology*, 89, 669-679.
- Speer, N. K., Jacoby, L. L., & Braver, T. S. (2003). Strategy-dependent changes

in memory: Effects on brain activity and behavior. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 3, 155-167.

Steinhauser, M., & Hübner, R. (2005). Mixing costs in task-shifting reflect sequential processing stages in a multicomponent task. *Memory & Cognition*, 33, 1484-1494

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643–662.

Sumner, P., & Ahmed, L. (2006). Task switching: The effect of task recency with dual and single affordance stimuli. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59, 1255-1276.

Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: inhibitory priming by ignored objects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 37A, 571–590.

Tornay, F. J., & Milán, E. G. (2001). A more complete task-set reconfiguration in random than in predictable task switch. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 54, 785–803.

Troche, S.J., Trenkwalder, C., Morelli-Canelo, M., Gibbons, H., & Rammsayer, T.H. (2006). Unimpaired negative but enhanced positive priming in Parkinson's disease: Evidence from an identity and a location priming task. *Neuropsychologia*, 44, 1811–1821.

Tzelgov, J., Henik, A., & Berger, J. (1992). Controlling Stroop effect by manipulating expectation for color related stimuli. *Memory & Cognition*, 20, 727-735.

Verbruggen, F., Liefoghe, B., Vandierendonck, A., & Demanet, J. (2007). Short cue presentations encourage advance task preparation: A recipe to diminish the residual switch costs. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33, 342-356.

Ward, G., Roberts, M. J., & Phillips, L. H. (2001). Task switching costs, Stroop-costs and executive control: A correlational study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54, 491–512.

- Waszack, 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*, 361-413.
- West, R. (1999). Age differences in lapses of intention in the Stroop task. *Journals of Gerontology: Series B Psychological Sciences and Social Sciences*, *54*, P34-P43.
- Woodward, T. S., Bub, D. N., & Hunter, M. A. (2002). Task switching deficits associated with Parkinson's disease reflect depleted attentional resources. *Neuropsychologia*, *40*, 1948-1955.
- Wylie, S. A., Stout, J. C., & Bashore, T. R. (2005). Activation of conflicting responses in Parkinson's disease: Evidence for degrading and facilitating effects on response time. *Neuropsychologia*, *43*, 1033-1043
- Yehene, E., & Meiran, N. (2007). Is there a general task switching ability? *Acta Psychologica* *126*, 169-195.
- Yehene, E., Meiran, N., & Soroker, N. (2005) Task alternation cost without task alternation: measuring intentionality. *Neuropsychologia*, *43*, 1858 - 1869.
- Yeung, N., & Monsell, S. (2003a). The effects of recent practice on task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*, 919-936.
- Yeung, N., & Monsell, S. (2003a). The effects of recent practice on task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*, 919-936.
- Yeung, N., & Monsell, S. (2003b). Switching Between Tasks of Unequal Familiarity: The Role of Stimulus-Attribute and Response-Set Selection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*, 455-469.

Annexe 1



BRIEF REPORT

Adjustments of Conflict Monitoring in Parkinson's Disease

Camille A. Bonnin, Jean-Luc Houeto, Roger Gil, and Cédric A. Bouquet
University of Poitiers

Objective: In Stroop-like tasks, the detection of conflict triggers adjustments of cognitive control to reduce conflict in subsequent trials. The present study tested the hypothesis of an impaired modulation of conflict monitoring in Parkinson's disease (PD). **Method:** 18 PD patients and 18 healthy control (HC) participants performed a Stroop-like task in 2 conditions differing in term of incongruent/congruent stimuli ratio. **Results:** HC participants demonstrated a sustained modulation of interference effect, the interference effect being decreased when the proportion of incongruent stimuli was high. A trial-by-trial analysis also showed that in the HC group, processing an incongruent stimulus reduced interference in the subsequent trial. Unlike controls, PD patients did not demonstrate any transient or sustained reduction of the interference effect. **Conclusion:** Within the framework of recent models, these results can be interpreted as an impairment of a proactive mode of cognitive control in patients with PD.

Keywords: Parkinson's disease, conflict monitoring, cognitive control, Stroop, interference

In conflict or Stroop-like tasks, participants are required to respond to bivalent stimuli and the measured interference effect, which refers to the slowing of response time for incongruent stimuli relative to congruent stimuli (i.e., when task-relevant and task-irrelevant information afford different responses vs. the same response), is used as an index of cognitive control mechanisms that are recruited to overcome the conflict. This interference effect is reduced by the presence of an incongruent stimulus in the previous trial (Freitas, Bahar, Yang, & Banai, 2007) and is modulated by the contextual demands of the task, such as proportion of congruent versus incongruent stimuli, the interference effect decreasing in magnitude as the proportion of incongruent stimuli increases (e.g., De Pisapia & Braver, 2006). These transient and sustained modulations of the interference effect are thought to reflect adjustments of cognitive control mechanisms (Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001; De Pisapia & Braver, 2006).

In mostly incongruent (MI) condition, in which incongruent stimuli are frequent, the detection of conflict would trigger the engagement of a proactive mode of cognitive control. This proactive control prevents interference prior to stimulus onset, in a preparatory fashion, by early selecting and actively maintaining task-relevant information. Proactive control is very efficient but metabolically costly so it is only set up if the demands for cognitive control are frequent and ongoing (Braver, Gray, & Burgess, 2007; Braver, Reynolds, & Donaldson, 2003). Conversely, mostly congruent (MC) condition, in which incongruent stimuli are infrequent, would be associated with another mechanism—reactive

control—which detects and inhibits task-irrelevant information just in time when it occurs after stimulus onset. Reactive control is less effective and is favored when the demands for cognitive control are infrequent or cannot be predicted in advance. Thus in MI condition, incongruent stimuli would benefit from a tonically reduced influence of the irrelevant information and would be processed faster than in MC condition.

In Parkinson's disease (PD), characterized by marked depletion of dopamine in the basal ganglia (Moore, Whone, & Brooks, 2008), studies examining cognitive control with conflict tasks have yielded contrasting results. Difficulties to suppress interference have been reported in patients with PD in some studies (Beste, Dziobek, Hielscher, Willemsen, & Falkenstein, 2009; Dujardin, Degreef, Rogelet, Defebvre, & Destee, 1999; Wylie et al., 2005), but not in others (Cagigas, Filoteo, Stricker, Rilling, & Friedrich, 2007; Falkenstein, Willemsen, Hohnsbein, & Hielscher, 2006; Woodward, Bub, & Hunter, 2002). Thus, the presence of an increased interference effect in PD, which would reflect a subtle cognitive control deficit, is still matter of debate. Actually, cognitive deficits in PD are especially apparent on tasks that rely on internal control or that place a high demand on attentional resources (Brown & Marsden, 1988; Pollux, 2004; Woodward et al., 2002). As proactive control is precisely characterized by its high demand on attentional resources and by its mode of conflict resolution, consisting in actively maintaining task-relevant information (Braver et al., 2003, 2007), we postulate that it would be impaired in PD patients.

To test this hypothesis, we studied medicated PD patients and matched healthy controls (HC) while performing a Stroop-like task in two separate conditions: an MI condition and an MC condition, where the incongruent/congruent stimuli ratios were high and low, respectively. We also tested whether performance was modified after processing an incongruent versus congruent stimulus. We predicted that in HC participants, the interference effect would be reduced in the MI condition as well after an incongruent trial, reflecting adjustment of cognitive control, while such sustained and transient modulations of conflict monitoring would be impaired in PD patients.

Camille A. Bonnin and Cédric A. Bouquet, Research Center on Cognition and Learning, University of Poitiers, Jean-Luc Houeto and Roger Gil, Department of Neurology, University of Poitiers.

Correspondence concerning this article should be addressed to Cédric A. Bouquet, Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage – MSHS, 99 av. du recteur Pineau, 86000 Poitiers France. E-mail: cedric.bouquet@univ-poitiers.fr

Method

Participants

Eighteen patients with idiopathic PD and 18 matched healthy controls (HC) participated in this study (see Table 1). All participants gave their full-informed consent prior to their participation in this study in accordance with the Declaration of Helsinki (World Medical Association, 2008). The patients were treated by dopaminergic therapy and tested during their optimal motor condition. All participants were recruited according to the following criteria: absence of neurological disease (other than PD), of dementia (i.e., scores > 24 on the Mini-Mental State Exam; MMSE; Folstein, Folstein, & McHugh, 1975), of depression (i.e., scores > 15 according to the Montgomery–Asberg Depression Rating Scale; MADRS; Leentjens, Verhey, Lousberg, Spitsbergen, & Wilminck, 2000; Montgomery & Asberg, 1979). The severity of motor symptoms was assessed on medication by using the Hoehn and Yahr rating scale (Hoehn & Yahr, 1967) and the part three of the Unified Parkinson's disease Rating Scale (motor score, UPDRS; Fahn, Elton, & UPDRS Development Committee, 1987).

Task and Stimuli

Stroop-like stimuli were presented centrally on a 15-inch VGA monitor at a viewing distance of approximately 60 cm. The target stimulus was the French word left or right (*gauche* and *droite*, 4.4 and 3.8 cm, width respectively, 0.6 cm high) surrounded by an arrow (6.7 cm width, 1.5 cm high) pointing left or right (congruent and incongruent stimuli), or by a rectangle corresponding to the arrow shaft alone (neutral stimuli). There were thus two congruent stimuli (e.g., *gauche* surrounded by a left arrow), two incongruent stimuli (e.g., *gauche* surrounded by a right arrow) and two neutral stimuli. The use of neutral stimuli merely allowed us to increase the number of stimuli and thus controlled for

stimulus repetition (the immediate repetition of the same stimulus on two successive trials was excluded; see below). Responses to stimuli were right or left index presses made on buttons located in a rectangular box placed in front of the participant.

