

**ÉCOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE LA VIE
ET DE LA SANTÉ**

Unité INSERM u1114

THÈSE présentée par :

Sébastien WEIBEL

soutenue le : 14 mars 2014

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université de Strasbourg**

Discipline/ Spécialité : Neurosciences

**Influences non conscientes sur des
processus mentaux complexes
Initiation de stratégies et sentiment de contrôle**

THÈSE dirigée par :

Mme GIERSCH Anne

Docteur, INSERM, Université de Strasbourg

RAPPORTEURS :

M. GAILLARD Raphaël

Mme TALLON-BAUDRY Catherine

Professeur, Université Paris Descartes

Docteur, Ecole Normale Supérieure Paris

AUTRES MEMBRES DU JURY :

M. DESPRÉS Olivier

Mme FARRER-PUJOL Chloë

Mme HURON Caroline

Docteur, Université de Strasbourg

Docteur, CNRS Toulouse

Docteur, INSERM Gif-sur-Yvette

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu Anne Giersch, ma directrice de thèse.

Pendant ces années de thèse, j'ai beaucoup appris de nos échanges. Elle m'a transmis la rigueur scientifique et m'a communiqué sa passion pour la recherche. Je la remercie aussi pour ses qualités humaines, sa disponibilité sans faille, ses encouragements, sa bonne humeur (même lors des corrections), et ses rires communicatifs...

Merci aussi, Anne, pour ces grands moments de recherche appliquée, une fois par semaine entre midi et deux, avec Fabrice, autour de Bach, Beethoven, du klezmer, ou de Roussel (j'ai oublié le nom du Hongrois dans le trio duquel notre sentiment de contrôle n'a jamais vraiment décollé de zéro)...

Je remercie chaleureusement les membres du jury, Catherine Tallon-Baudry, Raphaël Gaillard, Chloë Farrer, Olivier Després et Caroline Huron.

Votre participation à mon jury de thèse est pour moi un honneur.

Je tiens à remercier particulièrement Caroline avec qui j'ai commencé mon parcours de recherche, en master, il y a déjà quelque temps...

Je remercie sincèrement l'équipe de l'unité Inserm 1114 (il y a peu, 666) qui m'ont accueilli dans le laboratoire. Je pense particulièrement à Jean-Marie Danion, qui a toujours fait preuve de bienveillance et d'intérêt pour mes projets de recherche ;

Merci à Rémi Capa, pour son aide et ses conseils ;

Patrick Poncelet, pour son intérêt partagé pour le phantom de la cave ;

Je pense aussi particulièrement à Laurence et Fabrice, qui m'ont précédé dans ce parcours ardu mais stimulant de MD-PhD, et qui n'ont pas été avares en conseils et en amitié ;

Mes cothésards du bureau 7, puis 6, pour le soutien et l'ambiance : Caroline, Mitsouko, Gwendoline, Bérengère, Patrick ; et les autres qui n'ont pas été en reste : Jevita, Elçin, Céline ;

Et les autres membres de l'unité 1114, merci pour les échanges et pour votre transmission : Elisabeth Bacon, Anne Bonnefond, Nadège Doignon, Liliann Manning, Isabelle Offerlin-Meyer, Pierre Vidailhet, Patrick Gries, et les tous les autres, permanents ou de passage, mais qui ont tous participé d'une manière ou d'une autre...

Je remercie particulièrement Yvonne Delevoye-Turrell pour son accueil à Lille, ses conseils ; également Laurent Ott, pour avoir réussi à me faire comprendre les bases de Matlab...

Je remercie très chaleureusement Gilles Bertschy, pour son soutien inconditionnel, sa confiance, son enseignement clinique, et pour les interactions du quotidien toujours amicales, quand je mets mon autre casquette... Et sous la casquette il y a toujours la même tête, et j'espère bien pouvoir utiliser tout ce que j'ai appris pour nos projets futurs.

Je remercie aussi particulièrement Luisa Weiner et Jack Foucher, pour ces riches échanges intellectuels et cliniques ;

Mes autres collègues, et tous ceux avec qui j'ai plaisir à travailler ...

A mes amis, que j'ai un peu délaissé ces derniers temps...

A ma famille,

Anne et Michel, merci pour votre soutien et pour le « support technique »...

Mes parents, je vous dois tant...

Martin, Eloi et Oscar : mes trois soleils !

A Hélène

RESUME

Est-ce que des stimuli non conscients peuvent modifier des processus classiquement considérés comme conscients ? Cette question est d'un intérêt particulier dans la schizophrénie où il existe à la fois des anomalies de processus implicites et des anomalies de processus conscients, comme par exemple, initier une stratégie ou se sentir en contrôle de son action. Pour réaliser des études chez les patients, nous devons savoir dans quelle mesure le choix d'une stratégie ou le sentiment de contrôler son action sont soumis à des influences non conscientes. Nous avons réalisé deux études chez le sujet sain montrant qu'un stimulus non conscient peut influencer la préparation d'une stratégie. Cependant, il existe des limites à ces influences non conscientes : le traitement du stimulus non conscient ne doit pas être interrompu trop tôt, et des filtres attentionnels le modulent. Notre troisième étude a analysé l'effet de distorsions subliminales du retour haptique (tactile et kinesthésique) sur l'adaptation motrice et sur le sentiment conscient de contrôler son action. Nous avons montré que le sentiment de contrôler l'action était modulé par des distorsions du retour haptique, même quand celui-ci est subliminaire. Les influences non conscientes ont un impact sur les processus habituellement conscients, dans des circonstances limitées et contrôlées.

Do unconscious stimuli modify processes that are typically associated with consciousness? This question is of particular interest in schizophrenia in which there is both impairments of implicit processes and abnormalities of conscious processes. For instance patients have difficulties to initiate a strategy or to feel in control of their actions. For this purpose, we wanted to know to what extent the choice of a task set or the feeling of control over the action could be influenced by unconscious cues. We conducted two studies in healthy subjects showing that unconscious stimuli can influence the preparation of a task set. However, we have shown that there are limitations to these unconscious influences: the processing of unconscious stimuli must be uninterrupted for some time, and it is modulated by attentional mechanisms. Our third study analyzed the effect of subliminal distortions of the haptic feedback (tactile and kinesthetic) on motor adaptation and on the conscious sense of control over the action. We have shown that the feeling of control was modulated by subliminal distortions of the haptic feedback. Unconscious influences have an impact on conscious processes, but in limited and controlled circumstances.

SOMMAIRE

Avant propos et contexte de la thèse	1
Introduction.....	5
1. « Initiation » dans la schizophrénie.....	7
2. Introduction sur la conscience.....	11
2.1. Méthodes d'étude de la conscience	13
2.2. Modèles neurobiologiques de la conscience	16
3. Task sets et conscience	25
3.1. Définition des task sets et du paradigme de permutation de tâche.....	25
3.2. Corrélats neuronaux des task sets et organisation du cortex préfrontal.....	28
3.3. Influences non conscientes sur le contrôle cognitif.....	31
3.3.1. Influences non conscientes sur les décisions	32
3.3.2. Influences non conscientes sur le contrôle cognitif	35
3.4. Amorçage non conscient de task-set	38
4. Contrôle moteur, sentiment de contrôle et conscience	45
4.1. Principes du contrôle moteur : à l'insu de la conscience	45
4.2. Rôle de la conscience et de l'attention dans l'initiation de l'action.....	49
4.2.1. Attention et initiation de l'action	50
4.3. Conscience d'être l'auteur de son mouvement	51
4.3.1. La conscience de l'appartenance corporelle	52
4.3.2. Agentivité et sentiment de contrôle	53
4.3.3. Pourquoi étudier le sentiment de contrôle ?	55
4.3.4. Mécanismes de l'agentivité et du sentiment de contrôle.....	56
4.3.5. Sentiment de contrôle et contrôle exercé	62
5. Synthèse.....	63
Présentation des études	63

Etudes sur l’amorçage non conscient de task set.....	65
1. Justification des études : task-set et schizophrénie	67
1.1. Schizophrénie et conscience	67
1.2. Task setting et stratégies dans le domaine de la mémoire	70
1.3. Stratégies et permutation de tâche	72
1.4. Organisation du contrôle exécutif dans la schizophrénie	75
1.5. Synthèse et premiers objectifs expérimentaux dans le domaine de l’initiation de task set chez les patients avec schizophrénie	77
2. Objectifs généraux des Etudes 1 et 2	79
Etude 1 : l’amorçage de task set non conscient	83
Objectifs et prédictions de l’Etude 1.....	85
Etude 1.....	87
Résultats principaux de l’Etude 1	101
Etude 2 : influence de l’attention sur l’amorçage de task set non conscient	103
Objectifs et prédictions de l’Etude 2.....	105
Etude 2.....	109
Résultats principaux de l’Etude 2	135
Etude 3 : Adaptation à des distorsions conscientes et subliminales du retour haptique ; Influence sur le sentiment de contrôle.....	137
1. Justification de l’étude : contrôle de l’action et schizophrénie	139
1.1. Attribution de l’action dans la schizophrénie.....	139
1.2. Mécanismes prédictifs des anomalies de l’agentivité.....	141
1.3. Hypothèse d’une anomalie de prédiction temporelle dans le contrôle moteur chez les patients souffrant de schizophrénie	144
2. Objectifs de l’étude 3	148
Etude 3.....	149
3. Résultats principaux de l’étude 3	185
Discussion générale	187
1. Un stimulus non conscient peut-il modifier la préparation d’un task set ?	188
1.1. Comment distinguer amorçage de task set et amorçage de répétition ?	189
1.2. Pourquoi l’effet d’amorçage de task set est-il faible par rapport aux autres études ?	191
1.3. Mécanismes de l’amorçage de task set.....	195
1.4. Dans quel cas un task set peut-il être amorcé de manière non consciente ? Réponses apportées par nos études	197

1.5.	Limites générales de l’amorçage non conscient de task set.	204
2.	Rôle des influences non conscientes sur le sentiment de contrôle.....	209
2.1.	Stimuli non conscients dans le domaine haptique.....	209
2.2.	Influences non conscientes sur le sentiment de contrôle.....	210
2.3.	Déterminants du sentiment de contrôle.....	212
2.4.	Limites de notre étude et perspectives expérimentales.....	213
3.	Stimuli non conscients, attention et processus de haut niveau.....	216
3.1.	Influence de stimuli non conscients sur les processus de haut niveau.....	216
3.2.	Quelles implications dans la pathologie ?.....	221
4.	Perspectives : études dans la schizophrénie.....	224
	Conclusions.....	227
	Bibliographie.....	229

Table des figures

Introduction

Figure 1 : Modèle du traitement récurrent de Lamme.....	18
Figure 2 : Espace de travail neuronal global (ETNG)	21
Figure 3 : Modèle du contrôle cognitif selon Koechlin et al. (2003)	31
Figure 4 : Représentation schématique du monitoring d'une action par les modèles internes	47

Etude 1

Figure 1 : Stimuli and procedure of Experiments 1 and 2.....	92
Figure 2 : Task set priming in Exp. 1.....	93
Figure 3 : Task set priming in Exp. 2.....	95
Figure 4 : Comparison of the priming effect for the repetition priming procedure and the task set priming procedure.....	95

Etude 2

Figure 1 : Stimuli and procedure.....	121
Figure 2 : Median response time in the repetition priming procedure	125
Figure 3 : Median response time in the task-set priming procedure.....	126
Figure 4 : Extent of the task-set priming effect as a function of prime detection	127

Etude 3

Figure 1 : Representation of the phantom device and the virtual surfaces.....	159
Figure 2 : Graphical representation of the position, the velocity and the acceleration in a typical trial after distortion	164
Figure 3 : Experiment 1: Median deceleration time according to the relative position to the trial, for each distortion delay.	166
Figure 4 : Experiment 1: Height of deceleration start according to the relative position of the trial, for each distortion delay.....	166
Figure 5 : Experiment 1: ratings of the feeling in control according to the distortion condition and the number of transitions in the session 'Multiple Change'	169
Figure 6 : Feeling in control rating as a function of deceleration time (DT) and height of deceleration start (HD)	170
Figure 7 : Experiment 2: Median deceleration time according to the relative position to the delay	172

Figure 8 : Experiment 2: Height of deceleration start according to the relative position of the trial	173
Figure 9 : Experiment 2: Feeling in control ratings according to the distortion condition and the number of transitions in <i>Multiple Change</i> session	175

Discussion

Figure 5 : Représentation schématique de l'accumulation d'évidence ($d(t)$) en fonction du temps dans un paradigme d'amorçage perceptif	198
Figure 6 : Hypothèse concernant l'accumulation d'évidence ($d(t)$) dans l'Etude 1 (Expérience 1 et 2), à partir du modèle de Vorberg (2003)	200

AVANT PROPOS ET CONTEXTE DE LA THESE

Notre travail de thèse est un travail de recherche fondamentale, déployé en parallèle à une activité médicale en psychiatrie. Cette double activité nous a poussé, en utilisant les outils de la neuropsychologie cognitive auxquels nous nous sommes formé, à explorer une question clinique, portant sur une pathologie rencontrée quotidiennement dans notre exercice, la schizophrénie. D'emblée, nous précisons que si les questions ont été soulevées par l'étude des mécanismes cognitifs de la schizophrénie, nous avons mené des études uniquement chez le sujet sain. La neuropsychologie cognitive chez les patients schizophrènes a en effet mené à des questions qui concernaient le fonctionnement cognitif normal et qui ne nous sont pas apparues pouvoir être explorées directement dans la pathologie. C'est pourquoi nous avons créé de nouveaux paradigmes expérimentaux, lesquels sont destinés à terme à être utilisés auprès des patients, au moins pour le dernier. Nous ne pouvons ignorer les implications de nos travaux pour la pathologie dans cette thèse. Pour cette raison, une partie du texte sera consacrée aux anomalies cognitives observées dans la schizophrénie, malgré des études expérimentales uniquement menées auprès des volontaires sains.

La schizophrénie est l'une des pathologies les plus énigmatiques touchant l'être humain. Les mécanismes et déterminants de cette pathologie restent encore largement méconnus. Elle altère des fonctions cruciales chez l'être humain : être capable de vivre avec ses semblables et s'accorder avec les intentions des autres, percevoir le monde de manière cohérente et interpréter ses causalités, se représenter en tant qu'individu ayant une histoire et s'inscrivant dans un devenir. Les troubles schizophréniques perturbent fortement ces

fonctions, par les symptômes délirants et hallucinatoires, la désorganisation de la pensée et de l'action et la présence des symptômes déficitaires.

La méthode choisie est l'exploration des troubles cognitifs et leurs mécanismes physiopathologiques¹. En effet, la schizophrénie est marquée par une multitude de déficits cognitifs, qui semblent jouer un rôle important dans la symptomatologie et avoir des conséquences non négligeables sur la vie quotidienne des patients (Keefe et Eesley, 2009). Il n'y a pas pour l'heure de modèle explicatif rendant compte de l'intégralité des aspects de la schizophrénie. Des modèles proposent l'existence d'une altération caractéristique des processus associés de la conscience. L'analyse cognitive suggère en effet que les patients qui souffrent de schizophrénie ont des difficultés à initier une stratégie cognitive et à se sentir agent de leur acte, et ces processus sont typiquement associés à la conscience. Cependant, ces processus sont également sous-tendus par des mécanismes non conscients. Dès lors, quels sont les déterminants des troubles observés dans la schizophrénie ? Nous avons identifié certaines questions restées en suspens, même chez les volontaires sains, et avons cherché à trouver des outils pour y répondre dans le contexte de la schizophrénie. Ces études chez le sujet sain apportent des éléments nouveaux sur les interactions entre mécanismes liés à la conscience et processus non conscients chez le sujet sain.

Notre introduction, après un bref passage par la clinique de la schizophrénie qui nous permettra de centrer notre champ d'intérêt, reprendra d'abord les notions importantes concernant la conscience. Nous préciserons ensuite la notion de task set, et l'initiation du task set, en nous focalisant sur le rôle de processus non conscients. Nous aborderons ensuite les déterminants conscients et non conscients du contrôle moteur.

¹ Nous n'évoquerons ici que les mécanismes d'ordre cognitifs, en mettant de côté une perspective étiologique (génétique, neuro-développementale). Nous n'ignorons pas ces aspects, mais nous nous situons clairement dans une perspective d'une symptomatologie clinique ou cognitive comme voie finale commune de différentes anomalies cérébrales (Howes et Kapur, 2009).

Le corps de la thèse sera composé de notre contribution expérimentale. Nous préciserons avant chaque étude les questions en suspens dans la schizophrénie qui nous ont poussé à choisir le domaine concerné. Nos deux premières études portent sur l’amorçage non conscient de task set, c’est-à-dire dans quelle mesure un indice non conscient peut conduire la personne à déclencher une tâche. La troisième étude explore le rôle de modifications non conscientes du retour sensoriel sur l’adaptation du mouvement et le sentiment de contrôle de ce mouvement.

Nous discuterons ensuite des implications de ces travaux, pour finir sur des perspectives dans la schizophrénie.

INTRODUCTION

1. « Initiation » dans la schizophrénie :

Clinique des troubles de l'initiation des stratégies et de la conscience de l'action

La schizophrénie est une pathologie sévère qui ne reste encore aujourd'hui que partiellement comprise. La symptomatologie est diverse et polymorphe, avec l'existence d'une distorsion de la perception de la réalité, d'une altération du jugement et de la pensée, ainsi que des modifications des émotions, du comportement, et des relations aux autres (Lewis et al., 2009). Il existe des symptômes particulièrement discernables lors des phases aiguës, comme le délire et les hallucinations. En dehors des phases de décompensation, d'autres difficultés sont observées et malgré leur caractère moins « bruyant », elles ont un retentissement important. Ce sont notamment les symptômes négatifs et les troubles cognitifs. Ils demeurent généralement présents tout au long de la vie du patient, et sont la cause d'un handicap persistant et sévère (Green et al., 2000), qui affecte les capacités de réinsertion et de vie sociale. Prenons quelques exemples très concrets.

Les patients, même stabilisés, présentent souvent un manque d'initiative, une perte de volonté, un manque de motivation, jusque dans des actes simples de la vie courante. Par exemple, ils délaissent leur hygiène ou l'entretien de leur logement, oublient de régler leurs affaires courantes, perdent l'intérêt pour les loisirs qu'ils affectionnaient auparavant, ou pour la recherche d'un emploi. Tout clinicien au contact de patients souffrant de schizophrénie observera que le patient ne vient pas lui-même s'en plaindre. Par contre, ce sont souvent les proches, les aidants, les équipes soignantes, qui mettent en avant le manque de motivation ou de volonté, tout en essayant de pallier ce « manque de volonté ». Dans les prises en charge orientées vers la réhabilitation psycho-sociale, où l'objectif est de ramener le patient à une vie la plus autonome possible, la stratégie est justement de trouver des solutions pour passer outre ce « manque de volonté », par le biais de renforcement

positif, de stimulation, ou de « prompting¹ » (voir par exemple: Silverstein et al., 2005). C'est à partir de cette question clinique, du « manque de volonté », que nous avons engagé notre réflexion.

Nous nous sommes ainsi focalisé sur deux sources potentielles du manque de volonté : l'initiation, et la difficulté à être en contrôle de son action, c'est à dire mettre l'action en route et la contrôler dans son déroulement. Premièrement, pour mettre en route une action, il faut transformer un but général en procédures abstraites que sont les stratégies, et les initier. Nous emploierons ici le terme de stratégie à partir de son acception qui est faite dans les études sur la mémoire, où elle désigne les procédures délibérées utilisées pour coder ou récupérer les informations en mémoire (Boltwood et Blick, 1970; Kirchoff, 2009). Nous élargissons dans ce travail cette acception, en incluant dans les stratégies les procédures cognitives non délibérées, que nous généraliserons en employant le concept de 'task set' (Sakai, 2008)². Un déficit d'initiation de stratégies chez les patients pourrait être en lien avec un certain nombre de symptômes négatifs comme l'apragmatisme, l'aboulie, et la perte d'initiative. Après l'initiation de l'action, la seconde question est celle du contrôle de l'action, que nous aborderons dans un domaine moins cognitif que les stratégies en mémoire, le contrôle moteur. En effet, un symptôme relativement fréquent et caractéristique de la schizophrénie est le délire d'influence (dans le cadre de l'automatisme mental). Dans certaines circonstances, les patients ont l'impression de ne plus être les auteurs de leurs pensées ou de leurs actes, et ils ont ainsi la conviction que celles-ci sont générées ou contrôlées par une force ou une personne extérieure. Un des déterminants de

¹ Prompter signifie aider le patient à débiter la tâche à réaliser, par opposition à des approches de coaching, où le travail se fait sur la motivation elle même. Par exemple, l'infirmier suggèrera au patient de prendre une douche en l'incitant par des gestes ou des stimuli à initier l'action (lui tendre un savon et une serviette par exemple). Cette technique est basée sur l'observation selon laquelle, quand une tâche est initiée, le patient a davantage tendance à la réaliser complètement. Pour des patients sévèrement déficitaires, cela peut servir dans des actes de la vie quotidienne comme l'hygiène, mais la méthode peut aussi s'appliquer à des stades de réhabilitation plus avancés comme réaliser une démarche administrative.

² Nous définirons la notion de 'task set' dans le développement de notre partie sur la préparation d'une tâche cognitive, voir p. 25.

ces phénomènes pathologiques est une anomalie de l'agentivité : les patients ne se reconnaissent pas totalement maîtres de leurs actions. En d'autres termes, ils ne se rendent pas compte qu'ils ont eux-mêmes initié une action. La perte du sentiment de contrôler son action pourrait être le corollaire de la difficulté à l'initier.

Ainsi, nous nous intéresserons particulièrement, dans le domaine de la schizophrénie, à l'initiation de stratégies et au sentiment de contrôler son action. La schizophrénie a souvent été théorisée comme une pathologie de la conscience (par exemple: Dehaene et al., 2003; Sass et Parnas, 2003; Danion et al., 2007). De la même façon, les troubles de l'agentivité suggèrent une anomalie de la prise de conscience d'être l'auteur de l'action (Jeannerod, 2009a). Mais le « manque de volonté », ou la difficulté à initier des stratégies dépendent-ils uniquement de déterminants conscients ? La question n'a pas été posée directement, et nous ne savons pas si des déterminants non conscients sont en jeu. Pour cela il faut déjà disposer des outils pour étudier ces déterminants non conscients. Il nous est apparu au fil de nos expériences que les outils existants devaient être adaptés et qu'il était nécessaire de répondre à des questions fondamentales concernant les déterminants non conscients de l'initiation de stratégie, avant de les appliquer à la pathologie. Concernant l'agentivité, nous avons voulu construire un outil innovant permettant de prendre en compte le retour sensoriel haptique (tactile et kinesthésique). C'est pour cette raison que nous avons commencé par des études auprès des volontaires sains, dans le but de les appliquer ultérieurement aux patients souffrant de schizophrénie. Dans quelle mesure une stratégie peut-elle être initiée non consciemment, et est-ce que le contrôle de l'action est lié à des influences non conscientes ?

Cette ouverture nous a permis d'introduire nos champs d'intérêt. Dans les parties suivantes, après une réflexion sur la notion de conscience, nous développerons la question de l'initiation de stratégies et du sentiment de contrôle, dans leurs déterminants conscients et non conscients. Nous reprendrons des données plus précises concernant la

neuropsychologie de la schizophrénie dans la présentation des études, afin de justifier le choix de ces paradigmes.

2. Introduction sur la conscience

La question de la conscience a été initialement abordée par le biais de la perception de l'intériorité. « Connais-toi toi-même » : voici comment Socrate interprète l'oracle de la pythie fait à son ami Chéréphon, qui l'annonçait comme le plus sage des hommes. Il reprend cette phrase inscrite sur le fronton du temple de Delphes. Socrate enseigne ainsi que la sagesse est la capacité à discerner ce que l'on sait et l'on ignore (Platon, 1997 Trad. L. Brisson). La philosophie grecque introduit ainsi l'introspection, et considère qu'il est possible d'examiner le soi, en le détachant des contingences extérieures qui, par les désirs et les passions, éloignent de la vérité. Une acception actuelle de la conscience, à savoir distinguée d'un sens moral, n'est envisagée que bien plus tard, à partir du XVII^e siècle. Descartes, notamment, pose comme première certitude le fait que le sujet est pensant, et que toute pensée est d'abord cette expérience de soi (Descartes, 1651). C'est Locke, en reprenant le terme de *consciousness* (traduit en français comme la conscience), qui détache la conscience de toute notion métaphysique, et la définit comme la « perception de ce qui se passe dans l'esprit humain » (Locke, 1690). Les psychologues ont ensuite entrepris d'aborder la conscience avec une méthode introspective, puis scientifique. Une définition générale de la conscience pourrait se résumer en la faculté mentale qui permet d'appréhender de manière subjective les états extérieurs, par le biais des perceptions, et les états intérieurs, concernant les émotions et les pensées. La conscience permet ainsi de *rapporter* verbalement, ou par une action volontaire, l'existence d'une perception, d'une pensée, ou d'un autre processus mental. A un moment donné, seule une quantité limitée d'éléments peuvent accéder à la conscience, définissant le contenu conscient, les autres phénomènes mentaux restant non conscients (Dehaene et Changeux, 2011).

Le terme de conscience peut présenter certaines ambiguïtés sémantiques. La langue française en rajoute d'ailleurs une supplémentaire, puisque le même terme de conscience renvoie aussi bien à la conscience morale (*conscience* en anglais) qu'à l'état de conscience (*consciousness*). Par ailleurs, en employant conscience (*consciousness*) de manière transitive (« la personne est consciente »), cela renvoie à la notion d'éveil ou de vigilance. Sous une forme intransitive (« il est conscient de voir cet objet »), nous arrivons à l'acceptation que nous souhaitons considérer.

Les philosophes et les scientifiques s'accordent aujourd'hui pour dire que la conscience est un « phénomène réel, naturel, biologique et localisé dans le cerveau » (Revonsuo, 2001). Selon une théorie biologique de la conscience, la conscience est un processus mental dynamique, intégré et multimodal, déclenché par des événements physiques survenant dans le cerveau antérieur (Edelman et al., 2011). Le contenu de la conscience permet la construction d'une scène unifiée qui est formée d'une part, d'une sélection de stimuli exogènes, et d'autre part de contenus endogènes issus d'un stockage mnésique (Edelman et al., 2011). La conscience permet de générer le sentiment que 'soi' est impliqué dans la perception d'un stimulus donné, c'est-à-dire que la perception « appartient » à l'organisme impliqué dans la perception. Ainsi la conscience permet la création d'une conscience réflexive, base pour la construction d'une conscience de soi (Damasio, 1998). Il a en outre été proposé que la conscience des actes ou des sentiments est essentielle pour que les actions soient cohérentes entre elles, et qu'elles correspondent à des buts plus généraux. (Baddeley, 1996; Tzelgov, 1997). Il a ainsi été proposé que les structures neurales et les mécanismes sous-tendant la conscience ont été sélectionnés au cours de l'évolution parce qu'ils permettaient de planifier et de se préparer à des éventualités futures. Le fait d'être conscient de ses buts permet de décider d'agir (ou de ne pas agir) sur son environnement en fonction de ceux-ci. La concordance entre la conscience de ses buts et la conscience de l'appartenance de ses perceptions et de son corps, rend le sujet capable de se ressentir comme auteur de ses actions, ce qui correspond au sens de l'agentivité (Jeannerod, 2004).

Au total, la conscience semble impliquée dans des processus que nous avons mis en exergue dans notre introduction clinique sur la schizophrénie : mettre en place des stratégies et les contrôler, avoir conscience d'être à l'origine de ses actions, en ayant le sentiment de les contrôler. Etudier la conscience est donc particulièrement pertinent dans la schizophrénie. Nous détaillerons maintenant les méthodes d'étude de la conscience et les principaux modèles biologiques de la conscience qui nous ont servi à élaborer nos paradigmes. Nous insistons particulièrement sur les difficultés méthodologiques rencontrées, qui ont guidé nos choix de paradigmes expérimentaux.

2.1. Méthodes d'étude de la conscience

Pour étudier la conscience, il faut pouvoir dissocier les processus conscients, des processus non conscients. Baars a proposé une méthode expérimentale, dite méthode contrastive, qui propose d'utiliser un contraste minimal entre stimuli conscients et non conscients (Baars, 1988). Le fait qu'un stimulus puisse être rapporté par un sujet correspond à la notion d'accès à la conscience¹. Rendre un stimulus non conscient se base sur le fait de limiter cet accès conscient. Pour cela plusieurs méthodes sont possibles, consistant soit à dégrader fortement la qualité de l'information sensorielle, ou à altérer les ressources attentionnelles du sujet disponibles pour le stimulus en question (Kim et Blake, 2005). Nous allons voir dans cette partie les différentes techniques permettant de rendre un stimulus non conscient.

¹ A noter que dans certaines théorisations de la conscience, la conscience d'accès est considérée comme une partie seulement du problème de la conscience. Par exemple, Block propose une distinction entre une conscience phénoménale et une conscience d'accès (Block, 2005). La conscience phénoménale serait ainsi l'expérience brute (sensation, ressenti, émotion) qui n'est pas forcément rapportable. La conscience d'accès correspondrait quant à elle au phénomène par lequel l'information devient accessible à un rapport verbal, ou au contrôle du comportement. Cette distinction reste discutée, et la discussion porte notamment sur le caractère testable de la conscience phénoménale (voir Dehaene et al., 2006).

La méthode permettant d'atténuer la force d'un stimulus la plus fréquemment utilisée est le masquage. Dans le masquage, la visibilité subjective d'un stimulus est réduite ou supprimée par la présentation, proche sur le plan spatial et temporel, d'un autre stimulus agissant comme un masque. Dans une expérience classique de masquage rétrograde (*backward masking*), un stimulus est présenté pendant une durée de quelques dizaines de millisecondes. Soit le masque épouse exactement le contour du stimulus, et on parle alors de masquage par métacontraste, soit le stimulus est suivi rapidement par d'autres stimuli non pertinents (chaînes de caractères, lignes aléatoires), et l'on parle alors de masquage par structure (*pattern*) (Neumann et Klotz, 1994; Breitmeyer et Ogmen, 2006). Dans les conditions expérimentales adéquates, le stimulus devient impossible à « voir ». Il est aussi possible d'altérer l'information sensorielle afin de rendre le stimulus non conscient en diminuant l'intensité (temps ou contraste) du stimulus au point de le rendre indétectable. D'autres techniques d'altération du signal ont été décrites, comme la rivalité binoculaire ou la suppression par flashes continus (*continuous flash suppression*) (Tsuchiya et Koch, 2005). Inversement, au lieu de diminuer la force du stimulus, il est possible de manipuler l'attention du sujet dans le but de réduire sa capacité à détecter un stimulus critique, qui aurait été sinon parfaitement visible. Dans le clignement attentionnel, une distraction créée par un stimulus T1 empêche la perception consciente d'un second stimulus T2, apparaissant à la même position à un délai de quelques centaines de millisecondes (Raymond et al., 1992). Dans la cécité attentionnelle (*inattentional blindness*), un stimulus ne peut être rapporté parce que l'attention du sujet est déportée sur une autre tâche (Mack et Rock, 1998).

Si l'ensemble de ces méthodes est destiné à réduire la visibilité des informations visuelles, et à altérer la perception consciente, elles préservent cependant certains processus. Le traitement résiduel peut être identifié en demandant des réponses à choix forcé, en mesurant des temps de réponse, ou en mesurant l'activité neurale. Elles permettent ainsi d'identifier les bases des processus conscients et non conscients.

Pour mesurer la visibilité d'un stimulus, deux méthodes sont possibles. On peut demander au sujet de dire subjectivement s'il a vu le stimulus : le stimulus est alors « non perçu » (*méthode subjective*). L'autre solution est de réaliser un test permettant de vérifier que le sujet a une capacité de discrimination ou de détection au niveau du hasard, en faisant un test de choix forcé : par exemple le sujet doit décider si le stimulus est présent dans l'une parmi deux localisations possibles. Dans ce cas, le stimulus est dit « invisible » ou « subliminal » (*méthode objective*). Les résultats de la mesure objective peuvent différer de la mesure subjective. Le cas le plus classique est celui des patients avec « vision aveugle » (*'blindsight'*), qui ont la capacité paradoxale de discriminer un stimulus visuel au-dessus du niveau de la chance, même si il est présenté dans une région du champ visuel dans lequel les patients déclarent ne pas avoir vu quoi que ce soit, en raison de lésions dans le cortex visuel primaire (Weiskrantz, 1986). Mais chez le sujet sain, les méthodes subjectives et de choix forcé peuvent également donner des résultats différents. La méthode subjective permet de tester la visibilité essai par essai et de comparer l'accès à la conscience de stimuli physiquement identiques (Dehaene et al., 2006). Mais elle est sensible à des biais de réponse. Par exemple, un sujet peut adopter une stratégie 'conservatrice', signifiant qu'il aura tendance à répondre plus facilement qu'il ne voit pas le stimulus, alors que dans un certains nombre de cas, il le voyait légèrement. Le biais doit être corrigé par des méthodes psychophysiques (Gold et Shadlen, 2007). A l'opposé, les méthodes objectives sont robustes et évitent les biais de réponse. Mais le sujet est susceptible de donner une réponse juste, basée sur un traitement non conscient, selon la même modalité que le patient 'blindsight'. Cette méthode peut donc amener à une surestimation de l'accès à la conscience (Dehaene et Changeux, 2011).

Le choix entre les deux méthodes reste débattu (Dehaene et Changeux, 2011) et nous gardons ces points à l'esprit pour interpréter nos données. Dans nos travaux expérimentaux, nous nous baserons sur des moyens éprouvés qui nous permettront de nous assurer du caractère non conscient des stimuli que nous allons utiliser. Nous

emploierons une méthode de masquage (Etudes 1 et 2), ou un stimulus d'intensité infraliminale (Etude 3).

2.2. Modèles neurobiologiques de la conscience

Les données issues de l'expérimentation animale et humaine, à partir des méthodes que nous venons de voir, ont permis de développer des théories dans une perspective de modélisation neurobiologique de la conscience. Si au cours du XX^e siècle, des modèles psychologiques, comme les modèles de Broadbent (1957), Baddeley et Hitch (1974) ou de Baars (1988), se sont basés sur des modélisations abstraites de la conscience (revue dans de Gardelle et Kouider, 2009) ; les avancées des neurosciences ont permis le développement de modèles basés directement sur des processus neuraux observables.

La conscience est un phénomène particulièrement riche et complexe, et un nombre important de modèles biologiques a été proposé. Nous nous focaliserons sur les plus influents à l'heure actuelle. Si certains modèles proposent que les phénomènes conscients soient localisés dans une région spécifique du cerveau (Zeki, 2003; Lau et Rosenthal, 2011)¹, la plupart des modèles soutiennent l'idée d'un processus neural distribué. Les modèles ont en commun les notions de processus de réentrée ou récurrence, et le fait que la conscience correspond à une communication entre différentes assemblées de neurones. Les différents modèles diffèrent selon la nature des régions impliquées (postérieures ou antérieures) et la chronométrie de leur activation (précoce ou tardif), ainsi que le rôle de l'attention (attention comme prérequis pour la conscience ou attention indépendante de la conscience). Nous évoquerons successivement le modèle de l'intégration de l'information

¹ Zeki (2003) propose que chaque module cortical *est* un élément de conscience (ou micro-conscience). Par exemple, la conscience du mouvement se situe dans la zone corticale V5/MT. A l'opposé, Lau et Rosenthal (2011) proposent que la conscience dépend exclusivement du cortex dorsolatéral préfrontal, qui permet des représentations de 'haut niveau', synonymes de représentations conscientes pour les auteurs.

(Tononi et Edelman, 1998), le modèle des traitements récurrents (Lamme, 2006), et le modèle de l'espace neuronal global (Baars, 1988; Dehaene et Naccache, 2001).

Le modèle de Tononi et Edelman (1998) (*Dynamic Core Theory*) est basé sur l'idée que des connexions bi-directionnelles et réentrantes permettent l'intégration de différents éléments dans le cortex et le thalamus. Les réentrées à travers le système thalamo-cortical déterminent un cluster fonctionnel (le cœur dynamique) qui reste stable sur un intervalle de 500 ms environ. Le modèle postule que la conscience est avant tout liée à la formation de ce réseau neuronal longue distance, comprenant notamment le cortex préfrontal et les aires associatives corticales de haut niveau. Tononi et Edelman proposent que l'information consciente a deux propriétés fondamentales : l'intégration, c'est-à-dire la construction d'une représentation unifiée, et la différenciation, c'est-à-dire l'existence d'un répertoire très vaste d'états conscients (Tononi et Edelman, 1998). La construction d'une représentation unifiée suppose de réunir des informations traitées dans des aires distinctes (visuelles, auditives et haptiques, par exemple). Pour cette raison, l'intégration suppose un partage de l'information entre différentes parties du système. Ce modèle met l'accent sur l'intégration et le partage d'informations plutôt que sur l'attention. Des processus non conscients, c'est à dire qui se déroulent en dehors du noyau dynamique, ne sont pas forcément associés à une performance faible et peuvent avoir une activité prolongée. Le modèle n'exclut pas que des phénomènes de haut niveau, comme une modification du contrôle cognitif, puissent être modulés par un tel processus non conscient. Cependant, à notre connaissance ces hypothèses n'ont pas été testées par les auteurs, qui ont surtout exploré la dynamique des activités cérébrales via des expériences en magnétoencéphalographie.

Le **modèle du traitement récurrent** de Lamme met l'accent sur l'équivalence entre la perception consciente et les processus de récurrence dans le cortex (Lamme, 2006). Le modèle postule qu'il y a deux étapes dans le traitement du signal visuel. Une première étape est non consciente, et l'information est transmise vers l'avant du cerveau, du cortex visuel

strié vers le cortex extrastrié (balayage en avant : *'feedforward sweep'*). Une seconde étape correspond au traitement récurrent (*recurrent processing*), en particulier au niveau de la voie ventrale (Lamme et Roelfsema, 2000). Un stimulus visuel va rapidement et successivement recruter le cortex strié et extrastrié, puis les voies ventrales et dorsales, où le traitement des différentes caractéristiques se réalise (couleur, mouvement, etc.). L'influx avance potentiellement jusqu'au cortex préfrontal, en fonction de la force du stimulus et des ressources attentionnelles. A chaque niveau, l'information est partagée par des connexions horizontales et descendantes, qui correspondent à la récurrence. Le traitement récurrent permet le maintien de l'information et l'intégration dans un percept conscient unifié (Figure 1).

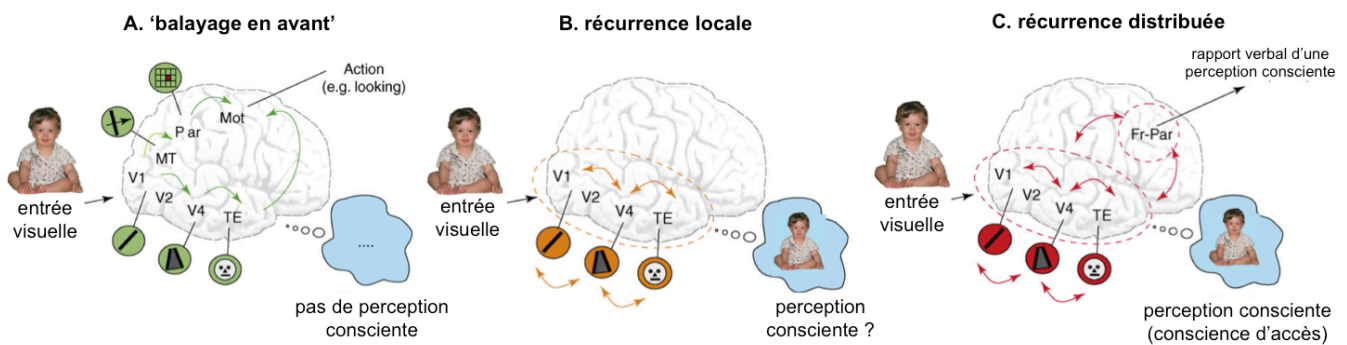


Figure 1 : Modèle du traitement récurrent de Lamme (adapté d'après Lamme, 2006). 'Balayage en avant' et 'traitement récurrent'. A. Le 'balayage en avant' : le transfert rapide des informations visuelles à travers le cortex visuel et vers les zones motrices pouvant produire une réponse. En quelques millisecondes, chaque zone extrait des informations sur la forme, la couleur, le mouvement, la position des objets et les visages (représentés par des icônes). Le traitement par le 'balayage en avant' ne conduit pas à une expérience consciente de l'entrée visuelle. B. Le 'traitement récurrent' permet l'échange d'informations entre les aires cérébrales supérieures et inférieures, et à l'intérieur des aires, au moyen de connexions horizontales et en récurrence. La question d'un percept visuel est posée, sous la forme de la conscience phénoménale. C. L'accès conscient survient lorsque le traitement récurrent atteint les zones impliquées dans le contrôle cognitif (Fr-Par : fronto-pariétal) ou le langage.

Si la réverbération inclut des régions du cortex frontal, préfrontal et temporal, impliquant les zones du contrôle exécutif et de la mémoire, l'information consciente est intégrée dans un contexte d'informations plus large, ce qui sous-tend la conscience d'accès. Lamme propose que la conscience phénoménale (récurrence locale), reflète une forme d'expérience consciente sans attention, une expérience subjective et instantanée qui ne peut pas être rapportée verbalement. Il propose de distinguer cette forme de conscience de la conscience d'accès (récurrence distribuée). Le rôle de l'attention est d'être une porte d'entrée vers la conscience d'accès : il existerait une forte compétition pour l'accès à une récurrence distribuée, et l'attention sélectionnerait certains contenus phénoménalement conscients pour l'accès au réseau distribué (Lamme, 2003). Dans la mesure où ces activités ne sont pas considérées comme des conditions *sine qua non* de l'accès à la conscience, ce modèle n'exclue pas que des fonctions cognitives de haut niveau puissent avoir lieu sans accès conscient, dans la mesure où l'activation des zones antérieures (frontales, pariétales) ne suffit pas à l'accès à la conscience, qui requiert la mise en jeu d'activités récurrentes.

Enfin, le modèle de l'**espace de travail neuronal global conscient** (ETNG) de Dehaene et Changeux se base sur le modèle cognitif de Baars (1998). Ces auteurs proposent que l'information est traitée par de nombreux processeurs qui exécutent leurs opérations en parallèle. A un instant donné, une coalition de processeurs cérébraux envoie le résultat de son traitement dans l'espace de travail global. L'information qui accède à cet espace limité correspond au contenu de la conscience. L'information qui a accédé à l'espace de travail global est alors diffusée aux autres processeurs (qui peuvent ou non l'utiliser). Dehaene et Changeux (1998) ont modélisé cette théorie cognitive au niveau neuronal, en proposant que les connexions longue distance cortico-corticales puissent être le support de l'espace de travail global. A tout moment, des processeurs spécialisés locaux (vision, audition, mémoire, etc.) sont actifs en parallèle, et traitent l'information de manière inconsciente. Ces processeurs cérébraux localisés correspondent aux circuits neuronaux spécialisés déjà connus comme les aires visuelles ou auditives. L'information devient consciente si certains de ces processeurs se connectent par le biais des connexions longue

distance et entrent ainsi dans l'espace de travail global. L'information est alors diffusée au sein de l'espace de travail, et particulièrement le cortex préfrontal et le cortex cingulaire antérieur. Surtout cette assemblée peut réverbérer vers les aires sensorielles. Cette réverbération, médiée par les aires frontales, permet de renvoyer des informations descendantes, qui vont ainsi créer des boucles d'amplification (Figure 2A). C'est ce phénomène d'amplification qui, selon le modèle, est le mécanisme critique permettant l'accès à la conscience.

L'accès à la conscience correspondrait en effet à la disponibilité globale d'une information, qui la rend accessible à tous les processeurs et qui devient donc rapportable (à nous-même ou aux autres). Sur le plan physiologique, l'accès à la conscience correspond à « l'ignition » soudaine de neurones à axones longs, distribués mais particulièrement denses dans les cortex préfrontaux et pariétaux. Durant la perception consciente, le réseau se stabilise, pour une durée minimale, dans un état réverbérant et métastable et distribue cette information au reste du cortex.

Dehaene et al. (2006) ont proposé une taxonomie des états de conscience qui a distingué les traitements subliminal, préconscient et conscient. Un stimulus est subliminal quand l'information descendante, liée au stimulus, est très fortement réduite au point de le rendre indétectable, et cela même s'il existe une attention focalisée sur le stimulus. Un stimulus préconscient est, par contraste, potentiellement visible, parce que ses propriétés physiques le permettent, mais dans un essai donné, il n'est pas consciemment perçu du fait d'une inattention temporaire. Enfin, le traitement conscient survient avec la conjonction de processus descendants ('top-down') et d'un stimulus suffisamment fort. L'attention est ainsi un prérequis pour qu'une information accède à la conscience.

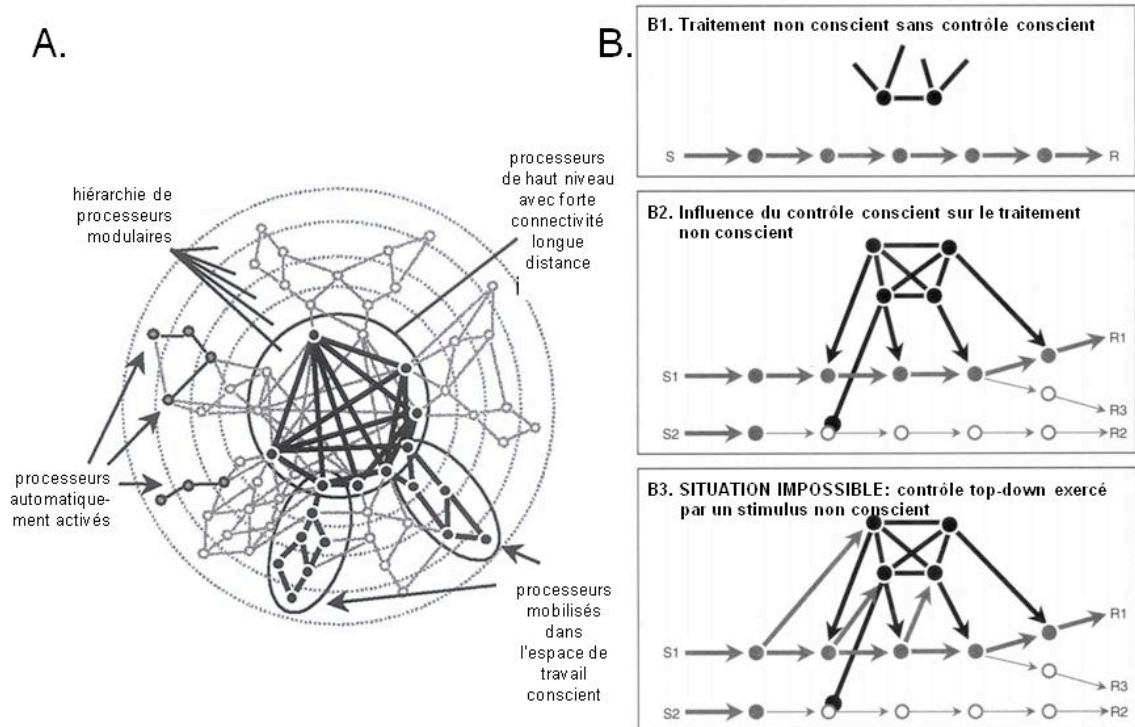


Figure 2 : Espace de travail neuronal global (ETNG). **A.** Représentation symbolique de la hiérarchie des connexions les processeurs cérébraux. Des processeurs spécialisés peuvent être connectés par le biais des connexions longues distance et former un espace de travail distribué, de haut niveau, où l'information est largement partagée et redistribuée à nouveau aux processeurs de bas niveau. Les points noirs représentent l'activation consciente de l'espace de travail global, qui implique plusieurs processeurs, en parallèle de processeurs en dehors de l'espace de travail (points gris). **B.** Schématisation des prédictions concernant les liens entre traitements conscients et non conscient selon le modèle de l'ETNG. Dans ces schémas, les lignes grises représentent la propagation de l'activité neurale associée avec le traitement non conscient de l'information et les lignes noires, les activations liées à l'ETNG actuellement actif. B1 : Le modèle prédit que des chaînes stimulus-réponses puissent être exécutées automatiquement et inconsciemment, quand l'ETNG est occupé ailleurs. B2 : les tâches qui nécessitent une sélection de stimulus (attention, task set ...) peuvent être malgré tout exécutées inconsciemment. B3 : Il devrait être impossible pour un stimulus non conscient de contrôler lui-même la sélection top-down du stimulus (adapté d'après Dehaene et al. 1998a et Dehaene et Naccache, 2001).