Participants were instructed to make a button press in the direction indicated by the word (e.g., *droite* = right button press) and to respond as quickly and accurately as possible.

Procedure

On each trial a fixation cross was displayed for 1,000 ms before a stimulus was presented. The stimulus remained on the screen until the participant responded. Response was followed by a new fixation cross, unless an error was made, in which case an error message was displayed for 1,000 ms.

Participants completed 30 practice trials followed by four successive blocks of 40 trials per condition, that is, the participants completed four blocks in one condition (e.g., MC condition) and then four blocks in the other condition (e.g., MI condition). The order of conditions was counterbalanced across participants. In the MC condition there were 70% congruent trials, 15% neutral trials, and 15% incongruent trials. In the MI condition there were 15% congruent trials, 15% neutral trials, and 70% incongruent trials. For each stimulus type, the two stimuli appeared equally often within a block (e.g., *gauche* surrounded by a rectangle was as frequent as *droite* surrounded by a rectangle). Within these constraints, each stimulus was selected randomly, with the restriction that the same stimulus could not appear on two successive trials. In addition, in the first block performed in MI (MC) condition, congruent (incongruent) stimuli occurred after 10 trials.

Data Analysis

As indicated by the Shapiro–Wilk results, initial explorations of the data showed distributions deviating significantly from normality. For these reasons, nonparametric analyses were used throughout. Nonparametric analyses were used throughout. Mann–Whitney *U* tests were used for group comparisons. Wilcoxon's tests were used for within group comparisons and Bonferroni's correction was applied. Correlations were tested with the Spearman rank-order correlation coefficient (*r_s*).

The reaction time (RT) analyses are based on the medians of the RTs for correct responses in a cell. Trials following an error and trials with RT > 3,000 ms or < 250 ms were excluded from analysis (2% of the trials).

Results

As error rates were low (PD: $M = 1.2$, $SE = 0.1$; HC: $M = 0.4$, $SE = 0.07$), with no evidence for speed–accuracy trade-off between conditions for neither group, the analysis will focus on RT measures.

Preliminary analyses indicated that the order of conditions had inconsequential effects on the following results.

Interference Effect

Overall, RTs were significantly slower on incongruent trials compared to congruent trials ($z = 4.65$, $p < .001$) and neutral trials

Table 1
Demographic and Clinical Characteristics of PD Patients and Control Participants

	Patients	Healthy controls	<i>t</i> value	<i>p</i> value
Age	63.1 (8.5)	63.2 (9.0)	0.0	.80
Years of education	11 (3.1)	11.3 (3.5)	−0.3	.80
MMSE	27.7 (1.6)	28.8 (1.4)	−2.3	.03
<i>n</i> (male:female)	18 (14:4)	18 (14:4)	—	—
Disease duration	7.7 (4.7)	—	—	—
Levodopa equivalents (mg/day)	673.3 (284.1)	—	—	—
Hoehn and Yahr score on medication	2.47 (0.55)	—	—	—
UPDRS motor score on medication	12.2 (7.1)	—	—	—
MADRS	4.8 (4.1)	—	—	—

Note. Data represent mean (standard deviation) values. Disease duration given in years; the levodopa equivalent doses were calculated using conversions proposed by Krack et al. (1998). PD = Parkinson's disease; MMSE = Mini Mental State Examination (Folstein et al., 1975); UPDRS = Unified Parkinson's Disease Rating Scale (Fahn et al., 1987); MADRS = Montgomery–Asberg Depression Rating Scale (Montgomery & Asberg, 1979).

($z = 4.87, p < .001$). The interference effect (incongruent RT – congruent RT) was similar in both groups¹ ($U = 146, p > .05$).

Modulation of Conflict Monitoring by Previous Congruency

In the HC group, RTs were smaller on incongruent trials following incongruent trials than on incongruent trials following congruent trials ($z = 3.10, p < .001$), although this effect was absent in PD patients ($p > .05$; see Table 2). For neither group was performance on congruent trials modulated by previous congruency (both $p > .05$). Therefore, for HC participants the interference effect measured after incongruent trials was significantly reduced compared to that measured after congruent trials (33 ms vs. 64 ms; $z = 2.33, p < .05$), but not for PD patients (47 ms vs. 52 ms; $p > .05$).

Modulation of Conflict Monitoring by Congruent/Incongruent Ratio

To measure contextual adjustment of performance in each condition, the first 10 trials of the first block performed in either MI or MC condition were excluded from this analysis.

Overall, PD patients were slower than HC in the MI condition ($U = 105, p < .05$) but not in the MC condition ($U = 130, p > .05$). In both MI and MC conditions, the PD patients demonstrated the same interference effect than HC ($U = 157, p > .05, U = 119, p > .05$, respectively).

Most important, for HC participants, RTs on incongruent trials were reduced in the MI condition compared to MC condition ($z = 3.33, p < .001$), although no difference was found for congruent and neutral trials (both $p > .05$; see Figure 1); as a result, the interference effect of HC was reduced in the MI condition ($z = 3.51, p < .001$). In contrast, for PD patients, RTs on incongruent, congruent and neutral trials in the MI condition did not differ from those in the MC condition (all $p > .05$); the interference effect was not reduced in MI compared to MC condition ($p > .05$), though its size tended to be smaller due to a slight increase of RTs on congruent trials.

Because the analysis of previous congruency in HC participants indicates that processing an incongruent stimulus reduced interference in the subsequent trial (see above), it is therefore necessary to exclude the possibility that the reduced interference effect observed in the MI condition was due to previous congruency effects

(as by definition, in MI condition, incongruent stimuli were more often preceded by incongruent stimuli than in MC condition). An analysis restricted to incongruent trials preceded by congruent trials excludes this effect. This analysis showed in HC participants that incongruent stimuli were still processed faster in MI condition than MC condition (700 ms vs. 641 ms; $z = 2.85; p < .01$); in patients with PD no difference was observed (734 ms vs. 705 ms; $z = 1.02; p > .05$).

Correlations With Clinical Variables

Associations were calculated between the scores of PD patients on the Stroop-like task (RT performances and interference scores) and the clinical features. No correlation was found between test performances and age, disease duration, UPDRS motor score, Hoehn–Yahr and MADRS scores (all $rs < .4$ and $p > .1$).

Discussion

The present study sought to determine whether transient and sustained adjustments of conflict monitoring were affected by PD. Overall, although the interference effect size in PD patients did not differ from that in controls, our results clearly differentiate the two groups in terms of modulation of conflict monitoring, indicating a more subtle cognitive control deficit in PD. A trial-by-trial analysis showed that in the HC group but not in PD patients, processing an incongruent stimulus enhanced conflict resolution in the subsequent trial. Furthermore, HC participants, but not PD patients, showed a reduction of RTs for incongruent trials in the MI condition, thereby reducing interference.

The preservation of the overall interference effect size in PD is consistent with previous findings (e.g., Cagigas et al., 2007; Falkenstein et al., 2006; Woodward et al., 2002), and suggests that some cognitive control mechanisms necessary to overcome the conflict when processing an incongruent stimulus are preserved in PD patients. However, the fact that PD patients tended to show larger RTs than HC in congruent trials, hence affecting the amplitude of the interference effect, might explain the absence of group difference. However differences appear when looking at the modulations of the interference effect.

With respect to modulation of conflict monitoring, our results, indicating in HC participants a reduction of interference following an incongruent stimulus and when the proportion of incongruent stimuli was high, fit well with our working hypothesis in agreement with previous reports (De Pisapia & Braver, 2006; Freitas et al., 2007). We found that, as predicted, these modulations of conflict monitoring were absent in PD patients.

The absence of trial-by-trial modulation of interference in PD patients is in line with previous finding showing no sequence dependent modulation of the Simon effect in PD (Fielding, Georgiou-Karistianis, Bradshaw, Millist, & White, 2005), suggesting a defect in the mechanism implicated in cognitive control adjustments normally triggered by the detection of conflict (Botvinick et al., 2001; De Pisapia & Braver, 2006; Freitas et al., 2007).

The lack of congruent/incongruent ratio effect in PD patients could reflect a proactive control deficit in PD. Furthermore, in lines

Table 2

Mean of the Median Reaction Times of PD Patients and Control Participants for Congruent and Incongruent Trials as a Function of Previous Congruency

	Healthy controls		PD patients	
	Incongruent	Congruent	Incongruent	Congruent
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>
Previous incongruent	639 (102)	606 (103)	722 (182)	675 (174)
Previous congruent	673 (111)	609 (97)	719 (170)	667 (172)

Note. Previous congruent and previous incongruent designate the congruency of the stimulus in the preceding trial. PD = Parkinson’s disease.

¹ Same results were obtained when the interference effect was calculated by comparing incongruent and neutral trials.