Le modèle permet un certain nombre de prédictions (Dehaene et Naccache, 2001). Certaines informations sont systématiquement inaccessibles à l'ETNG et ne peuvent jamais accéder à la conscience : il s'agit d'une part des informations issues de régions non connectées de manière bidirectionnelle à l'ETNG (par exemple les régions sous-corticales comme le colliculus supérieur), ou encore les résultats intermédiaires du traitement de l'information par les processeurs locaux, qui ne sont pas accessibles à l'introspection (par exemple les mécanismes de la lecture). L'information peut aussi être temporairement inaccessible à la conscience pour des raisons dynamiques, comme c'est le cas dans le masquage. Le traitement non conscient peut enfin s'appliquer à des traitements de haut niveau (comme le traitement des visages, la lecture, etc.) s'ils sont automatisés. Mais les opérations non automatisées requièrent toujours un des processus associés à la conscience (un 'effort' conscient) et sont donc rapportables. De multiples opérations non conscientes peuvent s'effectuer en parallèle, tant qu'elles ne font pas appel aux mêmes modules de manière contradictoire (Figure 2 B1). Mais seul un nombre limité de processeurs peut accéder à l'espace de travail conscient.

Le modèle permet surtout de faire des prédictions concernant notre question, à savoir les liens entre traitements conscients et non conscients. Le modèle prévoit qu'une tâche complexe, qui nécessite la mise en place d'un traitement non automatisé, peut ensuite être exécutée non consciemment une fois qu'elle a été initiée et préparée. Ainsi, un contrôle descendant (*top-down*) peut modifier le traitement non conscient, même essai après essai (par le biais d'un changement d'instruction par exemple, Figure 2 B2). Par contre, le modèle prévoit qu'il n'est pas possible pour un stimulus non conscient d'influencer lui-même les mécanismes de contrôle descendant (Figure 2 B3). Si un stimulus non conscient modifie le contrôle cognitif qui lui est appliqué, cela implique la formation d'une boucle fermée (ascendante et descendante). Une telle boucle, dans le modèle de l'ETNG, implique une réverbération qui conduit à une 'ignition', et donc une perception consciente. Ainsi, une instruction présentée non consciemment ne devrait pas pouvoir avoir d'influence sur les processus de contrôle. Cependant, si le contrôle ne porte pas sur le stimulus lui-même, mais

sur un autre stimulus ou sur un processus automatisé, le modèle n'exclut pas formellement cette possibilité. Dans ce cas, les boucles de réverbération ne sont pas fermées, et ne conduisent pas forcément à une 'ignition' du premier stimulus.

Au total, les différents modèles que nous avons présentés partagent certaines similarités. Tous les modèles impliquent le concept de boucles de récurrence. Pour qu'un stimulus devienne conscient, il faut qu'il y ait des connexions longue distance. Les modèles diffèrent cependant sur plusieurs points. En premier lieu, la question du rôle de l'attention est traitée différemment selon les modèles. En particulier, seul l'ETNG considère que l'attention est nécessaire à toute forme de conscience. Ce point reste particulièrement discuté. En effet, un problème récurrent dans de nombreux paradigmes expérimentaux est que l'attention n'est pas similaire dans la condition consciente et non consciente. Cette différence complique la comparaison de l'implication de l'attention entre les conditions expérimentales consciente et non consciente. Par exemple, la condition consciente entraîne l'orientation de l'attention sur le stimulus (Tallon-Baudry, 2012). Nous verrons que la présence vs l'absence de stimuli conscients dans une expérience affecte les résultats, et nous avons tenu compte de cette difficulté. Enfin les différents modèles prédisent différents degrés d'influence de stimuli non conscients sur des processus de haut niveau. Le modèle des récurrences locales ou les théories de l'intégration consciente n'implique pas en soi de limitations à une influence de processus non conscients sur un haut niveau cognitif, car selon ces modèles, la conscience en elle-même ne dépend pas du recrutement de processus de haut niveau. Par contre l'ETNG prévoit que des stimuli non conscients n'ont d'effet que sur des processus déjà automatisés. En conclusion de cette partie, nous abordons comment les modèles de la conscience prennent en compte les traitements associés à une conscience d'ordre supérieur, au-delà de la seule conscience d'accès. La conscience d'accès à une information n'est en effet qu'un aspect particulier de la notion de conscience. Elle ne

résume pas l'intégralité des questions qui nous intéressent, et notamment elle ne rend pas compte de l'initiation de stratégies ou de l'agentivité.

Nous allons maintenant décrire deux processus associés à la conscience qui nous intéressent particulièrement dans le cadre de la schizophrénie, d'abord les task sets et dans un second temps les processus liés à l'agentivité.

3. Task sets et conscience

3.1. Définition des task sets et du paradigme de permutation de tâche

Une notion classique en psychologie expérimentale est qu'il est possible de répondre plus rapidement à un stimulus quand nous avons une connaissance préalable des caractéristiques de ce stimulus, ou du type de mouvement que nous aurons à faire. Cette facilitation du comportement repose sur la capacité de représenter l'information préalable avant la survenue du stimulus ou du mouvement. Un *set* attentionnel est la définition de la représentation de cette information préalable impliquée dans la sélection du stimulus ou de la réponse pertinente pour la tâche (Corbetta et Shulman, 2002). Un *task set*¹ est une extension de ce concept, en tant que représentation d'une information concernant la tâche devant être effectuée. Pour optimiser la réalisation de la tâche, le système doit sélectionner les éléments pertinents pour l'exécution de la tâche à venir et faire des liens entre eux. Le *task set* correspond à la notion d'une mise en place d'un contrôle interne de la configuration mentale (*'internal control settings'*). Au total, un *task set* est une configuration de processus cognitifs qui sont activement mis en route et maintenus dans le but d'effectuer une tâche cognitive ultérieure (Sakai, 2008). La configuration peut regrouper des dispositions perceptives, cognitives ou de réponse, qui sont prédites comme pertinentes pour la tâche.

Les premières études sur les *task sets* ont été faites à partir du paradigme de permutation de tâche (*'task switching'*), basé sur le fait que dans une expérience, passer d'une tâche à l'autre est coûteux en termes de performances (Allport et al., 1994). Dans ces

¹ N'ayant pas trouvé de traduction française réellement satisfaisante de *task set*, nous nous proposons de conserver le terme anglais.

paradigmes expérimentaux, deux tâches distinctes s'appliquent au même type de stimuli. Il est demandé aux sujets de faire une réponse selon l'une des deux tâches, avec une alternance entre les essais (prédéterminée ou indiquée par des instructions à chaque essai). Ainsi, entre deux essais, la tâche peut permuter (switch) ou rester la même (répétition). Typiquement, les temps de réponse sont plus longs et les erreurs sont plus fréquentes si la tâche change (par exemple tâche B puis A) que si elle est répétée (AA), générant ainsi un coût de permutation ('*switch cost*') (Allport et al., 1994; Rogers et Monsell, 1995). Ce coût a tendance à diminuer quand le sujet a plus de temps pour préparer la tâche (intervalle entre indice et réalisation de la tâche), mais il persiste un coût résiduel.

Différents mécanismes ont été invoqués pour expliquer le coût de permutation. Le premier explique le coût par une nécessaire reconfiguration du task set en fonction de la demande (Monsell et al., 2003). La reconfiguration est assurée par le contrôle exécutif qui est actif lors des changements de tâche, et inactif lors des répétitions. L'hypothèse alternative propose que le coût est dû à l'interférence entre la tâche préalable et le contrôle nécessaire pour la tâche à effectuer, qui sont actifs et concurrentiels sur les essais avec permutation de tâche (Allport et al., 1994; Mayr, 2002). L'interférence est moins forte sur les essais répétés. Enfin, il a été proposé un modèle mixte, qui suppose que le coût lié à l'alternance de tâche est une association de reconfiguration et d'interférence (Meiran, 2000). Les données expérimentales donnent lieu à des résultats parfois difficiles à interpréter, possiblement liés à l'utilisation de nombreuses variantes du paradigme. Les paradigmes peuvent différer d'une part par le type de changement entre tâches : prédéterminé, donc prédictible et anticipé, ou imprédictible, quand la tâche est indiquée par des instructions et que les essais sont présentés dans un ordre aléatoire. Ensuite, les paradigmes peuvent différer par d'autres paramètres. L'alternance de la tâche peut notamment solliciter différentes modalités de changement de règle entre deux tâches : la sélection spatiale du stimulus pertinent pour la tâche, la sélection de propriétés du stimulus

pertinentes pour la tâche, ou encore la sélection de correspondances stimulus-réponse adéquate à la tâche¹. Un task set est ainsi une représentation composite, qui implique plusieurs composantes du système nerveux (par exemple traitement spatial, attention centrée sur l'objet) de niveaux différents (élémentaires ou très intégrés, Meiran, 2000).

Cette représentation composite peut être changée de manière indépendante à différents niveaux. Par exemple, un changement de task set peut impliquer à la fois une dimension du stimulus (le stimulus pertinent diffère des distracteurs par sa couleur ou son orientation) et une tâche à faire sur ce stimulus (la tâche A consiste à en déterminer une caractéristique perceptive, la tâche B consiste à décider de la présence ou de l'absence du stimulus). Le task set peut ainsi être modifié partiellement (uniquement sur la dimension du stimulus par exemple) ou totalement (dimension et tâche). Il a été montré qu'un changement partiel de tâche entraînait un coût moindre qu'un changement total, suggérant qu'une partie du task set peut être réutilisée (Rangelov et al., 2013). Cela suggère qu'un task set est une agglomération de composants, modifiables de manière relativement indépendante, plutôt qu'une représentation unique. Dans le travail présent, nous avons utilisé un changement sur les propriétés des cibles, sans changer la modalité de réponse. Le changement de tâche choisi devait être suffisamment radical pour induire un coût comportemental, mais sans induire une difficulté trop grande lors de l'utilisation du test avec les patients.

¹ Pour donner quelques exemples : dans le cas d'un changement de règle lié à la sélection spatiale d'un stimulus, la règle A est de détecter la localisation d'une forme donnée parmi les figures (correspondance de forme), la règle B est de détecter la forme associée à une position donnée (correspondance de position). Dans le cas d'un changement de règle associé à une propriété du stimulus, la règle A est cliquer à droite pour rouge et gauche pour vert (règle basée sur association couleur-réponse), la règle B est de cliquer à gauche pour un carré et à droite pour un rond (règle basée sur association forme-réponse). Enfin dans le cas d'un changement de règle de type correspondance stimulus-réponse associée à la tâche, la règle A est un traitement phonologique sur le mot, la règle B est un traitement sémantique.

3.2. Corrélats neuronaux des task sets et organisation du cortex préfrontal

Au-delà des résultats comportementaux, des données électrophysiologiques et d'imagerie indiquent comment les task sets sont implémentés au niveau neuronal. Le cortex préfrontal est le composant central dans les régions cérébrales dans l'implémentation des task sets et dans le contrôle cognitif. Les données neurophysiologiques ont cependant permis de différencier les processus de préparation des processus de contrôle. Nous reprendrons d'abord les bases neurales des task sets, et nous allons voir comment les représentations correspondant aux task sets s'intègrent avec les modèles neurobiologiques du contrôle cognitif.

Le corrélat neurobiologique d'un task set est défini comme l'activité cérébrale associée à la règle pour une tâche donnée, mais indépendante du stimulus à traiter et de l'indice indiquant le choix de la tâche (Sakai, 2008). Des études électrophysiologiques chez l'animal, et notamment chez les primates, ont montré qu'il existe des neurones répondant spécifiquement à une règle, que ce soit des règles associées à une propriété d'un stimulus ou des règles de changement d'opération (pour un exemple d'étude chez le primate, avec neurones isolés répondant à une stratégie abstraite: Genovesio et al., 2005). Chez l'homme, Haynes et al. (2007) ont montré qu'il existe des réseaux préfrontaux s'activant de façon spécifique pour une tâche donnée, avant même l'apparition du stimulus à traiter. Dans cette étude en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), les sujets devaient choisir entre deux opérations arithmétiques (addition ou soustraction) avant que n'apparaissent les chiffres sur lesquels ils devaient la réaliser. Un réseau spécifique associé à chaque opération était observé avant l'apparition des chiffres, identifié par la co-activation de voxels dans le cortex préfrontal médial et latéral (Haynes et al., 2007)¹. Les études

¹ La spécificité des neurones ou des réseaux n'est que relative, avec un nombre limité de neurones répondants spécifiquement à une tâche : 20 % chez Genovesio et al. (2005). Dans l'étude de Haynes et al. (2007), la prédictibilité du réseau pour une tâche donnée n'est que de 0,71. Par ailleurs, il n'est

d'imagerie ont aussi montré que les interactions entre régions cérébrales se modifient en fonction de la tâche à venir, suggérant des modifications de connectivité en fonction du task set mis en place avant que la tâche ne soit effectuée (Sakai et Passingham, 2003). Enfin, il semble que des aires spécifiques soient associées à la mise en place d'un task set, indépendamment de la tâche particulière à réaliser. Par exemple, Sakai et Passingham (2006) ont utilisé un paradigme de changement de tâche entre traitements phonologique et sémantique de mots. Ces tâches donnent lieu à des activations préfrontales spécifiques et distinctes. Mais les auteurs ont également comparé les deux conditions expérimentales principales avec une condition qui suppose un traitement plus élémentaire des informations (un jugement sur la taille des lettres). Les résultats ont montré que la mise en place d'un task-set dans les conditions phonologique et sémantique entraînait l'activation d'une région plus antérieure que celles associées à ces traitements, et ceci avant même la lecture du mot. L'activité des neurones dans cette région préfrontale antérieure était prédictive des performances dans la tâche demandée, ainsi que de l'activation des régions spécifiques à la tâche (Sakai et Passingham, 2006). Les zones impliquées dans la mise en place d'un task-set se distinguent donc de celles liées à l'exécution, et suggèrent l'existence de processus de contrôle spécifiques durant la phase de préparation d'une tâche (voir aussi: Braver et al., 2003; Hakun et Ravizza, 2012).

Comment articuler la question des task sets avec le contrôle cognitif ? Il semble maintenant largement établi qu'au sein du contrôle cognitif existeraient différents systèmes avec des fonctions spécialisées (Baddeley, 1992; Goldman-Rakic et al., 1996; Fuster, 2001). Certaines théories du contrôle exécutif proposent que le cortex préfrontal latéral est organisé hiérarchiquement, chaque représentation « supérieure » dans la hiérarchie, c'est-à-dire le but général de la tâche, sélectionnant les représentations du niveau « inférieur », correspondant à l'action elle-même (Fuster, 2001). L'implémentation hiérarchique au sein

pas certain que cette prédictibilité reste de la même importance en dehors du contexte de l'expérience.

du cortex préfrontal se faisant des régions antérieures représentant les plans d'actions de haut niveau aux régions postérieures et prémotrices permettant le contrôle de l'action. Il est aussi à noter que les études d'imagerie des task set suggèrent un gradient rostro-caudal dans le cortex préfrontal dans la représentation des task set, en fonction du caractère abstrait de la règle de la tâche (Sakai, 2008). Ainsi, la question qui se pose est l'organisation du contrôle pour la mise en place des task sets, et bien sûr, du caractère conscient ou non conscient de ce contrôle.

Pour avancer sur cette question, nous nous proposons d'aborder le modèle du contrôle exécutif développé par Koechlin et al. (2003), basé sur une étude précise en IRM fonctionnelle de l'organisation et des fonctions du cortex préfrontal chez le sujet sain. Koechlin et al. montrent que le cortex préfrontal est organisé fonctionnellement tel une cascade de processus de contrôle, chaque niveau (au nombre de trois dans le modèle) dépendant de régions corticales distinctes. Chaque niveau traiterait en effet un type de signal différent (nommé « sensoriel », « contextuel » ou « épisodique »). Le niveau de contrôle « sensoriel » est impliqué dans la sélection de la réponse motrice la plus adaptée au stimulus (exemple issu du protocole expérimental : répondre à droite en cas d'un stimulus rouge). Le niveau « contextuel » est impliqué dans la sélection d'associations stimulus-réponse en fonction d'éléments contextuels accompagnant la survenue du stimulus (ex. : en cas de lettre rouge, dire si cette lettre est écrite en majuscule ou minuscule, et en cas de lettre verte, si c'est une voyelle ou une consonne). En fonction du contexte, la tâche adéquate doit être initiée. Enfin, le niveau « épisodique » est impliqué dans la sélection des règles pertinentes dans un contexte particulier, ou un « épisode » (ex. : au cours de l'expérience, les instructions – sous forme de couleurs – changent). Dans ce cas, les réponses doivent être sélectionnées en fonction de buts internes valables pour une période (ou épisode) donnée, les informations étant pertinentes uniquement pour la tâche en cours. Cette cascade de processus de contrôle est elle-même implémentée au niveau cérébral de manière hiérarchiquement organisée. Le contrôle épisodique dépend des régions les plus antérieures, le contrôle contextuel, de régions intermédiaires et le contrôle

sensoriel des régions postérieures du cortex frontal (**Figure 3**). Chaque niveau maintient une représentation active qui est contrôlée par un niveau supérieur et qui exerce un contrôle sur les représentations à un niveau inférieur.

Cependant la question du caractère conscient ou non du contrôle n'est pas adressée dans ces explorations, et nous passons en revue les données qui traitent de cette question dans le chapitre suivant.

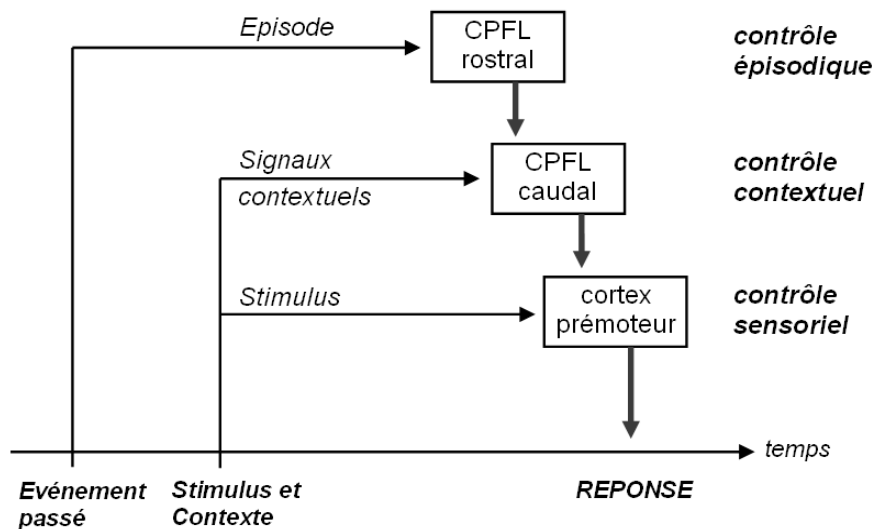


Figure 3 : Modèle du contrôle cognitif selon Koechlin et al. (2003). (CPFL : cortex préfrontal latéral)

3.3. Influences non conscientes sur le contrôle cognitif

Dans ce système de contrôle organisé hiérarchiquement, dans quelle mesure le contrôle est-il conscient ? Les études que nous avons mentionnées sur l'organisation du contrôle cognitif ne posent pas directement la question du lien entre celui-ci et la conscience. Classiquement, le contrôle cognitif est considéré comme une opération associée à la conscience (Hommel, 2007). Dans la culture occidentale, une idée très ancrée est que

nous décidons librement, avec une entité intérieure, un moi conscient, qui détermine nos actions. Chez les humains, les contenus de la conscience sont largement sous le contrôle d'une régulation autonome, c'est-à-dire que nous décidons où diriger notre attention sensorielle ou nos processus de pensée (Knudsen, 2007). Or nous allons le voir, la décision d'agir et le choix de l'action pourraient être largement influencés par des processus non conscients.

3.3.1. Influences non conscientes sur les décisions

Reprenons une étude classique qui suggère que le choix d'une stratégie ne relève pas uniquement de la conscience. Le groupe de Damasio (Bechara et al., 1997) a montré qu'une stratégie peut être choisie grâce à des éléments inconscients. Dans une tâche présentée comme un jeu de hasard, les participants devaient choisir des cartes dans quatre piles, cartes qui conduisaient à un gain, ou plus rarement à une perte d'argent. Les personnes étaient libres de choisir parmi quelle pile elles choisissaient une carte. Dans la moitié des piles, les gains sont modérés mais les pertes minimales, dans les autres les gains sont plus importants, mais les pertes rares sont plus importantes et dépassent les gains. Les sujets étaient régulièrement interrogés sur leur ressenti et leur stratégie consciente, tout en mesurant leur réaction émotionnelle non consciente par une mesure électrodermale. Il était observé qu'il existait une tendance à choisir des cartes dans les tas les plus sûrs, alors que les sujets n'étaient pas conscients de cette stratégie. Il existait également une activité électrodermale augmentée quand le choix se portait sur une carte d'une pile hasardeuse. C'est seulement plusieurs dizaines d'essais plus tard que les sujets disaient avoir changé de stratégie, en choisissant délibérément les tas les plus sûrs. L'étude indiquait ainsi que les sujets avaient d'abord choisi une stratégie non consciemment, en s'appuyant sur une réponse émotionnelle dont ils ne pouvaient rendre compte, c'est-à-dire dont ils n'avaient pas conscience. La prise de conscience n'est venue que secondairement. En conclusion, le

choix d'une stratégie est dépendant de facteurs qui échappent à la conscience¹. Dans cet exemple, une émotion a conduit à une intuition qui a elle-même conduit à la prise de conscience de la stratégie adoptée.

Ces données vont à l'encontre d'un sens commun, qui veut que nos choix sont influencés et déterminés par des informations consciemment perçues, qui sont intégrées afin de peser les différentes options et prendre une décision optimale. L'idée d'une détermination uniquement consciente de nos décisions est cependant remise en question depuis plusieurs siècles par une approche philosophique puis médicale et psychologique (Spinoza, 1677; Nietzsche, 1886; Freud, 1917; Gauchet, 1992).

D'une part, la décision consciente d'agir semble précédée par des processus qui échappent à la conscience. Citons en premier lieu les travaux précurseurs de Libet et al. (1983). Les sujets devaient regarder une horloge, et leur tâche était de presser sur un bouton quand ils ressentaient le besoin impératif de le faire. Après ce mouvement, à un temps variable, l'horloge s'arrêtait et les sujets donnaient la position de l'horloge qui correspondait au moment où ils avaient initialement ressenti le besoin de presser le bouton. L'électroencéphalogramme (EEG) montrait l'existence d'un potentiel de préparation (*readiness potential* reflétant l'activité de l'aire pré-motrice supplémentaire) survenant jusqu'à une seconde avant le moment rapporté par les sujets. Ces données ont été répliquées en potentiels évoqués, en IRM fonctionnelle, ou avec des enregistrements intracérébraux (Haggard et Eimer, 1999; Haggard, 2008; Soon et al., 2008, 2013; Fried et al., 2011). Ces données suggèrent que la décision consciente, et la volonté d'agir, émergent du fait des processus accumulés non consciemment. Cependant, cette conclusion pourrait être excessive au regard des résultats, qui sont observés pour des tâches extrêmement simples, qui ne supposent pas nécessairement une décision consciente comme on l'entend

¹ Cette interprétation a été discutée, certains auteurs avançant que des questions plus précises auraient permis de rendre le choix conscient (Maia et McClelland, 2004). Cette controverse a été résolue par l'utilisation d'une méthode originale de pari après la décision, montrant que les questions accélèrent la conscience de la tâche, sans modifier la stratégie inconsciente (Persaud et al., 2007).

habituellement. On peut en effet argumenter que la décision principale du sujet a été de participer à l'étude. Le seul choix du sujet durant la tâche concerne le moment de l'action. L'onde à l'EEG pourrait également concerner un processus d'accumulation du temps (Desmurget, 2013). Néanmoins les résultats montrent que des facteurs non conscients peuvent apporter des éléments pour le passage à l'action de presser sur un bouton (Haggard, 2008; Desmurget et Sirigu, 2009).

Quels sont les déterminants inconscients qui peuvent influencer sur la prise de décision ? Des études de psychologie sociale ont montré qu'il était possible de moduler de manière non consciente l'effort mobilisé par un sujet pour poursuivre un but. Ces modulations sont réalisées à l'aide de stimuli auxquels le sujet ne prête aucune attention, et dont il n'a pas conscience. Par exemple, les personnes ont tendance à parler moins fort si une affiche représentant une bibliothèque est affichée dans la pièce, sans que pour autant les sujets n'aient conscience d'avoir été incités à cela (Bargh et al., 2001; Kay et al., 2004; Custers et Aarts, 2010). Cependant, ces études sont imparfaitement contrôlées : le stimulus n'est en aucun cas inconscient, et les sujets pourraient être uniquement incapables de se rappeler d'avoir fait le lien entre le stimulus et la modification de leur comportement.

Pour répondre à cette limite, d'autres études ont utilisé des stimuli masqués et donc subliminaux, pour éviter toute perception consciente des amorces. Par exemple, il a été montré que la performance dans une tâche pouvait s'améliorer après amorçage par des mots masqués associés à la réussite (Hart et Albarracín, 2009), que la consommation d'eau des participants était augmentée quand on leur présentait des mots masqués associés sémantiquement à des boissons (Strahan et al., 2002), ou encore qu'il était possible d'induire un comportement plus coopératif avec des mots masqués relatifs à des personnes bienveillantes (Fitzsimons et Bargh, 2003). Comment expliquer que ces influences inconscientes puissent être implémentées dans le comportement ? L'ensemble des études réalisées amène Aarts et al. (2008) à proposer que l'amorce conduit le sujet à mobiliser son effort pour atteindre son but. De manière importante, la motivation peut elle-même être

modulée par des indices non conscients (Pessiglione et al., 2007; Capa et al., 2013). La présentation d'incitations subliminales (monétaires), pousse le sujet à investir plus d'effort dans la réalisation de la tâche demandée. Au total, les amorces non conscientes pourraient influencer sur le comportement par le biais d'une modulation de l'effort mobilisé pour atteindre un but, possiblement en modulant la motivation.

Dans les expériences que nous avons recensées, l'influence non consciente n'intervient que par l'intermédiaire d'une modulation de la motivation et de l'effort. Choisir un but, décider d'agir, c'est faire la balance entre différentes options, et cela relève de processus comme la flexibilité et l'inhibition, dépendant du contrôle cognitif. Certains travaux ont suggéré que les performances dans des tâches cognitives complexes pouvaient être modulées via l'engagement de l'effort du sujet (Capa et al, 2013). Mais notre question concerne des effets plus directs, qui ne passeraient pas par une modulation de l'effort. Notre question est de savoir si des processus cognitifs complexes peuvent également être directement influencés par des amorces non conscientes ?

3.3.2. Influences non conscientes sur le contrôle cognitif

Des amorces non conscientes peuvent-elles modifier le contrôle exécutif ? Plusieurs expériences ont échoué à montrer un effet des indices non conscients sur le contrôle cognitif (Merikle et al., 1995). Par exemple, une expérience de Kunde (2003) consistait à manipuler la congruence entre une amorce et une information cible. Si l'essai n est incongruent, on peut s'attendre à une préparation à une nouvelle incongruence à l'essai suivant, et donc un effet d'incongruence diminué à l'essai $n+1$. Or Kunde n'observe cet effet que si l'incongruence est consciente (amorce visible) dans l'essai n .

Est-ce que le contrôle cognitif ne peut se réaliser que dans des situations où la conscience est impliquée ? Il existe des situations où la conscience ne semble pas nécessaire pour qu'un contrôle exécutif soit mis en œuvre. Une étude a montré par exemple que la

sélection d'une stratégie pouvait avoir lieu en dehors de la conscience des sujets, et sans intention de leur part, par un mécanisme d'apprentissage implicite. Ghinescu et al. (2010) ont utilisé la tâche des distracteurs d'Eriksen (*flanker task*), qui consiste à identifier la lettre centrale parmi des distracteurs latéraux, compatibles ou non (SSSSSS par rapport à HHHSHHH). L'attente des sujets était manipulée expérimentalement avant chaque essai, avec un indice présenté avant chaque essai qui prédisait si l'essai était compatible ou incompatible (avec une exactitude de 80%), ou neutre. Les auteurs ont calculé l'effet *Gratton*, qui prédit que l'exposition à un essai incompatible conduit à une réduction de l'effet d'incompatibilité à l'essai suivant. Trois groupes de sujets participaient : au premier une information explicite de la signification de l'indice était donnée, au second l'information que l'indice était informatif, mais sans plus d'explication, et au troisième aucune indication n'était donnée. Les auteurs montrent qu'à la fin de l'expérience, tous les groupes étaient capables de sélectionner et utiliser une stratégie basée sur l'indice pour améliorer leurs performances. Cependant, cette stratégie se développait lentement au cours de l'expérience dans les deux derniers groupes, alors qu'elle était présente dès le départ pour le premier. De manière intéressante, un contrôle à la fin de l'expérience, basé sur un questionnaire introspectif, mais aussi sur un test en choix forcé concernant les associations indice-condition, montrait que les sujets du groupe « implicite » étaient incapables d'indiquer les associations indice-condition. Même le test de choix forcé n'indiquait aucune connaissance du lien indice-condition. Notons tout de même que les indices utilisés n'étaient jamais strictement inconscients. Il est possible que le sujet n'était pas capable de rapporter cet apprentissage implicite, mais que l'association ait pu être faite de manière consciente. Nous nous retrouvons ainsi avec les mêmes limites que celles que nous avons évoquées avec les expériences de psychologie sociale (Bargh et al., 2001; Kay et al., 2004).

Mais l'impact de stimuli strictement non conscients sur le contrôle cognitif a pu être mise en évidence récemment par une série d'expériences sur le contrôle inhibiteur, dans une tâche simple de Go-NoGo (van Gaal et al., 2008, 2009, 2010b, 2011; Hughes et al., 2009).

Le contrôle inhibiteur est une forme de contrôle cognitif qui permet d'annuler une action prévue ou déjà initiée, et qui est probablement médiée par des régions du cortex préfrontal et des ganglions de la base (Aron, 2007). Le principe général de ces expériences était le suivant : le participant devait répondre manuellement, le plus rapidement possible, à un stimulus clairement visible, sauf si celui-ci était précédé par un stimulus « NoGo », indiquant au sujet de ne pas répondre. Ce dernier stimulus pouvait être visible ou masqué. Par exemple, dans l'expérience de van Gaal et al. (2008), les participants devaient répondre après un stimulus (un anneau blanc) sauf s'il était précédé par un stimulus NoGo. Ce stimulus NoGo correspondait à un disque dont le contour coïncidait avec celui de l'anneau. Ainsi, en fonction de l'intervalle inter-stimulus, le stimulus NoGo était masqué par métacontraste et non accessible à la conscience, ou non masqué et accessible à la conscience. La présence d'un stimulus NoGo inconscient entraînait une augmentation du temps de réponse à l'anneau (en comparaison avec les essais Go conscients), comme si les participants essayaient d'inhiber leur réponse sans y parvenir complètement. Les résultats en IRM fonctionnelle ont montré que les stimuli NoGo inconscients pouvaient entraîner une activation des aires corticales impliquées dans le contrôle inhibiteur, et particulièrement dans l'aire pré-motrice supplémentaire et le cortex frontal inférieur (van Gaal et al., 2010b). L'intensité de ces activations était corrélée au ralentissement de la réponse, suggérant une relation directe entre l'activation et le retentissement comportemental. Ces activations étaient présentes en cas de stimulus NoGo non conscient, bien que moindres, qu'en cas de stimulus conscient. Il s'agit bien d'activations de haut niveau induites par un signal subliminal. Une étude similaire en EEG a montré également des composantes préfrontales plus intenses (N2 et P3) en cas de signal NoGo inconscient (van Gaal et al., 2011).

Il est à noter que ces activations non conscientes du contrôle inhibiteur ne sont pas complètement indépendantes des activités conscientes. Dans l'étude de van Gaal et al. (2011), les activations liées à la présentation de l'amorce non consciente dépendaient en effet des consignes données au sujet, c'est-à-dire du task-set mis en place consciemment. Cette conclusion est amenée par une expérience basée sur le même principe de Go-NoGo.

Les performances ont été comparées dans deux groupes de participants. Pour un groupe de participants, l'instruction NoGo consistait en une simple croix (non masquée par l'anneau), alors que dans le second, il s'agissait du cercle gris. Mais dans les deux groupes, pouvait survenir un signal composé d'un cercle gris, parfaitement masqué par métacontraste. Ainsi, ce stimulus non conscient était différent de l'instruction consciente de NoGo dans le premier groupe, et identique à cette instruction dans le deuxième groupe. Le stimulus non conscient était donc associé à l'inhibition uniquement dans le second groupe. Les auteurs ont comparé les effets du cercle gris dans les deux groupes, et ont montré à l'EEG un événement occipital précoce (150 ms) qui représentait la trace visuelle du cercle gris dans les deux groupes. Cependant, un second événement EEG frontal (300-400 ms) n'était retrouvé que dans le second groupe, quand le cercle masqué représentait une instruction d'inhibition, et indiquait l'implémentation du contrôle inhibiteur non conscient dans le cortex préfrontal (van Gaal et al., 2008). Ces résultats montrent comment le task set module la manière dont le stimulus non conscient est traité. Des résultats conduisant à la même conclusion ont été obtenus avec un paradigme de Go/NoGo non conscient où le task set change d'un essai à l'autre (Wokke et al., 2011).

3.4. Amorçage non conscient de task-set

L'inhibition n'est qu'une forme particulière de contrôle cognitif (Monsell, 2003). Un autre aspect du contrôle cognitif est la flexibilité, c'est-à-dire la capacité à passer d'un task set à un autre. Plusieurs expériences ont montré que des task sets conscients peuvent modifier le traitement d'indices non conscients (Greenwald et al., 2003; Kunde, 2003; Kiefer et Martens, 2010; Martens et al., 2011). Par exemple, le fait de préparer un task set (suite à la réalisation d'une tâche d'induction consciente, sémantique par exemple) favorise l'amorçage non conscient dans le même task set sélectivement, et cela sans que le sujet ne s'en rende compte (Kiefer et Martens, 2010). Mais est-ce qu'un indice non conscient peut déclencher une tâche directement ? Nous nous approchons ici de la question cruciale que

nous voulions poser dans la schizophrénie, et notre idée initiale avait été de reprendre les paradigmes décrits ci-dessous. Nous allons dans la suite du texte détailler ces paradigmes, et leurs limites.

Nous avons vu que des facteurs inconscients sont susceptibles d'intervenir dans la décision d'initier une action (Libet et al., 1983). Soon et al. (2013) ont généralisé cet effet à la situation où il y a un choix entre deux tâches, une situation plus proche de l'initiation de task-sets. Des déterminants non conscients pourraient avoir leur importance dans les étapes préliminaires au choix d'une tâche, avant même que la décision du task set à préparer ne soit implémentée. Autrement dit, il serait utile de savoir si des influences non conscientes peuvent moduler les différents niveaux du contrôle cognitif, et en particulier moduler la mise en place de task set.

Lau et Passingham (2007) ont utilisé l'IRM fonctionnelle pour vérifier si la préparation d'un task-set pouvait être déclenchée inconsciemment. Dans cette expérience, les participants voyaient un indice leur indiquant de réaliser un jugement phonologique (« s'agit-il d'un mot à 2 syllabes ? ») ou sémantique (« s'agit-il d'un mot concret ? ») sur un mot qui apparaissait 100 ms plus tard. L'instruction était un losange ou un carré. Cette instruction était précédée par une amorce, elle aussi en forme de losange ou de carré, mais légèrement plus petite, lui permettant de s'imbriquer exactement dans le contour interne de la forme qui était utilisée comme instruction. En modifiant l'intervalle entre amorce et instruction, l'amorce était plus ou moins masquée par métacontraste. La visibilité de l'amorce était plus faible pour un intervalle plus long (propriété de visibilité en courbe en U caractéristique du métacontraste). L'amorce était subliminale dans la moitié des essais et consciente dans l'autre moitié, et par ailleurs identique ou différente de l'instruction (congruente ou incongruente) en proportions égales. Dans la condition congruente, l'instruction et l'amorce avaient la même forme et faisaient ainsi référence à la même tâche. Dans la condition incongruente, l'instruction et l'amorce faisaient référence à deux tâches différentes. Les auteurs reprenaient un protocole issu d'une étude en comportement

(Mattler, 2003), ayant déjà montré un effet d'amorçage (réponses accélérées) quand l'amorce non consciente était congruente avec l'instruction. Lau et Passingham ont utilisé l'imagerie cérébrale pour répondre aux difficultés d'interprétation des résultats comportementaux. En effet l'accélération des réponses en condition congruente signifie une amélioration de performances quand l'amorce a la même forme que l'instruction. Cet effet pourrait être dû à un amorçage perceptif plutôt qu'à un amorçage de task-set : l'amorce pourrait faciliter le traitement perceptif de l'instruction. Si celle-ci est traitée plus vite, l'initiation de la tâche indiquée par l'instruction pourrait également être accélérée. Dans l'étude de Lau et Passingham (2007), quand l'amorce masquée indiquait la tâche phonologique, il y avait une activité augmentée dans le réseau cortical associé à cette tâche (cortex prémoteur), et une diminution de l'activité dans le réseau cortical associée à la tâche sémantique (cortex frontal inférieur et gyrus temporal moyen), et *vice versa*. Ces résultats démontrent que l'activité des réseaux associés à une tâche, et notamment le cortex préfrontal, peut être modulées inconsciemment. De plus, les auteurs ont montré que les amorces non conscientes déclenchaient une activité plus forte dans le cortex dorsolatéral préfrontal comparativement aux amorces conscientes, quelle que soit la tâche amorcée. L'utilisation de l'imagerie cérébrale permettait de mettre en évidence le fait que le stimulus non conscient agissait bien sur les régions impliquées dans le contrôle, et entraînait une modulation des zones impliquées dans chaque tâche. Les auteurs ont tenté d'écarter la possibilité d'un amorçage perceptif en montrant des activations en IRMf dans les aires qui sous-tendent la réalisation des tâches demandées aux sujets. Comme nous le verrons, ce résultat ne représente pas forcément une réponse définitive.

D'autres données comportementales ont permis d'apporter des arguments en faveur de l'existence d'un amorçage de task set non conscient. Mattler (2006) a utilisé deux indices pour chaque tâche dans une tâche similaire de permutation de tâche (*task switching*). Les amorces et les indices étaient cette fois des flèches pointant dans les quatre directions. Les flèches pointant à droite ou à gauche indiquaient une première tâche (déterminer le timbre d'un son), et celles pointant vers le haut ou le bas indiquaient une

autre tâche (déterminer la hauteur du son). Il y avait ainsi deux facteurs expérimentaux croisés : la similarité perceptive entre l'amorce et les instructions (amorce et instruction pointant dans la même direction vs dans des directions différentes) et la congruence entre l'amorce et l'instruction (amorce et instruction indiquant la même tâche ou une tâche différente). Le rôle d'un amorçage perceptif, par similarité sensorielle, pouvait être ainsi analysé séparément de l'effet de congruence. Les résultats montrent que le temps de réponse le plus rapide est observé quand la paire amorce-instruction est identique. Mais le résultat le plus intéressant est que le temps de réponse était toujours plus rapide quand on compare les paires congruentes aux paires incongruentes. Ceci suggère une activation non consciente de task set qui n'est pas située à un niveau perceptif ou moteur.

Néanmoins, une explication alternative reste possible, qui n'implique pas une activation non consciente de task set. En effet, deux indices assignés à la même tâche peuvent devenir une seule et même catégorie, créée ad hoc (Logan et Schneider, 2006), et ce d'autant plus que le nombre de possibilités d'association stimulus-réponse est faible. Ainsi, dans le cas de Mattler (2006), les participants ont pu créer une catégorie « orientée horizontalement » et une catégorie « orientée verticalement ». L'affichage de l'un des éléments de la catégorie (flèche gauche par exemple), amorce automatiquement la seconde (flèche droite). Ainsi, la présentation d'une amorce masquée conduit à un encodage facilité de l'instruction correspondant à l'un des deux éléments de la catégorie, sans faire appel à l'initiation de task set.

Reuss et al. (2011) proposaient de contourner ce problème en utilisant dans certains essais une instruction non consciente isolée, sans instruction consciente. Ils utilisaient dans leur étude un paradigme de permutation de tâche, avec les deux tâches que sont la comparaison de chiffres et la détermination de la parité. Un chiffre entre 1 et 9 (sauf le 5) était présenté à l'écran ; dans la tâche de comparaison de chiffres, les sujets devaient décider si le chiffre présenté est supérieur ou inférieur à 5, et dans la tâche de parité, les sujets devaient décider si le chiffre est pair ou impair. Un essai sur deux contenait

systématiquement une instruction explicite, et un essai sur deux ne contenait pas d'instruction visible, la moitié de ces essais comportant une instruction masquée, invisible. En l'absence d'instruction, le sujet choisissait librement quelle tâche il accomplissait sur le chiffre. A la fin de chaque essai, les sujets indiquaient quelle tâche ils avaient choisi de réaliser. Il ne s'agit donc plus d'amorçage, mais bien d'une situation de libre choix entre deux task set, éventuellement biaisé à l'insu du sujet par une amorce non consciente. Deux expériences étaient réalisées avec le même type de paradigme, la première utilisant une instruction spécifique pour chaque tâche, et la seconde une instruction indiquant d'alterner ou de garder la même tâche d'un essai sur l'autre. Les résultats étaient similaires pour les deux expériences : les sujets présentaient un léger biais de décision en faveur de la tâche indiquée non consciemment. Notons cependant que le masquage n'était pas total, avec un d' restant à 0,29, pouvant questionner sur le caractère absolument non conscient des amorces. Nous reprendrons ce point.

Toutes ces études ont un point commun qui reste une limitation à l'interprétation. Dans tous les cas, les sujets réalisent à un moment ou un autre de l'expérience un lien conscient et volontairement établi entre un stimulus et la tâche associée. Cela veut dire qu'il est nécessaire d'obtenir une connaissance explicite des relations entre amorce et tâche pour observer les effets des amorces non conscientes. De plus, la présence d'amorces non masquées lors des expériences induit une attente des sujets. Ils s'attendent à subir des effets d'incongruence, et attendent le stimulus qui va leur indiquer la tâche à réaliser. Cette situation peut conduire les sujets à établir des liens directs entre le stimulus indice et la tâche motrice à réaliser. Le stimulus n'activerait dans ce cas qu'une relation prédéterminée stimulus-action, limitant fortement le champ d'un contrôle cognitif non conscient, puisqu'il n'est plus nécessaire de passer par une activation de task-set.

Seules deux études récentes montrent qu'il est possible d'obtenir un amorçage de task set sans qu'il soit nécessaire pour les participants d'avoir une connaissance explicite du lien entre amorce et tâche (Zhou et Davis, 2012a, 2012b). Contrairement aux études

décrites jusqu'ici, les auteurs prenaient des précautions particulières pour que les participants ne puissent pas faire un lien explicite et conscient entre la nature de l'amorce non consciente et la tâche. Chaque tâche était potentiellement associée à deux symboles (soit 4 au total). Et dans tous les cas, les sujets réalisaient les tâches indiquées par des instructions explicites. Dans une première phase de test, les instructions explicites étaient précédées par des amorces. L'astuce de Zhou et Davis (2012a) a consisté à utiliser des amorces de forme différente des instructions, qui ne sont donc associées à aucune instruction explicite. Elles ne peuvent avoir d'effet que parce qu'elles ont été associées aux instructions. Dans l'une des expériences menées par Zhou et Davis (2012a), ces amorces restent inconscientes tout au long de l'expérimentation, et durant la phase d'entraînement, elles prédisent dans tous les cas la tâche que les participants doivent réaliser. La première phase de test s'apparente donc à un conditionnement. La deuxième phase de test consiste à vérifier l'effet de ces amorces sur l'établissement d'un task-set. Les résultats ont montré que la présence d'une amorce congruente pour la tâche accélérât les temps de réponse par rapport à une amorce incongruente, comme si l'amorce avait accéléré la mise en route du task set adéquat (Zhou et Davis, 2012a). Cependant, là encore ces effets sont limités. Les mêmes auteurs ont également montré que l'effet d'amorçage disparaît dès que les sujets prennent connaissance du lien entre l'amorce invisible et l'instruction (Zhou et Davis, 2012b). Il est probable que la disparition de l'effet d'amorçage s'explique par une suppression du signal transmis par l'amorce, qui a été identifié consciemment comme non pertinent.

Au total, ces expériences récentes apportent des arguments convaincants pour affirmer que des stimuli non conscients peuvent activer un task set, sans que cela ne passe par le biais d'un amorçage perceptif, ni par une attente d'un stimulus déclenchant une tâche. Nous nous sommes posé la question de l'application de ces paradigmes à la schizophrénie pour explorer la détermination et l'initiation non consciente de stratégies chez les patients.

Cependant, nous avons identifié un certain nombre de limites à ces paradigmes, que nous avons évoquées précédemment, et nous avons identifié des questions restant en suspens par rapport au rôle de l'attente consciente dans l'influence sur des processus de haut niveau d'amorces non conscientes. Par ailleurs, l'amorçage de task set, et le lien qu'il a avec les processus attentionnels, peut être pertinent pour apporter des éléments nouveaux sur la conscience et les liens entre conscience et attention.

Cependant, nous avons identifié un certain nombre de limites à ces paradigmes, que nous avons évoquées précédemment, et nous avons identifié des questions restant en suspens. Nous nous sommes interrogé sur le rôle de l'attente consciente dans l'influence des des amorces non conscientes. Dans la présentation de nos études 1 et 2, nous reviendrons dans le détail des critiques méthodologiques. De manière anticipée, nous pouvons dire que nos études n'ont pas permis d'obtenir un paradigme qui donne lieu un effet comportemental d'amorçage de task set de taille suffisant, ce qui nous a freiné dans l'utilisation de ces paradigmes avec les patients souffrant de schizophrénie. En effet, chez les patients, nous observons régulièrement des effets avec une variabilité inter individuelle plus importante, qui aurait pu conduire à des résultats difficilement interprétables. Nous avons ainsi choisi de modifier notre approche pour tester les patients.