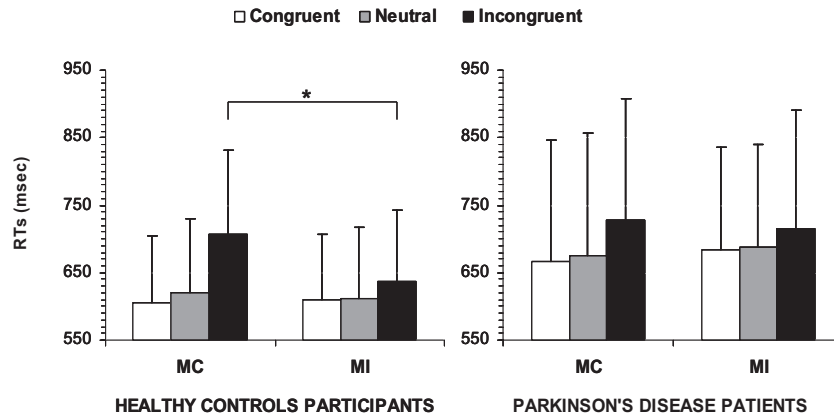


Figure 1. Mean of the median reaction times of healthy control participants and Parkinson's disease patients for congruent, neutral, and incongruent stimuli in mostly congruent (MC) and mostly incongruent (MI) conditions. Error bars represent standard deviations. RT = reaction time. * $p < .05$.

with recent findings (Troche, Trenkwalder, Morelli-Canelo, Gibbons, & Rammsayer, 2006), the absence of impairment in the MC condition may indicate preservation of the mechanisms underlying reactive control.

It has been postulated that proactive control involves interactions between nigrostriatal dopaminergic system and lateral prefrontal cortex (Braver & Cohen, 2000; Braver et al., 2007). PD is known to affect the function of these fronto-striatal loops, but various neuronal and transmitter systems may contribute to cognitive dysfunction in PD (Jellinger, 1991; Moore et al., 2008). In the current study, as we did not control for task demands on attentional resource, nor did we perform "on" versus "off" medication evaluation, the roles of dopamine and task-related attentional demand remain matter of debate, and thus warrant further investigation.

Indeed, with respect to attentional demand, it cannot be excluded that the absence, in PD patients, of cognitive control adjustments normally triggered by high proportion of incongruent stimuli relies to attentional resources deficit (Brown & Marsden, 1988; Woodward et al., 2002), the MI condition being more resource demanding than the MC condition. It is however more difficult to ascribe the absence of trial-by-trial modulation of interference in PD patients to attentional resources deficit.

Taken together, our results show that PD can result in subtle cognitive deficits in terms of adjustments of conflict monitoring. We suggest that proactive control mechanisms may be impaired in PD whereas reactive control could be relatively preserved. Furthermore, as Stroop and other related conflict tasks are widely used to investigate cognitive or executive control in clinical and research contexts, we suggest that attention should be paid to the potential role of transient and sustained adjustments of cognitive control.

References

Beste, C., Dziobek, I., Hielscher, H., Willemsen, R., & Falkenstein, M. (2009). Effects of stimulus-response compatibility on inhibitory processes in Parkinson's disease. *European Journal of Neuroscience*, *29*, 143–149.

- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. C. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, *108*, 624–652.
- Braver, T. S., & Cohen, J. D. (2000). On the control of control: The role of dopamine in regulating prefrontal function and working memory. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and performance XVIII: Control of cognitive processes* (pp. 713–737). Cambridge, MA: MIT Press.
- Braver, T. S., Gray, J. R., & Burgess, G. C. (2007). Explaining the many varieties of working memory variation: Dual mechanisms of cognitive control. In A. Conway, C. Jarrold, M. Kane, A. Miyake, & J. Towse (Eds.), *Variation in working memory* (pp. 76–106). Oxford, England: Oxford University Press.
- Braver, T. S., Reynolds, J. R., & Donaldson, D. I. (2003). Neural mechanisms of transient and sustained cognitive control during task switching. *Neuron*, *39*, 713–726.
- Brown, R. G., & Marsden, C. D. (1988). Internal versus external cues and the control of attention in Parkinson's disease. *Brain*, *111*, 323–345.
- Cagigas, X. E., Filoteo, J. V., Stricker, J. L., Rilling, L. M., & Friedrich, F. J. (2007). Flanker compatibility effects in patients with Parkinson's disease: Impact of target onset delay and trial-by-trial stimulus variation. *Brain and Cognition*, *63*, 247–259.
- De Pisapia, N., & Braver, T. (2006). A model of dual control mechanisms through anterior cingulate and prefrontal cortex interactions. *Neurocomputing*, *69*, 1322–1326.
- Dujardin, K., Degreef, J. F., Rogelet, P., Defebvre, L., & Destee, A. (1999). Impairment of the supervisory attentional system in early untreated patients with Parkinson's disease. *Journal of Neurology*, *246*, 783–788.
- Fahn, S., Elton, R., & UPDRS Development Committee. (1987). Unified Parkinson's Disease Rating Scale. *Recent Developments in Parkinson's Disease*, *2*, 153–163.
- Falkenstein, M., Willemsen, R., Hohnsbein, J., & Hielscher, H. (2006). Effects of stimulus-response compatibility in Parkinson's disease. A psychophysiological analysis. *Journal of Neural Transmission*, *113*, 1449–1462.
- Fielding, J., Georgiou-Karistianis, N., Bradshaw, J., Millist, L., & White, O. (2005). No sequence dependent modulation of the Simon effect in Parkinson's disease. *Cognitive Brain Research*, *25*, 251–260.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-Mental State." A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, *12*, 189–198.

- Freitas, A. L., Bahar, M., Yang, S., & Banai, R. (2007). Contextual adjustments in cognitive control across tasks. *Psychological Science, 18*, 1040–1043.
- Hoehn, M. M., & Yahr, M. D. (1967). Parkinsonism: Onset, progression, and mortality. *Neurology, 57*, S11–S26.
- Jellinger, K. A. (1991). Pathology of Parkinson's disease. Changes other than the nigrostriatal pathway. *Molecular and Chemical Neuropathology, 14*, 153–197.
- Leentjens, A. F., Verhey, F. R., Lousberg, R., Spitsbergen, H., & Wilmink, F. W. (2000). The validity of the Hamilton and Montgomery–Asberg depression rating scales as screening and diagnostic tools for depression in Parkinson's disease. *International Journal of Geriatric Psychiatry, 15*, 644–649.
- Montgomery, S., & Asberg, M. (1979). A new depression scale designed to be sensitive to change. *British Journal of Psychiatry, 134*, 382–389.
- Moore, R. Y., Whone, A. L., & Brooks, D. J. (2008). Extrastriatal monoamine neuron function in Parkinson's disease: An 18F-dopa PET study. *Neurobiology of Disease, 29*, 381–390.
- Pollux, P. M. J. (2004). Advance preparation of set-switches in Parkinson's disease. *Neuropsychologia, 42*, 912–919.
- Troche, S. J., Trenkwalder, C., Morelli-Canelo, M., Gibbons, H., & Ramm-sayer, T. H. (2006). Unimpaired negative but enhanced positive priming in Parkinson's disease: Evidence from an identity and a location priming task. *Neuropsychologia, 44*, 1811–1821.
- Woodward, T. S., Bub, D. N., & Hunter, M. A. (2002). Task switching deficits associated with Parkinson's disease reflect depleted attentional resources. *Neuropsychologia, 40*, 1948–1955.
- World Medical Association. (2008). Declaration of Helsinki. 59th WMA General Assembly, Seoul, Korea.
- Wylie, S. A., van den Wildenberg, W. P. M., Ridderinkhof, K. R., Bashore, T. R., Powell, V. D., Manning, C. A., & Wooten, G. F. (2009). The effect of Parkinson's disease on interference control during action selection. *Neuropsychologia, 47*, 145–157.

Received August 29, 2009

Revision received October 26, 2009

Accepted October 27, 2009 ■

Annexe 2



Adjustments of task-set control processes: Effect of task switch frequency on task-mixing and task-switching costs.

Journal:	<i>European Journal of Cognitive Psychology</i>
Manuscript ID:	ECP-FA 10-74
Manuscript Type:	Full Article
Date Submitted by the Author:	24-Jun-2010
Complete List of Authors:	Bonnin, Camille; CNRS - Université de Poitiers Gaonac'h, Daniel; CNRS - Université de Poitiers, Psychologie Bouquet, Cedric; CNRS - Université de Poitiers, STAPS
Keywords:	Executive control, Flexibility, Task switching, Switch Cost, Mixing cost



1
2
3 Running head: Task-set control and switch frequency
4
5
6
7
8

9
10 Adjustments of task-set control processes: Effect of task switch frequency on task-mixing and
11
12 task-switching costs.
13
14

15 5

16
17
18 Camille A. Bonnin
19

20
21 Daniel Gaonac'h
22

23
24
25 Cédric A. Bouquet
26
27
28
29
30

31 10 Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage - CNRS UMR 6234
32

33
34 University of Poitiers, Poitiers 86000, France
35
36
37
38
39
40

41 Word Count (Main Text): 5225
42
43

44 Address for Corresponding Author:
45

46
47 15 Camille Bonnin
48

49 Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage – MSHS
50

51
52 Bâtiment A5, 5 rue Théodore Lefebvre, 86000 Poitiers – France
53
54

55 Email: camille.bonnin@univ-poitiers.fr
56

57 tel : +33 (0)5.49.36.63.47
58

59 20 fax : +33 (0)5.49.45.46.57
60

Abstract

The present study tested the hypothesis that task-switch frequency triggers adjustments of task-set control processes. A mixed-task condition where changes of task are frequent should promote flexibility - thus reducing switch cost - while a condition where task repetitions are more expected should favour stability - thus reducing mixing cost. In three experiments, participants performed single-task and mixed-task blocks. In mixed-task blocks, tasks varied randomly on a trial-by-trial basis. For half of the mixed-task blocks, the frequency with which the task changed was 25%, for the other half, it was 50%. Overall, depending on the task-switch frequency, performance on both task-repeat and task-switch trials was modified. Switch cost was reduced and mixing cost was enlarged by the increase in switch probability. This study demonstrates context-sensitive adjustments of task-set control processes. These results further support the view that mixing cost reflects sustained and endogenous components of cognitive control.