Plutôt que de poursuivre la question de l'initiation non consciente de stratégies, nous nous sommes intéressés à l'initiation et à la planification d'une action motrice. Initier une stratégie renvoie en effet à la gestion plus générale de l'initiation d'un plan moteur. Une stratégie elle-même peut être définie comme la planification et l'exécution d'une action mentale (Varela, 1993). Le contrôle moteur est considéré comme un traitement largement automatique. Pourtant l'action s'accompagne d'un sentiment de se sentir soi-même aux commandes, d'être en contrôle de l'action, phénomène qui est lui conscient. Ce domaine paraît ainsi adapté à l'étude de l'implication de mécanismes non conscients dans des phénomènes conscients, d'autant plus qu'il a été bien étudié et qu'il est pertinent dans la schizophrénie.

4. Contrôle moteur, sentiment de contrôle et conscience

Avant de parler de l'agentivité et des relations entre les processus non conscients et ce jugement conscient, il nous faut rappeler les bases de ce qu'on appelle le contrôle moteur, c'est-à-dire les mécanismes qui nous permettent de programmer une action. C'est l'objet du chapitre suivant. Nous insisterons notamment sur les processus automatiques de programmation et correction du mouvement.

4.1. Principes du contrôle moteur : à l'insu de la conscience

Comment atteindre un objet, en utilisant quelles articulations, et avec quelle vitesse et quelle force pour optimiser la fluidité, sont des questions qui ne se posent pas consciemment dans l'exécution des mouvements au quotidien. D'ailleurs, l'exécution automatique d'une action est bien plus efficace que lorsque le contrôle du mouvement est conscient (par exemple: Aglioti et al., 1995) et la décomposition du mouvement se prête difficilement à l'introspection. Le contrôle du mouvement est pourtant une opération extrêmement complexe. Le corps est constitué de 600 muscles, chaque membre comporte plusieurs articulations, permettant un nombre quasi illimité de combinaisons de positions et de forces appliquées dans les muscles. De plus, il existe des fluctuations et des perturbations aléatoires et imprévisibles, qu'elles soient au niveau neural, neuromusculaire ou dues à l'environnement, générant du bruit. Malgré cette variabilité, il est possible de faire des mouvements extrêmement précis et fluides, d'apprendre rapidement à manipuler de nouveaux objets ou réaliser de nouvelles actions. Cette capacité s'acquiert très rapidement, chez l'humain lors des premières années de la vie, et toutes ces actions motrices peuvent se

dérouler de manière très automatique, sans que la conscience n'intervienne. La conscience pourrait intervenir, néanmoins, dans l'initiation de l'action.

Une action volontaire, par rapport à un mouvement réflexe, a l'avantage de pouvoir être programmée en avance. Cette programmation, selon plusieurs auteurs, serait basée sur des modèles internes, c'est à dire des processus neuraux qui simulent la réponse du système moteur dans le but d'ajuster la commande nécessaire (Wolpert et al., 1995; Miall et Wolpert, 1996). Elle se déroule en deux étapes. Une première étape, le *modèle inverse*, permet de créer la commande motrice à partir d'une intention. L'intention, qui est liée à un but, est ainsi transformée dans un format compatible avec le système moteur, c'est-à-dire correspondant à l'activation des muscles. Ce modèle permet au sujet d'atteindre son but en adaptant les commandes motrices à sa position et à la position de l'objet. En effet, même si le sujet peut faire appel à certaines routines déjà apprises, il doit adapter son mouvement aux conditions précises dans lesquelles il se trouve. La seconde composante des modèles internes, le *modèle forward*¹, comprend les prédictions concernant les conséquences sensorielles attendues du mouvement, dérivées d'une copie de la commande motrice (copie d'efférence) (Wolpert et al., 1995; Miall et Wolpert, 1996) (Figure 4). Les prédictions des modèles internes sont générées par des corrélations apprises ou par des a priori statistiques (Körding et Wolpert, 2006). Il a été proposé que la localisation cérébrale de leur traitement se situe dans l'aire motrice supplémentaire (Haggard et Whitford, 2004), mais la localisation des modèles (interne et forward) reste discutée.

¹ Nous avons eu du mal à traduire de manière simple le mot 'forward' en français. Il signifie 'en avant'.

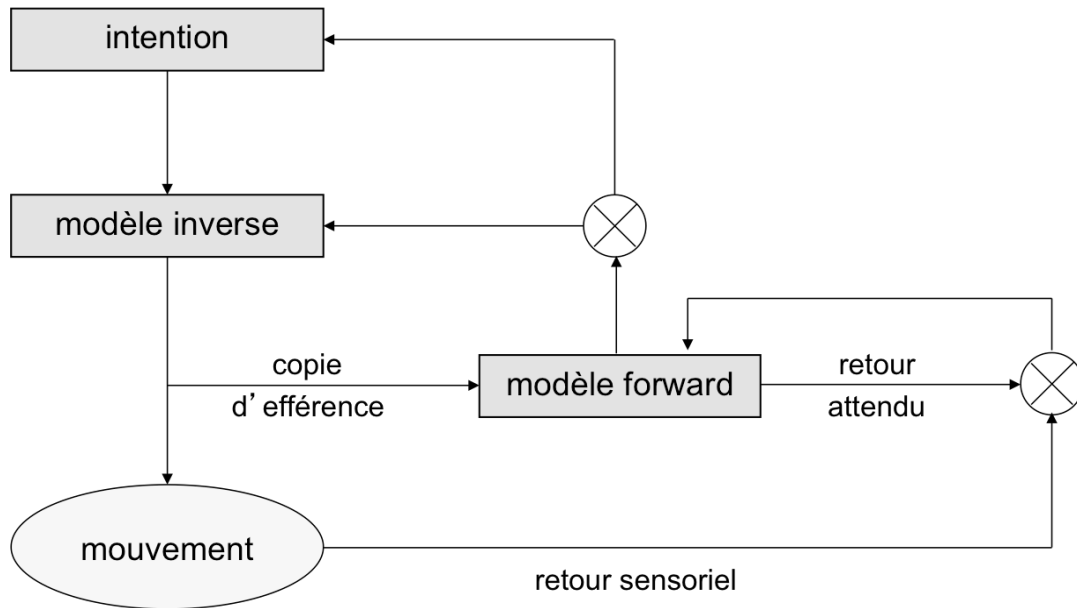


Figure 4 : Représentation schématique du monitoring d'une action par les modèles internes. L'action correspondant à l'intention est convertie en un modèle inverse qui permet de construire un programme moteur à un format compatible avec le système d'exécution : c'est là que s'élaborent les aspects cinématiques du futur mouvement. La commande motrice qui en est issue permet de réaliser les contractions musculaires appropriées et de produire le mouvement du membre. Une copie de cette commande motrice (copie d'efférence) est effectuée avant sa sortie vers les muscles : elle sert à la construction d'un modèle prédictif idéal (modèle *forward*) de l'action désirée. Au moment de l'exécution, les signaux sensoriels produits par le mouvement (feedback sensoriel) sont comparés au feedback attendu selon le modèle *forward*. Cette comparaison sert à améliorer le programme et à l'ajuster aux contraintes de l'environnement rencontrées en cours d'exécution. Le contenu du modèle *forward* est lui-même comparé à l'action initiale, de manière à améliorer le modèle inverse et donc assurer l'exécution d'un mouvement aussi proche que possible du mouvement désiré (d'après Wolpert et al., 1995).

Un système de comparateur permet de détecter une différence éventuelle entre le retour sensoriel prédit et le retour effectif. Cette vérification est réalisée en continu ('en ligne') pendant l'exécution du mouvement, et permet une adaptation rapide du mouvement pour atteindre le but désiré. Par exemple, si un objet est moins lourd que prévu, la force appliquée sera adaptée. En outre, si une différence est détectée entre le retour sensoriel prédit et effectif, alors le système peut mettre à jour les connaissances sur le mouvement et

l'environnement dans le but d'améliorer des actions futures. Le cervelet et le cortex pariétal postérieur ont été identifiés comme impliqués dans ces processus de comparaison (Blakemore et al., 2001). L'ensemble de ces processus permet d'optimiser le mouvement en cours de réalisation et au cours du temps (pendant l'apprentissage d'un mouvement complexe, par exemple).

L'adaptation du mouvement se fait sans accès à la conscience, même pour des distorsions relativement importantes par rapport au mouvement initialement prévu (l'accès à la conscience peut éventuellement intervenir après l'adaptation). C'est ce qui permet d'adapter le mouvement en ligne, et donc très rapidement. Cela a été montré dans différentes circonstances expérimentales. Fournier et Jeannerod (1998) ont par exemple demandé à des sujets de tracer une ligne droite. Ils pouvaient modifier le retour visuel avec un dispositif expérimental élégant, qui consistait à supprimer le retour visuel réel pour le sujet (il traçait sa ligne sous une table), et à renvoyer une image du mouvement via un ordinateur. C'est ce dispositif qui permettait aux expérimentateurs de manipuler le retour visuel. Les résultats ont montré que jusqu'à des déviations de 10°, les sujets adaptaient leur trajectoire sans en avoir conscience (Fournier et Jeannerod, 1998). De même, certains auteurs ont utilisé une tâche de pointage manuel rythmique ('tapping'), c'est-à-dire la production d'un rythme avec le doigt, en synchronie avec un son. Dans ces tâches, l'adaptation à des contingences environnementales que représente un décalage temporel de quelques ms se fait de manière rapide, mais sans accès à la conscience (Repp, 2000). Des données expérimentales ont montré des résultats similaires de correction du mouvement sans accès à la conscience, dans des tâches plus élaborées comme taper sur un clavier (Logan et Crump, 2010).

Les adaptations motrices peuvent devenir conscientes, mais de façon plus tardive, après l'adaptation. Par exemple, dans une expérience de Castiello et al. (1991), les sujets étaient assis face à une table où était éclairé un cylindre parmi plusieurs, et ils recevaient la consigne de saisir le cylindre éclairé de leur main droite. Dans certains essais, la lumière

changeait de position et éclairait un autre cylindre, exactement au moment où le sujet débutait son mouvement. De ce fait, ils devaient modifier leur trajectoire, 120 ms après le début du mouvement. Les sujets devaient également signaler verbalement le moment où ils percevaient le changement de position. Le rapport verbal du changement survient bien après la réponse visuo-motrice, avec un délai de l'ordre de 350 ms ; dans certains cas le rapport verbal survient même après la fin du mouvement (Castiello et al., 1991). Cette étude peut être critiquée sur l'existence d'une double tâche qui pourrait en elle même ralentir le rapport verbal. Elle suggère tout de même que la prise de conscience du mouvement ne survient que dans un second temps, expérience que l'on peut vivre dans de nombreuses situations de la vie quotidienne.

4.2. Rôle de la conscience et de l'attention dans l'initiation de l'action

Si le système du contrôle moteur fonctionne de manière essentiellement non consciente, des processus conscients ou attentionnels interviennent à différents niveaux. Le contrôle moteur n'est pas complètement automatique. La conceptualisation théorique du contrôle moteur en termes de modèles internes (comme celle de Wolpert) ignore ces influences attentionnelles, mais les données de la littérature permettent de préciser cette question.

Nous verrons que la première partie du contrôle moteur, à savoir l'élaboration et la réalisation de l'action, fait intervenir l'attention, même si elle se déroule largement en dehors du champ de la conscience. Ensuite, nous examinerons les dimensions conscientes impliquées dans le contrôle du mouvement : l'intention, la conscience d'être agent de son acte et le sentiment de contrôle.

4.2.1. Attention et initiation de l'action

Plusieurs données de la littérature suggèrent une mobilisation de l'attention lors de la phase préalable à l'action. Les travaux de Deubel ont montré que, lors de tâches motrices oculaires (saccades), la fenêtre attentionnelle est déplacée avant la réalisation d'une action (Deubel et Schneider, 1996; Deubel, 2008). Programmer une saccade conduit obligatoirement à un déplacement de l'attention implicite vers la cible de la saccade, même avant que les yeux aient commencé à bouger (Deubel et Schneider, 1996). Dans cette étude, une rangée de cinq pré-masques (items visuels non pertinents mais localisés à la même position que les futurs stimuli) était présentée à droite et à gauche du point de fixation. Les trois éléments centraux de chaque rangée étaient entourés d'ellipses de différentes couleurs. Une flèche colorée centrale était ensuite présentée et indiquait le côté et la couleur d'un des items des rangées comme cible de la saccade. Avant le début de la saccade, une cible à discriminer (E ou 3) apparaissait brièvement au niveau d'un des dix stimuli. A la fin de chaque essai, les participants devaient identifier cette cible. Les résultats montraient que l'exactitude de la réponse était largement supérieure quand la cible était présentée au niveau de la cible de la saccade, que lorsqu'elle était à une autre position. Mais l'attention ne pouvait pas être découplée de la saccade : l'effet disparaissait si l'attention était orientée en avance sur la cible à discriminer mais que la saccade était faite sur une position différente. Ces résultats indiquent que c'est la programmation de mouvements oculaires qui implique un déplacement de l'attention vers la cible de la saccade avant que les yeux aient commencé à bouger.

Des travaux de notre équipe ont aussi montré que, dans une expérience en double tâche, les ressources attentionnelles étaient mobilisées pendant la préparation du mouvement (Delevoeye-Turrell et al., 2006). Les sujets devaient réaliser une séquence d'actions motrices manuelles, tout en répondant le plus rapidement possible à un signal sonore avec leur pied. La tâche principale était la réponse au son, et la tâche secondaire la séquence motrice manuelle. Dans ce paradigme en double tâche, le temps de réponse au

signal sonore reflétait l'utilisation de ressources attentionnelles dans la tâche motrice. Plus la tâche motrice mobilise l'attention, en d'autres termes plus elle consomme de ressources attentionnelles, plus elle se répercute sur le temps de réponse du sujet, qui ralentit sa réponse parce que son attention est détournée. Dans l'expérience, ce coût attentionnel a été mesuré avant, pendant et après l'exécution du mouvement. L'étude montrait que les temps de réponse s'allongeaient surtout quand le signal survenait juste avant la réalisation de l'action, c'est à dire au moment de la planification du mouvement. Donc, des ressources attentionnelles sont nécessaires lors de la planification de l'action. Ces données ne permettent cependant pas de dire si cette allocation attentionnelle est un processus conscient. Ce pourrait être des mécanismes distincts qui permettent d'accéder à une conscience de son mouvement.

4.3. Conscience d'être l'auteur de son mouvement

Dès que le mouvement est initié, et tout au long de son exécution, le sujet accède à différentes informations conscientes sur ce mouvement. Il ressent le fait de réaliser lui-même ce mouvement et de le contrôler, avec son propre corps. Autrement dit, il se ressent comme auteur du mouvement (Jeannerod, 2009b). Gallagher a proposé une distinction entre deux formes d'identification de soi pour le mouvement. Il y aurait d'une part l'identification de soi comme le propriétaire d'un corps (*sense of ownership*), et d'autre part l'identification de soi comme auteur des actions (*sense of agency*), ou agentivité (Gallagher, 2000). Le fait d'être propriétaire de son corps renvoie à la perception de son propre corps. Les sensations corporelles sont en effet ressenties comme propres à soi-même. L'agentivité renvoie au sentiment subjectif d'être l'initiateur de ses propres actions. Lors d'un mouvement passif, par exemple lorsque quelqu'un nous bouge le bras, le sentiment d'appartenance du corps persiste, bien que nous n'ayons pas le sentiment d'être à l'origine de l'action.

4.3.1. La conscience de l'appartenance corporelle

La conscience de l'appartenance corporelle semble une évidence. Pourtant plusieurs exemples neuropsychologiques et expérimentaux viennent la questionner, et indiquent que plusieurs facteurs influencent cette forme de conscience. Le sens de la conscience de son corps est mis en défaut de manière assez étonnante dans les expériences d'erreurs d'auto-attribution comme l'illusion de la main en caoutchouc (Botvinick et Cohen, 1998). Dans cette illusion, un avant-bras de caoutchouc est placé devant le sujet, en continuité avec le bras, alors que l'avant bras du sujet est caché à la vue de ce dernier. L'expérimentateur applique de manière synchrone une stimulation tactile à la fois sur la main artificielle (à la vue du sujet) et sur la main du sujet. Le sujet perçoit alors, assez rapidement, la sensation tactile à l'endroit même de la main en caoutchouc. En d'autres termes, le sujet a l'illusion que la main en caoutchouc lui appartient. L'illusion est assez forte, tant que le sujet ne bouge pas, au point qu'il peut avoir un mouvement de recul si la main en caoutchouc est menacée par un objet pointu (Botvinick et Cohen, 1998). Cette illusion peut prendre des proportions encore plus importantes et englober tout le corps, avec des phénomènes d'autoscopie (perception de son propre corps à l'extérieur de soi), mises au point par le groupe de Blanke (voir Lenggenhager et al., 2007). L'intégration de stimulations tactiles et visuelles synchrones est nécessaire pour cette illusion (Tsakiris et Haggard, 2005). Mais cette condition n'est peut-être pas suffisante. En effet, il faut que la main de caoutchouc corresponde au schéma corporel (par exemple l'illusion ne fonctionne pas si c'est une main droite au lieu d'une gauche), suggérant que le sens de l'appartenance corporelle est sous l'influence de processus descendants, construits à partir de représentations proprioceptives et visuelles préexistantes du corps (Tsakiris et Haggard, 2005). La zone cérébrale impliquée dans cette illusion semble être l'insula postérieure droite (Tsakiris et al., 2007). On voit donc ici qu'une fois de plus les processus qui paraissent les plus élémentaires sont sous l'influence de contrôles descendants. A l'inverse, l'illusion montre aussi que des modifications subtiles des informations sensorielles et du mouvement bouleverse une

conscience d'appartenance du corps qui paraissait à priori l'un des mécanismes les plus élémentaires et les moins mobilisables du sens de soi.

Les afférences sensorielles peuvent aussi avoir un impact sur le sentiment que nous avons que « tout s'est déroulé comme prévu », qui peut donner lieu à un sentiment de contrôle. Le sentiment de contrôle n'est pas toujours défini ni distingué de l'agentivité dans la littérature, et nous détaillons ces concepts dans le chapitre suivant.

4.3.2. Agentivité et sentiment de contrôle

Le sentiment d'être l'auteur d'une action nécessite que le sujet réalise qu'il est au centre de l'action, qu'il a le sentiment de contrôler son corps, qu'il est dans une continuité entre l'avant et l'après de l'action. L'agentivité correspond à la conscience subjective que l'on initie, exécute et contrôle ses propres actions (Jeannerod, 2003). Ainsi, l'agentivité est particulièrement liée à la conscience de soi. Dans les circonstances normales, le sens de l'agentivité est étroitement intégré avec le sentiment d'appartenance du corps, mais, comme nous l'avons vu, différents exemples neuropsychologiques et les illusions de contrôle chez le sujet sain montrent qu'il s'agit de deux composantes distinctes (voir Wegner, 2002).

Pacherie a proposé, dans un modèle hiérarchique de l'agentivité, qu'il existe différentes composantes à l'agentivité (2008). Le sens de l'agentivité correspond d'abord au sens d'avoir *initié* l'action, c'est-à-dire au sentiment d'être à l'origine de l'action et de l'avoir volontairement déclenchée. Il correspond aussi à la conscience que ce sont ses propres actes qui ont certaines *conséquences* sur l'environnement : il reflète alors dans quelle mesure nos actions ont des effets. L'agentivité dépendra dans ce cas des relations spatiales et temporelles entre l'action et les effets, et comporte une dimension de causalité. Enfin, il existe une composante peut-être moins étudiée, correspondant au *sentiment de contrôle* du mouvement. Nous pouvons savoir que nous sommes à l'origine de nos actes, et le ressentir,

tout en n'ayant pas de sentiment de contrôle, notamment dans des circonstances où le contrôle moteur est complexe, par exemple lorsque l'on joue d'un instrument de musique ou que l'on réalise une performance sportive. Le sentiment de contrôle correspond à la conscience de l'efficacité lors du mouvement.

En somme, l'agentivité dans ses deux premières acceptions correspond à l'expérience subjective d'être à l'origine de l'action en train d'être réalisée, et à la relation entre un effet et l'action (c'est moi qui joue du violoncelle, et c'est moi qui ait fait la fausse note). Le sentiment de contrôle, lui, correspond à l'expérience subjective de maîtriser le déroulement de l'action en train d'être réalisée (je n'ai pas le passage de ce morceau parfaitement dans les doigts). Cependant ces différentes composantes sont fortement imbriquées.

Nous allons reprendre les mécanismes décrits dans la littérature de l'agentivité et du sentiment de contrôle. Mais auparavant, une remarque semble importante. Dans la littérature, il existe une certaine ambiguïté dans les termes 'sentiment de contrôle' et 'sentiment d'agentivité'. Pour certains (Pacherie, 2008), le sentiment de contrôle est une composante déterminant l'agentivité, par un contrôle en temps réel de l'action pendant son déroulement. Pour d'autres (par exemple Metcalfe et Greene, 2007), le terme sentiment de contrôle est employé pour le sentiment que son action détermine un effet. Ce sentiment de causalité est nommé agentivité par d'autres auteurs (par exemple Farrer et al., 2013). Nous réserverons le terme de sentiment de contrôle au sentiment d'avoir un contrôle efficace au cours de l'action.

4.3.3. Pourquoi étudier le sentiment de contrôle ?

Les troubles de l'agentivité sont relativement rares et épisodiques dans la schizophrénie. Ponctuellement les patients attribuent leurs actes ou pensées à des forces extérieures, mais le plus souvent lors de phases aiguës. La plupart du temps, en situation de vie habituelle, les patients avec schizophrénie ont des jugements d'attribution normaux, et ont un sentiment d'agentivité préservé. Mais il est possible d'avoir un mauvais sentiment de contrôle, sans pour autant avoir des troubles psychotiques (Metcalfe et Greene, 2007). Or les patients présentent un certain nombre d'anomalies sensorielles (Shergill et al., 2005; Giersch et al., 2009; Lalanne et al., 2012a, 2012b), qui devrait compliquer le traitement du retour sensoriel. Ce traitement est crucial pour pouvoir se rendre compte que « tout se passe comme prévu » et pour avoir un sentiment de contrôle. C'est à partir de ces données que nous avons formulé l'hypothèse que chez les patients, le sentiment de contrôle est altéré indépendamment des symptômes cliniques, ce qui signifie qu'il est présent chez des patients chroniques peu symptomatiques. Les anomalies du sentiment de contrôle pourraient être un facteur favorisant des anomalies de l'agentivité : on pourrait plus facilement attribuer une action à un agent extérieur si on a déjà un trouble du contrôle de l'action. En résumé l'altération du sentiment de contrôle évoluerait à bas bruit, et représenterait une fragilité, un facteur de vulnérabilité susceptible de faire le lit du délire d'influence, qui conduit le patient à attribuer son action à une force extérieure.

Ce raisonnement nous a conduits à privilégier le sentiment de contrôle. C'est une mesure qui est adaptable à un grand nombre de situations d'actions volontaires. En effet, il est difficile d'avoir une situation expérimentale qui permette de moduler expérimentalement l'agentivité, et qui puisse conduire les participants à attribuer leur action à un agent extérieur : le sentiment que « je » produis l'action est difficile à éliminer. Soit il faut créer une illusion, soit il faut questionner le sujet sur la causalité entre son action et les effets qu'elle produit. Fournier et Jeannerod (1998) ont montré, par exemple, que les divergences entre ce qu'une personne fait et le résultat de leur action peuvent être

relativement grandes, sans que le sujet ne s'en aperçoive. Par contre, ressentir une modification du sentiment de contrôle d'une action est une situation fréquente, même en l'absence de modification de l'attribution, et qui peut être facilement expliquée au sujet car déjà expérimentée, par exemple dans un apprentissage moteur (un violoncelliste débutant aura le sentiment de ne pas contrôler ses mouvements avec son archet, jusqu'à ce qu'il acquière une certaine dextérité). La validité du sentiment de contrôle a été évaluée, montrant que le sujet réalise un jugement différent du jugement d'agentivité ou de performance (Fournier et Jeannerod, 1998; Metcalfe et Greene, 2007; Farrer et al., 2008).

L'hypothèse d'une altération du sentiment de contrôle nécessite de s'intéresser aux différents mécanismes impliqués dans ce sentiment, et qui pourraient être altérés dans la schizophrénie. Dans la mesure où l'agentivité et le sentiment de contrôle sont très proches, et qu'ils ne sont pas toujours distingués dans la littérature, nous passons en revue les différents mécanismes impliqués dans ces deux formes de conscience de l'action.

4.3.4. Mécanismes de l'agentivité et du sentiment de contrôle

Le sens de l'agentivité et le sentiment de contrôle se construisent à partir de données issues des différentes phases du mouvement : l'intention, la prédiction motrice, sa réalisation et le retour sensori-moteur (Pacherie, 2008). Ils reposent ainsi sur un faisceau d'indices, provenant du mouvement lui-même, des intentions du sujet, d'a priori cognitifs (croyances, apprentissage), du retour sensoriel, mais aussi d'indices externes. Le système nerveux réalise une comparaison de ces indices qui permet un ressenti accessible à la conscience, et cela de manière prospective ou rétrospective par rapport au mouvement (Synofzik et al., 2013).

Un indice important d'agentivité provient de la comparaison entre la prédiction motrice et le retour sensoriel (Frith et al., 2000a; Blakemore et al., 2002). Nous nous focalisons sur ce mécanisme, qui est particulièrement pertinent pour notre étude. La

prédiction des conséquences de l'action est issue des modèles internes, et cette prédiction est comparée au résultat observé de l'action (vision et/ou proprioception). Le cerveau peut ainsi calculer une correspondance entre ces signaux (Frith et al., 2000a; Haggard, 2005). Le jugement d'agentivité est issu de cette comparaison entre un signal lié à une prédiction (la prédiction motrice, liée à l'intention et à la commande motrice en vue d'arriver au but), et un signal rétrospectif (le signal afférent lié au résultat de l'action). S'il y a correspondance, le sujet se sent auteur de l'action, et se sent en contrôle de l'action. Quand il existe des décalages entre la prédiction et le retour sensoriel, le sentiment de contrôle est susceptible de diminuer. Mais le décalage sensoriel doit être relativement important avant qu'il y ait une prise de conscience de celui-ci (Fournier et Jeannerod, 1998). Quand elle survient, elle s'accompagne d'une modification de la performance, avec une perte de précision. Nous ne savons pas vraiment dans quelle mesure les distorsions non perçues consciemment peuvent influencer le sentiment de contrôle. Nous verrons que c'est une question importante pour la schizophrénie.

Le lobe pariétal a été impliqué dans la réalisation de la comparaison entre prédiction et retour sensoriel. Les patients avec une destruction du lobe pariétal ont du mal à reconnaître le retour visuel de leur propre action (Sirigu et al., 1996). Les études d'imagerie fonctionnelle ont montré que le gyrus angulaire droit (cortex pariétal inférieur), était activé dans les situations où il n'y avait pas de correspondance, c'est-à-dire les situations où l'agentivité était plus faible (Farrer et al., 2003). Cette zone s'activait aussi quand le sujet évaluait les conséquences de son action, avec une activation plus importante quand il n'y a pas de concordance, c'est-à-dire quand le sentiment de contrôler les effets diminue (Farrer et al., 2008; Miele et al., 2011). Il a été ainsi suggéré que cette zone est associée à un monitoring de l'action.

L'expérience d'agentivité est également construite au moment du mouvement lui-même. Cette idée est dérivée d'études qui s'inspirent du paradigme de Libet (1983). Rappelons que ce paradigme consiste à demander aux participants un jugement temporel

sur le moment de l'initiation de l'action. Pour ce faire, le sujet relève le moment où il sent le besoin conscient de bouger en se référant à une aiguille parcourant un cadran d'horloge. Par exemple, Haggard et al. (2002) ont montré que lorsqu'un acte volontaire (appui sur un bouton) induit un effet (un son), le moment d'initiation de l'action est perçu plus proche du son, c'est-à-dire du moment de l'effet. Ces résultats suggèrent que le temps perçu entre l'intention et l'action est plus court quand le sujet se sent agent. L'effet est inverse si l'action est déclenchée non volontairement, par stimulation magnétique transcrânienne. Cet effet a été nommé par Haggard '*intentional binding*' (c'est-à-dire liaison intentionnelle), qui propose qu'il pourrait représenter une mesure implicite du sens de l'agentivité. Les auteurs proposent que cet effet dépend du signal efférent, puisqu'il ne survient pas avec les mouvements passifs (Haggard et al., 2002). L'expérience consciente d'agentivité serait construite au moment de l'action elle-même, comme un produit des circuits qui génèrent le mouvement. Il a ainsi été montré, dans le même cadre expérimental, que si un mouvement involontaire était déclenché juste après l'intention, empêchant la réalisation du mouvement volontaire mais entraînant malgré tout l'effet, le phénomène '*d'intentional binding*' n'était pas observé (Haggard et Clark, 2003). Les liens entre le phénomène '*d'intentional binding*' et l'agentivité restent à confirmer cependant. La présence d'un '*intentional binding*' a également été observée dans le cas où c'est l'action d'un autre qui est observée (Wohlschläger et al., 2003). Ces résultats remettent en question les conclusions de Haggard et suggèrent que l'*intentional binding* peut survenir même si le sujet n'est pas auteur de l'acte, et ne peut donc pas avoir de sentiment d'agentivité.

Dans l'ensemble, les données lient fortement l'agentivité et le contrôle des erreurs dans le système moteur, mais n'expliquent pas pourquoi il peut y avoir un jugement d'agentivité ou un sentiment de contrôle même quand il y a une action qui n'arrive pas au résultat escompté, du fait d'une perturbation non prédite. De même, au cours de l'action, il peut y avoir un jugement d'agentivité avant même la réalisation de l'action, au moment de l'intention.

Plusieurs études suggèrent que l'agentivité repose aussi sur une composante prospective. La programmation et la prédiction de l'effet de l'action (sensorimoteur) est un facteur d'agentivité, indépendamment de la vérification du retour sensoriel. Des expériences ont utilisé un amorçage subliminal du résultat de l'action pour montrer que l'activation avant le mouvement du résultat de l'action renforce le sentiment d'agentivité (Aarts et al., 2005; Sato, 2009). L'intention est un facteur important pour l'agentivité. Les travaux de Desmurget suggèrent que ce qui se passe au moment de la programmation (en accord avec l'intention) donne aussi lieu à un sens d'agentivité (Desmurget et al., 2009). Des données liées aux stimulations cérébrales apportent des arguments en faveur de l'idée que l'intention consciente ne serait pas qu'une illusion rétrospective, mais bien une construction en avance du mouvement à venir. En stimulant électriquement le cortex, sur la zone qui est réputée être à la source du potentiel de préparation évoqué par les expériences de type Libet, à savoir les aires motrices pré-supplémentaire (Ikeda et al., 1992; Sirigu et al., 1996), un effet de besoin imminent de bouger est ressenti, localisé à une partie du corps et pour un mouvement relativement précis (Fried et al., 1991). Par contre, la stimulation du cortex pariétal postérieur entraîne quand à elle une « intention » consciente, décrite comme une envie de bouger, impliquant une partie du corps et un type de mouvement plus général, et voire même l'illusion d'avoir bougé, sans mouvement associé (Desmurget et al., 2009). Le cortex pariétal postérieur est ainsi lié à la prédiction et à la sélection motrice alors que l'aire motrice supplémentaire est liée à la préparation du mouvement. Ces données suggèrent qu'il existe une intention consciente qui précède le déclenchement de l'action et qui renforce l'agentivité.

Enfin, des études récentes suggèrent qu'un stimulus non conscient amorçant la sélection de l'action, c'est-à-dire l'intention, pouvait renforcer le sentiment d'agentivité (Wenke et al., 2010; Chambon et Haggard, 2012; Chambon et al., 2013). Les sujets voyaient des flèches pointant à droite ou à gauche, et devaient appuyer sur la touche correspondante. Dans certains cas, apparaissait une double flèche et le sujet devait alors se sentir libre de choisir le côté où il appuyait. Un indice subliminal était présenté au même endroit et juste

avant la flèche, et influençait le choix de la personne, en biaisant légèrement la décision du côté de l'amorce. La réponse était suivie par l'apparition d'un disque de différentes couleurs, et les sujets devaient évaluer le contrôle qu'ils avaient l'impression d'avoir sur la couleur du disque. A l'insu des sujets, la couleur présentée (le « résultat » de l'action) dépendait du caractère congruent ou incongruent de l'amorce subliminale avec respectivement la flèche ou la réponse librement choisie (par exemple si : réponse à droite et amorce à gauche, le disque est rouge ; réponse à droite et amorce à droite, le disque est vert ; la couleur ne dépendait pas de l'amorce elle-même mais de la relation entre l'amorce et l'action à suivre)¹. De manière intéressante, les participants ressentaient un sentiment d'agentivité plus important si leur réponse était congruente avec l'amorce subliminale, que si elle était incongruente, quelles que soient l'action choisie et la réponse donnée (Wenke et al., 2010). Ces résultats ont été répliqués en montrant que cet effet était indépendant de la performance motrice, et notamment indépendant d'un effet d'amorçage de la réponse motrice (Chambon et Haggard, 2012). Au total, quand les participants ont réalisé une action qui correspond à une tendance amorcée de manière subliminale, ils ressentaient un sentiment d'agentivité plus fort sur l'effet de l'action que si elle suivait une association amorce-cible incompatible.

Mais ces résultats indiquent-ils vraiment que l'amorce a déclenché la sélection de l'action ? Une explication alternative pourrait être que le sentiment d'agentivité est donné a posteriori, et intègre la congruence ou l'incongruence entre l'amorce et la réponse motrice. En d'autres termes, le conflit sensorimoteur lui-même, quelle que soit la performance motrice, pourrait induire le sentiment que « quelque chose ne va pas » et conduire ensuite à diminuer le sentiment de contrôle.

Que se passerait-il si ce conflit était conscient ? Ce point est soulevé par une note de bas de page dans l'étude de Wenke et al. (2010 p.34), qui mentionne qu'un certain nombre

¹ et non selon l'orientation de l'amorce, comme dans des études préalablement présentées, où c'était le « résultat » de l'action qui était amorcé (Aarts et al., 2005).

de sujets ont été exclus des analyses car ils percevaient consciemment l’amorce masquée (5 sujets sur 21 dans l’expérience 1 et 12 sujets sur 34 dans l’expérience 2)¹. Les résultats chez ces sujets avaient une tendance inverse : le fait d’avoir été amorcé pour la réponse conduisait à une diminution du sens de l’agentivité. Il est peu probable que cet élément invalide les résultats pour les amorces non conscientes, puisqu’ils ont été répliqués ensuite (Chambon et Haggard, 2012; Chambon et al., 2013). Par contre, cela suggère que des mécanismes conscients pourraient avoir un effet inverse. Par exemple, le fait d’avoir été amorcé positivement pourrait donner au sujet l’impression consciente d’avoir été « forcé » dans la réponse et conduire à un sentiment de contrôle moindre. Mais là aussi, cette interprétation suggère la possibilité d’un jugement rétrospectif qui prend en compte à posteriori la congruence vs. l’incongruence entre l’amorce et la réponse.

Au total, un modèle à différentes composantes de l’agentivité a été proposé avec à la fois des données prédictives et postdictives, se basant sur la concordance entre prédiction et retour sensoriel, la conscience de l’intentionnalité, la conscience des buts de l’action. Le sentiment de contrôle se base lui aussi sur la concordance entre prédiction et retour sensoriel, mais les autres facteurs sont moins clairs. Les données concernant l’influence de facteurs non conscients sur le ressenti conscient sont encore limitées : il semble que des indices non conscients peuvent moduler l’agentivité, mais on ne sait pas si ce mécanisme passe par le biais du sentiment de contrôle.

Les liens entre agentivité et sentiment de contrôle sont variables, mais assez peu explorés expérimentalement. Si l’intention est connue, ou que des indices indiquent une forte causalité entre action et effets, le sentiment de contrôle semble dépendre de l’agentivité (la mélodie entendue est juste, et parce que je sais que c’est moi qui la joue, je me sens plus en contrôle). Par contre, si l’intention est incertaine, s’il n’y a pas une

¹ Les auteurs suggèrent que la proportion de sujets avec une perception consciente de l’amorce était plus importante dans l’expérience 2, alors que le masquage était le même, du fait d’un lieu d’expérimentation différent, avec un environnement plus sombre, entraînant un plus grand contraste dans les stimuli, moins de masquage et donc une meilleure visibilité.

correspondance parfaite entre l'intention initiale et le résultat de l'action, le sentiment de contrôle semble être un facteur déterminant pour l'agentivité. Le fait d'exercer un contrôle sur l'action peut augmenter le sens d'être engagé dans l'action (Pacherie 2008). Par exemple : ma main a trop glissé pendant le démanché (changement de position sur le manche d'un instrument à corde), mais comme j'ai rattrapé de justesse le mouvement, je suis à l'origine de la note juste. Ce dernier exemple montre que le sentiment de contrôle nécessite la prise en compte du contrôle exercé sur le mouvement. Nous allons développer le lien entre ces deux concepts dans le chapitre suivant.

4.3.5. Sentiment de contrôle et contrôle exercé

Pacherie (2008) distingue le sentiment de contrôle et le contrôle exercé dans l'action. Elle propose que le sentiment de contrôle est le résultat de comparaisons entre les états désirés, prédits, et actuels, avec un meilleur sentiment de contrôle si il y a une forte correspondance entre ces états. Le degré de contrôle exercé, nécessaire à une action, dépend de la quantité d'ajustements et de corrections qu'il est nécessaire de réaliser pour réduire les écarts entre prédictions et résultats, créés par différentes perturbations. Quand il y a un écart, le ressenti subjectif du sujet est que quelque chose ne va pas comme prévu (Metcalfe et Greene, 2007). Quand le sujet a un sentiment de contrôle diminué, sa réaction est d'exercer un contrôle supplémentaire pour maintenir les objectifs de l'action. Ce contrôle supplémentaire dépend de la nature de la contrainte, et génère un effort physique ou mental. Cet effort peut être soit anticipé ou mis en place pendant l'action. Par exemple, un violoncelliste qui observe que la tonalité est inhabituelle, déploiera un effort de concentration supplémentaire (effort mental anticipé). Si la pièce de musique est plus longue qu'attendu, la fatigue ressentie (écart entre le ressenti effectif et attendu) justifie un effort physique supplémentaire qui devra être mis en place au cours de l'action. Mais la notion de contrôle exercé comme le définit Pacherie (2008) reste ambiguë, car cette notion ne prend pas en compte le fait que des adaptations motrices puissent être automatiques, en prévision de distorsions, et que cette forme de contrôle puisse avoir un effet sur le

sentiment de contrôle. On peut donc distinguer un contrôle exercé en réaction et un contrôle réalisé en avance (qui n'est pas nécessairement conscient).

Les interactions entre contrôle exercé, de manière consciente ou non consciente, et sentiment de contrôle sont complexes (Nahmias, 2005). Nous avons besoin d'explorer cette question encore mal comprise pour comprendre comment le sentiment de contrôle est altéré chez les patients.

5. Synthèse

Dans quelle mesure des stimuli n'ayant pas accédé à la conscience peuvent moduler des processus associés à la conscience ? Et plus particulièrement : quel est le rôle de stimuli non conscients dans la mise en place d'une stratégie ? En quoi des stimuli non conscients peuvent influencer sur l'anticipation du mouvement et dans quelle mesure ils influent sur le sentiment de contrôle de l'action ? Leur effet diffère-t-il de l'effet de stimuli qui seraient accessibles à la conscience ? Ce sont les questions que nous souhaitons explorer dans nos paradigmes expérimentaux.

Présentation des études

Dans les chapitres suivants, nous présentons trois études sous forme d'articles.

La première étude, « Unconscious task set priming with phonological and semantic tasks », a été publiée en 2013 dans la revue *Consciousness and Cognition*. Dans cet article, nous mettons en évidence que l'amorçage non conscient de task set est indépendant de l'amorçage de répétition, mais requiert du temps pour se mettre en place.

Le second article, « Attention modulates unconscious task-set priming », a été soumis à la revue *Consciousness and Cognition*. Dans cette étude, nous montrons que l’amorçage non conscient de task set est filtré par des mécanismes attentionnels.

Le troisième article, « Adaptations to supraliminal and subliminal haptic distortions, and relationships with feeling of control », est en phase finale de préparation. Dans cette étude, nous montrons que les mécanismes d’adaptation du mouvement, tout comme le sentiment de contrôler l’action, varient avec les distorsions du retour haptique, même quand celui-ci est subliminal.

ÉTUDES SUR L'AMORÇAGE NON CONSCIENT DE TASK SET

Les stimuli non conscients peuvent influencer le comportement, que ce soit par le biais de la perception (Vorberg et al., 2003), des émotions (Whalen et al., 1998), ou de la motivation (Pessiglione et al., 2007; Capa et al., 2013). Nous avons présenté dans notre introduction des études suggérant que le contrôle cognitif lui-même pouvait être modulé par des indices non conscients, que ce soit l'inhibition (van Gaal et al., 2008), ou la mise en place de task sets (Lau et Passingham, 2007; Reuss et al., 2011; Zhou et Davis, 2012a).

Or, dans la schizophrénie, des difficultés d'initiation sont observées dans différents domaines cognitifs, mais la problématique des influences non conscientes sur ces difficultés a été encore peu explorée. Nous allons reprendre en introduction de nos deux études les éléments dans la schizophrénie qui suggèrent que l'initiation de task set est une question cruciale dans cette pathologie.

1. Justification des études : task-set et schizophrénie

1.1. Schizophrénie et conscience

Les psychiatres ont depuis longtemps eu l'intuition que le cœur du problème de la schizophrénie pouvait être lié à la conscience, et notamment ceux qui ont approché la pathologie avec une perspective phénoménologique (Minkowski, 1927; Ey, 1963; Sass et Parnas, 2003). Les données récentes dans l'étude de la neuropsychologie et des anomalies cognitives dans la schizophrénie suggèrent également des anomalies des processus conscients.

Les troubles cognitifs chez les patients qui souffrent de schizophrénie touchent de nombreuses fonctions, depuis la vitesse de traitement jusqu'à des altérations de fonctions cognitives aussi intégrées que la conscience de soi, en passant par des anomalies de la perception visuelle, de la mémoire, de l'attention, de la perception du temps et des fonctions exécutives. Cependant, des domaines cognitifs restent préservés, comme par exemple la mémoire implicite (Danion et al., 2001), suggérant que les déficits cognitifs ne sont pas liés à un affaiblissement général des fonctions cognitives. La physiopathologie de ces différents troubles cognitifs, et la manière dont ils s'intègrent entre eux, sont des questions encore mal comprises.

De manière très schématique, deux visions opposées s'affrontent pour expliquer le spectre des anomalies cognitives dans la schizophrénie : une perturbation des processus descendants (*top-down*) de haut niveau et/ou anomalies du traitement ascendant (*bottom-up*) précoce et essentiellement perceptif. En faveur d'une altération des processus descendants, de nombreuses anomalies cognitives de haut niveau ont été décrites dans la

schizophrénie : les processus attentionnels, les fonctions exécutives (planification, initiation, exécution, et supervision des pensées et actions volontaires dirigées vers un but, ainsi que la flexibilité et l'inhibition), ou encore la mémoire épisodique (Heinrichs et Zakzanis, 1998; Palmer et Heaton, 2000). Ces anomalies de processus réputés conscients et volontaires se distinguent d'une relative préservation des processus plus automatiques. Par exemple, Huddy et al. ont comparé les capacités d'inhibition de patients schizophrènes (en début de maladie) à des témoins, en différenciant l'inhibition consciente de l'inhibition automatique (2009). Pour différencier ces deux composantes, les auteurs ont utilisé une tâche d'amorçage moteur : l'inhibition volontaire était mesurée par l'inhibition de la réponse que le sujet devait réaliser lorsqu'un signal stop survenait, alors que l'inhibition automatique était mesurée par l'effet dit de 'compatibilité négative'. L'effet de compatibilité négative correspond à l'inversion de l'effet d'amorçage, qui devient négatif (les amorces incongruentes qui accélèrent les temps de réponse) quand le délai entre l'amorce et la cible est supérieur à 100 ms (150 ms dans cette expérience) (Eimer et Schlaghecken, 2003). Les auteurs observaient que l'inhibition automatique (et non consciente) était préservée chez les patients, alors que l'inhibition volontaire de l'action était altérée. D'autres données vont dans le même sens. Par exemple, la mémoire épisodique, requérant des traitements de haut niveau en vue d'un encodage optimal, est plus altérée que les formes de mémoire implicite (Danion et al., 1999). L'hypothèse de processus descendants défailants est également soutenue par des anomalies des régions préfrontales : anomalies morphologiques (Goldstein et al., 1999), hypométabolisme de repos (Andreasen et al., 1997), une diminution de l'activation lors de tâches nécessitant un contrôle cognitif en IRM fonctionnelle (par exemple: Carter et al., 2001), et des arguments pour une dysconnectivité anatomique ou fonctionnelle (Pettersson-Yeo et al., 2011). Ainsi, ces anomalies dans des régions hiérarchiquement supérieures suggèrent que les processus descendants sont cruciaux pour expliquer les anomalies cognitives de la schizophrénie. Au total, la présence d'anomalies des fonctions cognitives de haut niveau, associées à des anomalies neurobiologiques au niveau frontal suggère le caractère prédominant des anomalies des processus descendants et associés à la conscience.

Une vision opposée à l'hypothèse d'un dysfonctionnement cognitif de haut niveau, postule que les déficits cognitifs dans la schizophrénie concernent les processus bas niveau, précoces et automatiques (les deux hypothèses ne sont cependant pas forcément exclusives). Selon cette hypothèse, l'altération des processus perceptifs précoces, notamment la perception visuelle et auditive (dont une étiologie suspectée est le dysfonctionnement des récepteurs NMDA au glutamate) entraîne une perturbation en cascade de l'ensemble des processus de haut niveau (Javitt, 2009). Par exemple, une anomalie de la négativité de discordance (*mismatch negativity*), est une observation régulièrement répliquée chez les patients avec schizophrénie. Cette anomalie est observée au cours de tâches qui consistent à montrer des séquences de stimuli similaires, parmi lesquels les sujets doivent détecter des stimuli rare, qui se distinguent des autres par une propriété physique définie par l'expérimentateur (la hauteur d'un son par exemple). L'onde EEG qui accompagne la présentation du stimulus rare reflèterait la détection pré-attentionnelle, automatique et involontaire d'un changement du stimulus. Or cette onde est atténuée chez les patients (Javitt et al., 2008). Selon ces auteurs, cette anomalie d'un traitement automatique et précoce pourrait retentir sur plusieurs traitements de plus haut niveau, et par exemple expliquer des anomalies du traitement de la prosodie et ses conséquences sur les interactions sociales (Leitman et al., 2010) : parce que les traitements élémentaires sont altérés, tous les processus de haut niveau qui requièrent ces traitements élémentaires sont perturbés.