Key words: Executive control; Flexibility; Task switching; Mixing cost; Switch cost

INTRODUCTION

Performing any cognitive task requires a subset of representations and cognitive processes to be selected and organized – a task-set (Allport, 1987; Rogers & Monsell, 1995). In environments that provide multiple affordances for action, the maintenance of a task set helps to organize coherent, goal-directed behaviour, by providing a frame that biases processing of sensory input and responding according to the currently relevant task or internal goal, while inhibiting attention and responses to irrelevant information (Allport, 1987). Stable maintenance, however, must be balanced with the ability to detect and respond to a significant change of the situation (Allport, 1987; Goschke, 2003). Adaptive behaviour thus requires a dynamic, context-dependent balance between two antagonistic constraints: stability and flexibility (Goschke, 2003).

A common paradigm for studying task-set control is the task switching paradigm, where participants perform mixed-task blocks in which they are required to switch between two or more tasks. The general finding is that reaction times (RTs) are slower on task-switch trials than on task-repeat trials, an effect usually referred to as switch cost. This switch cost has been attributed to time consumed by a cognitive control process of task-set reconfiguration and/or carry-over of states of task-set readiness from previous trials (Allport, Styles & Hsieh, 1994; Meiran, 1996; Monsell, 2005; Rogers & Monsell, 1995; Mayr & Keele, 2000).

It has been suggested that cognitive control of task-set readiness is not an all-or-none process, but rather “just enough” (Gilbert & Shallice, 2002; Goschke, 2003; Lien, Ruthruff, Remington, & Johnston, 2005). The idea that cognitive control of task-set readiness involves an adjustment of a continuously varying level of task-set activation or inhibition is not new (Norman & Shallice, 1986) and is a feature of recent task switching models (Brown, Reynolds, & Braver, 2007; Gilbert & Shallice, 2002; Yeung & Monsell, 2003a). This is partly

1
2
3 because endogenous control requires effort and in addition, when switching to another task, it
4
5 is not efficient to suppress or inhibit the now irrelevant task-set more than necessary since it
6
7 would then be too difficult to re-activate this task-set (Goschke, 2000, 2003; Mayr & Keele,
8
9 2000; Monsell, 2005; Monsell, Sumner, & Waters, 2003).

10
11
12 5 On this basis, if one considers that task-set control involves a dynamic, context-
13
14 dependent balance between stability and flexibility (Goschke, 2003), the probability of a
15
16 change of task should be crucial for internal control setting. In conditions where the sequence
17
18 of tasks is unpredictable, the changes of task may be more or less frequent. A straightforward
19
20 prediction is that a condition where changes of task are expected to be frequent should
21
22 promote flexibility; i.e. the cost of switching should be reduced. When changes of task are
23
24 10 frequent, it could be functionally relevant to maintain different task-sets active in order to
25
26 promote flexibility. This should however alter stability, due to interference between task-sets,
27
28 therefore affecting performance on task-repeat trials. Conversely, a condition where task
29
30 repetitions are expected to be frequent should favour stability. An efficient strategy would be
31
32 15 to fully activate only one-task set, while maintaining competing task-sets in a low state of
33
34 activation, in order to promote stability, i.e. performance on task repeat trials should be
35
36 improved, but at the cost of flexibility. As will be shown below, there is no consistent
37
38 evidence for such contextual adjustments of task-set control processes.
39
40
41
42
43
44

45
46 Monsell and Mizon (Experiments 4, 2006) investigated the influence of the probability
47
48 20 of a task change on task switching. In their study, the sequence of tasks was unpredictable and
49
50 a task-cue was presented 140 ms or 790 ms before the stimulus. The frequency with which the
51
52 task changed (25%, 50%, or 75%) was manipulated between participants. They found that
53
54 switch cost (in terms of RT) was affected by switch frequency: it decreased with increasing
55
56 switch frequency. However, this decrease seemed to be mainly due to the increase of RT for
57
58 25 task repetitions, with no change for task switches. Meiran, Chorev and Sapir (2000,

1
2
3 Experiment 1) also contrasted the performance of different groups of subjects who
4
5 experienced different frequencies of task switches (50% vs. 33%). Their results showed
6
7 similar switch cost in the different groups, though a high frequency of task repetition reduced
8
9 RT on task-repeat trials. Dreisbach and Haider (2006) manipulated the probability of a change
10
11 of task (75 vs. 25%) within participants. They compared two expectancy conditions: a global
12
13 5 one, in which the participants were informed at the beginning of each block about the task-
14
15 switch: task-repeat ratio, and a local one, in which they were provided a preparatory task cue
16
17 900 ms before stimulus onset. The global expectancy condition confirmed the results of
18
19 Monsell and Mizon (2006) and Meiran et al. (2000)'s studies: only task-repeat trials were
20
21 affected by task frequency. However, both trial types were affected by task-switch frequency
22
23 10 in the local expectancy condition, but with a more pronounced effect for task-repeat trials than
24
25 task-switch trials.
26
27
28
29
30

31
32 Thus, there is no clear evidence for context-dependent adjustments of the balance
33
34 between stability and flexibility. A high frequency of switches is not necessarily associated
35
36 15 with a better performance on task-switch trials. Nevertheless, it seems that adjustments occur
37
38 in task-repetitions. However, in all these studies, but Meiran et al. (2000), there was a
39
40 potential problem in estimating the mean RT on task-repeat trials in the different conditions.
41
42 Indeed, the less frequent are the switches, the higher are the chances that the same task repeats
43
44 many times in a row, and thus the longer are the runs of trials on a task. Within a run, the first
45
46 20 trials may suffer from a greater interference from the persisting activation of the recently
47
48 abandoned competing task set (Allport et al., 1994; Mayr & Keele, 2000). On the other hand,
49
50 other effects may increase or occur within the run, like positive task-priming effects
51
52 associated with repetitions of the same task-set (Allport & Wyllie, 1999, 2000; Monsell et al.,
53
54 2003), or, conversely, a within-run slowing effect (Altmann & Gray, 2002; Meiran, 2010).
55
56
57
58
59
60 25 Therefore, the contextual adjustments observed in Monsell and Mizon (2006) and Dreisbach

1
2
3 and Haider (2006) studies for task-repeat trials may simply reflect the fact that performance in
4
5 the low switch frequency condition was measured in longer runs than in the high switch
6
7 frequency condition.
8
9

10 The first goal of the present study was to clarify whether task-set control processes are
11
12 5 influenced by the frequency of task changes. Especially, we sought to determine whether
13 flexibility and stability were differentially affected by the frequency to which the participant
14
15 were required to change of task within a block of trials. We asked participants to perform
16
17 mixed-task blocks with two tasks (word length and object size tasks). In these mixed-task
18
19 blocks, tasks varied randomly on a trial-by-trial basis. For half of the mixed-task blocks, the
20
21 frequency with which the task changed was 25%, for the other half, the frequency was 50%.
22
23
24 10 In addition, we conducted analyses focusing on trials common to all run lengths. These
25 analyses were restricted to trials occupying the first three positions in a run of trials on a task,
26
27 the first position (P1) corresponding to the switch trial, and the second and third positions (P2
28
29 and P3) being task-repeat trials.
30
31
32
33
34
35

36 15 Flexibility was indexed by performance on task-switch trials and the related switch
37 cost. In contrast, stability was primarily assessed by performance on task-repeat trials. In
38
39 order to better appreciate stability we also contrasted the performance on task-repeat trials
40
41 with performance obtained in single-task blocks where participants performed only one task.
42
43
44

45 Experiments combining mixed-task blocks and single-task blocks, in which the
46
47 20 participants perform either task A or B (only one task-set has to be selected and maintained
48 during the whole block of trials), indicate that performance on task-repeat trials in mixed-task
49
50 blocks is affected compared to trials in single-task blocks (Koch, Prinz, & Allport., 2005; Los,
51
52 1999; Mayr & Liebscher, 2001; Mayr, 2001; Rubin & Meiran, 2005; Steinhauser & Hübner,
53
54 2005). The origin of this cost measured in task-repeat trials, which is referred to as Mixing
55
56 Cost (mixing cost), remains unclear.
57
58
59
60 25

1
2
3 Since we had particular predictions on task-repeat trials, the present study also aimed
4 at investigating the origin of mixing cost. Actually, showing contextual adjustments at the
5 level of task-repeat trials in a mixed-task condition should reveal the role of endogenous
6 control in the emergence of mixing cost and it was of particular interest to test whether
7
8
9
10
11
12
13 5 mixing cost was still present when the probability of a change of task was only 25%.

17 **EXPERIMENT 1A**

18
19 One can assume that when the order of task is unpredictable, the frequency of task changes
20 affects endogenous control of task-set readiness. When the frequency (thus the probability) of
21
22
23
24 10 task changes is high, flexibility should be promoted, at the cost of stability. In contrast, when
25 changes of task are much less frequent than task-repetitions, stability should be favoured, at
26 the cost of flexibility. A condition where the frequency of task changes is high should thus
27 produce smaller RTs on task switch trials than a condition with a lower frequency of task
28 changes. In contrast, the high frequency condition should induce larger RTs than the other
29
30
31
32
33
34
35
36 15 condition on task repeat trials.

37
38 The first experiment tested this prediction. The participants performed mixed-task
39 blocks where tasks varied randomly on a trial-by-trial basis. Task identity was determined by
40 the location of the stimulus. Participants had no foreknowledge of the task before stimulus
41 onset. For half of the mixed-task blocks, the frequency with which the task changed was 25%,
42
43
44
45
46
47
48 20 for the other half, the frequency was 50%. Participants also performed single-task blocks
49 where only one task was involved, in order to assess mixing cost.
50
51
52
53
54

55 **Method**

56
57 *Participants.*
58
59
60

1
2
3 Sixteen voluntary participants (13 women; age range 18-23 years; mean age 19.9 years) took
4 part in the experiment.
5
6
7
8
9

10 *Task and Stimuli*

11
12 5 The stimuli were presented on a 15-inch VGA at a viewing distance of approximately 60 cm,
13 so that 1 cm corresponded approximately to 1° of visual angle. The stimuli were 8 names of
14 animals: *VER*, *PUCE*, *AUTRUCHE*, *BABOUIN*, *ESCARGOT*, *ABEILLE*, *LION* and *ÂNE*
15 (French words for: worm, flea, ostrich, baboon, snail, bee, lion and donkey, respectively),
16 presented in black lower case letters subtended 1.6°-4.4° (width) × 0.5° (height).
17
18
19
20
21
22
23

24
25 10 In each trial, a stimulus was presented inside one of two rectangular frames, drawn
26 with black lines 1 mm thick, each subtended 9.4° (width) × 1.8° (height), and displayed above
27 and below the centre of the white screen. The upper frame was assigned to one task and the
28 lower one to the other task (the assignment was counterbalanced across participants). The
29 response keys were the ALT and right CTRL keys on a computer keyboard, operated by the
30 left and right index fingers, respectively.
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60 25

Depending on the location of the stimulus, participants were to perform either the
animal size task or the word length task. For the size task, the participants determined whether
the word presented referred to a large or small animal, by pressing the ALT or CTRL key,
respectively. For the word length task, they determined whether the word was short (3 or 4
letters) or long (7 or 8 letters), by pressing the CTRL or ALT key, respectively (the
assignment was counterbalanced across participants). Therefore, half of the stimuli (*ver*, *puce*,
autruche, *babouin*) were congruent stimuli, i.e. mapped to the same response in both tasks,
while the other half (*escargot*, *abeille*, *lion*, *âne*) were incongruent stimuli, i.e. mapped to
different responses.

Procedure

We used a “sandwich-like” design (Rubin & Meiran, 2005) which consisted of a 45-minute session containing 24 blocks of trials. Each block included 8 warm-up trials followed by 32 experimental trials. The first four blocks were single-task blocks. The blocks 1-2 were assigned to one task and the blocks 3-4 to the other task (task order counterbalanced across participants). The following blocks 5 to 20 were mixed-task blocks. The task switch frequency (50 or 25%) alternated every two mixed-task blocks (order counterbalanced across participants). Blocks 21-22 were identical to blocks 3-4 and blocks 23-24 were identical to blocks 1-2. Participants were instructed to respond as quickly as possible without making errors. At the end of each block, participants saw their mean RT and error rate for that block.

Each trial began with an 800 ms blank interval, followed by the presentation of the stimulus, which remained on the screen until a response was made. The next trial started immediately after the response, unless the wrong response was made, in which case the word error was displayed in red for 1000 ms.

The task switch frequency varied between mixed-task blocks. For half of the mixed-task blocks, the task-switch and task-repeat trials occurred in a ratio of 1:3 (25% condition); for the other half this ratio was 1:1 (50% condition). In each single-task block, the stimuli were selected pseudo-randomly so that each stimulus was presented four times and that immediate stimulus repetition could not occur. For each condition of switch frequency, the 256 trials of the eight mixed-task blocks included all combinations of stimulus and task - replicated eight times for each task transition (repetition vs. switch) in the 50% condition, and 12 times for the repetition trials and 4 times for the switch trials in the 25% condition. Each one of these combinations was presented in a random order except that immediate stimulus repetition could not occur. Before mixed-task block in the 25% condition or 50% condition,

1
2
3 the participants were informed that the ratio of switch/repeat trials was 1:3 and 1:1,
4
5 respectively.
6
7

8 Before the experimental session, participants were given instructions that described
9
10 the procedure, tasks, assignment of cues to tasks, and response-key mappings. They then
11
12 received six practice blocks of 16 trials: two single-task blocks per task and two mixed-task
13 5
14 blocks.
15
16
17
18
19

20 *Data Analysis*

21
22 Two analyses were conducted separately. The first analysis concerned switch and repeat trials
23
24 within mixed-task blocks. Each trial was defined relative to its position (P) within a run of
25 10
26 trials on a task. The analyses was restricted to P1 (Position 1= switch trial), P2 (Position 2 =
27
28 first repeat-trial) and P3 (Position 3 = second repeat-trial). The within-participants
29
30 independent variables were Switch Frequency (25% vs. 50%) and Position in Run (1, 2 and
31
32 3). The switch cost was assessed by the difference between P1 and P2.
33
34
35

36 15 The second analysis focused on Mixing Cost and concerned trials in single-task blocks
37
38 and the second and the third trial of a run in mixed-task blocks (P2 and P3). First, we
39
40 compared, using t-test, the mixing cost obtained in each condition, with the mixing cost
41
42 assessed by the difference between single-task condition and the mean performance on P2 and
43
44 P3. When appropriate, we also contrasted separately P2 and P3 with single-task condition.
45
46
47

48 20 **Results and Discussion**

49
50
51 We excluded from analyses the trials with correct RT > 3000 ms and trials following an error
52
53 (3.95% of the trials). As error rates were low (< 2.5% in single-task blocks and < 5% in both
54
55 25% and 50% mixed-task conditions), with no evidence for speed-accuracy trade-off between
56
57
58
59
60 25 conditions, the analyses will focus on RT measures.

1
2
3 The ANOVA on mean correct RTs revealed a main effect of Position in run, $F(1, 15)$
4
5 = 48.76, $MSE = 8556.96$, $p < .001$, indicating a gradual decrease of RTs from P1 to P3. The
6
7 effect of Switch Frequency was non-significant, $F(1, 15) = 1.24$, $MSE = 2516.99$, $p > .1$. The
8
9 effect of Switch Frequency interacted significantly with Position in run, $F(2, 30) = 6.33$, MSE
10
11 = 1241.71, $p < .01$. This interaction was due to the fact that, compared to the 25% condition,
12
13 5 = 1241.71, $p < .01$. This interaction was due to the fact that, compared to the 25% condition,
14
15 the 50% condition reduced RTs on task-repeat trials while increasing RTs on switch trials. As
16
17 a result, the switch cost in the 50% condition was smaller than that in the 25% condition, $t(15)$
18
19 = 3.99, $SE = 15.08$, $p < .005$.

20
21
22 In line with this, the analyses focusing on mixing cost revealed that, overall, the
23
24 10 mixing cost measured in the 50% condition was larger than that measured in the 25%
25
26 condition (209 ms vs. 163 ms), $t(15) = 3.73$, $SE = 12.33$, $p < .01$. Since within a run, RT
27
28 tended to decrease from P2 to P3 (i.e. first and second task-repeat trials), the means of correct
29
30 RTs on second and third trials of a run in the mixed-task blocks were each compared to the
31
32 mean of correct RTs in single-task blocks using t-test. It was particularly interesting to test
33
34 15 whether a significant mixing cost was still present in the second task-repeat trial (P3) in a
35
36 mixing-task block where the probability of a task change was as low as .25. In both conditions
37
38 of switch frequency, RTs on both P2 and P3 were significantly higher than those in single-
39
40 task condition, all $ts > 8.17$ and all $ps < .0001$.

41
42
43 The gradual decrease of RTs within a run of trials reproduces results obtained in
44
45 20 similar experiments (Milán, Sanabria, Tornay, & Gonzalez, 2005; Monsell et al., 2003;
46
47 Tornay & Milán, 2001). The effect of task switch frequency on switch cost confirms previous
48
49 results (Dreisbach & Haider, 2006) and supports the idea that task-set control is adjusted to
50
51 context-requirement.
52
53
54
55

56
57
58 Nevertheless, a possible explanation for the reduced switch cost in the 50% condition
59
60 25 is that task-switching was facilitated because switching to a new task in this condition

involved returning to a more recently abandoned task-set than in the 25% condition. One way to reduce the possible contribution of effects related to passive dissipation of task-set activation/inhibition is to increase the response-stimulus interval (RSI) (Allport et al., 1994; Meiran et al., 2000). Thus, if these effects significantly contributed to the results observed in the first experiment, the pattern of results should be modified when increasing RSI. The aim of Experiment 1B was to reproduce the results obtained in Experiment 1A with an RSI prolonged from 800 ms to 1300 ms.

(Table 1 about here)

EXPERIMENT 1B

Method

Participants.

Sixteen voluntary participants (7 women; age range 20-36 years; mean age 26.3 years) took part in the experiment.

Stimuli, Task and Procedure

These were exactly as in Experiment 1A except that the RSI was 1300 ms instead of 800 ms.

Results and Discussion

Again, error rates were low (< 1.5% in single-task blocks and < 4% in both 25% and 50% mixed-task conditions), with no evidence for speed-accuracy trade-off between conditions.

The results of experiment 1B confirm those of Experiment 1A. The ANOVA on mean correct RTs revealed a main effect of Position in run, $F(1, 15) = 80.69$, $MSE = 3040.75$, $p < .0001$, indicating again a gradual decrease of RTs from P1 to P3. Switch Frequency interacted

1
2
3 significantly with Position in run, $F(2, 30) = 11.16$, $MSE = 1781.57$ $p < .0005$, with larger
4
5 RTs on switch trials and smaller RTs on task-repeat trials in the 25% condition compared to
6
7 the 50% condition. As expected, the switch cost in the 50% condition was smaller than that in
8
9 the 25% condition, $t(15) = 3.89$, $SE = 21.10$, $p < .005$.