La question du rôle respectif des processus automatiques et de ceux associés à la conscience se pose particulièrement en ce qui concerne les task-sets. Nous avons évoqué plus haut le fait que les patients pouvaient présenter des difficultés à initier des actions. La mise en place des task sets n'a pas été en soi directement testée dans la schizophrénie. Nous l'analyserons à partir de la littérature, en nous focalisant sur l'initiation de task sets dans la mémoire épisodique et dans les paradigmes de permutation de tâches.

1.2. Task setting et stratégies dans le domaine de la mémoire

Les patients souffrant de schizophrénie ont un déficit en mémoire, touchant essentiellement la mémoire épisodique (Heinrichs et Zakzanis, 1998; Aleman et al., 1999). De façon notable, la mémoire implicite, comme l'apprentissage procédural ou l'amorçage perceptif, est préservée (Danion et al., 2001). Plus particulièrement, le déficit en mémoire touche la remémoration consciente, et non la simple familiarité (Huron et al., 1995; Heckers et al., 1998; Danion et al., 1999; Kazès et al., 1999). Selon cette distinction opérée par Tulving (1985), la mémoire épisodique avec remémoration consciente requiert une forme particulière d'accès aux souvenirs, permettant un souvenir riche et un voyage dans le temps, et nécessitant des stratégies particulières lors de l'encodage et de la remémoration. Ces stratégies permettraient en particulier de faire suffisamment de liens entre les éléments mémorisés.

Un nombre conséquent de données suggèrent que les patients n'utilisent pas les stratégies adéquates, et plus particulièrement qu'ils ont des difficultés à initier d'eux-mêmes la stratégie à effectuer pour réaliser un encodage optimal. D'une part, les patients ne réarrangent pas les éléments à mémoriser pour optimiser leurs performances mnésiques. L'ordre des mots rappelés lors d'un rappel libre donne une information sur la manière dont les sujets ont regroupés les mots lors de l'encodage. Les patients ont plus tendance à utiliser un ordre sériel (c'est-à-dire selon l'ordre donné lors de l'apprentissage), qu'à associer les mots par groupes sémantiques, qui est la stratégie la plus efficace (Paulsen et al., 1995; Kareken et al., 1996; Brébion et al., 1997, 2004; Chan et al., 2000; Hill et al., 2004; Matsui et al., 2006). Le même résultat est retrouvé en demandant aux sujets de procéder à une introspection sur les stratégies utilisées (Chan et al., 2000; Ragland et al., 2004; Bacon et al., 2007). L'activité cérébrale lors de l'encodage et de la récupération d'informations en mémoire est moindre dans la région préfrontale inférieure gauche, et cette diminution d'activité est corrélée à la mesure de l'utilisation de stratégies complexes. Ces résultats signent également une moindre utilisation de stratégies élaborées (Nohara et al., 2000).

Les patients sont pourtant capables de faire les associations sémantiques, et leur utilisation est efficace pour l'encodage (Russell et Beekhuis, 1976; Calev et al., 1983; McClain, 1983). Le sous-recrutement des régions préfrontales pendant l'encodage intentionnel ne semble pas être lié à une incapacité à utiliser ces régions cérébrales (Bonner-Jackson et al., 2005; Ragland et al., 2005). La performance en mémoire des patients s'améliore aussi lorsque l'expérimentateur impose au sujet la stratégie à utiliser lors de l'encodage des éléments à mémoriser (Koh et Peterson, 1978; Kubicki et al., 2003; Ragland et al., 2003; Bonner-Jackson et al., 2005; Paul et al., 2005). Dans ce cas, la performance n'atteint pas le niveau des témoins. Cependant, malgré cette limitation, l'amélioration des performances en mémoire est du même ordre, chez les patients et les contrôles, lorsque les sujets sont forcés à utiliser une stratégie efficace (par rapport à une stratégie moins efficace¹).

Au total, les patients n'utilisent pas spontanément les stratégies adéquates pour l'encodage, mais s'ils y sont suffisamment incités, ils arrivent à en tirer un bénéfice pour améliorer leurs performances en mémoire. Cela suggère que les patients bénéficient autant que les témoins d'une stratégie efficace, mais que l'utilisation de stratégies ne se fait pas spontanément de manière optimale. Autrement dit, les patients ne sont pas capables d'initier la bonne stratégie. Pour autant, nous n'avons pas d'argument pour dire si cette initiation ne se fait pas parce que les patients ne le font pas délibérément, ou si c'est un processus non conscient qui est altéré.

Il est possible que l'initiation de stratégies élaborées soit plus coûteuse pour les patients que pour les sujets sains. En effet les patients souffrent de multiples troubles

¹ Il existe quelques études montrant des performances identiques entre patients et témoins, quand les patients sont incités à utiliser certaines stratégies à la fois lors de l'encodage et de la récupération, en donnant par exemple les catégories de mots de la liste avant l'encodage et en rappelant ces catégories au moment du rappel (Barker, 1977; McClain, 1983). Comme l'utilisation de stratégies est nécessaire à différents moments d'une tâche de mémoire pour obtenir des performances optimales (au moins encodage et récupération), ce résultat, même s'il mériterait d'être répliqué, renforce l'idée que les stratégies, si elles sont mises en place, sont efficaces chez les patients.

cognitifs et il est possible que ceux-ci, altèrent la capacité des patients à mettre en place des stratégies. Il est possible d'incriminer par exemple, les capacités en mémoire de travail (Lee et Park, 2005), le ralentissement psychomoteur (Jogems-Kosterman et al., 2001), ou des déficits de groupement, c'est-à-dire des capacités à établir des liens entre les informations (Salamé et al., 2006). Les patients seraient néanmoins capables de les exécuter, grâce à des mécanismes compensateurs, mais au prix d'une allocation de ressources cognitives supérieures, et donc moins spontanément mis en œuvre. Dans une étude en IRMf, lors de l'utilisation de stratégies imposées, les patients activaient un réseau préfrontal supplémentaire par rapport aux sujets sains (Bonner-Jackson et al., 2005), pouvant être la marque de mécanismes de compensation. Même si le réseau cérébral mis en œuvre lors de l'encodage sémantique est en partie superposable chez les patients et les témoins, il existe un recrutement d'aires préfrontales supplémentaires chez les patients (Bonner-Jackson et al., 2005). Cette hyperactivation préfrontale en cas de stratégie imposée contraste avec une hypoactivation quand la stratégie est laissée libre. Il se peut ainsi que la difficulté soit liée au contrôle de la mise en place de la stratégie, que ce soit par une difficulté d'initiation ou une nécessité d'implication attentionnelle supérieure. Ou encore, ces différences d'activation cérébrale pourraient suggérer que les patients utilisent des stratégies d'encodage sémantiques différentes des témoins.

Nous allons tenter dans la partie qui suit d'aborder la question des stratégies de manière plus directe par le biais des task set, et particulièrement de la permutation de tâche.

1.3. Stratégies et permutation de tâche

Dans la schizophrénie, les résultats dans les études de permutation de tâche restent encore contradictoires. Les premières données comportementales ont retrouvé un coût de permutation normal, si toutefois le coût était rapporté au ralentissement global par ailleurs observé dans la schizophrénie (Meiran et al., 2000; Karayanidis et al., 2006; Kieffaber et al., 2006). Autrement dit, il n'y a pas de coût de permutation disproportionné dans la

schizophrénie, même si les patients sont plus lents. Dans l'étude princeps de Meiran et al. (2000), les patients présentaient tout de même un coût disproportionné dans la condition où le temps de préparation était particulièrement court (132 ms). Des résultats similaires de coût de permutation normaux ont été retrouvés si au lieu de tâches cognitives, il est demandé aux sujets d'alterner entre des saccades ou des anti-saccades oculaires (Barton et al., 2002; Manoach et al., 2002; Greenzang et al., 2007). Dans ces études, les sujets devaient alterner, en fonction d'une instruction, entre la réalisation d'un mouvement oculaire vers une cible latéralisée (prosaccade, qui est un mouvement automatique), un mouvement dans la direction opposée à l'indice (antisaccade, mouvement oculaire qui nécessite un contrôle cognitif fort, et notamment l'inhibition du mouvement automatique de prosaccade). Il s'agit ainsi d'une alternance asymétrique entre deux tâches dont l'une nécessite un contrôle inhibiteur.

Le fait que le coût de permutation soit normal chez les patients est une donnée assez surprenante quand on considère les anomalies présentées par les patients souffrant de schizophrénie dans des paradigmes neuropsychologiques classiques testant les fonctions exécutives, comme le Wisconsin Card Sorting Test (WCST). En effet, le WCST a été un des tests ayant permis de mettre en évidence l'atteinte des fonctions exécutives dans la schizophrénie. Ce test montre régulièrement que les patients ont du mal à changer de règle, anomalie qui pourrait se rapprocher d'un problème de permutation (Pantelis et al., 1999, 2004; Li, 2004). Deux points peuvent être soulignés. Les tâches neuropsychologiques mesurant les fonctions exécutives (tâche de Stroop, WCST, entre autres) sont à la fois dépendantes de multiples fonctions cognitives et altérées de façon différentielle selon les patients (Axelrod et al., 1996). Ainsi, la notion de dysfonction exécutive reste vague et pourrait être insuffisante pour faire un lien avec la notion plus spécifique de déficit d'initiation de stratégies que nous avons essayée de développer. Deuxièmement, la permutation demandée dans les paradigmes de permutation de tâche est une opération sensiblement différente de celle mesurée dans le WCST : elle est simple, répétée, et le sujet s'attend à devoir régulièrement réaliser ce changement.

Les patients peuvent ainsi avoir des stratégies de compensation qui peuvent s'avérer efficaces. Le fait que dans une étude, le coût de permutation soit disproportionné dans les cas où la préparation est très courte va dans ce sens (Meiran et al., 2000). Les études de permutation de tâche ne requièrent qu'un nombre limité d'association stimulus-réponse, et donc peu de demande cognitive au niveau du traitement du contexte. Par exemple, dans l'étude de Meiran et al. (2000), les participants devaient alterner entre la classification d'un stimulus sur la dimension verticale et sur la dimension horizontale. Les informations liées à une règle ne variaient finalement pas, d'autant plus que les boutons de réponse étaient toujours congruents avec la localisation du stimulus (4 boutons). Une augmentation du coût de permutation n'a été observée que dans une étude où les participants devaient prendre en compte le contexte, avec une mise à jour des règles à chaque essai. Au contraire, les performances étaient préservées quand la règle restait statique (Ravizza et al., 2010). Cela montre que dans une situation plus complexe, ou plus proche du WCST, les patients ont bien un déficit de l'implémentation d'un task set.

Enfin, il est possible que la réponse comportementale manque de sensibilité. L'étude des potentiels évoqués mesurés lors d'un paradigme de permutation de tâche chez des patients souffrant de schizophrénie montre que la positivité associée à la préparation de la permutation de tâche est réduite même quand l'intervalle est assez long pour permettre la préparation de la permutation. De plus, la négativité frontale post-stimulus après une permutation est diminuée (Karayanidis et al., 2006). Cela suggère que les processus de préparation des patients ne sont pas optimaux et qu'ils utilisent des stratégies post-stimulus pour aboutir à un résultat similaire à celui des témoins. Des données d'IRM fonctionnelle montrent quant à elles que le réseau frontopariétal est hyperactivé chez les patients, que ce soit dans les essais permutés mais aussi les essais répétés, suggérant un mécanisme de compensation, comme nous l'avons évoqué plus haut (Jamadar et al., 2010).

Au total, bien que les données ne soient pas univoques pour le paradigme de permutation de tâche, il existe un certain nombre d'arguments, notamment électrophysiologiques, pour suspecter qu'il existe un déficit d'initiation d'un task set dans la schizophrénie, même dans les paradigmes de permutation de tâche.

1.4. Organisation du contrôle exécutif dans la schizophrénie

La mise en place d'un task set est un élément du contrôle exécutif. Une étude récente réalisée chez des patients atteints de schizophrénie apporte des éléments intéressants et novateurs pour comprendre l'articulation entre initiation de task set et contrôle exécutif (Chambon et al., 2008). Les auteurs reprennent la tâche visuo-motrice et le modèle théorique du contrôle exécutif développé par Koechlin et al. (2003). Les sujets devaient, en fonction d'instructions préalables, soit répondre à droite ou à gauche, soit à une ou l'autre tâche, en réponse à la couleur du stimulus (cercles ou lettres). Le point important est que dans le protocole, les niveaux de contrôle requis, respectivement « sensoriel », « contextuel » et « épisodique » variaient indépendamment entre chaque bloc expérimental. Les auteurs montrent que les patients, bien que globalement plus lents et faisant plus d'erreurs, étaient particulièrement déficitaires quand le contrôle « contextuel » augmentait, mais pas le contrôle « sensoriel » ou « épisodique ». Le déficit du contrôle contextuel ne s'observait que sur les taux d'erreur, et non sur les temps de réponse, mais les patients restaient toujours en deçà du seuil d'une réponse au hasard. Cela signifie que le déficit était plus important quand les sujets devaient sélectionner un task set (caractériser une lettre par sa casse ou son type) en fonction du contexte (couleur de la lettre). Par contre, quand le niveau de contrôle « sensoriel » variait, c'est-à-dire quand il existait plus de possibilités d'associations stimulus-réponse, les patients avaient des performances qui se dégradèrent de façon identique aux témoins. De la même façon, le changement d'épisode, c'est-à-dire un changement d'instructions associées aux couleurs, les ralentissait dans les mêmes proportions que les témoins.

Une seconde étude de la même équipe associant ce paradigme à l'IRM fonctionnelle (Barbalat et al., 2009) a montré que le déficit du contrôle contextuel était associé chez les patients à une hypoactivation du cortex préfrontal latéral caudal, zone corticale impliquée dans ce type de contrôle chez le sujet sain (Koechlin et al., 2003). Il existait aussi une hyperactivation du cortex préfrontal latéral rostral (plus antérieur), suggérant une compensation non efficace chez les patients par l'utilisation d'informations épisodiques. Le déficit de contrôle contextuel, tout comme l'hypoactivation du cortex préfrontal latéral caudal, étaient significativement corrélés à la dimension de désorganisation des patients, suggérant une implication clinique de ce déficit.

Quelle est la signification du déficit de la prise en compte du contexte suggéré par ces études ? La notion de contexte correspond à la représentation interne de tout élément pertinent en vue de la réalisation de la tâche (allant d'éléments perceptifs à la prise en compte des essais précédents). Les expériences présentées montrent une difficulté à utiliser ces indices pour sélectionner la tâche pertinente. Une hypothèse pourrait être que cette difficulté de sélection soit directement liée à une difficulté pour mettre en place le task set. Les patients sont capables d'effectuer les tâches visuo-motrices demandées. Mais leurs performances s'altèrent quand de la flexibilité est nécessaire dans la sélection du task set sur la base d'indices. Cette flexibilité requiert d'initier fréquemment un nouveau task set. L'établissement de task set relève aussi de régions préfrontales (Sakai, 2008), ce qui serait cohérent avec les données d'imagerie de Barbalat et al (2008). La difficulté d'implémentation d'éléments du contexte dans le contrôle exécutif semble cohérente avec l'hypothèse d'un déficit de mise en place de task set. Comme mentionné dans l'introduction, les données ne permettent pas de savoir si les altérations touchent des mécanismes conscients ou non conscients.

Au total, le contrôle exécutif ne serait pas altéré dans son ensemble dans la schizophrénie, mais sélectivement à un niveau de contrôle « contextuel ». Ce niveau correspondrait à celui où le task set adéquat est sélectionné et établi en fonction du contexte. Le problème du contrôle exécutif pourrait donc être lié au déficit de mise en place des task sets dans la schizophrénie, quand cette mise en place repose sur un choix déterminé sur des éléments contextuels.

1.5. Synthèse et premiers objectifs expérimentaux dans le domaine de l'initiation de task set chez les patients avec schizophrénie

Nous avons résumé des données expérimentales dans le domaine de la mémoire ainsi que de la permutation de tâches qui peuvent poser la question d'un déficit d'initiation de stratégie dans la schizophrénie. Cependant, à notre connaissance, la question des mécanismes de ce déficit n'a jamais été testée directement. En considérant que mettre en route une stratégie peut se faire de manière intentionnelle ou de manière beaucoup plus automatique, il est légitime de faire le lien avec les problématiques d'altération des processus conscients dans la schizophrénie. En effet, nous ne savons pas si le déficit d'initiation de stratégie ne concerne que l'initiation consciente, et délibérée, ou si des processus non conscients de mise en place de stratégies pourraient également être perturbés chez les patients. Justement, nous avons décrit des études récentes qui suggèrent qu'il est possible d'initier des task set ou des stratégies de manière implicite, ou par le biais d'indices non conscients (Lau et Passingham, 2007; Ghinescu et al., 2010).

Une méthodologie permettant de comparer initiation consciente et initiation non consciente permettrait de faire les prédictions suivantes. Une première possibilité serait que, chez les patients souffrant de schizophrénie, l'initiation consciente soit perturbée, sans que l'initiation inconsciente le soit. Cela irait dans le sens d'une préservation générale des processus automatiques et une altération spécifique des processus requérant la conscience (Danion et al., 2001; Dehaene et al., 2003). Mais les données que nous avons analysées ne

permettent pas d'affirmer qu'il s'agisse d'un problème de processus descendants, liés à la conscience. Une alternative serait que l'initiation consciente comme l'initiation non consciente soit altérée : dans ce cas le déficit serait plutôt en lien avec un mécanisme de task setting plus général. Enfin, il reste la possibilité que les anomalies de l'initiation non consciente de stratégie soient même plus importantes que celles de l'initiation consciente, suggérant ainsi une compensation partielle et consciente d'un déficit implicite.

2. Objectifs généraux des Etudes 1 et 2

Nous avons vu que les patients souffrant de schizophrénie pourraient avoir des difficultés à initier une stratégie, et nous nous posons la question si ce déficit pourrait s'observer sur l'initiation de task sets, dans un paradigme d'amorçage de task set. En nous basant sur la littérature récente montrant une possibilité d'amorçage non conscient de task set, il nous a semblé pertinent d'appliquer ce paradigme aux patients. Cependant, avant de tester des patients, il était important de vérifier les effets du paradigme chez les volontaires sains. Les difficultés rencontrées nous ont amenés à tenter de répondre à des questions restées en suspens dans les études chez le sujet sain, susceptibles de modifier les interprétations chez les patients.

En effet, les études réalisées jusque là (Lau et Passingham, 2007; Reuss et al., 2011; Zhou et Davis, 2012a) laissaient ouvertes certaines questions méthodologiques qui pouvaient limiter l'initiation non consciente de task set.

La première limite est le caractère subliminal des amorces utilisées. Nous avons vu que dans les explorations de l'amorçage non conscient de task set (Mattler, 2006; Lau et Passingham, 2007; Reuss et al., 2011; Zhou et Davis, 2012a), le masquage n'est pas total (les d' ne sont pas toujours à 0). Il est effectivement très difficile de prouver l'absence totale de perception d'un stimulus, et une mesure objective du seuil a tendance à surestimer la valeur du d' (Hannula et al., 2005). Pour contourner cette difficulté, Lau et Passingham (2007) ont suggéré d'utiliser la méthode proposée par Greenwald et al. (1995) : en régressant la taille d'effet de l'amorçage en fonction de la visibilité pour chaque sujet, l'interception de la droite sur l'axe des y (à une visibilité valant 0) montre l'intensité théorique de l'amorçage en l'absence de visibilité (Greenwald et al., 1995). Le fait que la taille de l'amorçage dans les essais avec amorce consciemment perçue était plus faible que dans les essais avec amorce non consciente, suggérait une dissociation entre la visibilité et la taille d'effet de l'amorçage

(Lau et Passingham, 2007). Or, cette analyse peut être discutée car les conditions conscientes et non conscientes ne sont pas comparables. L'intervalle entre amorce et cible était différent entre la condition consciente et non consciente, pour des raisons de technique de masquage par métacontraste. Cette technique impliquait un intervalle de 80 ms pour que le masquage soit suffisamment fort. Pour un intervalle plus court, l'amorce demeurait visible (courbe de visibilité en U, typique du masquage par métacontraste). Donc, l'absence d'effet d'amorçage dans la condition consciente pourrait être liée à un intervalle amorce-cible trop court¹. Notre premier objectif a donc été de réaliser une tâche d'amorçage de task set avec un autre type de masquage, en utilisant un effet de masquage plus fiable et une visibilité de l'amorce plus faible. Ceci nous a permis de nous assurer de l'absence de conscience du stimulus, et de valider l'existence éventuelle d'un amorçage non conscient de task set.

Ensuite, une difficulté d'interprétation des résultats est liée à la difficulté de faire la part entre l'effet lié à l'amorçage de task set et l'amorçage de répétition (correspondant à la facilitation de l'identification de l'instruction par l'amorce). Les études précédentes ont utilisé différentes stratégies, que nous avons décrites en introduction. Mais aucune étude n'a mesuré et comparé les deux paramètres chez les mêmes sujets. Nous avons décidé d'ajouter une mesure d'amorçage de répétition.

Troisièmement, les études mentionnées précédemment utilisaient un design en blocs mixtes, c'est-à-dire un mélange des essais avec des amorces conscientes et non conscientes. Au cours de l'expérience, des amorces conscientes sont donc présentes dans certains essais, ce qui entraîne un effet d'incongruence qui est probablement consciemment

¹ Nous sommes relativement confiants dans cette interprétation car dans une première étude (non publiée, et non mentionnée dans cette thèse), nous utilisons un paradigme similaire à Lau et Passingham (2007), en utilisant un intervalle amorce-instruction long (80 ms) pour la condition consciente, et court (36 ms) pour la condition non consciente. Nous avons ainsi un patron inverse à Lau et Passingham, du fait d'une autre méthode de masquage. Nous montrions que, dans la condition consciente, il y avait un effet d'amorçage (mais pas dans la condition non consciente). Un intervalle long permettait ainsi à l'amorce consciente d'avoir un effet sur la préparation de la tâche.

perçu (même si cet effet n'a pas été mesuré dans ces études). Cette incongruence perçue pourrait conduire les participants à adapter leur stratégie dans la réalisation de la tâche. Par exemple, il pourrait y avoir une modification de l'attente des sujets par rapport à l'amorce, ce qui pourrait modifier les effets de l'amorce.

Ces trois premiers points seront pris en compte dans l'Etude 1.

Enfin, la question du rôle de l'attention sur l'amorçage inconscient de task set est particulièrement pertinente. En effet, il est logique de suspecter un mécanisme de contrôle sur ces influences inconscientes dans la vie de tous les jours, sous la forme d'un filtre. En effet il n'est pas imaginable que tous les processus non conscients puissent accéder de la même manière à un niveau de contrôle cognitif. L'Etude 2 étudiera ce point.

ÉTUDE 1 : L'AMORÇAGE DE TASK SET NON CONSCIENT

Objectifs et prédictions de l'Etude 1

L'Etude 1 a eu pour but de vérifier l'existence d'un amorçage non conscient de task set, en utilisant des conditions strictes de non conscience des amorces. Nous avons repris un paradigme de permutation de tâche similaire à l'étude de Lau et Passingham (2007), qui utilisait une alternance entre tâche sémantique et phonologique. Pour obtenir un masquage plus efficace, nous avons utilisé une technique de masquage développée dans l'équipe de Stanislas Dehaene, qui avait été bien étudiée sur le plan de la visibilité objective et subjective des amorces (Del Cul et al., 2006). Ainsi, nous pouvions tester le paradigme en étant confiants sur la possibilité d'obtenir une visibilité nulle.

Par ailleurs, pour nous assurer de l'absence d'attente des sujets concernant la survenue d'une amorce, nous n'avons pas prévenu les sujets de leur présence et de l'existence d'une tâche d'amorçage, et surtout, nous n'avons pas utilisé d'essais avec une amorce consciente.

Ensuite nous avons utilisé un masque physiquement différencié de l'instruction pour la tâche, contrairement aux études précédentes qui utilisaient une instruction servant également de masque par métacontraste. L'intérêt de cette différenciation physique entre masque et instruction est la possibilité de faire varier indépendamment l'intervalle entre amorce et masque, et l'intervalle entre amorce et instruction. Cet intervalle amorce-instruction pose des problèmes méthodologiques dans l'étude de Lau et Passingham (2007), car un intervalle amorce-instruction raccourci (36 ms au lieu de 83 ms) est nécessaire pour augmenter la visibilité de l'amorce. Le temps réduit entre l'amorce et l'instruction pourrait être trop court pour que l'amorce puisse initier un task set, et cela pourrait expliquer les effets d'amorçage réduits dans cette condition. Or ces effets d'amorçage réduits sont utilisés pour valider l'existence d'un effet d'amorçage de task set subliminal. Nous avons ainsi mené deux expériences, la première avec un intervalle amorce-instruction de 36 ms, et

la seconde avec un intervalle de 83 ms, l'intervalle amorce-masque restant le même dans les deux expériences.

Enfin, pour distinguer l'effet lié à l'amorçage de task set et l'effet d'amorçage de répétition (facilitation de la perception de la lettre par la présentation initiale par l'amorce), nous proposons d'utiliser une méthode différente de celles utilisées jusqu'à présent (voir Introduction). En plus de la mesure classique de l'amorçage de task-set, nous utilisons une condition supplémentaire où la consigne est d'identifier l'instruction. Cette condition nous permet d'isoler et de mesurer l'amorçage de répétition sélectivement.

Nos prédictions sont les suivantes :

- Nous nous attendons à retrouver une accélération des temps de réponse (et éventuellement une amélioration de l'exactitude) en cas d'amorce non consciente similaire à l'instruction, que ce soit dans la situation classique d'amorçage de task set, et dans la situation où les instructions focalisent le sujet sur l'identification de l'instruction (amorçage de répétition). Nous nous attendons à un effet de l'intervalle de temps entre amorce et instruction sur l'amorçage de task set, mais pas nécessairement sur l'amorçage perceptif.
- Nous prédisons que la visibilité de l'amorce reste similaire dans les deux expériences, dans la mesure où l'intervalle amorce-masque reste similaire.

Etude 1

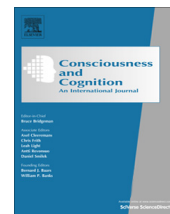
Unconscious task set priming with phonological and semantic tasks.

Sébastien Weibel, Anne Giersch, Stanislas Dehaene, Caroline Huron

Consciousness and Cognition, 2013 ; 22:517–527.

Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](#)

Consciousness and Cognition

journal homepage: www.elsevier.com/locate/concog

Unconscious task set priming with phonological and semantic tasks

Sébastien Weibel^{a,*}, Anne Giersch^a, Stanislas Dehaene^b, Caroline Huron^b^a INSERM, Department of Psychiatry, Centre Hospitalier Régional Universitaire, Strasbourg, France^b INSERM, Cognitive Neuroimaging Unit, Gif sur Yvette, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 December 2012

Available online 2 April 2013

Keywords:

Consciousness

Masking

Cognitive control

Task switching

Semantic judgment

Phonological judgment

ABSTRACT

Whether unconscious stimuli can modulate the preparation of a cognitive task is still controversial. Using a backward masking paradigm, we investigated whether the modulation could be observed even if the prime was made unconscious in 100% of the trials. In two behavioral experiments, subjects were instructed to initiate a phonological or semantic task on an upcoming word, following an explicit instruction and an unconscious prime. When the SOA between prime and instruction was sufficiently long (84 ms), primes congruent with the task set instruction led to speedier responses than incongruent primes. In the other condition (36 ms), no task set priming was observed. Repetition priming had the opposite tendency, suggesting the observed task set facilitation cannot be ascribed solely to perceptual repetition priming. Our results therefore confirm that unconscious information can modulate cognitive control for currently active task sets, providing sufficient time is available before the conscious decision.

© 2013 Elsevier Inc. All rights reserved.

1. Introduction

It is widely acknowledged that information not consciously perceived can influence our perception and behavior, and subliminal priming has been demonstrated at visual, semantic and motor levels (for a recent review, see Dehaene & Changeux, 2011). Non-conscious information can modulate performance in many cognitive tasks, e.g. object recognition (Stoerig & Cowey, 1997), extraction of the meaning of words (Gaillard et al., 2006; Naccache & Dehaene, 2001; Van den Bussche, Notebaert, & Reynvoet, 2009), categorization (Van den Bussche & Reynvoet, 2007), emotional processing (Whalen et al., 1998), action planning and execution (Binsted, Brownell, Vorontsova, Heath, & Saucier, 2007). Recently, it has been reported that monetary rewards affected subjects' motivation in a force task (Pessiglione et al., 2007), a finger-tapping task (Bijleveld, Custers, & Aarts, 2010, 2012) and a switch task (Capa, Bouquet, Dreher, & Dufour, 2012) even though participants were unaware of the reward.

However, the extent to which non-conscious stimuli influence high-order control functions remains controversial in cognitive psychology. Cognitive control processes have traditionally been considered to be based on voluntary control and to depend on conscious decision-making and awareness. As such, they have been contrasted with unconscious, automatic information activation. According to the global neuronal workspace framework (Dehaene, Changeux, Naccache, Sackur, & Sergent, 2006), top-down strategic processes can influence unconscious processing (Merikle, Joordens, & Stolz, 1995;

* Corresponding author. Address: INSERM, Department of Psychiatry, Centre Hospitalier Régional Universitaire, 1 place de l'hôpital, Strasbourg 67091, France. Fax: +33 388116446.

E-mail address: weibelse@gmail.com (S. Weibel).

Naccache, Blandin, & Dehaene, 2002; Van den Bussche, Segers, & Reynvoet, 2008), but the possibility of an effect of non-conscious stimuli on cognitive control processes is not explicitly included in the model (Dehaene & Naccache, 2001).¹

Recent findings suggest subliminal stimuli can affect high-order cognitive processes such as inhibitory control or task-setting. In a go/no go task, for instance, non-conscious “stop” signals slow down motor responses. This inhibitory control, which occurs unbeknown to the subject, is associated with a frontal activity typically related to response inhibition in both electroencephalographic (Hughes, Velmans, & Fockert, 2009; Van Gaal, Ridderinkhof, Fahrenfort, Scholte, & Lamme, 2008) and functional magnetic resonance imaging (fMRI) (Van Gaal, Ridderinkhof, Scholte, & Lamme, 2010) studies. These findings are evidence that inhibitory control can be triggered unconsciously.

Another set of studies has addressed the activation of task sets by masked stimuli that do not reach consciousness (Lau & Passingham, 2007; Mattler, 2003; Reuss, Kiesel, Kunde, & Hommel, 2011). The concept of task set assumes we can adopt a particular configuration of our cognitive system to perform a given task (Rogers & Monsell, 1995). Mattler et al. instructed participants to indicate either a sound's timbre (piano versus marimba) or its pitch (high versus low). A shape (task cue) indicated which task they were to perform, with diamonds denoting the pitch task and squares the timbre task. Before the fully visible task cue was presented, there was a prime in the shape of either a diamond or square. The task cue acted as a metacontrast for the prime so that the latter was either visible or invisible depending on the delay between prime and task cue onsets. The results signaled a congruency effect for subliminal primes: participants responded faster when the shapes of the prime and cue were the same than when they were different. These findings suggested that subliminal primes triggered the establishment of a cognitive task set which shortened the preparation time for the task when the visible cue occurred.

Using a similar paradigm in a fMRI study, Lau and Passingham (2007) reported that, relative to congruent trials, in incongruent trials increased activity was observed in brain regions associated with the task cued by the subliminal prime, whereas reduced activity was reported in brain regions associated with the task cued by the visible instruction. These results demonstrated that the task-related network can be modulated by subliminal information.

There are methodological concerns surrounding these important studies which could undermine their conclusions. Firstly, in all of them the absence of awareness of masked primes cannot be taken for granted in all subjects. In the Mattler study (2003), for example, participants' performance when they had to identify the shapes of the subliminal primes was at best only marginally different from chance, around 55% ($d' = 0.28$), and in the worst case, close to 60% (i.e. above-chance). In the Lau and Passingham study (2007), discriminability in the low-visibility condition was lower ($d' = 0.05$), but the difference in relation to the conscious condition was quite small ($d' = 0.26$), with the latter result equivalent to the Mattler unconscious condition. It is possible these results are due to the choice of masking by metacontrast. Secondly, the presence of conscious primes in the same block as masked primes might have had an effect on the visibility of the prime, by creating an expectation of a stimulus, which has been shown to speed information processing (Vangkilde, Coull, & Bundesen, 2012), and might have facilitated the priming effect (Naccache et al., 2002). All in all, it still seems necessary to check whether task-set priming effects can be replicated in strict conditions where subjects are unaware of the primes. To that end, we used a backward masking paradigm in which a single letter displayed only briefly was followed 24 ms later by a mask consisting of letters surrounding the previous letter location (Del Cul, Baillet, & Dehaene, 2007; Del Cul, Dehaene, & Leboyer, 2006). It has previously been shown that both objective measures (proportion of primes correctly identified) and the subjective visibility of the primes reported by participants indicated they were not aware of the presentation of the primes under these experimental conditions. Furthermore, unlike all previous studies, which combined trials with conscious primes with trials with masked primes, we did not include any trials with conscious primes.

Another methodological issue concerns the double dissociation between priming effect and visibility reported in the study by Lau and Passingham (2007): the priming effect was maximal when the prime visibility was minimal but disappeared when participants consciously perceived the prime (see also Schmidt & Vorberg, 2006). The absence of an effect of a visible prime on the task set selection could be due to an excessively too short delay between the prime and the task cue in the conscious condition (16 ms) compared with the subliminal condition (83 ms). It has already been shown that the efficiency of visible primes generally increases as a function of the prime-target delay (Kouider & Dehaene, 2007). Two factors were therefore confounded: the visibility of the prime and the delay between prime and instruction. The confound is due to the use of metacontrast masking characterized by a U-shaped visibility curve as the delay between prime and instruction increases. In the present study we examine the impact of this delay manipulation while keeping constant the SOA between prime and mask.

The purpose of the present study was to provide more evidence proving that a subliminal prime could initiate a task set. We designed a different masking procedure to overcome the methodological issues raised by the study by Lau and Passingham (2007). First of all, we were intent on making sure the participants really were unaware of the prime. Even if it is difficult to demonstrate statistically that visibility is exactly zero, it is known that metacontrast masking rarely produces complete masking at any level of SOA (Francis, 1997). Here, we used backward masking which allows no visibility of the prime, as previously shown by objective performance and subjective ratings (Del Cul et al., 2007, 2006). Secondly, primes

¹ Although the formulation in Dehaene and Naccache (2001) is ambiguous, the workspace model does not preclude rule out the possibility that automatic bottom-up effects of an unconscious stimulus T1 may bias the choice of a cognitive strategy applied, in turn, to a second target T2. What is ruled out is that an unconscious stimulus T1 changes the strategy applied to itself, as this would imply a closed bottom-up and top-down loop, which, in the global neuronal workspace model, is deemed to imply reverberating ignition and therefore conscious perception. Thus, the present data do not strictly imply rejection of the global workspace model.

were subliminal in all trials to avoid any clue that might have modified the participants' attentional focus. Thirdly, to study the impact of the delay between the subliminal prime and the mask, we compared two intervals between prime and instruction in two different experiments. Fourthly, to gain a better understanding of the links between the repetition priming and task set priming, we used both tasks in the same experimental procedure. Each participant performed a task set priming task, followed by a repetition priming task (motor response priming).

2. Experiment 1

2.1. Methods

2.1.1. Participants

Twenty students from the University of Strasbourg (16 women, 4 men), aged between 19 and 44 ($M = 24.7$, $SD = 5$), took part in the experiment. Their level of education ranged from 12 to 16 years ($M = 14.8$, $SD = 1.47$). All of them had normal or corrected-to-normal visual acuity, verified with the help of the Freiburg Visual Acuity Test (Bach, 2006). Each participant took part in one 90 min session. Their informed written consent was obtained prior to the study, in accordance with the recommendations set out in the Helsinki Declaration.

2.1.2. Equipment

Participants were seated 60 cm from the stimulus presentation screen in a dimly lit room for the duration of the experimental session. The behavioral tasks were presented using E-prime version 1.1 (Psychology Software Tools, Inc. Sharpsburg, PA). The screen refresh rate was set at 85 Hz (screen refresh every 11.8 ms). Responses were collected with a serial response box (Psychology Software Tools, Inc. Sharpsburg, PA).

2.1.3. Stimuli

In each trial, the prime was displayed first, and then followed by a mask, the instruction letter, and the target word. The prime was a letter (A or S, Arial font, size: 1.25°) presented in one of four positions (2.3° above or below and 2.3° to the right or left of the central fixation cross).

The mask consisted of four letters surrounding the previous position of the prime (two E above and below, and two M on left and right). The mask served to render the prime invisible. The instruction consisted of a letter (A or S), the same size as the prime, but in bold font and colored blue. It was presented in the square delimited by the mask furthest from the fixation cross. NB: As a result, the instruction letter never appeared in exactly the same location as the prime (Fig. 1).

2.1.4. Procedure

The participants completed a three-phase procedure. They started with a task set priming task, which involved applying one of two strategies according to an instruction letter that could change with every trial. Secondly, they performed a repetition priming task, where they had to identify the letter representing the instruction, which in this task is the target letter. Thirdly, they were told about the presence of a congruent or incongruent invisible prime before performing a prime identification task.

2.1.4.1. Task set priming. An instruction letter presented on the screen indicated the type of judgment the subjects would have to emit on the following word. In the case of an "S" instruction (like "Syllabic") the participants had to make a phonological judgment: they had to decide whether or not the word was bisyllabic. In the case of an "A" instruction (like "Animate"), they had to make a semantic judgment: they had to decide whether the word corresponded to something living or non-living. The volunteers were told they had to prepare the task set quickly once they had seen the instruction. They were not told about the presence of an invisible prime.

Fig. 1 illustrates the experimental stimuli and procedure. The fixation cross was displayed throughout the session. In each trial, the prime was presented for 12 ms. After a 24 ms delay during which the screen remained blank, the mask and instruction letter appeared together for 152 ms, in the same quarter of the screen as the preceding prime. Thus, the stimulus onset asynchrony (SOA) between prime and mask, as well as between prime and instruction, was 36 ms. After a delay of 156 ms during which the screen remained blank (344 ms after the onset of the prime) the target word was presented at the center of the screen for 750 ms. The next trial began 3 s after the word offset.

The volunteers responded "yes" by pressing a key with their left index finger and "no" by pressing a key with their right index finger. They were instructed to respond as accurately and as quickly as possible, within 3 s of the word onset.

Each participant completed four blocks of 96 trials each (384 trials). In half the trials, the task was phonological, and in the other half, semantic. Within each of these conditions, the prime was congruent with the instruction in half the trials, and incongruent in the other half. In our pilot studies, switching instructions between consecutive trials seemed to be an important factor to control and was taken into account in the study design. Trials with and without task switching between consecutive trials (switch versus no-switch) were displayed in equal proportions. The fillers, i.e. the first trial in a sequence of two trials, were not included in the statistical analyses. The participants were not told about the fillers, and the temporal course of fillers and target trials was exactly the same. Conditions of task, congruency, task switching, and the position of

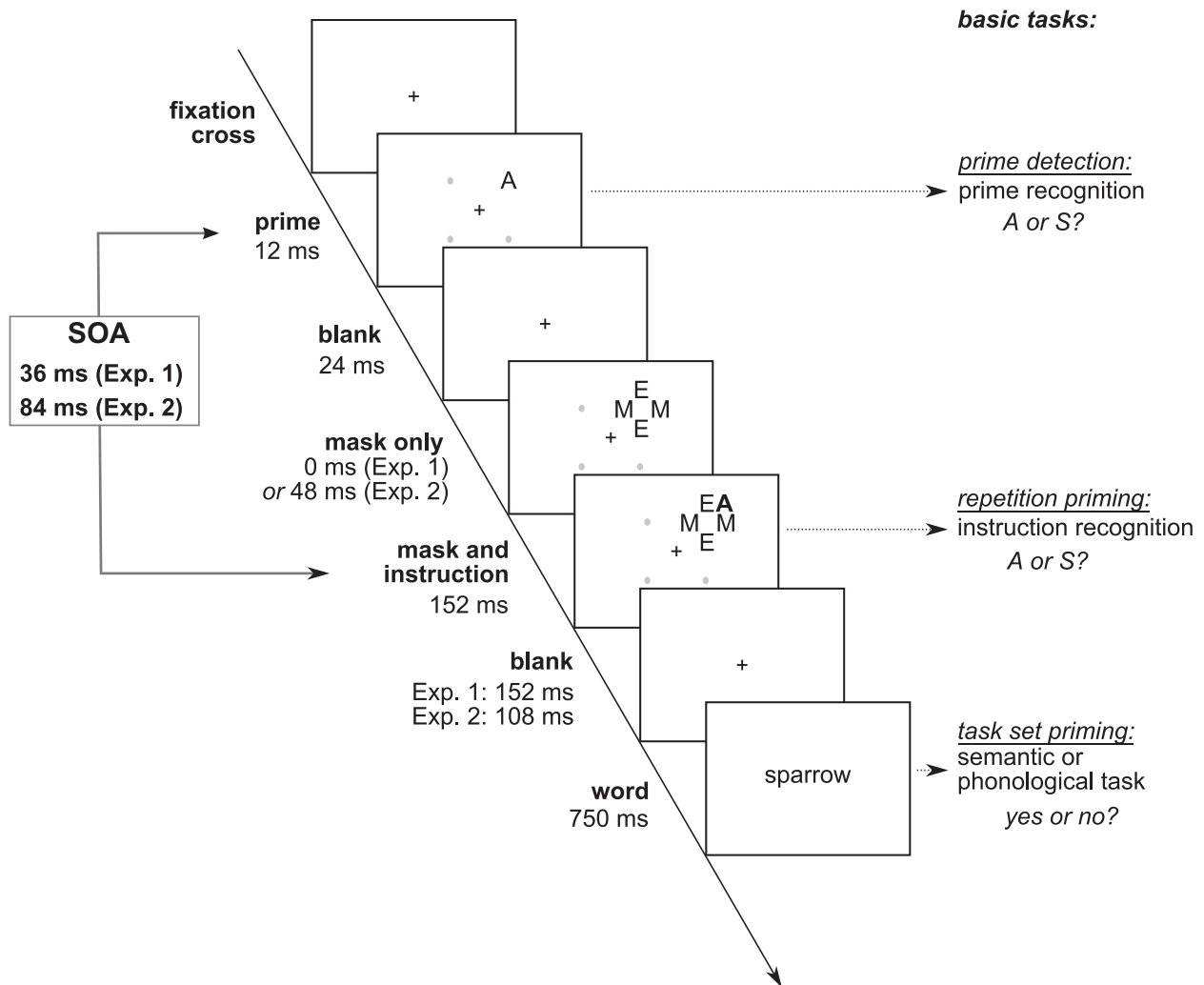


Fig. 1. Stimuli and procedure of Experiments 1 and 2. The stimuli consisted of a prime letter (A or S), masked by the next four letters, the instruction letter (A or S), and then the word. The prime was congruent or incongruent with the instruction letter. The two experiments differed in the interval between the prime and the instruction letter. The participants performed three tasks in succession (in three blocks). First, they performed the “task set priming” task, in which they had to make either a phonological judgment (bisyllabic or not) or semantic judgment (animate/inanimate) on the following word, according to the instruction letter. Then, they performed the “repetition priming” task, in which they had to identify the instruction letter, and, then, finally, they attempted to identify the prime letter, so that we could check whether or not they were aware of the prime (“prime detection”).

the stimuli (a total of 32 possible combinations) were represented in the same proportions. The same word was never repeated between two consecutive trials.

Twenty-four different French nouns were used. Their occurrence ranged from 0.68 to 56 per million (Lexique Database: New, Pallier, Ferrand, & Matos, 2001). The words were either bi- or trisyllabic, and denoting something either animate or inanimate, in equal proportions. Words that were ambiguous in terms of syllables or meaning were excluded. We chose a small number of words to accelerate decision-making and reduce the variability of RTs.

To avoid unwanted response strategies, the responses were systematically incongruent in both tasks: all trisyllabic words corresponded to something animate, and bisyllabic words to something inanimate. Unbeknown to the participants, the selection of words with intrinsic response incongruence (“yes” for one task and “no” for the other) avoids automatic responses based solely on their memory of stimulus–response pairs. We checked to make sure subjects did not consciously employ a strategy of using the same judgment in all cases and reversing the responses according to the instructions given. A questionnaire filled in at the end of the procedure was designed specifically to hunt out such a strategy. The questions were open to begin with, and then steadily more targeted to focus on the strategies used during the procedure. Three subjects had noticed that bisyllabic words were inanimate and trisyllabic words animate, leading them to use the afore-mentioned strategy. These three participants were excluded from the analyses.

The experiment was divided into four 12-min runs, between which the participants were allowed a 5-min rest to ensure their sustained attention. A training session beforehand, consisting of 100 trials, allowed us to check whether or not the instructions were properly understood. The instructions were presented on the computer screen and oral explanations were also given.

2.1.4.2. Repetition priming. The stimuli (prime, mask and instruction, and word) and their temporal course were identical to the task set priming procedure, including the use of filler trials. Only the task was different. Participants were asked to focus their attention on the instruction letter, which is the target in this phase, and to press, as quickly as possible, the right button in the case of an “A” letter and the left button in the case of an “S” (counterbalanced between subjects). Participants completed one block of 128 trials.

2.1.4.3. Measurement of prime awareness. Following the two priming tasks, participants were asked whether they had noticed anything other than the E and the M in the mask. They were then told that a prime had been presented and were asked once again whether they had noticed anything before the mask and the instruction letter. Afterwards, they were shown the exact stimulus sequence in slow motion and were asked if they recognized having seen any of the primes during the priming task. Finally, the prime identification task was conducted, consisting of one block of 128 trials. The stimuli and time course were the same as in the two previous tasks. Participants were asked to identify the prime, and to respond by pressing one of the two buttons (counterbalanced between subjects), even if they were unable to see it (forced choice). Lastly, they were asked whether or not they felt they were able to see the masked primes during the prime identification task.

2.1.5. Statistical analyses

We conducted ANOVAs with repeated measures, prime congruency (prime and target identical versus different), task (semantic versus syllabic), and switch (task instruction identical to the previous trial versus different) as within-group factors for the task set priming session, and prime congruency and switch as within-group factors for the repetition priming session. Analyses were performed on median correct response times. For the prime detection task, accuracy was analyzed with respect to prime recognition and compared to the chance level of 50% using a *t*-test. The signal detection theory was used to calculate the *d'* index (index of signal detectability).

2.2. Results

Three subjects pointed out that bisyllabic words were inanimate or *vice versa*, which had lead them to respond always with a semantic task set and to reverse their response in the case of an “S” instruction. These three participants were excluded from the analyses. NB: For the sake of clarity, the results are presented in reverse order to the order in which the three tasks were administered.

2.2.1. Awareness of primes

None of the 17 participants reported having seen the prime letter before the target during the priming experiments. When informed about the presence of the primes, 3 subjects thought they might have seen a slight blink, but were unsure, and no one thought it was a letter. No participants reported having seen the prime in the prime identification task. They spontaneously reported that they were not confident about their estimations and were only guessing. Their performance in the forced-choice task ranged from 41% to 59% and averaged 49.7%, which was not significantly different from chance, $t(16) = -0.24$, $p = .81$. The mean value of *d'* was -0.013 , which was not significantly different from 0 ($t(16) = -0.24$, $p = .82$). Mean accuracy for the 3 subjects who detected a flash was 50% and *d'* was 0.01.

2.2.2. Repetition priming

Fig. 2 shows the median RTs averaged across subjects for each repetition priming condition. We found a significant main effect of prime congruency on reaction times ($F(1, 16) = 64.5$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.80$). Subjects were quicker to identify the target

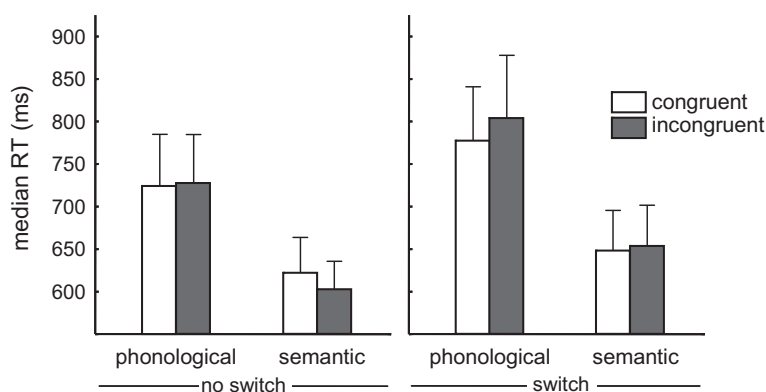


Fig. 2. Median response time for correct responses (in ms) averaged across subjects in the task set priming procedure in Experiment 1 (prime-instruction SOA = 36 ms) (17 subjects). The results are displayed as a function of whether task switching occurred relative to the previous trial, of the type of task, and of congruency of the prime with the explicit instruction. Vertical bars denote \pm standard errors. A main effect of task type ($p < .001$) and a main effect of the switch ($p < .005$) were observed. However, there was no significant difference in response times between when the subliminal prime was congruent and when it was incongruent with the explicit instruction.

letter (instruction) when the prime letter was the same as the instruction (442.2 ms versus 482.8 ms when it was different). The mean size of the effect was 40.6 ms (8.7% of the median RT). All subjects displayed a repetition priming effect. A significant interaction between congruency and switch ($F(1, 16) = 4.7, p < .05, \eta^2 = 0.23$) indicated that the priming effect was greater when the instruction letters were the same between two subsequent trials (53.8 ms), than when there was a switch (31.2 ms).

2.2.3. Task set priming

Fig. 2 displays the median RTs for correct responses averaged across subjects for each condition of congruency, task and switch. A significant main effect of task ($F(1, 16) = 22.1, p < .001, \eta^2 = 0.58$) was observed, with faster responses when participants performed a semantic judgment. A significant effect of the switch ($F(1, 16) = 13.1, p < .005, \eta^2 = 0.45$) was also observed, with faster responses when two consecutive trials involved the same task. There was neither a main effect of prime congruency ($F(1, 16) = 0.27, p = .6, \eta^2 = 0.017$), nor a significant interaction with any other factor.

A similar analysis of response accuracy resulted in a significant main effect of switch ($F(1, 16) = 13.6, p < .005$). The overall accuracy level was high (96.5%), indicating that participants performed the task properly.

3. Experiment 2

We found no task set priming in Experiment 1, when the stimulus onset asynchrony between the prime and the instruction was set at 36 ms. In the experiment conducted by Lau and Passingham (2007), the task set priming was found when the SOA was 84 ms, but not when it was 36 ms, even though the prime was then conscious. These results suggest the interval between the prime and the instruction may be decisive for task set priming. In a second experiment, we used an interval similar to Lau and Passingham in their experiment (2007) to ascertain whether task set priming occurs in these conditions.

3.1. Methods

3.1.1. Participants

Twenty students from the University of Strasbourg (10 women, 10 men), aged from 23 to 30 ($M = 23.6, SD = 2.0$), took part in the experiment. Their level of education ranged from 12 to 16 years ($M = 14.8, SD = 1.47$). As in the previous experiment, all of the participants had normal or corrected-to-normal vision. They all took part in one 90-min session. Their informed written consent was obtained before the study in accordance with the recommendations set out in the Helsinki Declaration.

3.1.2. Experimental procedure

The only difference in relation to Experiment 1 was the time course of the mask and instruction letter as shown in Fig. 1. To increase the SOA between prime and instruction, without modifying the masking procedure, the instruction appeared not in the same time as the mask, but 48 ms after the mask onset. The instruction duration (154 ms) was the same as in Experiment 1. The mask was displayed until the instruction offset. Thus, the SOA between prime and mask remained at 36 ms, guaranteeing an excellent invisibility of the primes, but this time the SOA between prime and instruction letter was increased to 84 ms. We also ensured there was a constant interval between the onsets of the prime and the target word by slightly shortening the blank separating the instruction and the word (Fig. 1). As a result, the word appeared 344 ms after the prime, like in Experiment 1.

3.2. Results

3.2.1. Awareness of primes

Four subjects pointed out that bisyllabic words were inanimate or *vice versa*, leading them to respond always with a semantic task set and to reverse their response in the case of an “S” instruction. One participant’s results were incoherent, with abnormally long and variable RTs (median RT = 1265 ms, $SD = 690$; compared to 727 ms and mean SD of 283 for the other 15 subjects). These five participants were excluded from the analyses.

As in Experiment 1, none of the 15 participants reported having seen the prime letter before the target during the priming experiments. When told about the presence of the primes, 2 subjects said they thought they might have seen a slight blink but were unsure, and none thought it was a letter. Performance in the forced-choice task ranged from 42% to 60% and averaged 49.8%, which was not significantly different from chance, $t(14) = -0.15, p = .88$. The mean value of d' was 0.075 (not significantly different from 0: $t(14) = 0.784, p = .45$). Mean accuracy for the 2 subjects who detected a flash was 49% and mean d' was -0.051 .

3.2.2. Repetition priming

The results of the repetition priming are presented in Fig. 4. The ANOVA revealed a significant main effect of prime congruency ($F(1, 14) = 6.9, p < .05, \eta^2 = 0.33$) and switch ($F(1, 14) = 8.2, p < .05, \eta^2 = 0.37$). No significant interaction was observed between prime congruency and switch ($F(1, 14) = 0.028, p = .87, \eta^2 = 0.002$). Participants responded more quickly if the prime was the same as the instruction (437.6 ms) than if it was different (459.3). The mean extent of the priming effect was 21.7 ms. Participants also responded faster if the instruction was the same rather than different for two consecutive trials (437.9 ms versus 456.2 ms).

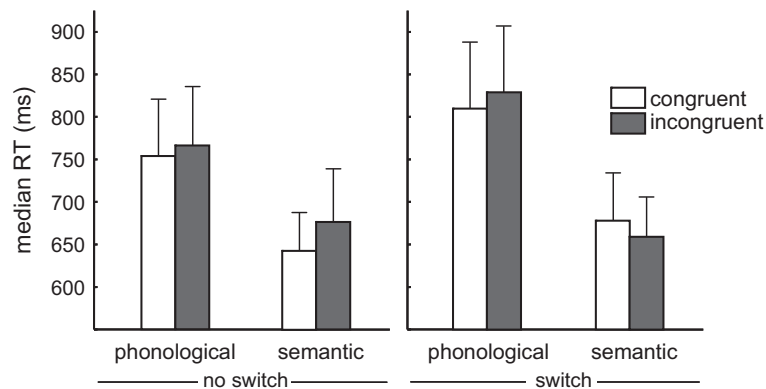


Fig. 3. Median response time for correct responses (in ms) averaged across subjects in the task set priming procedure in Experiment 2 (prime-instruction SOA = 84 ms) (15 subjects). Same format as Fig. 2. A main effect of task set type ($p < .005$) and a main effect of the switch ($p < .005$) were observed, as in Experiment 1. Moreover, there was a significant reduction in response times when the subliminal prime was congruent with the explicit instruction, relative to the incongruent condition ($p < .01$).

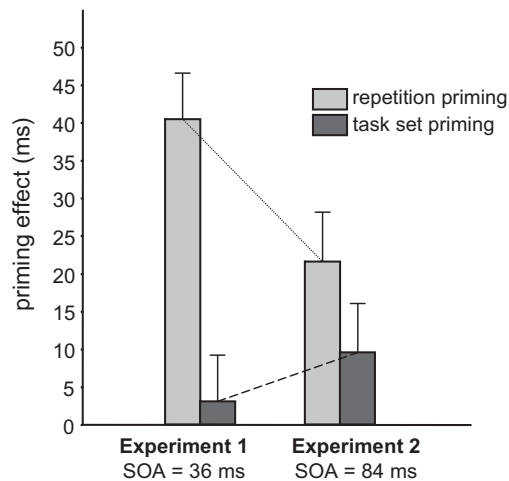


Fig. 4. Comparison of the priming effect (incongruent RT – congruent RT) for the repetition priming procedure and the task set priming procedure between Experiments 1 (SOA = 36 ms) and 2 (SOA = 84 ms). As the prime-instruction stimulus onset asynchrony (SOA) lengthens from 36 ms to 84 ms, the repetition priming effect decreases, whereas the task set priming increases.

3.2.3. Task set priming

Fig. 3 shows the median RTs for correct responses averaged across subjects for each condition in the task set priming procedure. A significant main effect of task ($F(1, 14) = 14.9, p < .005, \eta^2 = 0.52$) was observed, with faster responses when participants made a semantic judgment. A significant effect of the switch ($F(1, 14) = 15.2, p < .005, \eta^2 = 0.52$) was also observed, with faster responses when the same instruction was used for two consecutive trials. Crucially, we now observed a significant main effect of prime congruency ($F(1, 14) = 9.44, p < .01, \eta^2 = 0.40$), evidence that a subliminal prime identical to the conscious instruction produced a faster response than when the prime differed from the instruction. The only significant interaction was a switch-by-task interaction ($F(1, 14) = 8.76, p < .05, \eta^2 = 0.38$): in the phonological task, the switch-related slowdown was more pronounced.

Accuracy was high (98.2%), and no significant main effects or interaction were observed for response accuracy.

To check whether behavioral priming effects were greater in the case of participants who performed better in the prime visibility task, correlations were calculated between task set priming and prime identification performance. The correlations were based on the use of raw scores in the forced-choice task used to explore the awareness of primes on the one hand, and on the extent of task set priming, i.e. the difference between RTs for congruent and incongruent trials, in the different conditions of switch and task on the other hand. There were no significant correlations either for the whole group ($r = -.27, p = .33$), or when the analyses included only the 8 participants whose prime identification performance was greater than 0.5 were included in the analyses ($r = .19, p = .66$).

We conducted another correlation analysis, to check whether the repetition priming was correlated to the task set priming. The extent of task set priming was not correlated with that of repetition priming, i.e. the difference between RTs for congruent and incongruent trials during the repetition priming task ($r = .145, p = .61$).

3.2.4. Comparison with Experiment 1

In order to compare the two experiments, we conducted ANOVAs with repeated measures with the same within-group factors, and with the experiment as a between-group factor. There was no significant difference between the mean accuracy or d' value in prime identification ($F(1, 30) = 0.008$, $p = .93$, $\eta^2 = 0$). However, in the repetition priming task, we observed a significant interaction between congruency and experiment ($F(1, 30) = 8.87$, $p < .005$, $\eta^2 = 0.23$). The repetition priming effect we observed was greater when the SOA prime-instruction was 36 ms rather than 84 ms. The same analysis conducted on the task set priming task revealed a triple interaction between the experiment, congruency and switch factors ($F(1, 30) = 4.28$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.12$). There was no other significant interaction involving the experiment factor. The significant interaction between the experiment, congruency and switch factors was decomposed by means of sub-analyses. The effect of congruency was significantly different across experiments in the no-switch condition, as shown by an ANOVA ($F(1, 30) = 5.71$, $p < .05$, $\eta^2 = 0.16$). The task set priming effect was greater in the no-switch condition for Experiment 2 (24 ms) than for Experiment 1 (–8 ms), i.e. when the SOA between prime and instruction was 84 ms rather than 36 ms.

4. Discussion

The primary aim of the present study was to investigate whether control processes, and in particular those involved in establishing task sets, are modulated by unconscious stimuli. We explored this question in experimental conditions where a strong masking procedure ensured the prime was not consciously perceived, and where there were no trials involving conscious primes that attracted attention to their existence. The second aim was to clarify whether the task-set priming effect requires some delay before it can occur. The results showed that in strict experimental conditions (i) participants were faster to make a semantic/syllabic judgment when the instruction was preceded by a congruent prime in Experiment 2 but not in Experiment 1, and (ii) the prime congruency accelerated identification of the target letter in both experiments, but this repetition priming effect was greater in Experiment 1 than Experiment 2.

Both subjective and objective measures showed that priming effects occurred in conditions where participants were not aware that a prime had been presented before the explicit cue telling them which task to perform. No participant reported having identified or even perceived a prime, and the d' resulting from the prime identification task were at chance level. Moreover, there was no correlation between the priming effect and the prime awareness. Taken together, these results suggest the task set priming effect observed in Experiment 2 does not arise from a minimal level of conscious prime perception by some of the participants in the study. However, it could be due to a repetition priming effect, which would mean that participants identify the instruction that has already been subliminally presented more quickly and thus they respond faster to the task instruction. If this were the case, faster reaction times would reflect perceptual priming rather than task set priming.

Before discussing this alternative, we shall first turn our attention to the differences in repetition priming effects observed between Experiment 1 and 2 and compare them to results previously reported in the literature.

Consistent with previous studies (Arguin & Bub, 1995; Neumann & Klotz, 1994), the subliminal primes were found to affect identification of the conscious instruction letter in the repetition priming procedure in both experiments, with shorter RTs when the prime was congruent, as opposed to incongruent, with the instruction. However, the extent of this repetition priming effect was greater in Experiment 1 than Experiment 2, when the lag between the prime and target was shorter (36 ms and 84 ms in Experiment 1 and 2, respectively). The suggestion is that the repetition priming effect dwindles over time. In a word naming task, Ferrand (1996) also showed that the masked repetition priming effect dissipated when the prime-target interval increased. However, this decrease occurred with prime-target intervals of 500 ms and 1000 ms whereas the priming effect remained strong with 50 ms and 150 ms intervals. With shorter intervals, in the range of those used in the present study, Vorberg, Mattler, Heinecke, Schmidt, and Schwarzbach (2003) reported a heightening of the priming effect when the prime-target interval increased. It is to be noted, however, that they used a metacontrast masking in which the mask is also the target. The increase in the prime-target interval was therefore associated with an increase in the delay between the prime and the mask, which could have induced deeper processing of the prime. Indeed, according to Vorberg et al., even if the participants were never able to accurately discriminate the shape from the prime, as the prime-mask interval increased they became better at detecting the presence of a prime. Other studies that used prime-target intervals as short as those used in the present experiments reported results consistent with our findings. For example, Lingnau and Vorberg (2005), used a masked priming task in which the interval between the prime and the mask remained constant (70 ms) and showed that the priming effect decreased when the prime-target SOA increased from 70 ms to 154 ms. Schlaghecken and Eimer (1997) observed the same tendency with pattern masking, when the prime and the target were peripheral. The decrease in the repetition priming effect between our two experiments could also be related to differences in the mask duration, which was longer in Experiment 2 (200 ms) than in Experiment 1 (152 ms) (Hashimoto et al., 2006).

Whatever the explanation for the changes in the repetition priming effect depending on the prime-target SOA, an important finding from our study was the dissociation between the repetition priming effect and the task set priming effect. When the prime-instruction interval increased from 36 ms to 84 ms, the repetition priming effect decreased whereas the task set priming effect increased (Fig. 4). This dissociation argues against the hypothesis that these two priming effects are subtended by the same mechanism. It is further supported by the lack of correlation between the repetition priming effect and the task set priming effect, the suggestion being that faster identification of the letter induced by the prime was not a determining

factor in the task set priming. To sum up, our findings from Experiments 1 and 2 are evidence that task set activation can be affected by a prime that participants do not consciously perceive, independently of a possible perceptual repetition priming effect. This conclusion is consistent with a study conducted by Reuss et al. (2011) which showed that a task set can be activated by subliminal information even when perceptual priming of the task cue cannot take place. In their study, Reuss et al. dropped the prime and manipulated the visibility of the task cue so that participants consciously perceived it in some trials but not in others. Stimuli were one-digit numbers. Task cues (w or b) indicated to participants that they were to perform either a parity task (odd or even) or a magnitude task (less or greater than 5). When cues were rendered invisible, subjects were instructed to choose freely which task they carried out. The results showed that even when they were not aware of the task cue, participants chose the cued task more often than the non-cued task and performed it more quickly.

The task set priming effect occurred in Experiment 2 but not in Experiment 1. Participants were equally unaware of the presence of a prime in both experiments, which means the explanation cannot reside in differences in conscious perception of the prime from one experiment to the next. In contrast, the time between the onset of the prime and the onset of the instruction increased from 36 ms to 84 ms between Experiments 1 and 2. Mattler (2003) showed that priming of cognitive control operations did not occur when the prime-cue SOA was set at 34 ms or 51 ms but increased linearly when the SOA increased from 68 ms to 119 ms. Taken together, these findings suggest the time interval between the prime and the task cue has to be long enough to allow a task set priming. This interpretation is also consistent with the results obtained by Lau and Passingham, which showed no task set priming effect when the prime was consciously perceived but the delay between the prime and the instruction was as short as 16 ms.

We have to consider a limitation to this interpretation which stems from differences across our two experiments in the interval between the consciously perceived instruction letter and the word to be processed. When the SOA between prime and instruction letter increased from 36 ms to 84 ms, the interval between the instruction letter and the word changed in the opposite direction (308 ms in Experiment 1 versus 260 ms in Experiment 2). Therefore, the possibility that the task priming effect also occurred in Experiment 1 but then dissipated because the word occurred later relative to when the task instruction was presented cannot be ruled out. In Lau and Passingham (2007), however, the interval between the instruction and the word remained constant even when the interval between the prime and the instruction changed. Thus, this second explanation cannot account for the absence of a task priming effect in their short prime-instruction condition. Consequently, it seems unlikely that a decrease in the instruction-word interval is the sole explanation for all of our results. Our own data also suggest otherwise. When the interval between the instruction letter and the word is shorter, there is less time to initiate the task set. This could explain the greater influence of the unconscious prime in Experiment 2. However, if the instruction-word delay is crucial, the task set priming effect should be greater when the task set is the most difficult to initiate after the instruction. In fact, difficulty initiating the task set should reduce the instruction-word delay still further. In our case, this situation is typical of the phonological task: to count the number of syllables when reading is not a natural task. The task set should be even more difficult in the switch condition, i.e. when the phonological task has to be initiated after a semantic task trial, but, in reality, the results are not consistent with this prediction. On the contrary, they show that the task set priming tends to be greater when the instruction-induced task setting is the easiest, i.e. in the repeated (no switch) trials and in the semantic task. This suggests the instruction-word delay is not the key factor.

The task set priming effect we observed was small (15 ms) and, in particular, smaller than the effect reported by Lau and Passingham (2007), which they estimated at 100 ms. Even if the priming effect reported by Mattler (2003), 45 ms, is more similar to our own, the difference in relation to the effect found by Lau and Passingham is important. The first explanation for it could be that in Lau and Passingham study participants were not completely unaware of the presentation of the prime since their d' measurements were higher than ours. The attention the participants gave the primes could be another critical factor. In our paradigm, they were not told about the presence of primes until the end of the task set priming experiment and, in contrast to the study conducted by Lau and Passingham, there were no trials with conscious primes. It has previously been shown that attention can influence the effect of unconscious primes (Greenwald, Abrams, Naccache, & Dehaene, 2003; Naccache et al., 2002). For instance, Naccache et al. (2002) showed that unattended primes might fail to elicit priming effects. Therefore, it could be argued that the presence of trials in which primes were perceived consciously, as in the study by Lau and Passingham, caused participants to attend to the primes, and thus yielded larger priming effects than in the present study.

Importantly, in our experiments, participants were trained and prepared to perform frequent task switching. The prime may thus have prompted them to switch between two task sets which were simultaneously active. In other words, the prime may not have triggered the whole preparation of a task set, but merely the choice whether or not to initiate a task switch (Meiran, 2000). Cognitive control has been modeled as consisting of several nested components, with the frontal cortex organized functionally as a cascade of control processes (Koechlin, Ody, & Kouneiher, 2003). The higher level is related to episodic control, which enables the subject to establish new task sets, according to previous events or ongoing internal goals. Because both task sets were already consciously prepared, and indeed perhaps routinized, this level would not be the one activated subliminally in our paradigm. Instead, our paradigm would implement a contextual control stage (Koechlin et al., 2003). The unconscious task set priming we observed might be related to the selection of one of the two task sets already activated. This suggests the need to split cognitive control into distinct components differentially related to conscious processing. While task set and goal changing decisions may be partially initiated subliminally, the present results leave open the question of whether other cognitive control operations are influenced by unconscious stimuli.

5. Conclusion

Our results confirmed that unconscious task set priming is possible for high level cognitive processes. By controlling unconscious conditions better, with a shorter prime, we were able to reproduce and extend the results obtained by Lau and Passingham (2007). The extent of our task set priming was smaller but significant. In future, it would be useful to combine our paradigm with high temporal resolution cerebral recordings in order to identify the precise neural mechanisms of task set priming. Even if our findings confirm the existence of an unconscious modulation of cognitive control, it remains to be seen whether all prefrontal cognitive control systems can be activated unconsciously, without concomitant conscious control.

References

- Arguin, M., & Bub, D. (1995). Priming and response selection processes in letter classification and identification tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(5), 1199–1219.
- Bach, M. (2006). The Freiburg visual acuity test—variability unchanged by post-hoc re-analysis. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 245(7), 965–971. <http://dx.doi.org/10.1007/s00417-006-0474-4>.
- Bijleveld, E., Custers, R., & Aarts, H. (2010). Unconscious reward cues increase invested effort, but do not change speed-accuracy tradeoffs. *Cognition*, 115(2), 330–335. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cognition.2009.12.012>.
- Bijleveld, E., Custers, R., & Aarts, H. (2012). Adaptive reward pursuit: How effort requirements affect unconscious reward responses and conscious reward decisions. *Journal of experimental psychology. General*. <http://dx.doi.org/10.1037/a0027615>.
- Binsted, G., Brownell, K., Vorontsova, Z., Heath, M., & Saucier, D. (2007). Visuomotor system uses target features unavailable to conscious awareness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(31), 12669–12672. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0702307104>.
- Capa, R. L., Bouquet, C. A., Dreher, J.-C., & Dufour, A. (2012). Long-lasting effects of performance-contingent unconscious and conscious reward incentives during cued task-switching. *Cortex*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cortex.2012.05.018>.
- Dehaene, S., & Changeux, J.-P. (2011). Experimental and theoretical approaches to conscious processing. *Neuron*, 70(2), 200–227. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuron.2011.03.018>.
- Dehaene, S., Changeux, J.-P., Naccache, L., Sackur, J., & Sergent, C. (2006). Conscious, preconscious, and subliminal processing: A testable taxonomy. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(5), 204–211. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2006.03.007>.
- Dehaene, S., & Naccache, L. (2001). Towards a cognitive neuroscience of consciousness: Basic evidence and a workspace framework. *Cognition*, 79(1–2), 1–37.
- Del Cul, A., Baillet, S., & Dehaene, S. (2007). Brain dynamics underlying the nonlinear threshold for access to consciousness. *PLoS Biology*, 5(10), e260. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.0050260>.
- Del Cul, A., Dehaene, S., & Leboyer, M. (2006). Preserved subliminal processing and impaired conscious access in schizophrenia. *Archives of General Psychiatry*, 63(12), 1313–1323. <http://dx.doi.org/10.1001/archpsyc.63.12.1313>.
- Ferrand, L. (1996). The masked repetition priming effect dissipates when increasing the inter-stimulus interval: Evidence from word naming. *Acta Psychologica*, 91(1), 15–25. [http://dx.doi.org/10.1016/0001-6918\(95\)00010-0](http://dx.doi.org/10.1016/0001-6918(95)00010-0).
- Francis, G. (1997). Cortical dynamics of lateral inhibition: Metacontrast masking. *Psychological Review*, 104(3), 572–594.
- Gaillard, R., Del Cul, A., Naccache, L., Vinckier, F., Cohen, L., & Dehaene, S. (2006). Nonconscious semantic processing of emotional words modulates conscious access. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(19), 7524–7529. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0600584103>.
- Greenwald, A. G., Abrams, R. L., Naccache, L., & Dehaene, S. (2003). Long-term semantic memory versus contextual memory in unconscious number processing. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 29(2), 235–247. <http://dx.doi.org/10.1037/0278-7393.29.2.235>.
- Hashimoto, A., Watanabe, S., Inui, K., Hoshiyama, M., Murase, S., & Kakigi, R. (2006). Backward-masking: The effect of the duration of the second stimulus on recognition of the first stimulus. *Neuroscience*, 137(4), 1427–1437. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.10.047>.
- Hughes, G., Velmans, M., & Fockert, J. D. (2009). Unconscious priming of a no-go response. *Psychophysiology*, 46(6), 1258–1269. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00873.x>.
- Koechlin, E., Ody, C., & Kouneiher, F. (2003). The architecture of cognitive control in the human prefrontal cortex. *Science*, 302(5648), 1181–1185. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1088545>.
- Kouider, S., & Dehaene, S. (2007). Levels of processing during non-conscious perception: A critical review of visual masking. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1481), 857–875. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2007.2093>.
- Lau, H. C., & Passingham, R. E. (2007). Unconscious activation of the cognitive control system in the human prefrontal cortex. *The Journal of Neuroscience*, 27(21), 5805–5811. <http://dx.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4335-06.2007>.
- Lingnau, A., & Vorberg, D. (2005). The time course of response inhibition in masked priming. *Perception and Psychophysics*, 67(3), 545–557.
- Mattler, U. (2003). Priming of mental operations by masked stimuli. *Perception and Psychophysics*, 65(2), 167–187.
- Meiran, N. (2000). Modeling cognitive control in task-switching. *Psychological Research*, 63(3–4), 234–249.
- Merikle, P. M., Joordens, S., & Stolz, J. A. (1995). Measuring the relative magnitude of unconscious influences. *Consciousness and Cognition*, 4(4), 422–439. <http://dx.doi.org/10.1006/ccog.1995.1049>.
- Naccache, L., Blandin, E., & Dehaene, S. (2002). Unconscious masked priming depends on temporal attention. *Psychological Science*, 13(5), 416–424.
- Naccache, L., & Dehaene, S. (2001). Unconscious semantic priming extends to novel unseen stimuli. *Cognition*, 80(3), 215–229.
- Neumann, O., & Klotz, W. (1994). Motor responses to nonreportable, masked stimuli: Where is the limit of direct parameter specification. In C. Umiltà (Ed.), *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing* (pp. 123–150). Cambridge, Mass.: MIT Press.
- New, B., Pallier, C., Ferrand, L., & Matos, R. (2001). Une base de données lexicales du français contemporain sur internet: LEXIQUE™//A lexical database for contemporary french: LEXIQUE™. *L'année Psychologique*, 101(3), 447–462.
- Pessiglione, M., Schmidt, L., Draganski, B., Kalisch, R., Lau, H., Dolan, R. J., et al (2007). How the brain translates money into force. *Science (New York, N.Y.)*, 316(5826), 904–906. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1140459>.
- Reuss, H., Kiesel, A., Kunde, W., & Hommel, B. (2011). Unconscious activation of task sets. *Consciousness and Cognition*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.concog.2011.02.014>.
- Rogers, R., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology. General*, 124(2), 207–230.
- Schlaghecken, F., & Eimer, M. (1997). The influence of subliminally presented primes on response preparation. *Sprache und Kognition*, 16(3–4), 166–175.
- Schmidt, T., & Vorberg, D. (2006). Criteria for unconscious cognition: Three types of dissociation. *Perception and Psychophysics*, 68(3), 489–504.
- Stoerig, P., & Cowey, A. (1997). Blindsight in man and monkey. *Brain: A Journal of Neurology*, 120(Pt 3), 535–559.
- Van den Bussche, E., Notebaert, K., & Reynvoet, B. (2009). Masked primes can be genuinely semantically processed: A picture prime study. *Experimental Psychology*, 56(5), 295–300. <http://dx.doi.org/10.1027/1618-3169.56.5.295>.
- Van den Bussche, E., & Reynvoet, B. (2007). Masked priming effects in semantic categorization are independent of category size. *Experimental Psychology*, 54(3), 225–235.

- Van den Bussche, E., Segers, G., & Reynvoet, B. (2008). Conscious and unconscious proportion effects in masked priming. *Consciousness and Cognition*, 17(4), 1345–1358. <http://dx.doi.org/10.1016/j.concog.2007.08.005>.
- Van Gaal, S., Ridderinkhof, K. R., Fahrenfort, J. J., Scholte, H. S., & Lamme, V. A. F. (2008). Frontal cortex mediates unconsciously triggered inhibitory control. *The Journal of Neuroscience*, 28(32), 8053–8062. <http://dx.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1278-08.2008>.
- Van Gaal, S., Ridderinkhof, K. R., Scholte, H. S., & Lamme, V. A. F. (2010). Unconscious activation of the prefrontal no-go network. *The Journal of Neuroscience*, 30(11), 4143–4150. <http://dx.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2992-09.2010>.
- Vangkilde, S., Coull, J. T., & Bundesen, C. (2012). Great expectations: Temporal expectation modulates perceptual processing speed. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*. <http://dx.doi.org/10.1037/a0026343>.
- Vorberg, D., Mattler, U., Heinecke, A., Schmidt, T., & Schwarzbach, J. (2003). Different time courses for visual perception and action priming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(10), 6275–6280. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0931489100>.
- Whalen, P. J., Rauch, S. L., Etcoff, N. L., McInerney, S. C., Lee, M. B., & Jenike, M. A. (1998). Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *The Journal of Neuroscience*, 18(1), 411–418.

Résultats principaux de l'Etude 1

Notre première étude visait à vérifier si des stimuli non conscients, fortement masqués, pouvaient induire la préparation d'une tâche. Dans deux expériences où une amorce non consciente indiquait en avance la tâche qui allait devoir être effectuée, nous avons montré que les sujets étaient légèrement plus rapides (de l'ordre de 15 ms) quand l'amorce indiquait la même tâche que l'indice conscient, mais seulement quand l'intervalle entre amorce et instruction était assez long (84 ms). Ces résultats suggèrent un amorçage non conscient de task set dans cette dernière condition.

L'effet observé sur la préparation de la tâche ne pouvait pas être expliqué par une simple facilitation de l'identification de l'indice, c'est-à-dire par un amorçage de répétition. En effet, la manipulation de l'intervalle entre amorce et instruction montrait que l'amorçage de task set et l'amorçage de répétition évoluaient différemment. Quand l'intervalle entre amorce et instruction augmentait de 36 à 84 ms, l'amorçage de task set apparaissait, alors que l'amplitude de l'amorçage de répétition diminuait.

La diminution de l'amplitude de l'amorçage de répétition avec l'augmentation de l'intervalle amorce-instruction est un résultat mentionné ailleurs dans la littérature (Schlaghecken et Eimer, 1997; Lingnau et Vorberg, 2005). Le fait que l'amorçage non conscient de task set soit présent uniquement à des intervalles longs suggère qu'un temps est nécessaire pour la mise en place de la tâche initiée par l'amorce. Nous proposons que 36 ms après la présentation de l'amorce, le task set indiqué par l'amorce n'a pas encore été véritablement initié et l'information véhiculée par l'amorce est remplacée par l'instruction consciente. De façon spéculative, il pourrait aussi être envisagé que l'initiation à 36 ms est très vulnérable, et dissipée en raison de l'apparition de l'instruction consciente. Une initiation de 83 ms n'aurait pas les mêmes caractéristiques de vulnérabilité.

Au total, nos résultats suggèrent qu'un amorçage non conscient de task set est observable, dans des conditions où le masquage est fort. Mais l'amplitude de l'effet que nous avons observé, bien que significatif et indépendant de l'amorçage de répétition, reste faible, de l'ordre de 15ms. Il est bien moindre que ce qui a été mesuré par Lau et Passingham (2007), qui utilisaient un paradigme de permutation de tâche similaire, avec des temps de réponse du même ordre.

Pour expliquer cette différence d'amplitude d'effet, nous suggérons que les conditions de masquage plus strictes diminuent l'influence de l'amorce. Avec toute la prudence qui s'impose, on peut remarquer que l'amplitude de l'amorçage de répétition, entre 20 et 40 ms selon les conditions, est équivalente à une autre étude utilisant un amorçage de répétition de lettres (Marzouki et al., 2007), ou à une étude utilisant le même masquage, en considérant le même intervalle entre amorce et masque (Del Cul et al., 2006). Ceci suggère que nous avons observé un amorçage de répétition habituel. Surtout, et c'est là une différence importante avec l'étude de Lau et Passingham (2007) ou de Mattler (2003, 2006), nous n'utilisons pas d'essais conscients dans nos expériences. Les sujets ne sont ni au courant de la présence de certaines amorces non conscientes, ni même conscients de la possibilité d'un phénomène d'incongruence. Ceci pourrait diminuer l'attention portée à l'amorce par rapport aux études précédentes, et diminuer les conséquences de l'amorce (Naccache et al., 2002). Cela pourrait expliquer la faiblesse de l'effet d'amorçage de task set dans notre étude. C'est cette analyse qui nous a conduit à étudier les effets attentionnels qui pourraient moduler l'amorçage de task set. Ce questionnement est à l'origine de l'Etude 2.

**ETUDE 2 : INFLUENCE DE
L'ATTENTION SUR L'AMORÇAGE
DE TASK SET NON CONSCIENT**

Objectifs et prédictions de l'Etude 2

L'objectif de l'Etude 2 est de déterminer le rôle de l'attention sur l'amorçage de task set. L'attention temporelle et spatiale a un impact sur le traitement des stimuli non conscients. Par exemple, Naccache et coll. (2002) ont montré que l'on n'observait un effet d'amorçage sémantique non conscient que si les participants pouvaient prédire temporellement la survenue de l'amorce. L'implication de l'attention temporelle a été répliquée dans d'autres paradigmes d'amorçage (Kiefer et Brendel, 2006; Fabre et al., 2007), soulignant le rôle crucial de l'attention temporelle sur le traitement des informations inconscientes. Cela est vrai également pour l'attention spatiale : quand l'attention spatiale est détournée de l'amorce masquée, l'effet d'amorçage peut être atténué voire disparaître (Sumner et al., 2006; Bahrami et al., 2007; Marzouki et al., 2007; Kentridge et al., 2008; Finkbeiner et Palermo, 2009; Van den Bussche et al., 2010).

Sur les quelques études étudiant l'amorçage de task sets, une seule, à notre connaissance, pose la question du rôle de l'attention (Zhou et Davis, 2012a). Zhou et Davis ont utilisé un paradigme similaire à notre Etude 1 et à l'étude de Lau et Passingham (2007), avec une alternance de tâche entre tâches phonologiques et sémantiques. La technique de masquage était similaire à Lau et Passingham, par métacontraste. Par contre, il n'y avait pas de condition d'amorçage conscient, et rappelons que les auteurs prenaient des précautions particulières pour que les participants ne puissent pas faire un lien explicite entre la nature de l'amorce non consciente et la tâche (les conditions expérimentales sont détaillées dans l'article). Le point important est que Zhou et Davis utilisaient dans leur étude un indice attentionnel afin d'orienter l'attention de manière endogène du côté de l'amorce ou du côté opposé. Ils utilisaient une flèche centrale 100 ms avant l'amorce. Zhou et Davis ont montré que dans leur procédure l'amorçage de task set était insensible à leur manipulation attentionnelle endogène. Par contre, une tâche utilisant les mêmes symboles pour les

amorces et les instructions, et où un lien conscient était fait entre le symbole de l'amorce (comme l'étude de Lau et Passingham ou notre Etude 1) montrait un effet d'amorçage dépendant de l'attention sur l'amorce.

Mais ces résultats ne répondent pas complètement à la question de l'attention sur l'amorçage de task set, parce qu'ils ne permettent pas de distinguer amorçage perceptif et amorçage de task set dans les procédures de type Lau et Passingham (amorce et instructions identiques). Une difficulté majeure, quand on veut étudier les effets attentionnels et faire cette distinction, vient du fait que l'attention risque d'augmenter l'effet de l'amorçage de répétition tout autant que l'amorçage de task set. Or, Zhou et Davis (2012) expliquent justement les effets de Lau et Passingham par un effet d'amorçage de répétition. Sur le plan méthodologique, nous souhaitons donc attirer l'attention sur l'amorce de manière automatique, sans pour autant modifier la visibilité de celle-ci, et sans affecter l'amorçage de répétition. Or l'invisibilité de notre amorce reposait notamment sur une position spatiale non prédictible. Utiliser un paradigme classique d'attention exogène, avec un indice spatial indiquant la position de l'amorce, pouvait altérer cet atout de notre paradigme et modifier la visibilité de l'amorce.

Pour ces raisons, nous avons opté pour une méthode différente, basée sur l'utilisation d'un indice non pertinent pour la tâche, un son, qui est susceptible d'attirer automatiquement l'attention. C'est la synchronie avec la présentation d'un stimulus visuel qui nous permettait d'attirer également l'attention sur l'information visuelle (Van der Burg et al., 2008). Nous avons donc repris le même paradigme expérimental, dans la condition où nous avons observé un amorçage de task set (intervalle amorce-instruction de 83 ms). Nous avons présenté un son neutre (bruit blanc), bref et de début abrupt, soit de manière synchrone à l'amorce masquée, soit de manière synchrone avec l'instruction. Les sujets ne recevaient aucune instruction quant à la signification de ce son.

Notre seconde étude avait aussi pour objectif de comprendre pourquoi les effets observés dans notre Etude 1 restaient faibles, par rapport à d'autres données de la

littérature. Nous souhaitions savoir s'il était nécessaire d'attirer l'attention du sujet sur les amorces pour avoir un effet plus important. Notre hypothèse était qu'en l'absence d'attente du sujet concernant la présentation de stimuli subliminaux, ceux-ci étaient filtrés et ne pouvaient pas avoir d'influence.

Ainsi, nous nous attendions à ce que le son capture l'attention et modifie les conséquences de la présentation de l'amorce quand il était synchrone avec celle-ci. Si l'amorçage de task set est sensible à un phénomène attentionnel, nous prédisons que l'effet d'amorçage de task set sera modifié par la présentation du son. Par ailleurs, nous avons réalisé la même expérience avec la tâche d'amorçage de répétition.

Etude 2

Attention modulates unconscious task set priming.

Sébastien Weibel, Rémi L. Capa, Caroline Huron, Anne Giersch

Soumis à Consciousness and Cognition

Attention modulates unconscious task set priming

Sébastien Weibel, Rémi L. Capa, Caroline Huron and Anne Giersch

Author note

Sébastien Weibel, INSERM, Department of Psychiatry, Centre Hospitalier Régional Universitaire de Strasbourg, Strasbourg, 67091 France; Remi L. Capa, INSERM, Department of Psychiatry, Centre Hospitalier Régional Universitaire de Strasbourg, Strasbourg, 67091 France; Caroline Huron, INSERM, Cognitive Neuroimaging Unit, Gif sur Yvette, 91191 France; Anne Giersch, INSERM, Department of Psychiatry, Centre Hospitalier Régional Universitaire de Strasbourg, Strasbourg, 67091 France;

Correspondence concerning this article should be addressed to Sébastien Weibel, INSERM, Department of Psychiatry, Centre Hospitalier Régional Universitaire, 1 place de l'hôpital, Strasbourg, 67091 France. Telephone: +33 3 88 11 64 45. Fax: +33 3 88 11 64 46. E-mail: weibelse@gmail.com

5825 words

Abstract

Recent studies have suggested that unconscious stimuli (primes) can trigger task sets, but to what extent attention processes are involved in these unconscious modulations of cognitive control is unclear. To address this issue, we modulated attention by simultaneously emitting a sound and displaying a visual but undetectable prime. The participants' main task was to make a phonological (2 vs. 3 syllables) or semantic (living vs. not living) decision about a word. The type of decision (phonological or semantic) was indicated by an instruction letter presented before the word. The undetectable priming letter preceded the instruction letter. A neutral sound was emitted with either the unconscious prime or the instruction letter, 83 ms later. We showed that repetition priming (faster letter identification induced by prime/instruction congruency) was not modified by attention modulation. In contrast, unconscious task set priming (faster execution of the task in the case of prime/instruction congruency) was observed only when the sound was in synchrony with the prime. Synchrony between sound and prime did not alter prime awareness, as checked in a control experiment. Hence, rather than enhancing prime processing itself, attention modulated unconscious task set priming, revealing a gating of the influence of unconscious information.

Keywords: Cognitive control, Consciousness, Task set, Task switching, Attention, Priming

1. Introduction

Human behavior is modulated by many unconscious influences (Bargh, Gollwitzer, Lee-Chai, Barndollar, & Trötschel, 2001; Capa, Bouquet, Dreher, & Dufour, 2013; Custers & Aarts, 2010; Holland, Hendriks, & Aarts, 2005). For instance, it has been shown to be affected by unconscious motivational processes (Pessiglione et al., 2007). Unconscious influences may also modify task setting, insofar as several studies suggest stimuli do not necessarily need to be perceived consciously for them to trigger a specific task (Lau & Passingham, 2007; Mattler, 2003; Rahnev, Huang, & Lau, 2012; Reuss, Kiesel, Kunde, & Hommel, 2011; Weibel, Giersch, Dehaene, & Huron, 2013; Zhou & Davis, 2012a). However, whereas in some cases the unconscious influence is considerable, in other cases it appears to be very small (Weibel et al., 2013). It is still unclear what it is that produces an obvious effect in some studies but not in others. We observed that one possible cause of this variability was the presence or absence of trials with conscious access to the stimuli used to trigger specific tasks. In some studies these stimuli are always unconscious, whereas in others they are unconscious in one half of the trials and conscious in the other half, giving subjects the possibility of attending to this information in space and time, even if it remains unconscious. Here, we examine whether the impact of subliminal cues on task set priming is under attentional control. This seems to be an important avenue to explore to understand how our behavior is influenced by unconscious information, and the possible limitations to this influence.

In all previous studies, a visible instruction tells the subjects which of two possible tasks they have to perform. A masked and invisible prime is displayed prior to the instruction, with each prime associated with one of the two tasks. The results typically show that the prime either speeds response times when it is associated with the same task as the conscious instruction (Lau & Passingham, 2007; Mattler, 2006; Weibel et al., 2013; Zhou & Davis, 2012a), or biases subjects to choose the related task (Reuss et al., 2011). Whether or not these results always reveal task set priming

is debatable, however. Leonard and Chiu (2007) raised the question of a possible role for attention in the effects observed by Lau & Passingham (2007). This possibility was supported by Zhou & Davis (2012a), whose findings led them to propose that the results obtained by Lau & Passingham reflect an effect on repetition priming rather than a task set priming effect, given that Lau & Passingham use a prime that is the same shape as the target. A repetition priming effect would mean easier processing of the instruction shape rather than easier triggering of the task set. This is a plausible explanation for the results, but another possibility is that at least part of the effect observed in the studies to date is due to an interaction between attention control and task set priming, and not only to perceptual priming.

Strategic top-down effects and attention are known to modulate repetition or semantic priming (Fabre, Lemaire, & Grainger, 2007; Marzouki, Grainger, & Theeuwes, 2007; Naccache, Blandin, & Dehaene, 2002; Ortells, Frings, & Plaza-Ayllon, 2012; Sumner, Tsai, Yu, & Nachev, 2006). When participants can anticipate when or where the prime will appear, the prime has a greater effect. Such anticipation has been shown to be a factor that facilitates response and repetition priming. For example, Van den Bussche, Hughes, Humbeeck, & Reynvoet (2010) asked participants to classify target numbers as bigger or smaller than 5, with each number preceded by a masked prime. When the masked prime gives the same response as the target, responses are faster, even if the prime is not consciously visible. Moreover, the results show that response priming is greater when the location of the prime is cued, i.e. when an attentional cue indicates the location of the prime before it is presented.

For unconscious task set priming, studies investigating the impact of attention are much more rare. However, Zhou and Davis (Zhou & Davis, 2012a, 2012b) elegantly managed to avoid using the same shape for the masked priming stimuli and the instructions, thus avoiding interference from repetition priming. During the learning phase, subjects first learned the correspondence between masked primes and tasks. This was done without the subject being aware of the associative learning

procedure, rendering it similar to conditioning. A shape was presented before each task, unbeknown to the subject. The same shape was always associated with the same task, but never used as a conscious instruction. When these shapes were used as primes in a subsequent test phase, they were shown to facilitate performance selectively in the associated task. Since the prime shapes were always different from the instruction shapes, these effects cannot be attributed to perceptual priming and strongly suggest unconscious task set priming. However, the effect was limited since it disappeared as soon as the primes became conscious (Zhou & Davis, 2012b). Moreover, these effects differed from those observed when the prime and instruction were identical in shape, i.e. when the experimental conditions were more like those of Lau & Passingham (2007), where subjects received similar training, but where, this time, the shapes used as primes in the test phase had not been presented during the learning phase. Instead, the authors used shapes identical to the instruction shapes, making the experiment more like the one run by Lau & Passingham (2007), inasmuch as the task associated with the primes stemmed from explicit verbal instructions rather than unconscious associative learning. The experiment differed from the one run by Lau & Passingham (2007) mainly in that primes were unconscious in all trials. Despite that, Zhou & Davis again observed that performance was facilitated when the prime and instruction were identical, but they also showed that endogenous spatial attention had different effects in the two procedures, i.e. when the prime shape was identical to (Lau & Passingham procedure), or differed from the instruction shape (Zhou & Davis procedure). An arrow pointing to the side of the prime or to the opposite side was displayed 100 ms before prime onset. The results showed that when the prime and instruction were different in shape (Zhou & Davis procedure), unconscious task set priming was observed independent of attention. The priming effect was greater when the prime was unattended. By contrast, when the prime and instruction were identical in shape (Lau & Passingham procedure) a priming effect was observed only when the prime was attended. The interpretation of this difference is not quite as straightforward as that, however, insofar as the difference between the

two experimental procedures may have several consequences. Identity between the prime and target enables perceptual priming, whereas this is not possible when the prime and target are different shapes. It is conceivable therefore that the task set priming effect observed when prime and target are identical is mediated by a perceptual priming effect, which is known to be sensitive to attention effects. This possibility is further supported by the other results obtained by Zhou and Davis (2012b). As noted above, they observed that when the prime and target are different shapes, and when the pairings between primes and tasks are conscious, the task set priming effect disappears. These results could be interpreted as a general difficulty to observe a task set priming effect when the pairing between prime and task is explicit, which necessarily occurs when the prime and instruction are identical. If this is true, it means that when the target and prime are identical, no task set priming can occur, and the observed priming effect is entirely due to perceptual priming. However, it is overly simplistic to say that the influence of the unconscious prime is always suppressed when the pairing between prime and target is explicit, because it is possible that the effect of the unconscious prime is only suppressed when the shapes of the target and prime are different. When the prime and target are conscious, the prime can be identified as non-relevant information and then filtered and discarded. When the prime is the same shape as the target, however, it might be more difficult to discard the prime, since it conveys information that is necessarily salient. For the same reason, attention may affect the impact of the prime differently when the prime and target are identical. It is easier to attract attention to salient information than to information which is not relevant for the task (Corbetta & Shulman, 2002). Hence, it may be the case that a prime which is the same shape as the instruction is not discarded and is more sensitive to the effect of attention than a prime which is a different shape to the instruction. If so, it could then induce task set priming, but the difficulty here is to disentangle the effect of task set priming from repetition priming. In the present study, we set out to check whether a non-conscious prime which is

identical to the instruction can induce task set priming independently of perceptual priming.