5 Similarly, the analysis of mixing cost revealed that, overall, the mixing cost measured
14
15 in the 50% condition was larger than that measured in the 25% condition (278 ms vs. 248
16
17 ms), $t(15) = 2.65$, $SE = 11.28$, $p < .05$. Furthermore, mixing cost was present for both first and
18
19 second repeat-trials in a run, in the 50% condition, as well as in the 25% condition, all t s >
20
21 7.07 and all p s < .0001.

10 An ANOVA on the results of Experiments 1A and 1B, with RSI as between-
25
26 participants factor, and Position in run and Switch Frequency as within-participants factors,
27
28 showed that the significant interaction between Position in run and Switch Frequency, $F(2,60)$
29
30 = 17.04, $MSE = 1988.29$, $p < .0001$, was not modulated by RSI, $F(2,60) = 1.32$, $MSE =$
31
32 1511.64, $p = .28$.

15 The similarity of the results obtained when RSI = 800 ms and when RSI = 1300 ms
36
37 strongly suggests that the impact of Switch Frequency was not due to effects of passive
38
39 dissipation of the control state on the previous trial or priming effects that were more
40
41 pronounced in the 50% condition compared to 25% condition.

45 Using a task-cueing procedure, Monsell and Mizon (2006) reported similar results,
46
47 with a higher switch frequency (0.75) reducing switch cost, compared to lower probability of
48
49 a change of task (0.25). They proposed a straightforward and attractive explanation of these
50
51 effects of switch frequency. In a condition where the probability of change of task is relatively
52
53 high, the participants may tend to prepare for a task different from the one they just
54
55 performed, before knowing the identity of the upcoming task with certainty. This would thus
56
57 favour task switching compared to a condition where there is a good chance that the task will
58
59
60

1
2
3 *not* change. Conversely, anticipating a change of task implies a cost when task-repeat trials
4
5 eventually occur because the wrong task has been prepared.
6
7

8 Overall, this explanation fits well with our results. However, this view implies that
9
10 within a run, the difference between conditions should be more pronounced on the second
11
12 task-repeat trials (P3) than on the first task-repeat trial (P2). Indeed, since the probability of
13
14 task change increases with the number of consecutive task-repeat trials, the expectation of a
15
16 task switch should be very high after a task-repeat trial in the 50% condition, thus RTs on task
17
18 repeat trials should increase from P2 to P3. This is not what we observed. Instead, in both
19
20 conditions, RTs tended to decrease within a run.
21
22
23

24
25 10 Nevertheless, we decided to further investigate this possibility. One way to prevent
26
27 such anticipation based on the probability of a task change vs. task repetition is to give
28
29 participants foreknowledge about the upcoming task. The experiment 2 was similar to
30
31 Experiment 1B except that a task-cue appeared 1100 ms before the stimulus.
32
33
34
35

36 15 **EXPERIMENT 2.**

37
38 In order to exclude the contribution of probabilistic expectation of task identity, the same
39
40 manipulation of the frequency of task changes was conducted, but a task-cue was provided
41
42 before stimulus onset in order to allow participants to prepare in advance, without uncertainty,
43
44 for the upcoming task.
45
46
47

48 20 The introduction of a preparation interval was also very interesting regarding mixing
49
50 cost. Indeed, it has been found that mixing cost can vanish when the order of task is
51
52 predictable (Poljac, Koch, & Bekkering, 2009). Then, one might wonder if mixing cost will
53
54 still be present within random-task sequences when participants have time to prepare for the
55
56 task and when the probability of a change of task is only 25%.
57
58
59
60

25

Method

Participants

Sixteen voluntary participants (10 women; age range 19-30 years; mean age 22.4 years) took part in the experiment.

Stimuli, Task and Procedure

The task, procedure and stimuli of Experiment 2 were exactly the same as in Experiment 1B except that 1100 ms before stimulus onset, an asterisk ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$) was displayed in the frame containing the upcoming stimulus. The target stimulus then replaced the cue. Since the task was determined by stimulus location, the asterisk thus cued the task before stimulus onset.

Results and Discussion

The overall proportion of errors was 3.2% (< 1.5% in single-task blocks and < 4% in both 25% and 50% mixed-task conditions), with no evidence for speed-accuracy trade-off between conditions.

The ANOVA on mean correct RTs revealed main effect of Position in run, $F(1, 15) = 43.40$, $MSE = 934.33$, $p < .001$ and Switch Frequency, $F(1, 15) = 10.44$, $MSE = 1481.16$, $p < .01$, but the interaction was not significant ($F < 1$). The switch cost in the 50% condition did not differ from that in the 25% condition, ($t < 1$).

In line with this, the analysis of mixing cost indicates that the 50% condition was associated with a larger mixing cost than the 25% condition (62 ms vs. 86 ms), $t(15) = 2.44$, $SE = 10.13$, $p < .05$. Furthermore, in both 25% and 50% mixed-task conditions, the RTs measured on second and third trials of a run were significantly higher than RTs in single-task condition, all $ts > 4.15$ and all $ps < .0001$.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

Contrasting with Experiments 1A and 1B, the results of Experiment 2 indicate a significant effect of Switch Frequency, which did not interact with Position in run. The absence of interaction indicates that in the 50% condition, RTs on task-repeat as well as on task-switch trials were larger than in the 25% condition.

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60

A task-cue was provided 1100 ms before stimulus onset, allowing the participants to prepare, without uncertainty, for the upcoming task. This was supposed to promote a similar anticipation of task-switches or task-repetitions in both switch frequency conditions. A strong argument for this is that the pattern of results on task-repeat trials fits well with that reported in studies where the sequence of tasks was predictable (Milán et al., 2005, Milán, González, Sanabria, Pereda, & Hochel, 2006; Monsell et al., 2003; Sumner & Ahmed, 2006).

10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60

Contrasting with Experiments 1A and 1B, where we observed a gradual recovery of RTs following a switch, the performance completely recovered after just one trial following a task change (P2) in Experiment 2. This difference in RT recovery is precisely what was observed in studies contrasting fixed and random task-sequences (Milan et al., 2005, 2006; Monsell et al., 2003; Tornay & Milan, 2001).

10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60

Thus, in Experiment 2, the detrimental effect of the 50% condition on task-repeat trials cannot be attributed to the fact that participants anticipated a task switch instead of task-repetition because task changes were more frequent in this condition. Instead, this may support the hypothesis that in the 50%, the different task-sets were maintained in a relatively high state of activation, or not fully activated, in order to promote flexibility. Why, therefore, the switch cost was not reduced in the 50% condition, relative to the 25% condition, as in experiments 1A and 1B? One possible explanation is that in Experiment 2, where an explicit cue and a sufficient preparation interval abolished uncertainty for the upcoming task, the low probability of a task change promoted a greater motivation for a complete preparation or full activation of the task-set during the preparation interval (De Jong, 2000; Monsell et al., 2003)

1
2
3 than the high probability of a task change. Indeed, subjects may sometime fail to engage in
4
5 advance preparation because it is an effortful process (De Jong, 2000). Therefore, participants
6
7 may have engaged in more complete preparation when the cue indicated a changed task in the
8
9 25% condition because it occurred less often than in the 50% condition. Another possible
10
11
12 5 explanation is that in such a condition abolishing uncertainty about the upcoming task, the
13
14 only difference between the two conditions is the demand of cognitive resource, being more
15
16 important in the condition with a high probability of a task change (Dreisbach & Haider,
17
18 2006), this latter condition should lead to a general slowing of RT.
19
20
21
22
23

24 10 **GENERAL DISCUSSION**

25
26 In the present study we tested the hypothesis of context-sensitive adjustments of task-set
27
28 control processes (Goschke, 2000). We investigated whether switch cost and mixing cost
29
30 varied according to the frequency to which the task changed within a block of trials (supposed
31
32 to influence endogenous control of task-set activation).
33
34

35
36 15 Overall, confirming previous studies (Dreisbach & Haider, 2006; Monsell & Mizon,
37
38 2006) we found that performance was affected by the frequency to which the task changed.
39
40 When participants had no foreknowledge of the upcoming task (Experiments 1A & 1B), task-
41
42 repeat and task-switch trials were differently affected by switch frequency. When the
43
44 frequency of task changes was relatively high (50% condition), RTs on task-switch trials were
45
46 decreased compared to a condition where the switch frequency was smaller (25% condition).
47
48 20 In contrast, RTs on task-repeat trials were increased in the 50% condition compared to the
49
50 25% condition. As a consequence, switch cost was reduced while mixing cost was enlarged
51
52 by the increase in switch frequency.
53
54
55
56

57
58 These results demonstrate context-sensitive adjustments of task-set control processes
59
60 25 (Goschke, 2000). Furthermore, they are compatible with the hypothesis that task-set readiness

1
2
3 is not an all or none process, but rather adjusted to context requirement. When frequent
4
5 changes of task are expected, the different task-sets would be relatively active, promoting
6
7 flexibility (switch cost is reduced), but having a detrimental effect on stability (the mixing
8
9 cost is increased).
10
11