It is known that attention can reduce the conscious threshold (Dehaene, Changeux, Naccache, Sackur, & Sergent, 2006; Sumner et al., 2006; but see Kentridge, Nijboer, & Heywood, 2008), but in the present study we wanted to check whether it is possible to modulate the influence of the prime on task set without increasing the visibility of the prime and perceptual priming. To that end, we attracted participants' attention at the exact time the prime was presented and without focusing on any specific physical property of the prime. This was achieved by delivering a spatially non-informative auditory signal synchronously with the prime. The results obtained in this condition were compared with a condition in which the auditory signal was delivered at the same time as the explicit instruction. As suggested by several studies (Fabre et al., 2007; Fischer, Plessow, & Kiesel, 2013; Fischer, Schubert, & Liepelt, 2007; Schubert, Palazova, & Hutt, 2013) which show that enhancing visual information processing requires that the sound is displayed before the visual information, the fact that the sound was displayed together with the prime ruled out an effect on perceptual priming. However, if the sound occurs too late to promote perceptual priming, it can nonetheless attract attention to the prime, insofar as search time for a visual object has been shown to be reduced when a sound is generated at the same time as the visual stimulus, even when the sound does not cue a location (Van der Burg, Olivers, Bronkhorst, & Theeuwes, 2008b). The mechanisms underlying this intersensory facilitation effect are still the subject of discussion, but what is important is that the auditory signal emitted simultaneously with the visual signal automatically draws attention to the visual stimulus, i.e. in an exogenous manner (Van der Burg, Olivers, Bronkhorst, & Theeuwes, 2008a). It has already been stressed that in our task the visual signal is always unconscious. This means subjects cannot expect the visual information to be presented at the same time of the prime. This point, together with the lack of conscious perception of the prime, does not

preclude audio-visual integration. Auditory-visual integration and exogenous attentional orienting can occur without conscious realization (Körding et al., 2007; Mulckhuyse & Theeuwes, 2010). We thus expected the auditory signal displayed at the same time as the unconscious visual signal to attract attention exogenously.

All in all, emission of a sound simultaneously with the prime is used to increase the saliency of the prime and to facilitate the influence of the prime on the choice of a task set. If this is not the case, i.e. if time expectation and exogenous attention have no role to play, we should find similar task set priming across the conditions (i.e., sound displayed with the prime vs. with the target). Conversely, if time expectation and exogenous attention modulate unconscious task set priming, we would expect to find a bigger task set priming effect when the auditory signal is synchronous with the prime. Importantly, we do not expect the sound to influence repetition priming. To check whether the sound affects visual processing, we compare repetition priming and the ability to detect the prime when the sound is synchronous with the prime as opposed to the instruction.

2. Methods

2.1. Participants:

Eighteen students from the University of Strasbourg (10 men, 8 women), between the ages of 22 and 37 ($M=23.4$, $SD=3.26$), took part in the experiment. All had normal or corrected-to-normal visual acuity, as checked with The Freiburg Visual Acuity Test (Bach, 2006). Each participant took part in 1 1/2 hour session. Informed written consent was obtained prior to the study, in accordance with the recommendations of the Helsinki Declaration.

2.2. Equipment:

Participants were seated in a dimly lit room, 60 cm away from the stimulus presentation screen. The behavioral tasks were presented using E-prime version 1.1 (Psychology Software Tools, Inc. Sharpsburg, PA). Screen refresh rate was set at 85 Hz (one

screen refresh every 11.8 ms). Responses were collected with a serial response box (Psychology Software Tools, Inc. Sharpsburg, PA).

2.3. Stimuli

In each trial, the prime was first displayed, then followed by a mask, the instruction letter, and target word. The prime consisted of a letter (A or S, Arial type, size: 1.25°) presented at one of four positions (2.3° above or below and 2.3° to the right or left of the central fixation cross).

The mask consisted of 4 letters surrounding the previous position of the prime (two Es above and below, and two Ms to the left and right). The mask was used to make the prime unconscious. The instruction consisted of a letter (A or S) the same size as the prime, but was shown in bold font, in blue. It was presented in the quarter of the square delimited by the mask furthest from the fixation cross. It should be noted that the instruction letter was never in exactly the same place as the prime (Figure 1).

An auditory signal (white sound lasting 8 ms, 11 kHz sample rate; 16 bit; mono) was displayed simultaneously with the prime in half of the trials, and simultaneously with the instruction in the other half. The sound was produced by two speakers, one on each side of the screen.

2.4. Procedure

The participants completed a procedure consisting of three phases, each of which is detailed hereafter. First, they performed a task set priming task in which they had to carry out one out of two tasks according to the instruction given. The second task was a repetition priming task in which they had to identify the letter representing the instruction, which then becomes the target letter. Participants were not informed about either the presence of a congruent or incongruent prime during these two first phases, or the timing of the click on the stimuli. The information about the visual primes was given only after the two first tasks, after which participants then ran a prime identification task. They remained unaware of the sound manipulation during this last task. Figure 1 illustrates the experimental stimuli and procedure.

2.4.1. Task set priming

An instruction letter on the screen indicated to participants the type of judgment they would have to emit in relation to the following word. In the case of an “S” instruction (like “Syllabic”) they had to make a phonological judgment, in other words they had to decide whether or not the word had two syllables. In the case of an “A” instruction (like “Animated”) a semantic judgment was required, in other words participants had to say whether or not the word related to something living. They responded “yes” by pressing a key with their left index finger and “no” by pressing a key with their right index finger. They were instructed to respond as accurately and as quickly as possible. The next trial began 3 seconds after the response. The volunteers were instructed to prepare the task set quickly as soon as they had seen the instruction.

The fixation cross was present throughout the session. Each trial started with an attentional signal indicating the beginning of the trial (the fixation cross appears in bold for 100 ms). After 500 ms, the prime was presented for 12 ms. After a further 24 ms during which the screen remained blank, the mask appeared around the prime for 118 ms. Then, 47 ms after the mask onset, the instruction was displayed in the same quarter of the screen as the prime. Thus the stimulus onset asynchrony (SOA) was 36 ms between prime and mask and 83 ms between prime and instruction. After 88 ms during which the screen remained blank (242 ms after prime onset), the target word was presented in the center of the screen for 300 ms.

Each participant completed two mixed blocks of 128 trials each (256 trials). A 2 (phonological or semantic) X 2 (prime congruent or incongruent with instruction) X 2 (sound in synchrony with prime or with instruction) within-participants design was used. Accordingly, there were 32 trials per condition.

The words used were French common nouns (N=384). Their occurrence ranged from 0.68 to 56 per million (Lexique Database: New, Pallier, Ferrand, & Matos, 2001). They were words of either two or three syllables, denoting either an animate or inanimate object, in equal proportions.

2.4.2. Repetition Priming:

The stimuli (prime, mask and instruction, word and sound) and time course were identical to the task set priming procedure. Only the task was different. Participants were instructed to focus their attention on the instruction letter, which is the target in this phase, and as quickly as possible to press the right button for an “A” letter and the left button an “S” (counterbalanced between participants). Participants completed one block of 128 trials, with half of the trials congruent and the other half incongruent, and sound synchronized with the prime in half of the trials and with the target in the other half (32 trials per condition).

2.4.3. Measurement of prime awareness:

Following the two priming tasks, participants were asked whether they noticed anything other than the E and the M making up the mask. They were then informed that a prime had been presented and were asked again whether they had detected something before the mask and the instruction letter. Afterwards, they were shown the exact stimulus sequence in slow motion and asked if they recognized having seen any of the primes during the priming task. The prime identification task consisting of one block of 64 trials was then carried out. The stimuli and time course were the same as in the two previous tasks. Half of the trials contained an “A” prime and the other half an “S” prime. The sound was synchronous with the prime in half of the trials and with the instruction in the other half. Participants were asked to identify the prime and to respond by pressing one of the two buttons (counterbalanced between participants), even if they were unable to see it (forced choice). Finally, they were asked to report whether they felt they were able to see the masked primes during the prime identification task.

2.5. Statistical analyses

We conducted ANOVAs with repeated measures for the two first tasks. For the task set priming session, there were several within-group factors: prime congruency, task (phonological vs. semantic), and sound occurrence (synchrony with prime or instruction). For the repetition priming session, prime congruency and sound occurrence were considered to be

within-group factors. Analyses were conducted on median correct responses times and error rates. For the prime detection task, analyses were conducted on prime detection accuracy, as a function of the sound occurrence. d' prime values were calculated using the signal detection theory and compared to chance level with a t-test.

3. Results

Please note that, for the sake of clarity, the results are presented in reverse order to the order in which the three tasks were administered.

Two participants' results were excluded, because they suggested the participants had not performed the main task correctly (task set priming). Their RTs were 30% longer and much more variable than those of the other participants, suggesting they had not paid attention (their response time standard deviations were 537 and 427, much greater than the 321 mean standard deviation of the other participants). Thus, only the results of the 16 remaining participants are presented here.

3.1. Prime awareness

None of the 16 participants reported having seen the prime letter before the target during the priming experiments. When informed of the presence of the primes, three participants thought they might have seen a slight blink, but were not sure, but not one of them thought it was a letter. No participants reported having seen the prime in the prime identification task. Participants spontaneously reported that they were not confident about their estimations and were only guessing.

When the sound occurred in synchrony with the instruction, performance on the forced-choice task ranged from 41% to 59% and averaged 52.2%, which was not significantly different from chance, $t(15)=1.59$, $p=.83$. The mean value of d' was 0.13, not significantly different from 0 ($t(15)=1.73$, $p=.10$). When the sound occurred on the prime, accuracy remained low (mean 50.5%, ranging from 34% to 69%), with low d' (mean -0.010). Neither the mean accuracy, nor the mean value of d' was significantly different from chance (respectively $t(15)=0.22$, $p=0.83$ and $t(15)=0.07$, $p=0.94$). There was no difference between

the two sound occurrence conditions ($t(15)=0.79$, $p=.44$). It could be argued that individuals who were 69% accurate performed better than chance, but with 32 trials in each prime occurrence condition, response accuracy of less than 69% is not significantly different from chance (chi-square, $p=.13$).

The mean d' value for the 3 participants who reported detecting a blink was -0.001 when the sound occurred in synchrony with the instruction, and 0.16 with the prime.

None of the participants observed that the sound had occurred in synchrony with the instruction letter or the prime.

3.2. Repetition priming

Figure 2 displays the median RT for each repetition priming condition. We revealed a significant main effect of prime congruency on response times ($F(1,15)=37.7$, $p<.001$, $\eta^2=.72$). Participants were faster at identifying the target letter (instruction) when the prime letter was the same as the instruction (428 ms versus 461 ms). There was also a significant effect of the sound occurrence factor ($F(1,15)=12.6$, $p<.005$, $\eta^2=.46$), i.e. participants responded faster when the sound occurred in synchrony with the prime (440 ms) as opposed to the instruction letter (450 ms). The interaction between these two factors was not significant ($F(1,15)=0.20$, $p=.66$, $\eta^2=.01$), suggesting the sound did not affect repetition priming.

The same analysis performed on error rates showed an effect of congruency ($F(1,15)=7.48$, $p<.05$, $\eta^2=.33$), with more errors when the prime was incongruent, but no effect of sound ($F(1,15)=2.61$, $p=0.13$, $\eta^2=.14$) and no interaction ($F(1,15)=2.65$, $p=0.12$, $\eta^2=.15$).

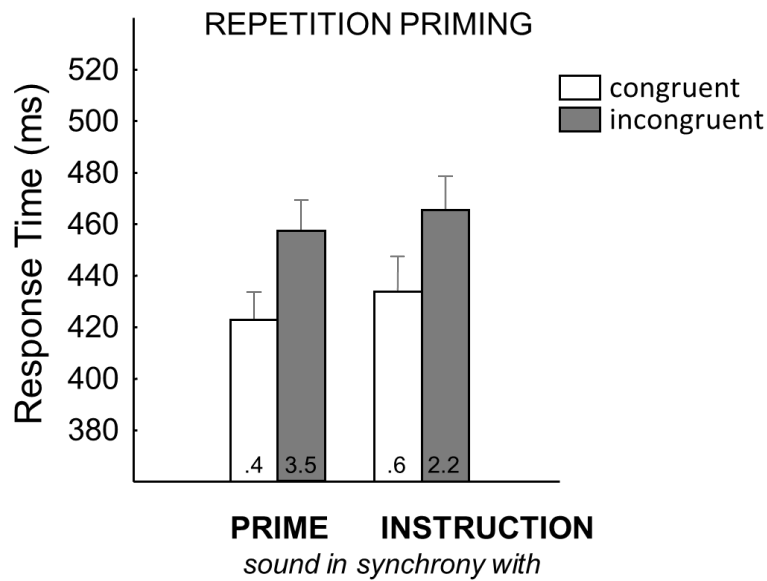


Figure 2. Median response time (in ms) in the repetition priming procedure. The results are shown according to whether the sound is synchronous with the prime or the instruction and according to the congruency of the prime with the conscious letter. A main effect of sound type and a main effect of congruency were observed. However, there was no significant interaction between sound type and congruency. Error rates are indicated within the bars.

3.3. Task set priming

We showed a significant effect of task set ($F(1,15)=11.45$, $p<.005$, $\eta^2=.43$), in that the participants performed the semantic task (840 ms) faster than the phonological task (962 ms). In addition, we found a significant interaction between prime congruency and sound occurrence ($F(1,15)=5.60$, $p<.05$, $\eta^2=.27$). When the sound occurred in synchrony with the prime, the participants responded faster when the prime was congruent (890 ms) than when it was incongruent (913 ms) (Figure 3), as confirmed by a sub-analysis of trials with sound in synchrony with the prime ($F(1,15)=4.88$, $p<.05$, $\eta^2=.25$). This was not the case with the sub-analysis of trials with sound in synchrony with the instruction, in which case, RTs were slightly but not significantly faster, by 18 ms, in the incongruent condition than in the congruent condition ($F(1, 15)=3.70$, $p=.074$, $\eta^2=.19$) (Figure 3).

Identical analysis of error rates yielded no significant effect that could threaten the RT analysis (all $F(1,15) < 3$, n.s.). Error rates were very low (average 3.1%) and there were no differences between conditions.

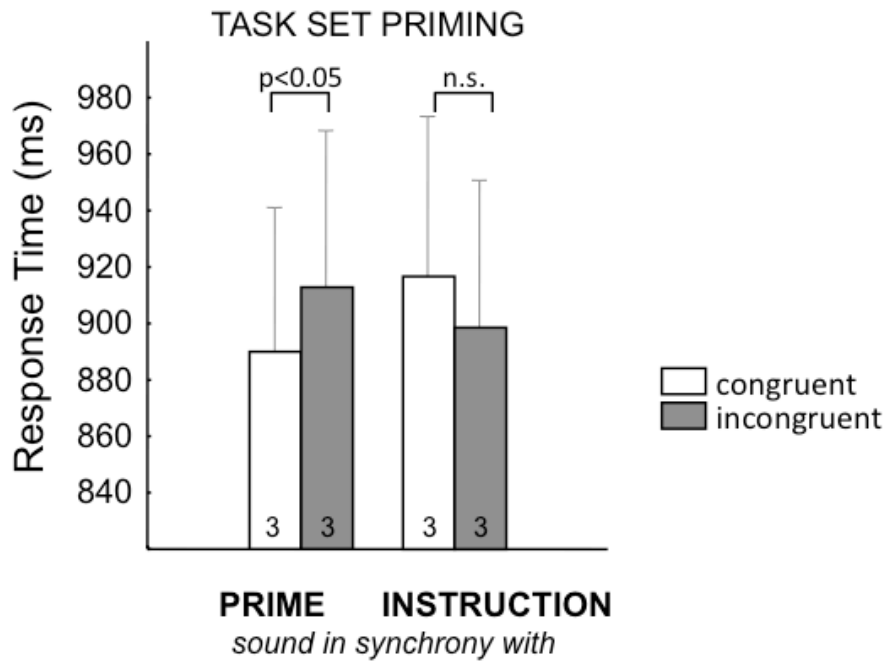


Figure 3. Median response time (in ms) in the task set priming procedure. The results are shown according to whether the sound is synchronous with the prime or the instruction and according to the congruency of the prime with the explicit instruction. A significant interaction between sound type and congruency was observed. An ANOVA run on trials with sound in synchrony with primes yielded a significant main effect of prime congruency. Error rates are indicated within the bars.

Table 1: Task set priming effect (in ms) for trials with sound synchronous with primes or instruction, as a function of the accuracy in the prime detection task. Low accuracy denotes accuracy below .53, and high accuracy above .53.

	task set priming effect (in ms)	
	sound with prime	sound with instruction
low prime detection (N=11)	23.2	-8.2
high prime detection (N=5)	21.8	-40.1

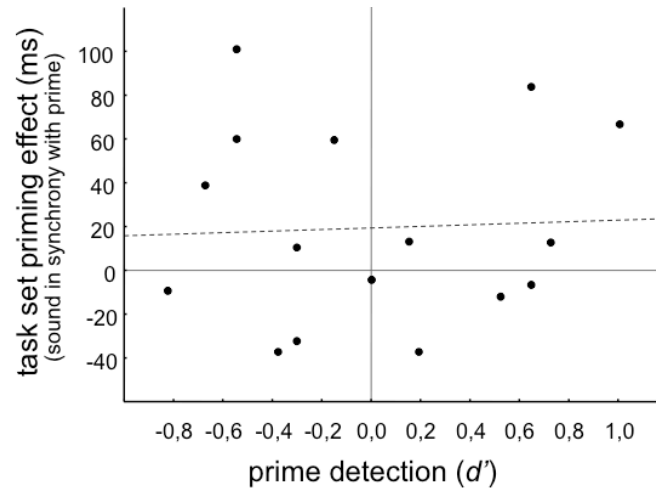


Figure 4. Extent of the task set priming effect as a function of prime detection when the sound is in synchrony with the prime (32 trials). Each point on the scatter plot represents an individual participant. The correlation is not significant ($r=.046$; $p=.86$). The dashed line is the best linear fit.

3.4 Additional analyses

To check whether behavioral priming effects were greater for participants who performed better in the prime visibility task, a correlation was calculated between task set priming i.e. the RT difference between congruent and incongruent trials, and prime identification performance (d') when the sound was synchronous with the prime. The correlation was not significant ($r=.046$, $p=.86$). The scatter plot is shown in Figure 4. The same analysis with task set priming but when sound was synchronous with the instruction showed no significant correlation either ($r=.2$, $p=0.45$).

Also, we found no difference between participants with low accuracy in the prime detection task (below .53, $N=11$) and those who were more accurate ($N=5$). Similar task set priming was observed in both groups when the sound was synchronous with the prime (Table 1). The ANOVA with an additional categorical factor (visibility) showed no significant interaction between sound occurrence, congruency and visibility ($F(1,14)=1.16$, $p=0.30$, $\eta^2=.076$).

4. Discussion

The aim of the experiment was to test the influence of exogenous attention on task set priming with unconscious primes. Attention was oriented by means of a brief sound which was synchronous with either the unconscious prime or conscious instruction. The results show that task set priming occurs only when the sound is synchronous with the prime, and that this effect is due to neither heightened visibility of the prime, nor increased repetition priming.

Several possible confounding factors regarding the visibility of the primes can be eliminated. The first question is whether our masking method was efficient. We used a conservative method to assess awareness, with a forced-choice task in which subjects were informed of the presence of primes. Unlike in the priming tasks, subjects were thus able to focus their attention to detect the primes, but despite this their prime detection performance did not differ from zero, and the correlation between prime detection accuracy and priming magnitude was not significant. Moreover, the same pattern of results was found if we considered only the participants with the lowest performance in the prime detection task. The second question is whether the visibility of the primes was the same in both sound synchrony conditions, given that studies based on visual search or attentional blink have shown that when a sound is synchronous with an unattended visual item the result is a hearing-driven enhancement of the conscious access to the visual item (Olivers & Van der Burg, 2008; Vroomen & de Gelder, 2000). In our study, however, the prime remained unconscious irrespective of the experimental conditions. In other words, in the forced-choice detection test, the discrimination of the primes was not different from chance, irrespective of whether or not the prime was synchronous with the sound. Furthermore, the fact that there was no significant interaction between sound occurrence and congruency in the repetition priming task is also an argument against modification of prime awareness, insofar as the extent of priming usually increases when visibility is higher (Kiefer & Spitzer, 2000; Vorberg, Mattler, Heinecke, Schmidt, & Schwarzbach, 2003). Hence, if the attentional focus induced by the synchrony between sound and prime had led to better visibility of the prime, we should have observed increased repetition priming when the sound was synchronous with the prime. That this was not the case confirms that in our procedure the sound did not affect the visibility of

the prime. It should be noted that the lack of any effect on visibility is not the same as the non-specific alerting effect of the sound. In our repetition priming experiment, participants were generally faster when the sound was emitted synchronously with the prime rather than with the instruction, but to the same extent regardless of whether the prime was congruent or incongruent with the instruction. This effect of the sound can be interpreted as a non-specific alerting effect, denoting a change in the observer's internal state following presentation of a transient signal. Such a change is known to speed up the response time in relation to an ensuing stimulus (Kiesel & Miller, 2007). If the sound is synchronous with the prime, it is emitted 83 ms earlier than the target. It thus precedes the target and acts as an alerting signal announcing that the target is about to be presented. This can explain the 10 ms response-time gain found when the sound was synchronous with the prime. The fact that response times were shorter on the whole in the case of synchrony between sound and prime shows that the sound was effective. However, it failed to modulate the repetition priming effect and is therefore not the same as an effect on the visibility of the prime.

The lack of an effect of the sound on repetition priming may appear to be in contradiction with the literature but may be due to the fact that, unlike the studies contained in the literature, we used strongly masked primes, not only unattended items. The sound attracted attention when the prime was presented but did not modify awareness of the prime. The lack of any effect of the sound on prime awareness and repetition priming suggests the task set priming observed when the sound is synchronous with the prime is not mediated by these perceptual effects. The fact that prime/sound synchrony affects task set priming and not repetition priming is consistent with our hypotheses. Even if exogenous attention induces a top-down enhancement of visual processing of the prime, it takes time (about 100 ms) (Lamme & Roelfsema, 2000), and in our paradigm the prime is already replaced by other stimuli by 36 ms. This renders recurrent processing ineffective for visual processing of the prime. The sound can only increase the saliency of the information conveyed by the prime, i.e. the task set associated with the prime.

The fact that the prime remained invisible and that the sound is effective as an alerting signal validates our approach and allows us to consider our main result, i.e. that our exogenous attentional manipulation affected the unconscious task set priming effect. Priming

occurred only when the prime was in synchrony with the sound, and this effect was independent of the repetition priming effect. This dissociation between task set and repetition priming is consistent with earlier suggestions that the task set priming effect occurs independently of perceptual priming, even if primes are similar to instructions (Lau & Passingham, 2007; Reuss et al., 2011). These earlier studies used original methods to achieve the distinction between task set and repetition priming, but how the results are to be interpreted has been a matter of debate. Lau and Passingham (2007) used brain imaging to distinguish between the two types of priming (syllabic vs. semantic task), showing that the two primes enhance activation in different regions of the prefrontal cortex, which is known to be involved in both tasks. However, imaging is not definitive proof that there is no repetition priming, owing to the lack of temporal resolution of functional MRI. Activation could be due to indirect facilitation of task set selection, through facilitation of instruction processing. Reuss et al. (2011) circumvented the problem of repetition priming by displaying a conscious instruction in most of the trials, but only a masked prime, without any conscious instruction, in some trials, in which participants had to choose the task. The prime was thus the only cue for these trials and could not act through repetition priming, since it was not followed by any instruction. The results showed that the prime biased subjects in favour of the task suggested by the prime. However, one explanation for these results might be a compound strategy (Logan & Bundesen, 2003), which consists in an association between the prime and the manual response rather than a task set initiation. A compound strategy was discarded by Reuss et al. (2011) in a second experiment, in which an unconscious cue prompted subjects either to switch or to repeat the task of the preceding trial, but in this case, the effect of the prime was quite small. The results also showed that the prime facilitated the choice of the task, although this cannot strictly be considered as evidence of unconscious task set preparation, inasmuch it does not necessarily involve implementation of the task set (Reuss et al., 2011). All in all, our results supplement Reuss et al. results by showing unconscious task set priming that is independent of repetition priming.

Our results thus suggest that at least part of the effect observed in the Lau & Passingham' procedure is due to task set priming and not only repetition priming. Our priming effect remained smaller than in other studies, but was still significant. The small effect might be due to the fact that we used strict masking conditions, short prime duration

and spatial non-predictability. Another explanation might be that some of the results from previous studies are due to a repetition priming effect, as suggested by Zhou & Davis (2012a, 2012b), and that the part of the effect that can be attributed to task set priming is relatively small. As suggested in the Introduction, the reason why this effect persists despite an explicit link between the prime and the task is that when the unconscious information is identical to the conscious instruction it cannot be discarded as easily as when it differs in shape from the instruction. In addition, and consistent also with the conclusion drawn by Zhou & Davis (2012a), this effect would be subject to attentional control. If the unconscious prime is similar to the conscious instruction, an exogenous amplification occurring synchronously with the prime signal affects the unconscious task set priming. Such mechanisms could be useful for protecting our everyday actions and choices from spurious influences in the environment.

It is to be noted that there are two possibilities regarding the effect of the sound, and that we are unable to distinguish between them. It may have a facilitating effect when synchronous with the prime, or a inhibiting effect when synchronous with the instruction. Given that the task set priming effect is only small, it is not certain that a neutral condition would have enabled us to distinguish between these two possibilities, but in both cases the results mean there is an attentional gating effect on task set priming.

In conclusion, we showed that our attentional manipulation was crucial for task set priming in our experimental paradigm. We are unable to assert that exogenous attentional amplification is always necessary, but our results certainly suggest unconscious task set priming is subject to top-down control. The amplification effect is independent of an effect on visual processing per se (repetition priming). Rather, our results suggest that top-down control gates the influence of unconscious information on high-order cognitive treatment. Coupled with the fact that our task set priming effect is small, the results suggest task set priming might be induced by non-conscious information, but in limited conditions. All in all, and taken together with the results obtained by Zhou & Davis, our study shows that mechanisms associated with attention and consciousness allow us to gate non-conscious influences.

Bibliography

- Bach, M. (2006). The Freiburg Visual Acuity Test-Variability unchanged by post-hoc re-analysis. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, *245*(7), 965–971. doi:10.1007/s00417-006-0474-4
- Bargh, J. A., Gollwitzer, P. M., Lee-Chai, A., Barndollar, K., & Trötschel, R. (2001). The automated will: nonconscious activation and pursuit of behavioral goals. *Journal of Personality and Social Psychology*, *81*(6), 1014–1027.
- Capa, R. L., Bouquet, C. A., Dreher, J.-C., & Dufour, A. (2013). Long-lasting effects of performance-contingent unconscious and conscious reward incentives during cued task-switching. *Cortex*, *49*(7), 1943–1954. doi:10.1016/j.cortex.2012.05.018
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*(3), 201–215. doi:10.1038/nrn755
- Custers, R., & Aarts, H. (2010). The Unconscious Will: How the Pursuit of Goals Operates Outside of Conscious Awareness. *Science*, *329*(5987), 47–50. doi:10.1126/science.1188595
- Dehaene, S., Changeux, J.-P., Naccache, L., Sackur, J., & Sergent, C. (2006). Conscious, preconscious, and subliminal processing: a testable taxonomy. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(5), 204–211. doi:10.1016/j.tics.2006.03.007
- Fabre, L., Lemaire, P., & Grainger, J. (2007). Attentional modulation of masked repetition and categorical priming in young and older adults. *Cognition*, *105*(3), 513–532. doi:10.1016/j.cognition.2006.10.011
- Fischer, R., Plessow, F., & Kiesel, A. (2013). The effects of alerting signals in masked priming. *Frontiers in Psychology*, *4*. doi:10.3389/fpsyg.2013.00448
- Fischer, R., Schubert, T., & Liepelt, R. (2007). Accessory stimuli modulate effects of nonconscious priming. *Perception & Psychophysics*, *69*(1), 9–22.
- Holland, R. W., Hendriks, M., & Aarts, H. (2005). Smells Like Clean Spirit Nonconscious Effects of Scent on Cognition and Behavior. *Psychological Science*, *16*(9), 689–693. doi:10.1111/j.1467-9280.2005.01597.x
- Kentridge, R. W., Nijboer, T. C. W., & Heywood, C. A. (2008). Attended but unseen: Visual attention is not sufficient for visual awareness. *Neuropsychologia*, *46*(3), 864–869. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2007.11.036
- Kiefer, M., & Spitzer, M. (2000). Time course of conscious and unconscious semantic brain activation. [Miscellaneous Article]. *Neuroreport August 3, 2000*, *11*(11), 2401–2407.
- Kiesel, A., & Miller, J. (2007). Impact of contingency manipulations on accessory stimulus effects. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *69*(7), 1117–1125. doi:10.3758/BF03193949

- Körding, K. P., Beierholm, U., Ma, W. J., Quartz, S., Tenenbaum, J. B., & Shams, L. (2007). Causal inference in multisensory perception. *PloS One*, 2(9), e943. doi:10.1371/journal.pone.0000943
- Lamme, V. A. F., & Roelfsema, P. R. (2000). The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing. *Trends in Neurosciences*, 23(11), 571–579. doi:10.1016/S0166-2236(00)01657-X
- Lau, H. C., & Passingham, R. E. (2007). Unconscious activation of the cognitive control system in the human prefrontal cortex. *The Journal of Neuroscience*, 27(21), 5805–5811. doi:10.1523/JNEUROSCI.4335-06.2007
- Leonard, C. J., & Chiu, Y.-C. (2007). What You Set Is Not What You See: Unconscious Activation of Cognitive Control. *The Journal of Neuroscience*, 27(42), 11170–11171. doi:10.1523/JNEUROSCI.3394-07.2007
- Logan, G. D., & Bundesen, C. (2003). Clever homunculus: is there an endogenous act of control in the explicit task-cuing procedure? *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 29(3), 575–599.
- Marzouki, Y., Grainger, J., & Theeuwes, J. (2007). Exogenous spatial cueing modulates subliminal masked priming. *Acta Psychologica*, 126(1), 34–45. doi:10.1016/j.actpsy.2006.11.002
- Mattler, U. (2003). Priming of mental operations by masked stimuli. *Perception & Psychophysics*, 65(2), 167–187.
- Mattler, U. (2006). On the locus of priming and inverse priming effects. *Perception & Psychophysics*, 68(6), 975–991.
- Mulckhuyse, M., & Theeuwes, J. (2010). Unconscious attentional orienting to exogenous cues: A review of the literature. *Acta Psychologica*, 134(3), 299–309. doi:10.1016/j.actpsy.2010.03.002
- Naccache, L., Blandin, E., & Dehaene, S. (2002). Unconscious masked priming depends on temporal attention. *Psychological Science*, 13(5), 416–424.
- New, B., Pallier, C., Ferrand, L., & Matos, R. (2001). Une base de données lexicales du français contemporain sur internet: LEXIQUETM//A lexical database for contemporary french: LEXIQUETM. *L'année Psychologique*, 101(3), 447–462.
- Olivers, C. N., & Van der Burg, E. (2008). Bleeping you out of the blink: Sound saves vision from oblivion. *Brain Research*, 1242, 191–199.
- Ortells, J. J., Frings, C., & Plaza-Ayllon, V. (2012). Influence of spatial attention on conscious and unconscious word priming. *Consciousness and Cognition*, 21(1), 117–138. doi:10.1016/j.concog.2011.10.012
- Pessiglione, M., Schmidt, L., Draganski, B., Kalisch, R., Lau, H., Dolan, R. J., & Frith, C. D. (2007). How the Brain Translates Money into Force. *Science (New York, N.Y.)*, 316(5826), 904–906. doi:10.1126/science.1140459

-
- Rahnev, D. A., Huang, E., & Lau, H. (2012). Subliminal stimuli in the near absence of attention influence top-down cognitive control. *Attention, Perception & Psychophysics*, *74*(3), 521–532. doi:10.3758/s13414-011-0246-z
- Reuss, H., Kiesel, A., Kunde, W., & Hommel, B. (2011). Unconscious activation of task sets. *Consciousness and Cognition*, *20*(3), 556–567. doi:10.1016/j.concog.2011.02.014
- Schubert, T., Palazova, M., & Hutt, A. (2013). The time course of temporal attention effects on nonconscious prime processing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *75*(8), 1667–1686. doi:10.3758/s13414-013-0515-0
- Sumner, P., Tsai, P.-C., Yu, K., & Nachev, P. (2006). Attentional modulation of sensorimotor processes in the absence of perceptual awareness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *103*(27), 10520–10525. doi:10.1073/pnas.0601974103
- Van den Bussche, E., Hughes, G., Humbeeck, N. V., & Reynvoet, B. (2010). The relation between consciousness and attention: an empirical study using the priming paradigm. *Consciousness and Cognition*, *19*(1), 86–97. doi:10.1016/j.concog.2009.12.019
- Van der Burg, E., Olivers, C. N. L., Bronkhorst, A. W., & Theeuwes, J. (2008a). Audiovisual events capture attention: evidence from temporal order judgments. *Journal of Vision*, *8*(5), 2.1–10. doi:10.1167/8.5.2
- Van der Burg, E., Olivers, C. N. L., Bronkhorst, A. W., & Theeuwes, J. (2008b). Pip and pop: nonspatial auditory signals improve spatial visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *34*(5), 1053–1065. doi:10.1037/0096-1523.34.5.1053
- Vorberg, D., Mattler, U., Heinecke, A., Schmidt, T., & Schwarzbach, J. (2003). Different time courses for visual perception and action priming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *100*(10), 6275–6280. doi:10.1073/pnas.0931489100
- Vroomen, J., & de Gelder, B. (2000). Sound enhances visual perception: cross-modal effects of auditory organization on vision. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*(5), 1583.
- Weibel, S., Giersch, A., Dehaene, S., & Huron, C. (2013). Unconscious task set priming with phonological and semantic tasks. *Consciousness and Cognition*, *22*(2), 517–527. doi:10.1016/j.concog.2013.02.010
- Zhou, F. A., & Davis, G. (2012a). Unconscious priming of task sets: the role of spatial attention. *Attention, Perception & Psychophysics*, *74*(1), 105–114. doi:10.3758/s13414-011-0221-8
- Zhou, F. A., & Davis, G. (2012b). Momentary Conscious Pairing Eliminates Unconscious-Stimulus Influences on Task Selection. *PLoS ONE*, *7*(9), e46320. doi:10.1371/journal.pone.0046320

Résultats principaux de l'Etude 2

De manière générale, nous avons montré que l'amorçage de task set, mais pas l'amorçage de répétition, est modifié par notre manipulation attentionnelle basé sur la synchronie du son avec l'amorce ou l'instruction.

Ces résultats ne s'expliquent pas par des changements de visibilité de l'amorce. Nos résultats montrent que les stimuli masqués restent non conscients, et surtout que notre manipulation attentionnelle ne modifie pas la perception de l'amorce. Notons aussi que les temps de réponse pour l'amorçage de répétition sont globalement plus rapides en cas de son plus précoce (synchrones à l'amorce) suggérant que le son a été efficace. Malgré cela, il ne modifie pas la visibilité de l'amorce. Cela confirme que notre méthode d'indiciage attentionnel permet de moduler l'amorçage de task-set indépendamment de l'amorçage perceptif.

La dissociation entre amorçage de task-set et amorçage de répétition est, comme dans l'Etude 1, un argument pour soutenir que notre amorçage de task set n'est pas juste un amorçage de répétition. Les résultats suggèrent donc une modulation attentionnelle de l'effet d'amorçage de task set. L'effet de la synchronie du son sur l'amorce lors de l'amorçage de répétition doit être nuancé par une limite de notre expérience, cependant. L'absence de condition neutre (une condition sans son), implique que nous ne pouvons pas distinguer de manière formelle si le son synchrone à l'amorce facilite l'amorçage ou si le son synchrone à l'instruction l'inhibe. Cependant, quelle que soit la réponse à cette question, un effet attentionnel est l'explication la plus simple pour expliquer la différence entre les deux conditions. Il semble donc que l'attention exogène module l'effet d'amorçage de task set.

Ce résultat suggère une interaction complexe entre l'attention et les mécanismes non conscients : une information n'influencerait l'initiation de tâche que si l'attention du sujet est attirée au moment de la présentation de cette information, et permet à l'information de passer un système de filtrage. Nous reprendrons dans la discussion générale les implications de cette conclusion.

Notons cependant que la taille des effets restait faible, même en optimisant le traitement attentionnel sur l'amorce. Or notre objectif premier était de trouver un paradigme permettant de tester l'influence de stimuli non conscients sur des processus conscients chez les patients, avec des effets plus amples que dans notre 1ère étude. Nos résultats avec ce paradigme ne nous permettent pas de poursuivre ce but. Une autre stratégie de recherche devait être utilisée pour l'application aux patients.

Nous avons choisi un autre domaine où la question de l'anticipation non consciente pouvait être plus facilement testée. Le contrôle moteur est réputé dominé par un contrôle automatique. Mais il est intimement lié à un phénomène conscient, qui est le sentiment de contrôler son action. Ce domaine est particulièrement pertinent dans la schizophrénie. Il a d'ailleurs été largement étudié en lien avec les symptômes de la pathologie.

Avant de présenter notre troisième étude nous allons donc revenir sur la schizophrénie pour justifier la pertinence de notre approche.

ETUDE 3 :

ADAPTATION A DES DISTORSIONS

CONSCIENTES ET SUBLIMINALES DU

RETOUR HAPTIQUE ;

INFLUENCE SUR

LE SENTIMENT DE CONTROLE

1. Justification de l'étude : contrôle de l'action et schizophrénie

Le deuxième domaine que nous avons sélectionné dans notre introduction sur la schizophrénie est celui de l'agentivité. Nous allons en introduction à notre étude analyser les composantes de l'agentivité affectées dans la schizophrénie, en distinguant celles sous le contrôle de la conscience, et celles issues d'un traitement implicite.

1.1. Attribution de l'action dans la schizophrénie

Le syndrome d'influence est un symptôme cardinal de la schizophrénie, et sa manifestation psychopathologique est une difficulté à se reconnaître comme l'auteur de son action. Le patient a l'impression de ne plus être l'auteur de ses pensées ou de ses actes, et il a la conviction qu'elles sont générées ou contrôlées par une force ou une personne extérieure. En somme, il ne se sent pas agent de son acte, et il a également tendance à l'attribuer à un élément extérieur (erreur d'attribution). De la même façon, dans les hallucinations, le patient a tendance à attribuer à un agent extérieur le discours qu'il entend.

Une première hypothèse serait que ce sont des mécanismes conscients d'attribution qui sont défaillants. Les expériences d'attribution chez les patients souffrant de schizophrénie ont montré qu'ils faisaient plus d'erreurs que les sujets sains pour reconnaître leur propre mouvement. Par exemple, Daprati et al. (1997) ont demandé à des sujets de juger si le mouvement montré sur un écran était celui qu'ils avaient réalisé auparavant. Les résultats ont montré que les patients avec un syndrome d'influence faisaient plus d'erreurs que les sujets sains. Franck et al. (2001) ont mené une étude utilisant le dispositif de Fournier et Jeannerod (1998) qui consiste à supprimer le retour visuel réel (les sujets

tracent une ligne sous une table) et à remplacer le retour visuel par une projection de la main du sujet. Le dispositif permet en outre d'introduire dans ce retour visuel un biais temporel ou angulaire (en temps réel). Les patients avec un syndrome d'influence faisaient plus d'erreurs en cas de biais angulaires, par rapport aux contrôles et aux patients sans délire d'influence. De plus, tous les patients faisaient plus d'erreurs que les contrôles en cas de délai temporel. Plus précisément, les sujets contrôles considéraient qu'ils étaient agent de l'action jusqu'à un délai temporel de la copie virtuelle du mouvement inférieur à 150 ms, alors que les schizophrènes pouvaient tolérer un délai jusqu'à 300 ms.

Ces observations vont cependant à l'encontre des observations cliniques dans la schizophrénie : dans les études citées, les patients ont tendance à s'auto-attribuer l'action plus souvent que les contrôles, alors que cliniquement les patients délirants attribuent leur action à un agent extérieur. Pourtant, les résultats expérimentaux décrits ci-dessus ont été reproduits et ont été confirmés par d'autres méthodes expérimentales (Haggard et al., 2003; Voss et al., 2010).

Un autre point important est que dans les conditions expérimentales, les patients réalisent une action selon des instructions, et se rendent bien compte qu'ils l'ont réalisée eux-mêmes. De même, dans leur vie quotidienne, les patients ressentent la plupart du temps leurs actions volontaires comme sous leur contrôle. Les erreurs d'attribution ne sont pas un problème rémanent chez les patients. Souvent, elles ne surviennent que lorsque le patient est en phase aiguë. Or les patients testés étaient globalement stabilisés.

Peut-on envisager qu'il y ait plusieurs anomalies à l'œuvre expliquant les phénomènes d'influence (Frith, 2005) ? Comme l'ont noté Franck et al. (2001), la différence entre biais angulaire et délai temporel, selon la symptomatologie du patient suggère que deux mécanismes différents pourraient être à l'œuvre, avec un mécanisme d'évaluation temporel anormal chez les patients, expliquant les erreurs plus importantes dans l'évaluation du biais temporel, mais un biais angulaire signant une altération supplémentaire.

Des données récentes suggèrent que contrairement aux contrôles, les patients ont tendance à réaliser un jugement d'agentivité en se reposant sur des éléments rétrospectifs, plutôt qu'en réalisant une prédiction sur le résultat de leur action (Synofzik et al., 2010; Voss et al., 2010). Ces résultats pourraient expliquer l'augmentation de l'autoattribution. Synofzik et al. (2010) ont utilisé une tâche où les patients devaient déterminer la direction de leur pointage, sans retour visuel ou avec un retour visuel avec distorsion. Ils ont montré que la prédiction des patients était moins précise que les témoins en l'absence de retour visuel. Ceci peut expliquer qu'en présence d'un retour visuel, les patients se basaient plus que les témoins sur le retour visuel. Voss et al. (2010) sont arrivés à des conclusions similaires, en utilisant le phénomène de *l'intentional binding*¹. Selon Voss et al. (2010), les erreurs d'attribution sont présentes parce que les patients réalisent leur jugement d'agentivité sur la base d'éléments rétrospectifs, et non prédictifs. Les patients pourraient avoir plus de difficultés à reconnaître que des biais sont introduits dans une image virtuelle de leur mouvement, en raison d'une altération de la capacité à prédire leur propre mouvement. Comment expliquer les difficultés de prédiction ?

1.2. Mécanismes prédictifs des anomalies de l'agentivité

Un des mécanismes possibles du délire d'influence pourrait être le fait de ne pas se reconnaître comme agent de son action. Frith a exploré plus spécifiquement le sens de l'agentivité et a proposé un modèle basé sur la prédiction motrice, et les modèles internes du contrôle de l'action. Comme nous l'avons vu plus haut, la conscience de sa propre action dépendrait de la capacité de prédire et d'anticiper les conséquences sensorielles d'actions auto-initiées (Frith et al., 2000b). Frith a fait l'hypothèse que c'est la copie d'efférence, qui permet de faire ces prédictions, qui serait altérée chez les patients. Le principal argument dans ce sens est basé sur les conséquences de ces prédictions sur le traitement du retour

¹ Voir p. 58

sensoriel. Le fait de prédire les résultats de son action conduit en effet à l'atténuation du retour sensoriel chez les sujets sains (Blakemore et al., 2002). Chez les patients, le retour sensoriel ne serait pas atténué. Par exemple, le phénomène de chatouillement disparaît quand les sujets sains tentent de se chatouiller eux-mêmes, mais ce phénomène ne disparaît pas chez les patients (Blakemore et al., 2000). Shergill et al. (2005) ont également montré que le retour sensoriel n'était pas atténué normalement chez les patients. Un objet équipé d'un moteur appliquait une force sur la main des sujets, et les sujets devaient reproduire la même force, soit en appuyant avec leur main libre sur l'objet directement, soit indirectement, par le biais d'une commande par joystick qui réglait la force du moteur appuyant sur leur main. Les sujets sains utilisaient dans la première condition une force trop importante : du fait de l'atténuation sensorielle, ils sous-évaluaient la force appliquée sur leur main, et ils devaient augmenter la force appliquée pour retrouver la sensation recherchée. Par contre, les patients avaient une force anormalement proche de la force réelle. Il n'y avait pas de différence dans la condition joystick, montrant que les patients étaient capables de réaliser la tâche, sans anomalies motrices (qui auraient pu être liées à leur médication par exemple). Donc, chez les patients, l'inhibition du retour sensoriel ne se produit pas normalement. Les résultats ont été mis en rapport avec un déficit de la copie d'efférence.

Cependant, des données suggèrent que la copie d'efférence n'est pas complètement défailante, car les patients restent capables d'adapter leurs mouvements dans certaines circonstances.

Knoblich et al. (2004) ont réalisé une expérience où ils demandaient à des patients et des sujets contrôle de tracer des cercles sur une tablette tactile, en ayant un retour visuel indirect de leur tracé sur un écran. Le retour visuel était renvoyé au sujet via un ordinateur, ce qui laissait à l'expérimentateur la possibilité de modifier le retour visuel en induisant un biais, c'est-à-dire un décalage du retour visuel par rapport au mouvement réel du sujet (comme dans l'expérience de Jeannerod et Fournieret, 1998). Les auteurs ont vérifié

comment les sujets adaptaient leur mouvement au décalage du retour visuel. Les patients avec symptômes positifs avaient des difficultés à détecter et rapporter un décalage entre leur mouvement auto-généré et ses conséquences visuelles. Cependant, les patients gardaient leur capacité à compenser automatiquement le décalage tant que celui-ci restait non conscient. Cette étude suggère que la prédiction du mouvement est préservée dans sa composante automatique, mais altérée quand les processus conscients entrent en jeu (Knoblich et al., 2004).

Delevoeye-Turrell et al. (2002) sont arrivés à des conclusions similaires avec un dispositif différent. Ils ont utilisé un dispositif de balancier, avec un pendule qui était lâché à un angle variable et que le sujet réceptionnait avec une cellule de force dans sa main. Ce dispositif permettait d'étudier l'adaptation de la préhension de la cellule de force lors d'une collision, lorsque le pendule est lâché et vient rebondir sur la cellule de force tenue par le sujet. Classiquement la force d'agrippement sur la cellule de force augmente quand la force de l'impact augmente, c'est-à-dire quand le pendule est lâché de plus haut. Les résultats ont montré que les patients souffrant de schizophrénie (avec ou sans syndrome d'influence) arrivaient comme les témoins à adapter leur force d'agrippement à la force de l'impact. La précision des ajustements de la force de préhension (mesurée par une plus forte corrélation entre la force imposée et l'agrippement) était similaire entre les deux groupes pour les mouvements imposés par l'expérimentateur comme par le sujet lui-même, quand il lâche lui-même le pendule (Delevoeye-Turrell et al., 2002; Bulot et al., 2007). Cela suggère une préservation de la prédiction motrice, et donc une préservation de la copie d'efférence.