12
13 5 However, as noted earlier (Monsell et al., 2003), as the run length increases, it is more
14
15 probable that, on a switch trial, the most recent previous encounter with a stimulus was in the
16
17 context of the competing task. Therefore, in the present study, this would mean more
18
19 interference due to stimulus-based or bottom-up task activation (Allport & Wylie, 2000;
20
21 Waszak, Hommel, & Allport, 2003; Waszak, & Hommel 2005; Wylie & Allport, 2000) in the
22
23
24 10 50% condition. However, a stimulus previously paired with one task can affect performance
25
26 in the other task even many trials later (Pösse, Waszak, & Hommel, 2006; Waszak et al.,
27
28 2003). In other words, once the stimulus-task association has occurred, it seems relatively
29
30 stable and not sensitive to the recent trial history. Furthermore this kind of associative
31
32 interference is less contributive to the switch cost than other kind of interference, as task set
33
34
35 15 inertia (Yeung & Monsell, 2003b). Thus, this kind of stimulus-based task activation may
36
37 indeed be present in our data, but it would not significantly contribute to the frequency
38
39 effects. In addition, though it may explain the larger RTs on task-repeat trials in the 50%
40
41 condition, this explanation is incompatible with the decreased RTs on switch trials we also
42
43 observed in this condition. We suggest, instead, that the effects of switch frequency reflect
44
45
46 20 top-down adjustments of task-set readiness.
47
48
49

50
51 The fact that task-repeat trials were affected by the frequency of switches suggests that
52
53 task-set control processes are not restricted to task-switch trials (Altmann, 2002; Koch, 2005).
54
55 The presence of mixing cost is in line with this, as it signifies that task-repeat trials in mixed
56
57 task-blocks involve processes that are absent in single-task condition (Yehene, Meiran &
58
59 Soroker, 2005). Of course, this does not necessarily imply that task-repeat and switch trials
60

1
2
3 involve the same processes, nor does it exclude that task-switch trials require additional
4
5 processes.
6

7
8 The present results have important implications regarding the origin of mixing costs. It
9
10 has been proposed that mixing cost reflects sustained and endogenous components of
11
12 cognitive control (Braver, Reynolds, & Donaldson, 2003; Goffaux, Phillips, Sinai, & Pushkar,
13
14 2006). In contrast, other studies suggest that stimulus-driven interference between task-sets is
15
16 a critical factor in the emergence of mixing cost (Koch et al., 2005; Los, 1999; Mayr &
17
18 Liebscher, 2001; Mayr, 2001; Rubin & Meiran, 2005).
19
20
21

22
23 Our results, showing that task repeat-trials, and thus mixing cost, are affected by the
24
25 frequency of switches may support the view that mixing cost reflects sustained and
26
27 endogenous components of cognitive control (Braver, et al., 2003; Goffaux, et al., 2006).
28

29
30 Actually, if one considers that in mixed-task blocks it is functionally relevant to maintain all
31
32 task-sets relatively active, in order to promote flexibility, then one possibility is that
33
34 interference between sets occurs because multiple task-sets are in a high state of activation.
35

36
37 15 The stimulus-driven (bottom-up) activation of task-sets would be modulated by endogenous
38
39 (top-down) control (Allport, 1987; Duncan, 2001). Support for this comes from a recent study
40
41 showing that mixing cost vanishes when the order of task is predictable (Poljac et al., 2009).
42
43 When no switch is expected, it is less relevant to maintain various task-sets active, and thus
44
45 mixing cost is no longer present or reduced.
46
47

48
49 20 In summary, the present study shows that performances on both task-repeat and task-
50
51 switch trials are modulated by task-switch frequency. This demonstrates context-sensitive
52
53 adjustments of task-set control processes. These results further support the view that mixing
54
55 cost reflects sustained and endogenous components of cognitive control.
56
57
58
59
60

REFERENCES

- 1
2
3
4
5
6
7
8 Allport, A. (1987). Selection for action: Some behavioral and neurophysiological
9 considerations of attention and action. In H. Heuer & A. F. Sanders (Eds.), *Perspectives on*
10
11
12
13 5 *perception and action* (pp. 395-419). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- 14
15
16
17 Allport, D. A., & Wylie, G. (1999). Task-switching: Positive and negative priming of task-set.
18
19 In G. W. Humphreys, J. Duncan, & A. M. Treisman (Eds.), *Attention, space and action:*
20
21
22
23 *Studies in cognitive neuroscience* (pp. 273–296). Oxford, England: Oxford University Press.
- 24
25 10
26
27 Allport, D. A., & Wylie, G. (2000). “Task-switching” stimulus–response bindings, and
28
29 negative priming. In S. Monsell & J. S. Driver (Eds.), *Attention and performance XVIII:*
30
31
32
33 *Control of cognitive processes* (pp. 35–70). Cambridge, MA: MIT Press
- 34
35
36 15 Allport, A., Styles, E.A., & Hsieh, S. (1994). Shifting intentional set: Exploring the dynamic
37
38 control of tasks. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and performance XV:*
39
40
41
42
43
44 *Conscious and nonconscious information processing* (pp. 421-452). Cambridge, MA: MIT
45
46
47
48
49 20
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60 25
60 Altmann, E. M. (2002). Functional decay of memory for tasks. *Psychological Research*, 66,
287–297.
- Altmann, E. M., & Gray, W. D. (2002). Forgetting to remember: The functional relationship
of decay and interference. *Psychological Science*, 13, 27–33.

1
2
3 Braver, T. S., Reynolds, J. R., & Donaldson, D. I. (2003). Neural mechanisms of transient and
4 sustained cognitive control during task switching. *Neuron*, 39, 713–726.
5
6
7
8

9
10 Brown, J., Reynolds, J.R., & Braver, T.S. (2007). A computational model of fractionated,
11
12 5 conflict-control mechanisms in task-switching. *Cognitive Psychology*, 55, 37–85.
13
14
15

16
17 De Jong, R. (2000). An intention-activation account of residual switch costs. In S. Monsell &
18 J. Driver (Eds.), *Attention and performance XVIII: Control of cognitive processes* (pp. 357–
19 376). Cambridge, MA: M.I.T. Press.
20
21
22
23

24 10
25
26 Dreisbach, G., & Haider, H. (2006). Preparatory adjustment of cognitive control in the task
27 switching paradigm. *Psychonomic Bulletin and Review*, 13, 334–338.
28
29
30
31

32
33 Duncan, J. (2001). An adaptive coding model of neural function in prefrontal cortex. *Nature*
34
35 15 *Reviews Neuroscience*, 2, 820-829.
36
37
38
39

40
41 Gilbert, S. J., & Shallice, T. (2002). Task-switching: A PDP model. *Cognitive Psychology*,
42 44, 297–337.
43
44
45
46

47
48 20 Goffaux, P., Phillips, N. A., Sinai, M., & Pushkar, D. (2006). Behavioural and
49 electrophysiological measures of task switching during single and mixed-task conditions.
50
51 *Biological Psychology*, 72, 278–90.
52
53
54
55
56
57
58
59
60

- 1
2
3 Goschke, T. (2000). Intentional reconfiguration and involuntary persistence in task set
4 switching. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and Performance XVIII: Control of*
5 *cognitive processes* (pp 331–355). Cambridge, MA: MIT Press.
6
7
8
9
10
11
12
13 5 Goschke, T. (2003). Voluntary action and cognitive control from a cognitive neuroscience
14 perspective. In S. Maasen, W. Prinz & G. Roth (Eds.), *Voluntary action: Brains, minds, and*
15 *sociality* (pp. 49–85). Oxford: Oxford University Press.
16
17
18
19
20
21
22 Koch, I. (2005). Sequential task predictability in task switching. *Psychonomic Bulletin &*
23 *Review*, 12, 107-112.
24
25 10
26
27
28
29 Koch I., Prinz, W., & Allport, A. (2005). Involuntary retrieval in alphabet-arithmetic tasks:
30 Task-mixing and task-switching costs. *Psychological Research*, 69, 252–261.
31
32
33
34
35
36
37 15 Lien, M.-C., Ruthruff, E., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (2005). On the limits of
38 advance preparation for a task switch: Do people prepare all the task some of the time or
39 some of the task all the time? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and*
40 *Performance*, 31, 299-315.
41
42
43
44
45
46
47
48 20 Los, S. A. (1999). Identifying stimuli of different perceptual categories in mixed blocks of
49 trials: Evidence for cost in switching between computational processes. *Journal of*
50 *Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 3-23.
51
52
53
54
55
56
57
58 Mayr, U. (2001). Age Differences in the Selection of Mental Sets : The Role of Inhibition,
59
60 25 Stimulus Ambiguity, and Response-Set Overlap. *Psychology and Aging*, 16, 96–109.

1
2
3
4
5
6 Mayr, U., Keele, S. W. (2000). Changing Internal Constraints on Action: The Role of
7
8 Backward Inhibition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129, 4–26.
9

10
11
12
13 5 Mayr, U., & Liebscher, T. (2001). Is there an age deficit in the selection of mental sets?
14
15 *European Journal of Cognitive Psychology*, 13, 47–69.
16

17
18
19
20 Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of*
21
22 *Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 1423–1442.
23

24
25 10
26
27 Meiran, N. (2010). Task switching: Mechanisms underlying rigid vs. flexible self control. In:
28
29 R. Hassin, K. Ochsner, & Y. Trope (Eds.), *Social Cognition and Social Neuroscience* (pp.
30
31 202–220). NY: Oxford University Press.
32
33

34
35
36 15 Meiran, N., Chorev, Z., & Sapir, A. (2000). Component processes in task switching.
37
38 *Cognitive Psychology*, 41, 211–253.
39
40

41
42
43 Milán, E.G., Sanabria, D., Tornay, F.J., & Gonzalez, A. (2005). Exploring task-set
44
45 reconfiguration with random task sequences. *Acta Psychologica*, 118, 319–331.
46
47

48 20
49
50
51 Milán, E.G., González, A., Sanabria, D., Pereda, A., & Hochel, M. (2006). The nature of
52
53 residual cost in regular switch response factors. *Acta Psychologica*, 122, 45–57.
54
55
56
57
58
59
60