Par contre, une série d'expériences montre que les patients ont des difficultés à planifier une séquence d'actions, même quand il s'agit des séquences les plus simples qui ne demandent pas un effort de mémorisation (Delevoeye-Turrell et al., 2003, 2006, 2007). Les sujets devaient taper du doigt sur une surface. Le mouvement de taper du doigt sur une surface est une séquence qui est composée de deux mouvements impliquant des muscles antagonistes, mais qui est pensée comme un seul mouvement (on tape du doigt sur la table,

on ne pense pas qu'on baisse puis qu'on lève le doigt). Lors de cette action, le temps de contact sur la surface, bien inférieur à 100 ms, est trop court pour que le second mouvement puisse être déclenché après le contact avec la surface. En moins de 100 ms, il est biologiquement impossible que l'influx nerveux fasse l'aller-retour entre le doigt et le cerveau. Taper du doigt sur une surface doit donc être planifié à l'avance, en anticipant les deux mouvements reposant sur des muscles antagonistes. Les patients étaient altérés quand il s'agissait de réaliser des séquences planifiées à l'avance, mais pas pour des réactions réflexes (Delevoeye-Turrell et al., 2007). Aussi, il a été montré que les patients allouaient moins d'attention dans la phase de préparation du mouvement, suggérant également un problème de planification (Delevoeye-Turrell et al., 2006). Deux hypothèses peuvent être dérivées de ces résultats : soit les patients ont des difficultés à intégrer les différents éléments dans une seule représentation, et/ou ils ont des difficultés à planifier les éléments temporels de la séquence. L'ensemble de ces données mène à un certain nombre d'hypothèses chez les patients et à notre troisième expérience.

1.3. Hypothèse d'une anomalie de prédiction temporelle dans le contrôle moteur chez les patients souffrant de schizophrénie

La littérature suggère que deux grands types d'anomalies sous-tendent le délire d'influence dans la schizophrénie : d'une part une anomalie consciente d'attribution qui survient dans certaines situations (Daprati et al., 1997; Franck et al., 2001), mais aussi une anomalie liée à la capacité de prédiction des conséquences de l'action.

L'anomalie de l'atténuation du retour sensoriel (Blakemore et al., 2002; Shergill et al., 2005) semble une donnée robuste, mais pourrait s'expliquer par d'autres mécanismes que l'anomalie de la copie d'efférence. En effet, même si l'atténuation du retour sensoriel est une conséquence de l'existence de la copie d'efférence, l'absence d'atténuation chez les patients ne peut être une preuve formelle de l'altération de la copie d'efférence. La copie d'efférence et le traitement du retour sensoriel se situent sur une boucle qui inclut bien

d'autres mécanismes, et une altération sur n'importe lequel de ces mécanismes pourrait expliquer le phénomène. Nous nous basons d'une part sur les résultats décrits plus hauts, qui suggèrent une anomalie de la planification des actions, et sur des anomalies du traitement de la temporalité des événements sensoriels chez les patients souffrant de schizophrénie (Giersch et al., 2013).

Les patients ont des difficultés à prédire et suivre implicitement les événements sensoriels dans le temps (Lalanne et al., 2012a, 2012b). Or anticiper et suivre des événements dans le temps est crucial dans la planification motrice, comme dans toute activité mentale. Nous nous sommes donc demandé si les difficultés des patients à anticiper et suivre les événements pouvaient rendre compte de leurs difficultés dans le domaine moteur.

Franck et al. (2001) avaient déjà utilisé des biais temporels dans leur expérience sur l'agentivité chez les patients schizophrènes. Or tous les patients avaient montré une anomalie, de même que tous les patients de nos études montrent des difficultés sur les processus que nous avons reliés aux mécanismes élémentaires de prédiction temporelle. Ceci implique que ces altérations ne sont pas liées directement au délire d'influence, même si elles sont susceptibles de les sous-tendre indirectement. Nous avons donc cherché à mettre au point une expérience qui concerne des processus liés à l'agentivité mais susceptibles d'être altérés indépendamment du syndrome d'influence. Comme Frith l'a proposé, nous supposons que l'émergence de symptômes cliniques tels que le syndrome d'influence repose sur l'addition de plusieurs anomalies (Frith, 2005). Certaines difficultés pourraient préexister à l'émergence des symptômes, et représenter des facteurs de vulnérabilité cognitifs. Ces facteurs rendraient le sujet plus susceptible de développer un symptôme, mais le développement du symptôme lui-même nécessiterait des troubles additionnels : par exemple un événement de l'environnement qui angoisse le sujet, une fatigue qui affecte ses capacités cognitives, pourraient précipiter l'émergence du syndrome d'influence.

Nous nous sommes donc interrogés sur la nature des facteurs préexistants de vulnérabilité cognitive, et les mécanismes qui sous-tendent le sentiment de contrôle nous ont paru un bon candidat pour représenter un tel facteur. Comme nous l'avons vu, il est possible que le sentiment de contrôle soit altéré sans qu'il y ait d'erreurs d'agentivité. Par ailleurs, les troubles cognitifs que nous avons identifiés chez les patients nous paraissaient susceptibles d'affecter leur sentiment de contrôle. En particulier les anomalies temporelles nous semblaient susceptibles d'affecter ce sentiment de contrôle. En effet la prédiction du retour sensoriel n'inclut pas seulement la prédiction de l'information sensorielle elle-même, mais aussi la prédiction de son moment. Les anomalies temporelles observées jusqu'ici suggèrent que cette dernière prédiction pourrait être altérée chez les patients. Une prédiction temporelle altérée devrait fragiliser la possibilité de juger que tout se passe comme prévu : lors de la comparaison entre retour sensoriel prédit et effectif, les patients devraient avoir moins d'informations à leur disposition pour juger de la congruence entre ces deux retours. Cette fragilisation pourrait rendre compte d'une diminution du sentiment de contrôle chez les patients. Il s'agissait donc, dans notre expérience d'introduire des biais temporels comme dans l'expérience de Franck et al. (2001), et d'en observer les conséquences. Il s'agissait aussi de modifier cette expérience pour répondre à nos questions. D'une part nous avons besoin de savoir comment les sujets adaptent leur action à un biais temporel, en examinant en particulier leurs capacités d'anticipation et planification motrice. Cette évaluation n'était pas possible dans l'expérience originale de Franck et al. (2001). Par ailleurs, nous souhaitons examiner les conséquences des biais sur le sentiment de contrôle, et non sur l'agentivité elle-même. Il nous a donc fallu mettre au point un protocole différent de celui imaginé dans l'équipe de Jeannerod. Cette mise au point a nécessité plusieurs études successives, et nous présentons les résultats de la dernière, qui est actuellement en cours d'application auprès des patients.

Nous avons introduit plusieurs modifications par rapport au protocole original de Franck et al. (2001), outre le jugement qui concerne le sentiment de contrôle plutôt que l'agentivité, et l'exploration des processus d'adaptation après un biais temporel. Pour

répondre à nos questions, nous avons considéré que le retour visuel n'était pas le retour sensoriel le plus important dans le cas d'une action motrice. Nous réalisons très souvent une action motrice sans la regarder. Le retour haptique (tactile et kinesthésique) nous semblait jouer un rôle plus important, et c'est celui-ci que nous avons cherché à manipuler. Enfin, nous avons adapté l'expérience à notre questionnaire plus général sur la nature des mécanismes cognitifs altérés dans la schizophrénie, en cherchant à examiner si ces mécanismes sont automatiques ou associés à la conscience. A cette fin, nous avons introduit dans notre expérience des distorsions sub- et supraliminales (respectivement en dessous et au-dessus du seuil de détection d'une distorsion). Il a été suggéré que les patients sont capables de prendre en compte une distorsion du retour sensoriel quand celle-ci est subconsciente (Knoblich et al., 2004). Cependant, les résultats dans le domaine de la perception temporelle suggèrent que les patients sont anormalement sensibles à des asynchronies courtes et non détectables consciemment (Lalanne et al., 2012a, 2012b). L'impact de distorsions temporelles subliminales n'a été examiné ni sur le sentiment de contrôle, ni sur les capacités de planification et d'adaptation du mouvement. C'est cette expérience que nous avons mise en œuvre auprès de volontaires sains et qui fait l'objet de notre troisième étude.

2. Objectifs de l'étude 3

Notre troisième étude a eu pour objectif d'étudier l'effet d'un décalage haptique (tactile et kinesthésique) temporel sur le sentiment de contrôle de l'action. Nous avons utilisé un dispositif de réalité virtuelle, permettant la création d'une surface virtuelle pouvant être décalée de manière subliminale, essai après essai. A chaque essai les sujets devaient taper sur la surface avec un stylet. Un tel décalage conduit à une distorsion entre le contact prédit et le retour haptique effectif. Nous avons d'abord étudié comment des distorsions conscientes ou non conscientes influencent les mécanismes d'adaptation et de prédiction de l'action, pour nous assurer que les participants parvenaient à anticiper la surface. Dans une deuxième session, nous nous sommes intéressés à l'influence de telles distorsions, et notamment des distorsions subliminales, sur le sentiment de contrôler l'action.

Nous avons réalisé deux expériences avec deux groupes de sujets différents : une première expérience avec des distorsions supra- et subliminales mélangées, et une seconde comportant uniquement des distorsions subliminales. Ce choix était justifié par le fait que nous nous attendions à ce que les sujets, percevant de fortes distorsions, aient tendance à négliger les distorsions plus limitées. En effet, un sujet a tendance à adapter son jugement et le grain de sa perception à l'étendue des stimuli auxquels il est exposé (Parducci, 1965; Dean et al., 2005). Par exemple, si dans l'expérience, il y a des distorsions aisément perçues, les distorsions subliminales sont comparativement négligeables, et le sujet peut ne pas rapporter en tenir compte.

Etude 3

Adaptations to supraliminal and subliminal haptic distortions, and
relationships with feeling of control.

Sébastien Weibel, Patrick Poncelet, Olivier Genevaux,
Antonio Capobianco, André Dufour, Renaud Brochard,
Yvonne Delevoye-Turell, Anne Giersch

Manuscrit en préparation

Adaptations to supraliminal and subliminal haptic distortions, and relationships with feeling of control

Sébastien Weibel, Patrick Poncelet, Olivier Genevaux, Antonio Capobianco, André Dufour,
Renaud Brochard, Yvonne Delevoe-Turrell, Anne Giersch.

Abstract

In order to have efficient movements in a changing environment, we adapt to distortions in sensory feedback. This has been related with agency and the feeling of control. However, it is unclear if subliminal distortions affect these conscious feelings. Besides, the majority of the studies have focused on agency and used visual or auditory distortions. In this study, we were interested in how actions are adapted after subliminal and supraliminal distortions of the feedback in a haptic modality, and to which amount these distortions modify the feeling of control. We used a haptic robot, and asked participants to make vertical pointing actions on a virtual surface, without visual feedback. After some trials in a sequence of pointing actions, the haptic feedback was postponed by a constant delay (15 or 65 ms), allowing us to measure the adaptation of the trajectory to this delay (the deceleration observed prior to the contact with the surface). In a second session, we analyzed the subjective feeling of control after the execution of 5 pointing actions with a varying number of distortions. We found that the adaptation was effective, and that the feeling of control was decreased in case of distortions. This was observed even in case of subliminal distortions, but only when there were no supraliminal distortions in the same block. Finally our results suggest that the feeling of control relies on different factors, including discrepancies between predicted and actual feedback, but also the amount of anticipation before the contact with the surface.

Keywords: Motor control; prediction; feeling of control; haptic feedback; internal models; consciousness

Abbreviations: DT: deceleration time; HD: height of the start of the deceleration; D-trial: first trial with a distortion.

1. Introduction

We are used to a stable world, and when tapping on a table or a computer keyboard, we can reasonably expect the surface to remain in the same position. This makes it possible to anticipate and plan the action, thus optimizing the trajectory and enabling us to be both fast and efficient. We are also very adaptable, though. When climbing stairs, we might be surprised by a change in one step height, but will adapt quickly and this will not prevent us from racing up the stairs two by two. These adaptations occur mostly automatically. Nonetheless, they also have been related with the emergence of conscious feelings, like the feeling of control (Pacherie, 2008). This feeling might be especially useful when optimizing an action, like when playing tennis, or cello, or more generally when learning a complex motor sequence requiring high levels of accuracy. A decreased feeling of control might be an indication that the action is not optimized and should be rehearsed further. It would thus be a signal inciting us to refine our planning by doing the action again. This would be optimal, however, only if the feeling of control varies not only when there is a large discrepancy between the real and expected outcomes of the action, but also when this discrepancy is very small. Second, it has still to be checked if adaptations occur when haptic feedback is discrepant relative to expectations. Here we try to objectify to which extent we are adaptable to small changes in haptic feedback in case of a manual action, and to which extent this affects our feeling of control.

Motor control: the inverse and forward models.

It has been proposed that the sense of agency and feeling in control are reinforced when the sensory feedback occurring as a result of our action corresponds to the feedback anticipated from the motor plan (Frith, Blakemore, & Wolpert, 2000; Sato & Yasuda, 2005). Indeed, according to a well-accepted model (Wolpert, 1997), a voluntary action is first planned by means of the inverse model, whose function is to adapt the motor sequence to the goal of the action. The inverse model leads to the motor command but also to a copy of this signal, called the efference copy. This copy is used by the forward model, a second internal model, to generate predictions regarding the sensory feedback resulting from the action. These predictions are compared with the real sensory feedback, in order to adapt the action if

necessary. If everything goes as planned, it would also reinforce our sense of agency and feeling of control. Here however, we were mainly interested by what happens when the haptic feedback does not correspond to the predicted feedback. Although visual and auditory information play a dominant role in our ability to perceive the outer world, playing tennis or violin also requires fine haptic processing. A tennis player is instructed to look at the ball, but won't check visually the impact with the racket; the impact will have to be judged on the basis of the haptic feedback. In a similar way, a cello player will have to learn how to position his/her fingers on the instrument prior to any auditory feedback and with only poor access to the visual information. To the best of our knowledge, there is not much known about the adaptation mechanisms taking place when the haptic feedback is distorted. Although augmented feedback on haptic information may help subjects to adapt ongoing performance during complex motor activities like rowing (Sigrist, Rauter, Riener, & Wolf, 2013), it has been suggested that haptic guidance ultimately impairs motor learning by changing the association between input-output information (Marchal-Crespo, van Raaij, Rauter, Wolf, & Riener, 2013). In these studies, the haptic feedback is either reinforced by additional information (like a vibro-tactile stimulation in case of haptic error), or it is changed by constraining the movement itself. But even in case of visuo-motor transformations with more natural movements, it seems that haptic information is neglected (Heuer & Rapp, 2012; Müsseler & Sutter, 2009). In the latter studies, however, it is the visual feedback which is transformed. Here we aimed at checking the adaptation to a change in haptic feedback during a natural movement. We adopted a paradigm akin to those used with visual or auditory distortions. For example, studies such as those conducted by Fournier and Jeannerod (1998) or Knöblich and Kircher (2004) have been based on elegant manipulations of the visual information during manual actions. Subjects did not have direct visual access to their hand and to their action, and visual information was sent back to them through a computer screen. This installation allowed the experimenter to introduce visual distortions in the sensory feedback. These studies have shown that subjects adapted their action in order to reach a pre-defined goal (drawing a straight line or a circle), despite subliminal or supraliminal distortions. The subjects consciously detected the distortions only for the largest manipulations, however. Effects have also been observed on the sense of agency at the largest discrepancies. We reasoned that results might be different for the feeling of control, though.

The feeling of control has only rarely been explored. The experiments described above have indeed been used to understand delusions of control (Franck et al., 2001; Knoblich, Stottmeister, & Kircher, 2004), arising when patients with schizophrenia attribute their action or thought to an external force. Hence studies have mainly focused on agency, i.e. the feeling of being the author of one's own action. It can be understandable that the sense of agency will be disrupted only in extreme situations, either through pathology, or because there is a really large discrepancy between the expected and real outcome of the action. Again, this might be different for the feeling of control. A subject may have a varying feeling of control while knowing he is the author of his/her act. This feeling of control would rely on the realization that everything went as planned, i.e. on the comparison between the predicted and real sensory feedback (Pacherie, 2008), but would not concern the attribution of the action to oneself. The feeling of control might thus be more sensitive than the feeling of agency to small distortions in the sensory feedback, when the action is still attributed to oneself. When learning a complex motor procedure, like e.g. a gymnastic sequence, a feeling of not being optimally in control may arise without being associated with a clear explanation of why this feeling arises. Our question is whether this could be related to the existence of small and undetected distortions in the sensory feedback. Inasmuch we wanted to apply this question to haptic rather than to any other sensory feedback, we adapted an equipment allowing us to create virtual surfaces. We used a Geomatic® Touch haptic device, i.e. a device featuring a motorized arm with a stylus allowing 6 degrees of freedom (DOF) manipulations, and 3 DOF haptic feedback. With this device, the subject can hold the stylus like a pen, and a force feedback can be applied, simulating a real surface. With the stylus in hand, subjects can thus tap on a virtual surface, and the trajectories of the action can be recorded with 1600 Hz accuracy. This device allowed us to manipulate the moment of the haptic feedback during a tapping action, i.e. the moment when the force feedback was applied on the stylus. When the force feedback is applied at a constant level, everything happens in exactly the same way as when tapping on a real surface. When the force feedback is delayed, however, it is as if the surface moves to another level. Our question concerned the ability of the subjects to adapt their movement after a distortion in the haptic feedback, and whether this was possible both when the haptic distortion was detected (supraliminal) and undetectable (subliminal). Second, we checked to which amount varying quantities of distortions affected the feeling of control.

We conducted two experiments. The first one was designed to validate the method with both supraliminal and subliminal distortions. The supraliminal distortions were relatively large to ensure their detectability, and to check that subjects adapt their trajectories after such distortions, and that the distortions affect the feeling of control. It is known, however, that subjects adapt their judgments and the grain of their perception to the whole range of the stimuli they are exposed to (Dean, Harper, & McAlpine, 2005; Parducci, 1965). When we do a movement, we will first aim at correcting the most evident malfunctions. Hence, small distortions might be ignored in the context of large ones. In order to check the effect of subliminal distortions more closely, we thus conducted a second experiment in which distortions were always subliminal. We checked whether in this context, subjects adapted their trajectories like for large distortions, and to which amount even subliminal distortions have an effect on the feeling of control. We additionally checked the possible relationships between the kinematic characteristics of the action with the feeling of control, to check if the feeling of control was influenced mainly by the conscious or unconscious detection of a distortion, or also by properties associated with the programming and execution of the action.

2. Methods

Two versions of the experiment were conducted on separate groups of participants. In Experiment 1, we used subliminal and supraliminal distortions of the haptic feedback, and in Experiment 2, we used only subliminal distortions.

2.1. Participants:

Two separate groups of twelve participants from the University of Strasbourg took part in the experiment. All were without neurological, psychiatric, rheumatologic or traumatic history. All participants were right-handed as assessed by the Edinburgh handedness questionnaire (Oldfield, 1971), and did not have any particular abilities in sports or music practice. They were not familiar with the purpose of the experiment. Each participant took part in two sessions of one hour duration on two separate days. In Exp. 1, the twelve participants (3 men, 9 women) had from 22 to 40 years of age ($M=25.2$, $SD=4.9$). In Exp. 2, the twelve participants (9 men, 3 women) had from 22 to 26 years of age ($M=23.9$, $SD=1.6$).

The protocol was approved by the local ethics committee, and all subjects gave their informed written consent prior to testing, in accordance with the recommendations of the Declaration of Helsinki.

2.2. Apparatus:

We used a haptic device that allowed participants to touch a virtual surface via a stylus (The Geomagic® Touch™ Haptic Device, Geomatic Solutions, Morrisville, USA). This device comprises a motorized arm that can be used to apply a force feedback on a stylus, thus reproducing the haptic feedback occurring when touching a real surface. The participant held the stylus with his/her right hand, like a pen (Figure 1), and could move it in the three dimensions of the space, with six degrees of freedom. The device allows a 3DOF force feedback. The device is programmed with the OpenHaptics Toolkit (Geomagic Solutions), and additional programming in C++ was realized by AH and AC. A portable PC (Dell Computer Corporation) running an Intel Core 2 Duo processor, controlled the device and was used to collect data. The Phantom was connected to the laptop using Firewire connection. The spatial coordinates of the stylus (in the X, Y and Z axes) and the force created by the device were recorded at a sampling rate of 1600 Hz with a position resolution of 450 dpi.

We verified the timing precision of the Phantom by systematically measuring the time between the moment the stylus crosses the reference surface, and the start of the force feedback. The difference for the 0, 15 and 65 ms delays was respectively: -0.2 ms (SD=0.4); 15.1 ms (SD= 1.2); 65.1 (SD=1.4).

Participants were seated in a comfortable chair, with the right elbow resting on a memory foam cushion garnished armrest. The haptic device and participants' right forearm were dissimulated in a box, in order to preclude visual feedback. Participants were asked to look at a fixation point ahead of them.

2.3. Stimuli

The device was programmed so that participants could feel a horizontal virtual surface with the stylus. Participants performed pointing actions: they held the stylus between their fingers, like a pen, and made vertical movements with the forearm, mobilizing their elbow only. They were instructed to do a quick movement, starting about 100 mm higher than the virtual surface, in order to touch the surface the most briefly possible, and lift up the stylus again. If the movement began less than 60 mm above the virtual surface, the participant was warned by a sound and the movement had to be done again. During training, the surface was at a constant height, i.e. 50 mm above the surface of the table on which the device stands. In the following, we call this surface the ‘reference’ surface, in contrast with ‘manipulated’ virtual surfaces. Indeed, in some trials during the experiment, the height of the virtual surface was manipulated, leading to a distortion of the haptic feedback. This was done by introducing a temporal delay in the haptic feedback, i.e. by postponing the haptic delay. Hence, the delayed virtual surfaces were lower in comparison with the reference surface (Figure 1). The delays were either of 15 ms or 65 ms in Exp. 1, leading to the conditions called ‘15 ms distortion’ and ‘65 ms distortion’ in the remaining of the text, and 15 ms in Exp. 2. The haptic feedback delay of 15 ms was chosen after preliminary studies that showed that participants did not consciously perceive it, in contrast with the delay of 65 ms, which was consciously perceived. Note that, as the delay was time-locked, the distance between the delayed surface and the reference surface could vary according to the speed of the movement.

2.4. Procedure

In each session of the experiment, participants had to make runs of several pointing actions. Each pointing action (named trial in the descriptions) was followed by a refractory period of 1 s, during which participants were instructed to wait in the starting position (stylus in the upper position). They had to begin the next movement after an auditory signal.

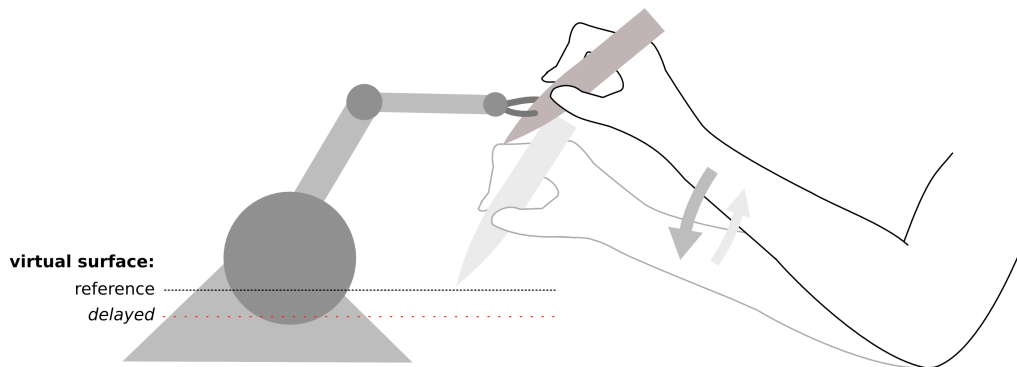


Figure 1: Representation of the phantom device and the virtual surfaces. The stylus is held by the participant's right hand, and the participant has to make a pointing action with the elbow in order to touch the virtual surface. In some of the trials, the haptic feedback is delayed by 15 or 65 ms, leading to a lower surface. The delay is respectively unconscious or conscious.

Participants were not warned about the presence of a possible distortion in some trials. They were instructed to make pointing actions, and they were asked to execute the action as regularly as possible, i.e. in a fashion as similar as possible from trial to trial. First, a training of 40 trials without distortion allowed participants to get used to the device and allowed the experimenter to check that participants made the pointing actions properly. Then, participants completed the three sessions procedure.

The first session (*'Single Change'*) assessed the pointing action parameters before and after a distortion of the haptic feedback. The participants performed 36 runs of 15 trials. During some runs, a distortion occurred in the 6th, 7th or the 8th trial of the run (the first trial with a delayed haptic feedback, abbreviated D-trial), and the surface remained at the same height for the last trials of the run. In Exp. 1, in one third of the runs (12) the delay was set at 65 ms, in one third at 15 ms, and in one third there was no delay (total of 36 runs). In Exp. 2, in half of the runs (12) the delay was set at 15 ms, and in the other half there was no delay (total of 24 runs). All trials were performed in a randomized order. The first trials of the run allowed the stabilization of the pointing action. The fact that the distortion occurred in one among three possible trials (6th, 7th or 8th) ensured its occurrence was unpredictable. In the

result section, the position of the trials within the run will be given relative to the distortion: the trial in position 0 is the first trial with the first distortion (D-trial); trials before the distortion will be attributed a negative position, and trials after the distortion will be attributed a positive position.

The second session (*'Multiple Change'*) evaluated the influence of a delayed haptic feedback on the feeling of control. Participants performed runs of 5 trials. In Exp. 1, there were 64 runs, with 16 runs without any distortion, 24 runs with 15 ms distortions and 24 runs with 65 ms distortions. In Exp. 2, the 40 runs comprised 16 runs with no distortion and 24 with 15 ms distortions. The number of trials per condition was determined by how the haptic feedback was manipulated. We considered subjects would be mainly disturbed by discrepancies from trial to trial. We thus took into account the number of transitions of the surface from one level to another. For example in a run of 5 trials, if the haptic feedback was delayed by 65 ms in the four first trials, and if there was no delay in the last trial, we counted one transition. In this case indeed, it can be considered that the manipulated surface becomes a reference for the subject. During the runs with distortions, the number of transitions varied from 1 to 3, and there were 8 trials for each number of transitions, leading to a total of 24 trials for each delay. The delay remained the same in a given run – 15 or 65 ms for Exp. 1 and 15 ms for Exp. 2). After each run of five trials, participants gave a subjective rating of their feeling of control during the run, by indicating their rating on an analogic visual scale. Participants were told that the device was being calibrated for future use as a pointing device, and the concept of feeling of control was explained using a comparison with a computer mouse. A mouse can respond more or less correctly to the movements of the hand, leading the user to feel more or less in control of the pointer on the screen. The participants had to determine if they felt that they controlled the device correctly when doing pointing movements to touch the surface. The ratings were between 0 and 10, with 0 for the worse feeling of control, and 10 for the best.

The third session was designed to measure the detection threshold of the haptic feedback delay. The participants were informed at this stage only that the haptic feedback was sometimes delayed. The procedure was the same as for Exp. 1 and Exp. 2. Participants performed runs of two trials, and they had to compare the two successive surfaces. For the

first trial of the run the surface was at the reference height, and the second surface was delayed or not, depending on the trials. Participants had to indicate, by pressing on foot pedals, if the two successive surfaces were positioned at the same or at different levels.

The threshold was first measured with a staircase procedure (Levitt, 1971). The first delay was easily detectable (115 ms), and was subsequently adapted. It was decreased by steps of 15 ms if a correct difference detection had been made at the preceding trial, and increased by steps of 15 ms if the difference had not been perceived. After four inversions of response (changing from same to different or vice versa), the test was stopped. A second threshold measurement was conducted using the constant stimuli method. Participants made a level comparison in 60 pairs of trials, with 20 pairs per delay used in the first phases of the experiment (no delay, 15 ms or 65 ms). The order of the trials was randomized.

2.5. Trajectories analyses

The pointing action was composed of a descending phase, a contact with the surface and an ascending phase. Trajectories were analyzed using the Matlab software with the signal processing toolbox (R2010b, The MathWorks, Inc.). We filtered the data with a second-order dual-pass Butterworth filter by using a 6-Hz low-pass cutoff frequency. With the spatial coordinates, we were able to determine the position, velocity and acceleration of the stylus at a sampling rate of 1600 Hz. For each trial, we calculated the deceleration time (DT) and the height of the deceleration start (HD). DT was the time between the maximum velocity point and the contact. The DT corresponds to the duration between the start of the deceleration (maximum of speed) and the contact with the surface. It is expected to reflect the anticipation of the contact (Collins & Barnes, 2009; Smiley-Oyen, Lowry, & Kerr, 2007). In the first distorted trial in a run (D-trial), the virtual surface is lower than the reference surface, and the DT is automatically increased as compared to the D-1 trial, by the delay value (65 or 15 ms). Our aim was to check how this parameter was adapted after the D-trial. Since it reflects anticipation, it should be adapted if the distortion is taken into account. The height of the deceleration start (HD) is a complementary parameter of this deceleration phase and corresponds to the distance from the start of the deceleration to the reference surface level. HD reflects the height at which participants begin to decelerate, and thus the length in space of the deceleration phase relative to the reference surface. Figure 2 displays a typical

trajectory during the descent phase of the pointing action, and illustrates the movement parameters.

Trials with an atypical trajectory were excluded from the analyses. Especially, we excluded trials with a trajectory showing an hesitation of the participant during the descent. This hesitation was determined by the fluctuations of the acceleration during the deceleration. We used the jerk, which is the derivative of the acceleration, as a criterion for these atypical trajectories. When there was more than one transition from positive to negative jerk during the descent phase, the trial was excluded from analyses.

2.6. Statistical analyses

Repeated measures analyses of variance (ANOVA) were performed. In the ‘*Single Change*’ session, the dependent variables were the median of the DT (deceleration duration) and the median of the HD (deceleration height), with distortion delay (0, 15 or 65 ms) and relative position in the run as within-group factors. In the ‘*Multiple Change*’ session, the dependent variable was the rating of the feeling in control, with distortion delay and number of transitions as within-group factors. In the ‘*Multiple Change*’ session we also performed correlations between the ratings of the feeling in control and the movement parameters in the run. In the third session (aimed at evaluating the ability to detect distortions), the threshold measured with the staircase method corresponded to the mean of the delays applied in the three last trials. In the constant method, we applied signal detection theory and calculated the discrimination index d' for each delay (a correct detection of a delay was considered as a hit and an incorrect detection of a delay in the absence of any delay was considered as a false alarm).

3. Results

3.1. Experiment 1

One participant did not do the movements correctly: movements were slow and the analysis of trajectories showed that the movements were irregular, as if the participant was groping to find the contact with the surface. The results of this participant were discarded.

For the other participants, trial selection for atypical trajectories was applied. In the ‘*Single Change*’ session, the proportion of excluded trials was 5.1% (SD=4.8). In the ‘*Multiple Change*’ session, the proportion of excluded trials was 5.4% (SD=3.6).

3.1.1. Movement adjustment after a distortion of the haptic feedback

a. General characteristics of the movement

The mean height of the movements was of 96 mm (SD=13.6). The mean movement duration (descending phase) was 423 ms (SD=47.3), with a mean deceleration time of 183 ms (SD=56.1). The mean maximum velocity was 427 mm.s⁻¹ (SD=49.5). The mean contact time was 107 ms (SD=25.1). In the following part, we will present results of analyses on DT and HD during different parts of the runs: before, during, and after the distortion. Graphical representations of these parameters evolution during the runs are displayed in Figures 3 and 4 respectively.

Please note that, as the distortion occurred either in the 6th, 7th or 8th position, only two third of the runs contained a trial numbered -6 or 8; and one third a trial numbered -7 or 9. These trials were not included in the following statistical analyses of the Single Change session.

b. Characteristics of the trajectory before the distortion

The five trials before distortion (-5 to -1) were analyzed. An ANOVA on DT found neither significant effect of distortion delay ($F(2,20)=1.42$, $p=0.27$) nor effect of position ($F(4,40)=1.15$, $p=0.35$), nor interaction ($F(8,80)=1.10$, $p=0.37$). The analysis on HD found no significant effect of distortion delay ($F(2,20)=1.85$, $p=0.18$), position ($F(4,40)=0.91$, $p=0.47$), or interaction ($F(8,80)=0.40$, $p=0.91$). The absence of differences according to delay indicates that subsequent differences could not be explained by an initial baseline difference. The lack of interaction with position suggests that DT and HD were stable before the distortion, as illustrated in Figure 3 and 4.

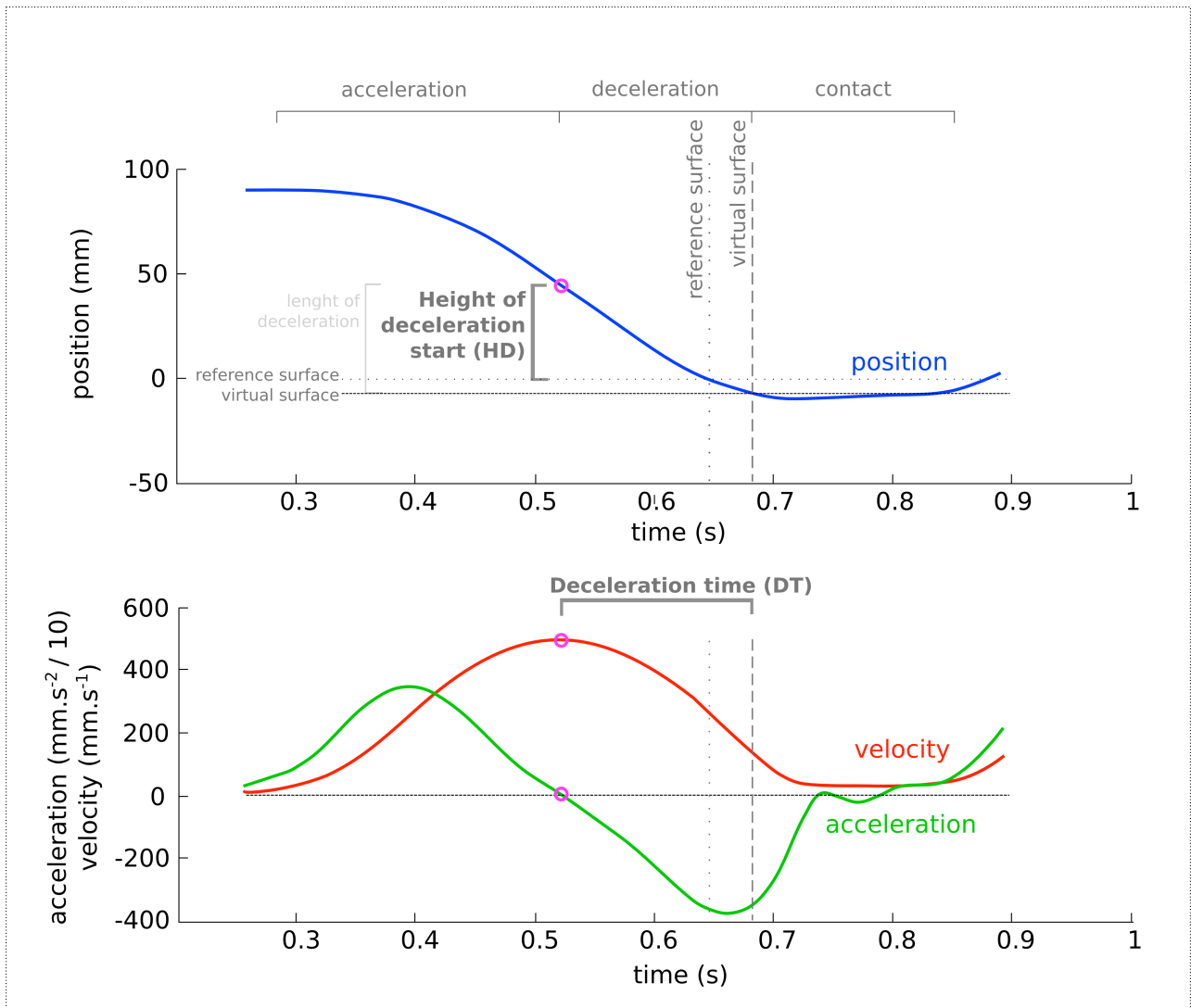


Figure 2: Graphical representation of the position, the velocity and the acceleration in a typical trial after distortion. The movement parameters used to estimate the anticipation of the contact are the deceleration time (DT) and the height of deceleration start (HD). Note that the HD was calculated relatively to the reference surface (see more details in text).

c. Effect of the distortion

The effect of the distortion was evaluated by comparing the difference of DT and HD in the D-trial between the delayed and no-distortion conditions. For DT, in case of a 65 ms distortion, the difference with the no-distortion condition was 67.2 ms (SD=28) ($F(1,10)=59$, $p<.001$). For the 15 ms distortion, the difference was 13.3 ms (SD=23) ($F(1,10)=3.6$, $p=0.08$). These results showed that participants' deceleration time was increased for a duration equivalent to the applied delay (65 or 15 ms) (Figure 3). Considering the HD, the differences

between the no-distortion condition and distortion conditions were not significant, both for the 65 ms distortion (1.29 mm (SD=7.8); $F(1,10)=0.29$, $p=0.60$) and for the 15 ms distortion (-1.67 mm (SD=7.79); $F(1,10)=1.1$, $p=0.30$). This shows that the participants began to decelerate at the same height in the D-trial whatever the condition (Figure 4). We obtained similar results if we compared the mean value in trials from -5 to -1 and the D-trial for DT or HD. These results suggest that for the first distortion, the contact with the surface was anticipated as in the previous trials. Any motor adjustment after the D-trial can thus be considered as reflecting the adaptation to the distortion.

d. Adjustment after the distortion

The adjustment after the distortion was evaluated by comparing the parameters of the movement from the D-trial to the trial 7.

Deceleration time (DT)

An ANOVA performed with distortion delay and relative position as within-group factors found a significant effect of distortion delay ($F(2,20)=15.38$, $p<0.001$) and position ($F(7,70)=3.34$, $p<0.005$). There was also a significant interaction between distortion delay and position ($F(14,140)=4.38$, $p<0.001$) (Figure 3). Sub-analyses examined the evolution of DT with the position for each condition. At 65 ms delay, the analysis found a significant effect of position ($F(7,70)=8.18$, $p<0.001$), reflecting that the anticipation was adapted after the 65 ms distortion. The same analyses on 15 ms and no-distortion conditions were not significant (respectively $F(7,70)=0.43$, $p=0.88$ and $F(7,70)=1.17$, $p=0.33$).

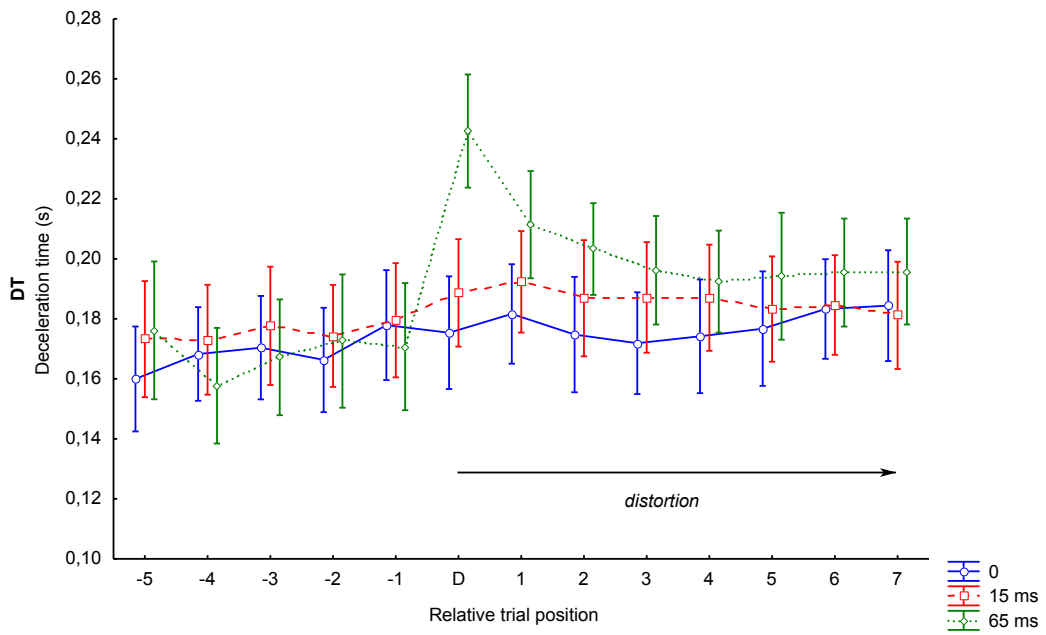


Figure 3: Experiment 1: Median deceleration time according to the relative position to the trial, for each distortion delay.

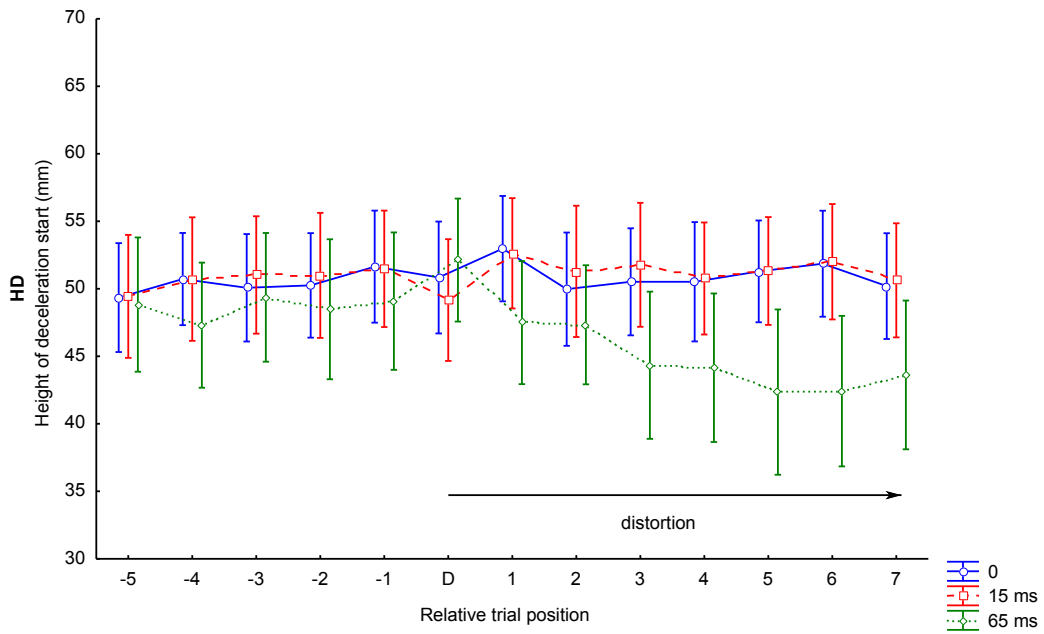


Figure 4: Experiment 1: Height of deceleration start according to the relative position of the trial, for each distortion delay.

Height of deceleration start (HD)

We found a significant effect of distortion delay ($F(2,20)=11.0$, $p<0.001$), position ($F(7,70)=2.33$, $p<0.05$), and a significant interaction between distortion delay and position ($F(14,140)=3.19$, $p<0.001$). A sub-analysis on the 65 ms condition found a significant effect of position ($F(7,70)=4.45$, $p<0.001$). The deceleration started lower after a 65 ms distortion, and this effect increased during the run after the distortion. Conversely, the analysis comparing 15 ms distortion and no-distortion condition found no significant effect of position (respectively $F(7,70)=0.89$, $p=0.52$ and $F(7,70)=1.22$, $p=0.30$).

The HD reflects the height of the deceleration start, but not the distance traveled during the deceleration phase. To evaluate this distance, we have to consider the distance between the point of deceleration start and the actual virtual surface (instead of the reference surface). For the D-trial, the deceleration length increased automatically, because of the first delay. When considering the trials from the D-trial to the trial 7, we found a significant effect of delay ($F(2,20)=28.8$, $p<0.001$), but no effect of position ($F(7,70)=0.9$, $p=0.50$) or interaction between delay and position ($F(14,140)=0.95$, $p=0.51$). Sub-analyses were conducted for each distortion delay. There was no significant effect of position (65ms: $F(7,70)=0.74$, $p=0.64$; 15 ms $F(7,70)=1.12$, $p=0.36$; no-distortion: $F(7,70)=1.24$, $p=0.29$). This reflects that the deceleration length remained stable for all the conditions, but with a longer length after 65 ms distortion (60.5 mm, $SD=14.3$) than for 15 ms distortion (54.4 mm, $SD=13.3$) and no-distortion (51.0 mm, $SD=13.1$). Taking together results of HD and deceleration length, the fact that participants started to decelerate progressively lower, while the deceleration height remained stable, shows that the actual virtual surface was progressively lower after the distortion. Since the imposed delay remained constant, this means that participants tend to increase the speed from trial to trial after the distortion.

3.1.2. Impact of the distortion of haptic feedback on the feeling in control

a. Characteristics of the movement

The mean height of the movements was of 104 mm ($SD=25.6$). The mean movement duration (descending phase) was 448 ms ($SD=106$), with mean deceleration duration of

183 ms (SD=74.2). The mean maximum velocity was 447 mm.s⁻¹ (SD=105). The mean contact time was 123 ms (SD=31.0).

b. Ratings of the feeling in control

All conditions confounded, the mean rating of feeling of control was 7.5 (SD=0.78). We performed an ANOVA with number of distortions as within-group factor with four levels (0, 1, 2, 3) for each distortion delay. Considering the 15 ms distortion, the ANOVA did not show significant differences ($F(3,30)=1.77$, $p=0.17$). Conversely, considering 65 ms distortions, the ANOVA showed a significant effect of the number of transitions ($F(3,30)=11.3$, $p<0.001$). A post-hoc test (HSD Tukey) showed that the no-distortion condition led to a significantly higher rating of feeling in control than 1, 2 or 3 transitions (respectively $p<0.01$, $p<0.001$ and $p<0.005$) (Figure 5).

These analyses were also performed taking into account the number of distorted trials, instead of the number of transitions between levels of virtual surface. For example, when there was one transition of level, there could be one or four delayed trials in the run. The results were similar (not shown), with a decrease of feeling of control in case of a delay of 65 ms.

c. Ratings of the Feeling of control according to anticipation parameters.

We performed correlations between anticipation parameters (DT and HD) and the feeling of control in each delay condition. The median of DT or HD in each five-trial run was plotted against the rating of the feeling in control. The correlations results are listed in Table 1. We found a significant correlation for DT when there were 3 transitions of the level of surface, or when all transitions were grouped: the longer the deceleration, the higher the rating of feeling of control. For HD, significant correlations were found whatever the number of transitions for the 65 ms distortion condition. The higher the deceleration starts, the higher was the feeling of control. A scatterplot of the feeling in control rating as a function of DT or HD, for all transitions condition is displayed in figure 6.