1
2
3 Monsell, S. (2005). The chronometrics of task-set control. In J. Duncan, L. Phillips & P.
4
5 McLeod (Eds.), *Modelling the mind: Speed, control and age* (pp. 161–190). Oxford, England:
6
7 Oxford University Press.
8
9

10
11
12 5 Monsell, S., & Mizon, G. A. (2006). Can the task-cuing paradigm measure an “endogenous”
13
14 task-set reconfiguration process? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception*
15
16 *and Performance*, 32, 493–516.
17
18

19
20
21
22 Monsell, S., Sumner, P., & Waters, H. (2003). Task-set reconfiguration with predictable and
23
24 10 unpredictable task switches. *Memory & Cognition*, 31, 327–342.
25
26

27
28
29 Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of
30
31 behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-*
32
33 *regulation* (Vol. 4, pp. 1-18). New York: Plenum.
34
35

36 15
37
38 Poljac, E., Koch, I., & Bekkering, H. (2009). Dissociating restart cost and mixing cost in task
39
40 switching. *Psychological Research*, 73, 407–416.
41
42

43
44
45
46 Pösse, B., Waszak, F., & Hommel, B. (2006). Do stimulus-response bindings survive a task
47
48 20 switch ? *European Journal of Cognitive Psychology*, 18, 640-651.
49
50

51
52
53 Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a Predictable Switch Between Simple
54
55 Cognitive Tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 207–231.
56
57
58
59
60

1
2
3 Rubin, O., & Meiran, N. (2005). On the origins of the task mixing cost in the cuing task
4 switching paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*,
5
6 31, 1477–1491.
7
8

9
10
11
12 5 Steinhauser, M., & Hübner, R. (2005). Mixing costs in task shifting reflect sequential
13 processing stages in a multicomponent task. *Memory & Cognition*, 33, 1484–1494.
14
15

16
17
18
19 Sumner, P., & Ahmed, L. (2006). Task switching: The effect of task recency with dual and
20 single affordance stimuli. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59, 1255–
21
22 1276.
23
24
25
26
27
28

29 Tornay, F. J., & Milán, E. G. (2001). A more complete task-set reconfiguration in random
30 than in predictable task switch. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 54, 785–
31
32 803.
33
34
35

36 15
37
38 Waszak, F., Hommel, B., & Allport, A. (2003). Task-switching and long-term priming: Role
39 of episodic stimulus-task bindings in task-shift costs. *Cognitive Psychology*, 46, 361-413.
40
41
42
43
44

45
46 Waszak, F., & Hommel, B. (2007). The costs and benefits of cross-task priming. *Memory and*
47
48 20 *Cognition*, 35, 1175-1186.
49
50

51
52
53 Wylie, G. R., & Allport, D. A. (2000). Task switching and the measurement of “switch costs”.
54
55 *Psychological Research*, 63, 212-233.
56
57
58
59
60

1
2
3 Yehene, E., Meiran, N., & Soroker, N. (2005) Task alternation cost without task alternation:
4
5 measuring intentionality. *Neuropsychologia*, 43, 1858 – 1869.
6
7
8

9
10 Yeung, N., & Monsell, S. (2003a). Switching between tasks of unequal familiarity: The role
11
12 5 of stimulus attribute and response-set selection. *Journal of Experimental Psychology: Human*
13
14 *Perception and Performance*, 29, 455–469.
15
16
17

18
19 Yeung, N. & Monsell, S. (2003b). The effects of recent practice on task switching. *Journal of*
20
21 *Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 919-936.
22
23
24

25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

10

Table 1. Mean RT in ms (standard error) as a function of Task condition and type of trial in Experiments 1a, 1b and 2.

Task condition	Trial	Experiment 1a	Experiment 1b	Experiment 2
Single-Task	-	525 (54)	540 (66)	532 (60)
Mixed-Task 25 %	P1	904 (177)	978 (175)	654 (130)
	P2	712 (125)	807 (142)	595 (108)
	P3	661 (89)	766 (151)	592 (93)
Mixed-Task 50 %	P1	880 (197)	914 (176)	681 (133)
	P2	748 (131)	825 (149)	619 (114)
	P3	682 (100)	792 (137)	618 (119)

Note. In the mixed-task 25% and 50% conditions, the frequency with which the task changed was 25%, and 50%, respectively. In mixed-task blocks, the analyses were restricted to trials occupying the first three positions in a run of trials on a task, with first position or switch trial = P1, and the two subsequent task-repeat trials = P2 and P3.

RÉSUMÉ

Réaliser une tâche implique la mise en œuvre d'une configuration spécifique des processus cognitifs nécessaires à cette réalisation : c'est cette configuration spécifique qui est désignée par le terme de *set* (Monsell, 1996).

Nous étudions les processus de contrôle impliqués dans l'établissement d'un *set* et dans la gestion du conflit entre *sets*, au moyen du paradigme de permutation de tâche et par l'utilisation de stimuli ambigus ou conflictuels (type Stroop) pouvant susciter plusieurs tâches. Le coût de permutation et l'effet d'interférence nous permettent d'apprécier l'efficacité de ces processus de contrôle. L'objectif de ce travail est de déterminer (i) dans quelle mesure les processus de contrôle sont ajustés en fonction de certaines caractéristiques du contexte, et (ii) comment ces variations peuvent éventuellement impliquer la mise en œuvre de processus différents.

Une première étude a examiné comment un contexte de conflit pouvait influencer le contrôle du *set*. Elle montre que la proportion de stimuli conflictuels n'a aucune incidence sur la capacité à changer de tâche (coût de permutation). Cela suggère une indépendance entre les processus liés à l'adoption d'un nouveau *set* et le contrôle dévolu à la gestion du conflit entre les *sets*. Une seconde étude a porté sur le rôle des mécanismes de contrôle du *set* dans le maintien d'un équilibre entre persistance et flexibilité en fonction du contexte. Un contexte d'incertitude sur la nature de la prochaine tâche, associé à une forte probabilité de changement de tâche, favorise la flexibilité. Cela suggère que l'activation d'un *set* n'est pas un processus en tout ou rien, mais est modulé par les caractéristiques du contexte. Cependant, la présence d'un indice levant l'incertitude sur la tâche future réduit très fortement l'influence de la probabilité de changement de tâche. Cela suggère la mise en jeu de deux modes de contrôle différents, selon la possibilité (mode proactif) ou non (mode réactif) d'adopter un *set* avant l'arrivée de l'information à traiter (Braver, Gray & Burgess, 2007). Une troisième étude a testé l'hypothèse de mécanismes d'inhibition spécifiques du type de contrôle mis en œuvre. Les résultats confirment partiellement l'existence d'un mécanisme d'inhibition du *set* spécifiquement associé au contrôle proactif, et apportent de manière originale des preuves comportementales en faveur d'un mécanisme spécifiquement associé au contrôle réactif : la suppression on line du *set* évoqué par les distracteurs présents avec le stimulus cible. Enfin, en utilisant un paradigme de type Stroop dans une approche neuropsychologique chez des patients souffrant de la maladie de Parkinson, une dernière étude a permis de préciser les substrats neurophysiologiques des modes de contrôle proactif et réactif.

Les recherches menées permettent par ailleurs de discuter de l'intérêt d'utiliser le concept de *set* associé à une tâche dans l'étude du contrôle exécutif, ainsi que des intérêts et des limites du paradigme de permutation de tâche.

Mots clés : contrôle exécutif, *set*, permutation de tâche, coût de permutation, Stroop, interférence, contrôle proactif, contrôle réactif

ABSTRACT

To perform any cognitive task requires an appropriate organization of cognitive processes and mental representations in order to act in accordance with task requirements. This internal configuration has been called task set (Monsell, 1996). In the present work, we studied control processes involved in establishing a task-set and mechanisms involved in the resolution of conflict between task-sets, by using the task switching paradigm and ambivalent or conflict stimuli (Stroop-like stimuli) affording several tasks. The efficiency of control processes was indexed by switch cost and interference effects. The aim of this work was to determine (i) how control processes are adjusted according to contextual characteristics and (ii) how these adjustments reflect the implementation of different processes.

An initial study explored the potential influence of a conflict context on task-set control. The results showed that the proportion of incongruent stimuli modulated the degree of conflict elicited by Stroop-like stimuli, but did not influence task switching performance (switch cost). These results suggest that processes involved in the establishment of a new task-set and those involved in the resolution of conflict between task-sets are independent. A second study explored the role of task set control processes in maintaining a context-dependent balance between stability and flexibility. Results of experiment 2 showed that, in a context where the identity of the upcoming task is uncertain, a high frequency of task changes promoted flexibility. This suggests that task-set activation is not an all-or-none process, but rather a gradual process adjusted to context demand. However, results of experiment 3 showed that when a task-cue abolishing uncertainty about the upcoming task is introduced, the influence of task switch frequency was substantially reduced. This suggests the implementation of two distinct control modes, depending on the possibility (proactive mode), or not (reactive mode), of adopting a task-set before target information onset (Braver, Gray & Burgess, 2007). A third study tested the hypothesis that each control mode is associated with specific inhibitory mechanisms. Our results partially confirmed that proactive control involved retroactive inhibition of the previously preformed, and now irrelevant, task-set. More importantly, we provided behavioural evidence for an inhibitory mechanism specifically linked to reactive control: the on-line suppression of task-sets afforded by the distracters present with the target stimulus. In a fourth study, using a Stroop-like paradigm in patients with Parkinson's disease, we investigated the neurophysiological substrates of proactive and reactive control modes.

Finally, we discuss whether the 'task-set' approach and the related task-switching paradigm are useful tools for the study of executive control.

Key words: executive control, task-set, task-switching, switch cost, Stroop, interference, proactive control, reactive control.