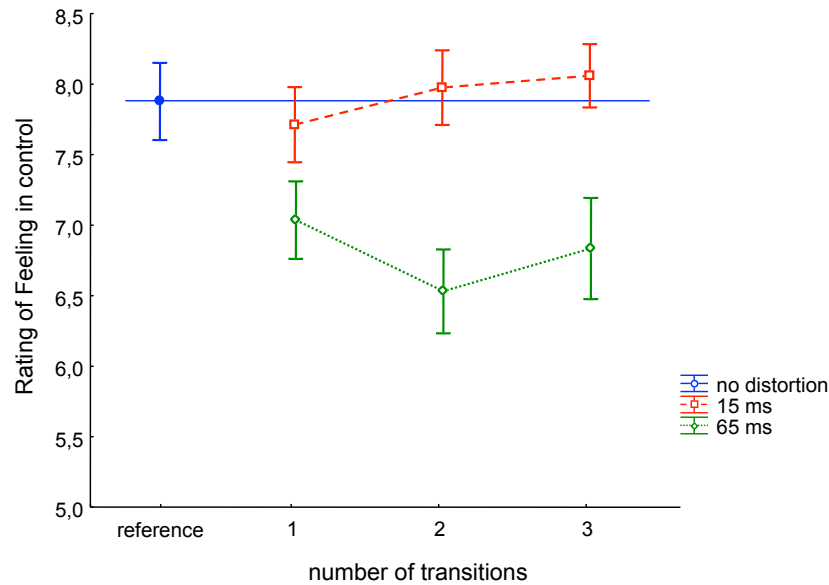


Figure 5: Experiment 1: ratings of the feeling in control according to the distortion condition and the number of transitions in the session ‘Multiple Change’

Table 1: correlations between movement parameters in a run in *Multiple Change* session and ratings of feeling in control.

	Transitions	r	p
DT	no distortion	-0.01	0.88
	1 transition of 15 ms	0.02	0.86
	2 transitions of 15 ms	-0.08	0.43
	3 transitions of 15 ms	-0.11	0.30
	<i>all 15 ms transitions</i>	-0.08	0.18
	1 transition of 65 ms	0.12	0.25
	2 transitions of 65 ms	0.09	0.38
	3 transitions of 65 ms	0.30	0.003 *
	<i>all 65 ms transitions</i>	0.17	0.005 *
HD	no distortion	0.06	0.38
	1 transition of 15 ms	0.04	0.68
	2 transitions of 15 ms	0.006	0.52
	3 transitions of 15 ms	-0.07	0.53
	<i>all 15 ms transitions</i>	0.02	0.79
	1 transition of 65 ms	0.21	0.03 *
	2 transitions of 65 ms	0.24	0.02 *
	3 transitions of 65 ms	0.34	<0.001 *
	<i>all 65 ms transitions</i>	0.25	<0.001 *

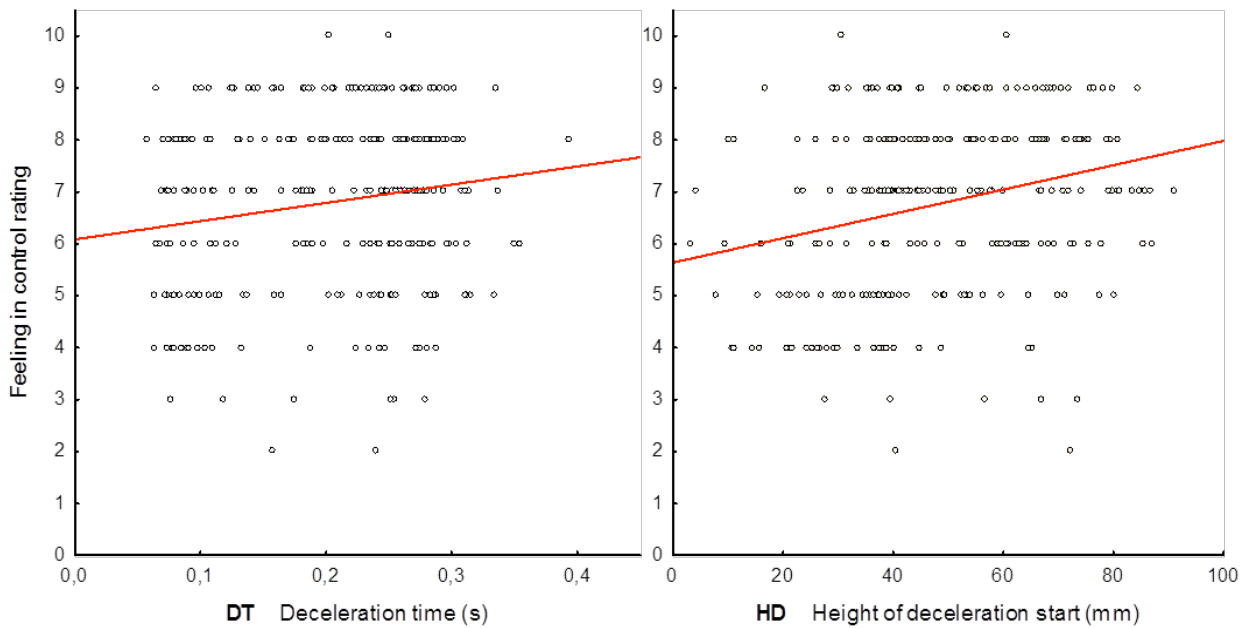


Figure 6: Feeling in control rating as a function of deceleration time (DT) and height of deceleration start (HD), for 65 ms distortion delay. Each point represents the median of DT/HD according to the feeling in control rating.

d. Movement parameters according to distortion conditions

We performed an ANOVA with median DT as a dependent variable and the distortion delay and the number of transitions as within-group factors. We showed a significant effect of distortion delay ($F(2,20)=14.8, p<0.001$), with a longer DT with 65 ms distortions (194 ms vs. 173 ms in the 15 ms condition and 170 ms in the no-distortion condition), but no other effect. The same analysis on HD showed no significant effect. This means that the correlation between the deceleration and the feeling of control is not a trivial consequence of increased HD and DT when there is less distortion.

3.1.3. Assessment of distortion delay awareness

Using the staircase method, the mean estimated threshold of detection was 60 ms, ranging from 30 ms to 90 ms.

With the constant method, the mean d' for the 15 ms distortion was 0.29 (ranging from -0.61 to 0.92, t-test against 0, $t(10)=2.14, p=0.06$) and the mean d' for the 65 ms distortion

was 2.26 (ranging from 0.8 to 3.6, t-test against 0, $t(10)=7.79$, $p<.001$). The d' for the two distortion delays were statistically different ($t(10)=-6.55$, $p<0.001$). For all participants d' for the 65 ms distortion was larger than the d' for 15 ms distortion (mean difference 1.96, ranging from 0.42 to 3.24).

3.2. Experiment 2

In the '*Single Change*' session, the proportion of excluded trials was 2.3% (SD=5.1). In the '*Multiple Change*' session, the proportion of excluded trials was 6.1% (SD=7.7).

3.2.1. Movement adjustment after a distortion of the haptic feedback

a. General characteristics of the movement

The mean height of the movements was of 98 mm (SD=43). The mean movement duration (descending phase) was 501 ms (SD=104), with a mean deceleration duration of 252 ms (SD=130). The mean maximum velocity was $391 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ (SD=144). The mean contact time was 133 ms (SD=78).

As in Experiment 1, trials -7, -6, 8 and 9 were not included in the following statistical analyses of the '*Single Change*' session. Graphical representations are provided in Figure 7 for DT and Figure 8 for HD.

b. Characteristics of the trajectory before the distortion

As in Exp. 1, the trajectory was rapidly stabilized in the beginning of the run. Indeed, the ANOVA conducted on DT and HD, regarding the five trials before distortion, found neither a significant effect of distortion delay nor an effect of position, and no interaction.

c. Effect of the distortion

The mean difference between the DT for the no-distortion and the 15 ms conditions was 18.7 ms (SD=31) ($F(1,11)=4.19$, $p=.065$). It suggests that participants' deceleration time was increased by a duration equivalent to the applied distortion delay (15 ms) (Figure 7). The

mean difference between the HD for the no-distortion and the 15 ms conditions was 1.44 mm (SD=6.3) ($F(1,11)=-.78$, $p=.45$), showing that the deceleration started at the same height in the D-trial whatever the distortion (Figure 8).

d. Adjustment after the distortion

The adjustment after distortion was evaluated by comparing the parameters of the trial 0 to the trial 7.

Deceleration time (DT)

An ANOVA performed with distortion and relative position as factors showed no significant effect of distortion ($F(1,11)=1.08$, $p=0.32$) nor position ($F(7,77)=0.82$, $p=0.57$), nor interaction between distortion and position ($F(7,77)=0.83$, $p=0.56$) (Figure 7).

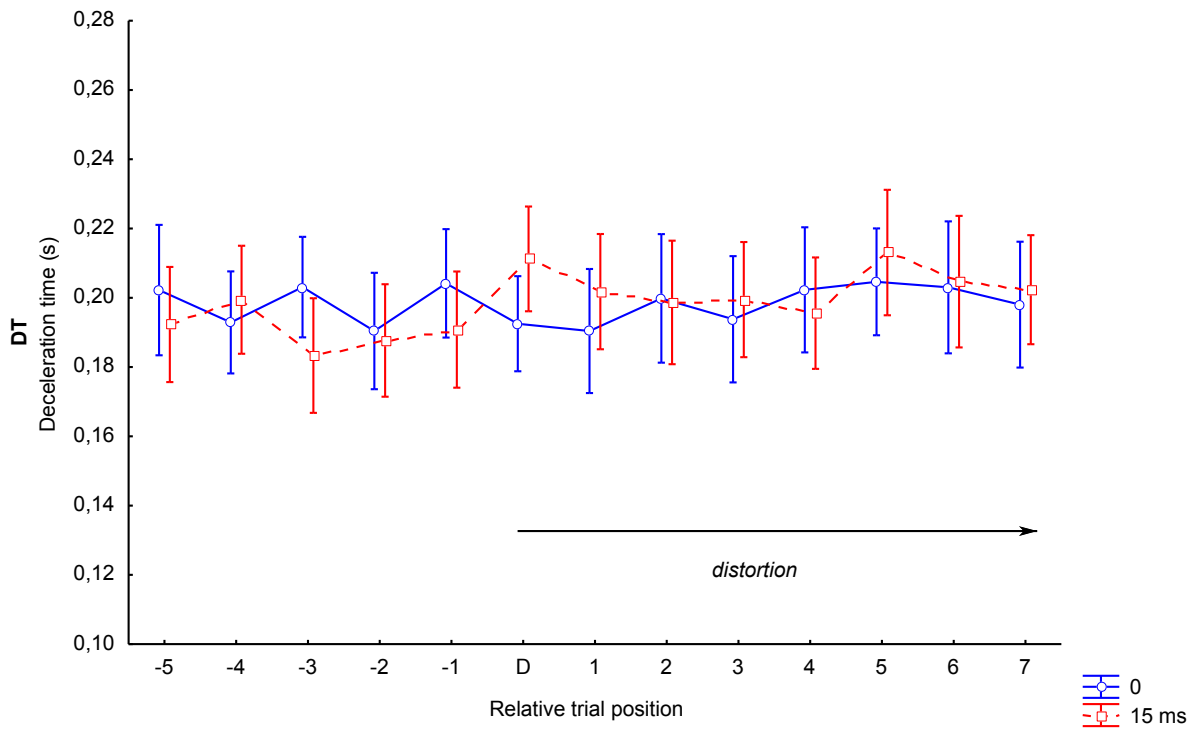


Figure 7: Experiment 2: Median deceleration time according to the relative position to the delay.

Height of deceleration start (HD)

We found no significant effect of distortion ($F(1,11)=0.29$, $p=0.60$), of position ($F(7,77)=0.73$, $p=0.65$), and no significant interaction between distortion and position ($F(7,77)=0.49$, $p=0.84$) (Figure 8). However, the graph suggests a small and very fast adaptation, and we performed a sub-analysis with an ANOVA for position 0 and 1 in the 15 ms condition. This analysis showed a significant effect of the position ($F(1,11)=6.01$, $p<0.05$), suggesting that the deceleration began significantly lower in the trial immediately following the distortion.

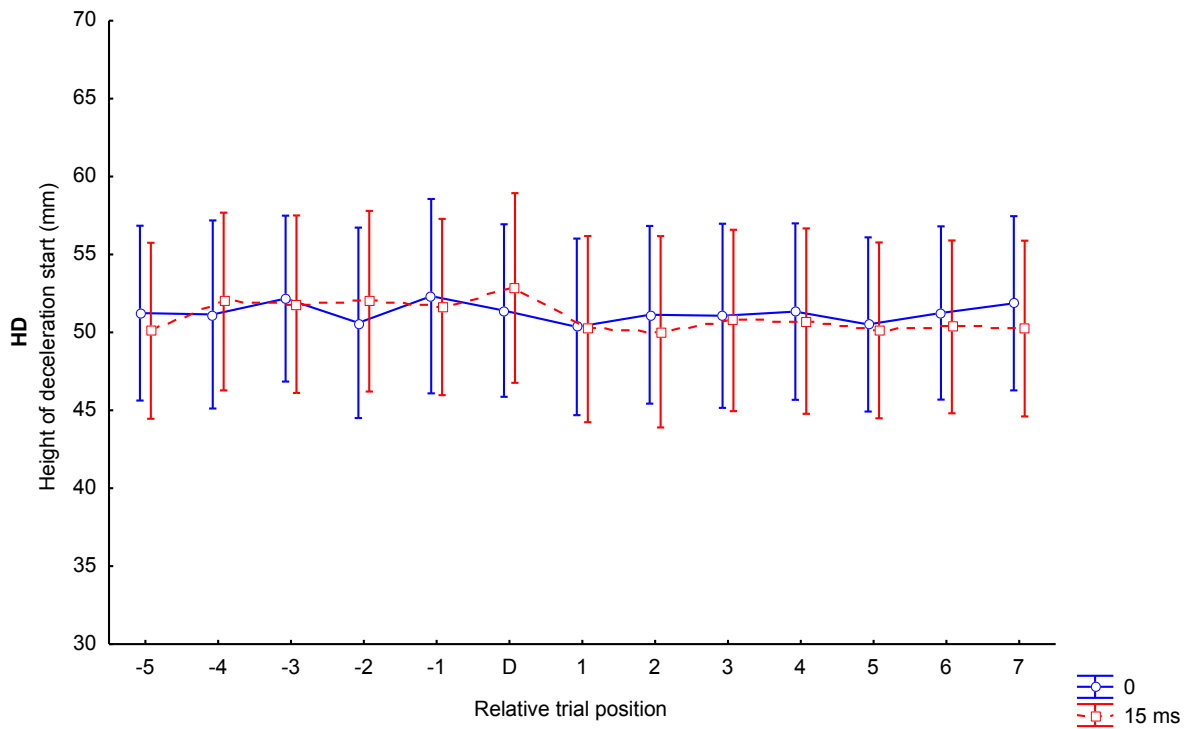


Figure 8: Experiment 2: Height of deceleration start according to the relative position of the trial.

3.2.2. Impact of the distortion of haptic feedback on the feeling in control

a. Characteristics of the movement

The mean height of the movements was of 97 mm (SD=19). The mean movement duration (descending phase) was 464 ms (SD=103), with a mean deceleration duration of 217 ms (SD=90). The mean maximum velocity was 389 mm.s⁻¹ (SD=89). The mean contact time was 146 ms (SD=51).

b. Ratings of the feeling in control

All conditions confounded, the mean rating of feeling of control was 6.3 (SD=2.3). The ANOVA showed a significant effect of distortion condition ($F(3,30)=4.3$, $p<0.05$), and a post hoc test (HSD Tukey) showed that the ratings in the condition with 15 ms distortions were significantly lower than the rating in the condition with no distortion. This indicates that the feeling of control was lower when there were transitions (Figure 9).

c. Feeling of control judgments according to anticipation parameters.

The correlations are listed in Table 2. We found a significant correlation between feeling in control rating with DT for 15 ms distortions, showing that the longest the deceleration, the higher is the rating. The other correlations were not significant. If we consider only the runs with a DT higher than 200 ms, the correlation remained significant ($r=0.23$, $p<0.001$).

d. Movement parameters according to distortion conditions

We performed an ANOVA with either median DT or median HD as dependent variable, and distortion delay and number of transitions as within-group factors. For either DT or HD, the analyses showed no significant effect of delay, number of transition, or interaction (all $F_s<1.5$, all $p_s>.25$).

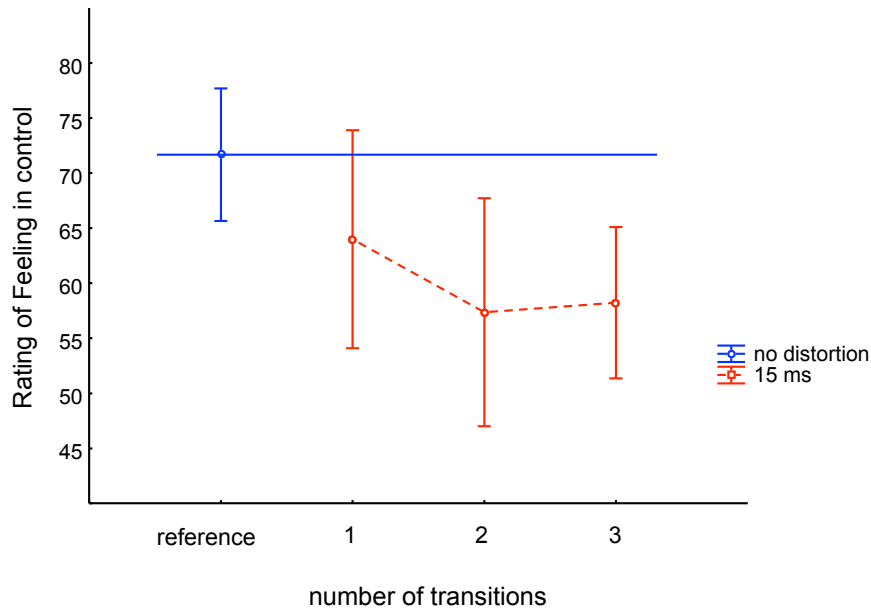


Figure 9: Experiment 2: Feeling in control ratings according to the distortion condition and the number of transitions in *Multiple Change* session, when there are only subliminal distortions.

Table 2: correlations between movement parameters in a run in *Multiple Change* session and ratings of feeling in control.

	Transitions	r	p
DT	no distortion	-0.05	0.52
	1 transition of 15 ms	0.19	0.07
	2 transitions of 15 ms	0.22	0.03 *
	3 transitions of 15 ms	0.19	0.06
	<i>all 15 ms transitions</i>	0.20	<0.001 *
HD	no distortion	-0.07	0.31
	1 transition of 15 ms	0.16	0.10
	2 transitions of 15 ms	0.04	0.70
	3 transitions of 15 ms	0.00	0.96
	<i>all 15 ms transitions</i>	0.07	0.25

3.2.3. Assessment of distortion delay awareness

Using the staircase method, the mean estimated threshold of detection was 48 ms, ranging from 19 ms to 97 ms.

With the constant method, the mean d' for the 15 ms distortion was 0.39 (ranging from 0.0 to 0.8; t-test against 0, $t(11)=5.6$, $p<0.01$).

Even if the staircase method suggested that the 15 ms distortion delay was not perceived, the constant method suggested that at least some participants were able to detect 15 ms distortions. However a decrease of the feeling in control was observed in all subjects. We performed the analysis for the ratings of feeling in control for the 6 participants with the lowest d' (not significantly different from 0, $t(5)=2.5$, $p=0.06$), and we observed that the feeling in control was still significantly different between the no delay, and the three transitions condition ($F(2,10)=6.5$, $p<0.05$) (mean rating: respectively 6.9 (SD=2.2) and 5.7 (SD=2.1)).

4. Discussion

Our virtual reality device enabled us to check whether a pointing action can be adapted after a haptic distortion, and to which extent these distortions affect the feeling of control. The main results show that the deceleration phase is adapted when the haptic feedback is delayed by 65 ms, and that such delays reduce the feeling of control. Similar results are observed after smaller distortions, when the haptic feedback is delayed by 15 ms, but only when these distortions are the only ones experienced by the subject.

Our results thus suggest that in the absence of direct visual or auditory feedback, subjects take into account haptic information to correct their action, and that the sensitivity to these distortions can be quite high, at least when the small distortions are not masked by large ones. The sensitivity to haptic information is also confirmed by the fact that subjects quickly learn to anticipate the virtual surface, as shown by the stability of the deceleration phase in the first trials, and the fact that the deceleration phase increases by the exact amount of the haptic delay. These results are consistent with studies showing that simple motor actions can

be very rapidly stabilized (van Beers, 2009; Verstynen & Sabes, 2011). It is to be noted that in our protocol, pointing actions were separated from each other by a waiting time of one second. This means that prediction required memory, suggesting a role of procedural memory (Cohen & Squire, 1980; Robertson, Pascual-Leone, & Miall, 2004). It is also to be noted that, even if the distortion could be perceptible in the supraliminal condition, the delay remained relatively small, with a lowering of the surface relatively to the reference surface of 12 mm (to compare with a movement amplitude of about 100 mm). The small delay did not preclude the effective contact of the stylus with the virtual surface and avoided a feeling of “falling into a void”. The postponing of the haptic feedback is even smaller in case of a delay of 15 ms. In that case the distortion is so small that the adaptation is barely visible, but it nonetheless affects the feeling of control. The existence of an effect in these conditions makes the sensitivity to the haptic distortion all the more remarkable.

Our results thus generalize previous studies showing efficient adaptations of movement following auditory or visual distortions (Fournieret & Jeannerod, 1998; Knoblich et al., 2004). Contrary to some studies in the literature (Heuer & Rapp, 2012; Müsseler & Sutter, 2009) haptic distortions are not ignored in our study. This can be explained by several differences in our protocol relative to the manipulations used in the literature. First, in our paradigm, not only did we use a haptic transformation, but subjects were prevented from seeing their action by the experimental setting, the phantom being hidden in a black box. Usually, the brain combines information about the location of the body from visual and proprioceptive input (Rossetti, Desmurget, & Prablanc, 1995; van Beers, Sittig, & Denier Van Der Gon, 1999), but there is a dominance for the visual modality for stimuli presented in bimodal modality. This might explain the extinction of the haptic modality in prior studies (Hartcher-O'Brien, Levitan, & Spence, 2010; Revol et al., 2009). This would not happen in our study because visual information is not available. In addition, our instructions emphasized the need to perform as regularly as possible, inciting subjects to focus on haptic information. Finally, the manipulation we used concerned a temporal delay, which might be especially important regarding haptic information. It has been suggested that the timing of movement is indeed especially sensitive to haptic information (Marchal-Crespo & Reinkensmeyer, 2008; Milot, Marchal-Crespo, Green, Cramer, & Reinkensmeyer, 2010). This might also have promoted adaptation.

The fact that time intervenes more than space in our protocol might be discussed, though. As a matter of fact, delaying the haptic feedback implies a postponing of the feedback in time but also a spatial distortion, since the manipulated surface is lower than the reference surface. However, the analysis of the trajectories after a delay shows that only some parameters are corrected. The subjects reduce the duration of the deceleration phase and reach a similar value after adaptation, as compared to the initial values observed before the distortion. In contrast, the distance covered during the deceleration phase remains constant after the distortion, although subjects start to decelerate lower than before the distortion¹. All in all, it seems that the adaptation concerns mainly timing parameters, even though a role for spatial parameters cannot be excluded.

Whatever the temporal or spatial parameters involved in adaptation, our results show that this adaptation is accompanied by a decrease in the feeling of control. The feeling of control was clearly reduced by supraliminal distortions in runs of five trials (*'Multiple Change'* session in Experiment 1). It was also decreased by subliminal distortions in Experiment 2 to the same extent than in the supraliminal condition (about -1.5 points on a 10 points scale). These effects on the feeling of control are probably partly the direct consequences of the distortion, which induces a discrepancy between the predicted and actual haptic feedback. The literature suggests that such discrepancies are affecting the sense of agency (review in Synofzik, Vosgerau, & Voss, 2013). The feeling of control has been suggested to be a subcomponent of the sense of agency (Pacherie, 2008), and might be subtended by this comparison between the actual and real sensory feedback. This is consistent with the fact that distortions affected the feeling of control. Most importantly this effect on the feeling of control does not seem to be a direct and trivial consequence of the conscious detection of a distortion. First, effects on the feeling of control were observed even when distortions were subliminal. The staircase procedure showed that the majority of participants had a threshold above 15 ms. Even if for some subjects the discrimination index d' is higher than 0 for the delays of 15 ms, this was observed while the attention of the

¹ The adaptation of the height at which subjects start to decelerate but the constancy of the total distance can be easily explained by the fact that subjects go faster. Hence the distance covered during the 65 ms delay is larger, and compensates for the lower height at the beginning.

subjects was attracted towards the distortion in the detection session (session 3 in Experiments 1 and 2), whereas in the main experiments, the subjects had not been informed about these distortions. In addition the effect on the feeling of control remained significant even when the subjects with a higher discrimination index were discarded from the analysis (at least when there were three surface changes during a run). Finally the clarity of the effect of small distortions on the feeling of control contrasts with the rather small adaptation phenomena observed in the sessions '*Single Change*'. All in all, the impact of the small distortions appears to be independent of a conscious perception of a discrepancy between the predicted and real sensory feedback.

Interestingly the correlation analyses suggest that the feeling of control involves other mechanisms than the detection of discrepancies between the real and predicted sensory feedback. This is suggested especially by the results concerning the duration of the deceleration phase. The session 2 had shown that this parameter was quickly adapted after a distortion, suggesting that there is an optimal duration for this phase (around 200 ms), corresponding to the anticipation of the surface when subjects have optimized their action. The detection of a discrepancy or a non-optimal action should thus have led subjects to rate their feeling in control as the highest when the deceleration phase had a duration closer to the optimal duration, and the lowest when the duration of the deceleration phase was too long or too short. However, this is not what happened. The correlations showed that in both experiments, the feeling of control increased with the duration of the deceleration phase (DT). The fact that the feeling of control is lower for low values of DT (i.e. under the mean value of DT, that is under 200 ms), was expected, and can be related to insufficient anticipation. The haptic feedback would then come as a surprise. This lack of anticipation might thus underlie a decreased feeling of control. More surprisingly, the correlation for DT values above 200 ms was still significant, at least in Experiment 2. These results mean that the longer the deceleration phase, the more the subjects felt in control, even though such deceleration phases were much longer than optimal deceleration phases. The deceleration reflects the anticipation of the surface: the longer the deceleration phase, the longer the anticipation phase. This means that the feeling of control would not only be influenced by a comparison with an optimal action, but also by the amount of anticipation, i.e. by the extent to which subjects prepare the contact with the surface. A possible confound for this interpretation can be

eliminated by our data. Indeed, it might have been objected to this interpretation that the amount of anticipation was confounded with the amplitude of the distortions. In Experiment 1, the mean duration of the deceleration phase during session 2 was longer when the haptic feedback was delayed by 65 ms than when there was no distortion. However, although significant, the difference was very small (24 ms). Most importantly, the duration of the deceleration phase did not vary with distortions in Experiment 2. Hence the amplitude of the distortions does not explain the link between the duration of the deceleration phase and the feeling of control. These results are consistent with papers suggesting that the sense of agency not only relies on the comparison between the predicted and actual sensory feedback, but also with the preparation of the program motor itself (Desmurget & Sirigu, 2009).

All in all, we observed that haptic distortions led to adaptations of pointing actions even in case of small distortions. These adaptations were accompanied by modifications of the feeling of control, which were based on different factors. A first factor was based on the comparison of the actual and predicted feedback, with a discrepancy leading to a decrease of the feeling of control. Secondly, correlation analyses suggested that the feeling of control was also influenced by the amount of anticipation enabling the subjects to prepare the contact with the surface during the pointing action. The findings are consistent with previous research suggesting that feeling of control is a composite construct, relying on *a priori* factors as intentions, beliefs, and retrospective factors like the comparison between motor prediction and feedback (Pacherie, 2008). Our study further suggests that the feeling of control is also influenced by subliminal distortions of the haptic feedback.

Bibliography

- Cohen, N. J., & Squire, L. R. (1980). Preserved learning and retention of pattern-analyzing skill in amnesia: Dissociation of knowing how and knowing that. *Science*. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1981-26121-001>
- Collins, C. J. S., & Barnes, G. R. (2009). Predicting the unpredictable: weighted averaging of past stimulus timing facilitates ocular pursuit of randomly timed stimuli. *The Journal of Neuroscience*, *29*(42), 13302–13314.
- Dean, I., Harper, N. S., & McAlpine, D. (2005). Neural population coding of sound level adapts to stimulus statistics. *Nature Neuroscience*, *8*(12), 1684–1689.
- Desmurget, M., & Sirigu, A. (2009). A parietal-premotor network for movement intention and motor awareness. *Trends in Cognitive Sciences*, *13*(10), 411–419. doi:10.1016/j.tics.2009.08.001
- Farrer, C., Franck, N., Georgieff, N., Frith, C. D., Decety, J., & Jeannerod, M. (2003). Modulating the experience of agency: a positron emission tomography study. *NeuroImage*, *18*(2), 324–333.
- Farrer, C., & Frith, C. D. (2002). Experiencing oneself vs another person as being the cause of an action: the neural correlates of the experience of agency. *Neuroimage*, *15*(3), 596–603.
- Fourneret, P., & Jeannerod, M. (1998). Limited conscious monitoring of motor performance in normal subjects. *Neuropsychologia*, *36*(11), 1133–1140.
- Franck, N., Farrer, C., Georgieff, N., Marie-Cardine, M., Daléry, J., d' Amato, T., & Jeannerod, M. (2001). Defective recognition of one's own actions in patients with schizophrenia. *The American Journal of Psychiatry*, *158*(3), 454–459.
- Frith, C. D., Blakemore, S., & Wolpert, D. M. (2000). Abnormalities in the awareness and control of action. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *355*(1404), 1771–1788. doi:10.1098/rstb.2000.0734
- Hartcher-O'Brien, J., Levitan, C., & Spence, C. (2010). Extending visual dominance over touch for input off the body. *Brain Research*, *1362*, 48–55. doi:10.1016/j.brainres.2010.09.036
- Heuer, H., & Rapp, K. (2012). Adaptation to novel visuo-motor transformations: further evidence of functional haptic neglect. *Experimental Brain Research*, *218*(1), 129–140.
- Knoblich, G., & Kircher, T. T. J. (2004). Deceiving oneself about being in control: conscious detection of changes in visuomotor coupling. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *30*(4), 657–666. doi:10.1037/0096-1523.30.4.657
- Knoblich, G., Stottmeister, F., & Kircher, T. (2004). Self-monitoring in patients with schizophrenia. *Psychological Medicine*, *34*(8), 1561–1569.

-
- Leube, D. T., Knoblich, G., Erb, M., Grodd, W., Bartels, M., & Kircher, T. T. (2003). The neural correlates of perceiving one's own movements. *Neuroimage*, *20*(4), 2084–2090.
- Levitt, H. (1971). Transformed up-down methods in psychoacoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *49*, 467.
- Marchal-Crespo, L., & Reinkensmeyer, D. J. (2008). Haptic Guidance Can Enhance Motor Learning of a Steering Task. *Journal of Motor Behavior*, *40*(6), 545–557. doi:10.3200/JMBR.40.6.545-557
- Marchal-Crespo, L., van Raaij, M., Rauter, G., Wolf, P., & Riener, R. (2013). The effect of haptic guidance and visual feedback on learning a complex tennis task. *Experimental Brain Research*, *231*(3), 277–291.
- Milot, M.-H., Marchal-Crespo, L., Green, C. S., Cramer, S. C., & Reinkensmeyer, D. J. (2010). Comparison of error-amplification and haptic-guidance training techniques for learning of a timing-based motor task by healthy individuals. *Experimental Brain Research*, *201*(2), 119–131. doi:10.1007/s00221-009-2014-z
- Müsseler, J., & Sutter, C. (2009). Perceiving one's own movements when using a tool. *Consciousness and Cognition*, *18*(2), 359–365.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, *9*(1), 97–113.
- Pacherie, E. (2008). The phenomenology of action: A conceptual framework. *Cognition*, *107*(1), 179–217. doi:10.1016/j.cognition.2007.09.003
- Parducci, A. (1965). Category judgment: a range-frequency model. *Psychological Review*, *72*(6), 407.
- Revol, P., Farnè, A., Pisella, L., Holmes, N. P., Imai, A., Susami, K., ... Rossetti, Y. (2009). Optokinetic stimulation induces illusory movement of both out-of-the-body and on-the-body hand-held visual objects. *Experimental Brain Research*, *193*(4), 633–638. doi:10.1007/s00221-008-1696-y
- Robertson, E. M., Pascual-Leone, A., & Miall, R. C. (2004). Current concepts in procedural consolidation. *Nature Reviews Neuroscience*, *5*(7), 576–582.
- Rossetti, Y., Desmurget, M., & Prablanc, C. (1995). Vectorial coding of movement: Vision, proprioception, or both? *Journal of Neurophysiology*, *74*(1), 457–463.
- Sato, A., & Yasuda, A. (2005). Illusion of sense of self-agency: discrepancy between the predicted and actual sensory consequences of actions modulates the sense of self-agency, but not the sense of self-ownership. *Cognition*, *94*(3), 241–255. doi:10.1016/j.cognition.2004.04.003
- Sigrist, R., Rauter, G., Riener, R., & Wolf, P. (2013). Terminal feedback outperforms concurrent visual, auditory, and haptic feedback in learning a complex rowing-type task. *Journal of Motor Behavior*, *45*(6), 455–472.

- Smiley-Oyen, A. L., Lowry, K. A., & Kerr, J. P. (2007). Planning and control of sequential rapid aiming in adults with Parkinson's disease. *Journal of Motor Behavior*, *39*(2), 103–114.
- Synofzik, M., Vosgerau, G., & Voss, M. (2013). The experience of agency: an interplay between prediction and postdiction. *Frontiers in Consciousness Research*, *4*, 127. doi:10.3389/fpsyg.2013.00127
- Van Beers, R. J. (2009). Motor learning is optimally tuned to the properties of motor noise. *Neuron*, *63*(3), 406–417.
- Van Beers, R. J., Sittig, A. C., & Denier Van Der Gon, J. J. (1999). Integration of proprioceptive and visual position-information: An experimentally supported model. *Journal of Neurophysiology*, *81*(3), 1355–1364.
- Verstynen, T., & Sabes, P. N. (2011). How each movement changes the next: an experimental and theoretical study of fast adaptive priors in reaching. *The Journal of Neuroscience*, *31*(27), 10050–10059.
- Wolpert, D. M. (1997). Computational approaches to motor control. *Trends in Cognitive Sciences*, *1*(6), 209–216.

3. Résultats principaux de l'étude 3

Dans notre étude, nous avons utilisé un dispositif de réalité virtuelle permettant de créer une distorsion, consciente ou subliminale, du retour sensoriel dans la modalité haptique. En enregistrant la trajectoire de la main en temps réel au cours d'un mouvement de pointage, nous avons pu évaluer comment les participants anticipaient le contact avec une surface virtuelle.

Notre étude a montré qu'une action de pointage pouvait être adaptée en se basant uniquement sur le retour haptique, sans retour visuel, avec une anticipation du contact adaptée à la surface. Nous avons montré que même un faible décalage de la surface conduisait à l'adaptation de l'anticipation.

Nous avons ensuite montré qu'une distorsion du retour haptique diminuait le sentiment de contrôle que le sujet avait de son mouvement. De façon assez attendue, le sentiment de contrôle était diminué en cas de distorsions au-dessus du seuil de perception d'un décalage. Mais surtout, nous avons montré que le sentiment de contrôle pouvait aussi diminuer s'il y avait des distorsions subliminales, à condition que ces distorsions soient les seules expérimentées par le sujet.

Nos résultats indiquent que le sentiment de contrôle a plusieurs déterminants. D'une part, il dépend d'une comparaison entre le retour prédit et le retour réel, comme le montre le fait que le sentiment de contrôle baisse en cas de distorsions. Mais il dépend aussi de la perception par les sujets de leur propre adaptation du mouvement. Notamment, si le sujet préparait le contact avec la surface plus tôt, en augmentant la durée de la phase de décélération, au-delà de la valeur qui correspondait à un mouvement stabilisé, il avait tendance à ressentir un contrôle plus important sur son action.

Notre étude a permis de valider l'utilisation du dispositif de réalité virtuelle. Il permet d'analyser l'anticipation motrice, de manipuler le retour haptique et d'en évaluer les effets sur l'adaptation du mouvement et sur le sentiment de contrôle. A notre connaissance, il s'agit de la première fois qu'un dispositif expérimental est utilisé pour réaliser une distorsion subliminale du retour sensoriel dans la modalité haptique. Dans la mesure où cette technique est utilisable pour analyser l'adaptation motrice et le sentiment de contrôle, nous pouvons l'appliquer chez des patients souffrant de schizophrénie.

DISCUSSION GENERALE

Quelle est l'influence de stimuli non conscients sur des processus de haut niveau ? Nos travaux expérimentaux ont montré qu'une amorce non consciente pouvait faciliter la préparation d'un task set, et ceci de manière indépendante d'une facilitation perceptive. Mais, d'une part, l'amorçage requérait du temps pour avoir une action sur la préparation de la tâche, et son action était filtrée par des mécanismes attentionnels. Nous avons aussi montré que des décalages haptiques subliminaux modifiaient le sentiment de contrôle de l'action. Avec ces résultats, nous discuterons du rôle et des limites des influences non conscientes sur des traitements de haut niveau, et nous en arriverons à une réflexion plus générale sur l'interaction entre processus conscients et non conscients. Pour finir, nous envisagerons comment ces résultats peuvent être utilisés pour explorer la question entre processus automatiques et conscients dans la schizophrénie.

1. Un stimulus non conscient peut-il modifier la préparation d'un task set ?

Nous évoluons dans un environnement riche, et de nombreux stimuli sont traités par notre cerveau en permanence. Une bonne part d'entre eux n'accède pas à notre conscience. Si le comportement en cours est complexe, nous avons à changer de tâche mentale régulièrement, en anticipant par une préparation la tâche suivante. Ces mécanismes nous permettent d'atteindre une flexibilité cognitive importante. Est-ce que des indices non conscients peuvent, à notre insu, moduler la préparation d'une tâche ? Nous avons réalisé deux études (Etude 1 et Etude 2) qui suggèrent que l'initiation d'une tâche peut être induite par un stimulus subliminal. Nos études complètent une petite série d'études dont les résultats expérimentaux vont dans le même sens (Mattler, 2006; Lau et Passingham, 2007; Reuss et al., 2011; Zhou et Davis, 2012a). Nos études apportent ainsi une

confirmation expérimentale dans un domaine où les résultats sont très récents, et méritaient d'être répliqués. Mais surtout, nous avons mis en évidence certaines caractéristiques de l'amorçage non conscient de task set, son déroulement temporel et l'intervention de mécanismes attentionnels.

Nous allons d'abord expliquer comment nos résultats complètent les données existantes de la littérature. La première question concerne la manière de différencier amorçage de task set et de répétition ; nous nous focalisons sur cette question parce qu'elle est cruciale pour l'interprétation de nos résultats et ceux de la littérature. A partir de nos données, nous discuterons de manière plus générale des mécanismes et des circonstances dans lesquelles l'amorçage de task set peut survenir.

1.1. Comment distinguer amorçage de task set et amorçage de répétition ?

Nous avons utilisé une méthode originale pour prendre en compte une question récurrente et cruciale, qui est de différencier amorçage de task set et amorçage perceptif. Les études sur l'initiation non consciente de task set ont toutes utilisé un paradigme de permutation de tâche, qui implique pour le sujet d'effectuer au moins deux tâches différentes au cours d'un bloc expérimental. Le changement de tâche selon les essais se faisait en suivant les indications données par un indice présenté en début d'essai. Cet indice était perceptible consciemment, mais pouvait également être précédé d'un indice non conscient. Tout l'enjeu de ces expériences était de vérifier dans quelle mesure cet indice non conscient incitait les sujets à préparer la tâche associée à cet indice. Cependant, la présentation de deux indices consécutifs durant ces tâches, l'un non conscient et l'autre conscient a mené à une question cruciale d'interprétation : l'indice non conscient permet-il d'initier directement un task set ou module-t-il simplement la perception de l'indice conscient. Le fait d'observer une accélération du temps de réponse quand l'amorce est congruente à l'instruction consciente ne suffit pas pour conclure à un amorçage du task set. Une facilitation de l'identification de l'instruction par le stimulus non conscient peut

expliquer l'accélération du temps de réponse. Cette identification facilitée de l'instruction correspondrait à un amorçage de répétition, c'est à dire un amorçage uniquement perceptif (Wiggs et Martin, 1998). Lau et Passingham (2007) avaient rejeté cette interprétation sur la base de l'activation des aires cérébrales liées aux tâches amorcées en condition congruente (par rapport à la condition non congruente). Cependant, comme nous l'avons vu, cet argument d'imagerie n'est pas définitif, et n'exclut pas totalement une explication par le biais d'un amorçage perceptif. Zhou et Davis (2012a) ont proposé une approche différente et innovante. Ils ont proposé d'observer l'amorçage de task set en éliminant toute possibilité d'amorçage de répétition. Pour cela ils ont utilisé une technique d'apprentissage préalable par conditionnement, en faisant associer à chaque tâche une amorce non consciente différente des instructions. Mais cet effet d'amorçage de task set basé sur un conditionnement est fragile, car il disparaît dès que l'association est présentée consciemment (Zhou et Davis, 2012b). Nous avons suggéré que ce conditionnement devait être particulièrement rare dans la vie quotidienne, et que les résultats de Zhou et Davis n'excluaient pas la possibilité d'un amorçage de task set dans des expériences telles que celles menées par Lau & Passingham (2007).

Dans nos études, nous avons utilisé une nouvelle méthode pour distinguer l'amorçage de task set et l'amorçage de répétition, dans le cas où les amorces sont des stimuli auxquels le sujet a été exposé consciemment. Nous avons demandé aux participants de réaliser deux tâches différentes dans deux sessions expérimentales distinctes, tout en utilisant strictement les mêmes stimuli et le même protocole. Nous avons comparé l'évolution des tailles d'effet de l'amorçage de répétition et de l'amorçage de task set en fonction de l'un des paramètres expérimentaux manipulés pendant l'expérience. La technique permet de mesurer si ces manipulations expérimentales influencent de manière différentielle les deux types d'amorçage. Nous avons ainsi montré que l'intervalle de temps entre amorce et instruction était un facteur crucial pour l'amorçage de task set mais pas pour l'amorçage de répétition, et que l'attention modifiait le premier mais pas le second. Nous reviendrons sur ces points. La première conclusion que nous tirons de ces

observations est que l'effet d'amorçage de task set est effectivement une activation directe par un stimulus non conscient de l'initiation d'une tâche.

Mais nos résultats ont été marqués par des tailles d'effet d'amorçage faibles. Reprenons les éléments de nos deux études qui pourraient expliquer l'amplitude limitée de l'effet par rapport à d'autres résultats de la littérature.

1.2. Pourquoi l'effet d'amorçage de task set est-il faible par rapport aux autres études ?

Nos études, même si elles ont mis en évidence un effet d'amorçage de task set, ont retrouvé des effets de faible amplitude : dans nos deux études, l'effet était mesuré entre dix et vingt millisecondes. Par contre, dans les études précédemment citées, les effets étaient de l'ordre de 50 ms (Mattler 2003, 2006), voire une centaine de millisecondes (Lau et Passingham, 2007; Zhou et Davis, 2012a). Nous allons aborder différentes possibilités pour expliquer cette différence importante de taille d'effet, en prenant en compte les paramètres expérimentaux, puis nous proposerons des considérations plus générales sur les conditions de l'amorçage de task set.

Visibilité réduite de l'amorce

Dans notre paradigme, nous souhaitons utiliser des conditions expérimentales strictes, nous assurant ainsi que le stimulus était réellement non conscient. En effet, nous avons discuté ce point méthodologique concernant certaines études de la littérature: nous n'étions pas sûrs du caractère non conscient des amorces, car les mesures objectives de la perception de l'amorce suggéraient une visibilité non nulle (Mattler, 2003, 2006; Lau et Passingham, 2007). Ainsi, dans nos deux études, nous avons utilisé un temps de présentation de l'amorce très court (12 ms). Dans les autres paradigmes, celui de Zhou et Davis (2012a) exclu, la durée des amorces était sensiblement plus longue, de l'ordre de 35 ms. Ensuite, nous avons utilisé un type de masquage différent, qui a montré son

efficacité dans d'autres études (Del Cul et al., 2007). Les autres études d'amorçage de task set avaient utilisé un masquage par métacontraste. Il a été suggéré qu'un masquage par métacontraste parvenait difficilement à un masquage total du stimulus (Francis, 1997). De plus, les stimuli dans ces études étaient des formes pleines, avec un fort contraste avec le fond (contrairement à nos lettres) qui sont donc potentiellement plus difficiles à masquer (Breitmeyer et Ogmen, 2006). Au total, nous avons plusieurs arguments qui suggèrent que notre amorce était masquée plus efficacement que dans les études antérieures. Un signal plus faible pourrait expliquer nos difficultés à observer un effet large d'amorçage de task set.

La diminution importante de la visibilité de l'amorce était renforcée par l'incertitude spatiale sur sa localisation. Dans nos études, les amorces survenaient dans une des quatre positions autour de la croix de fixation, créant une incertitude spatiale concernant la localisation de l'amorce, et diminuant l'accès conscient de l'amorce (Smith et al., 2004). Les études sur l'amorçage de task set recensées dans la littérature ont toutes utilisé une présentation centrale des stimuli. Seules la nôtre et celle de Zhou et Davis (2012a) ont ajouté, en plus d'un masquage, une dimension d'incertitude spatiale. Nous avons dans notre étude un second facteur diminuant l'attention sur l'amorce. Nous ne présentions aucune amorce consciente durant tout le paradigme, et les sujets ne savaient pas qu'une amorce pouvait survenir. Comme l'intervalle entre le début de l'essai et les stimuli était fixe, il est probable que l'attention temporelle des sujets était plutôt orientée sur le moment de la présentation de l'instruction et non sur l'amorce. Ainsi, notre paradigme conduisait à limiter fortement à la fois l'attention spatiale et temporelle orientée sur l'amorce non consciente (Coull et Nobre, 1998).

L'attention influence la capacité du sujet à rapporter la présence d'un stimulus (Foley et Schwarz, 1998). L'inattention peut à elle seule rendre un stimulus non conscient (Mack et Rock, 1998; Dehaene et Changeux, 2011), bien que cette notion soit discutée selon les théories de la conscience (Lamme, 2003; Zeki, 2003). Mais surtout, l'attention conduit à une amplification du signal induit par l'amorce (Desimone et Duncan, 1995; Raz et Buhle,

2006), même si celle-ci est subliminale (Naccache et al., 2002; Sumner et al., 2006; Van den Bussche et al., 2010). L'absence d'attention a pu conduire dans nos études à une absence d'amplification du signal de l'amorce. Au contraire, dans l'étude de Lau et Passingham (2007), l'amorce était toujours centrale, sur la croix de fixation. Dans la partie de leur expérience qui réplique les résultats de Lau et Passingham, Zhou et Davis (2012a) montrent que les effets d'amorçage de task-set sont présents uniquement quand l'attention est orientée vers le stimulus par un indice attentionnel endogène. Selon leur interprétation, que nous suivons, la présence de cet effet attentionnel suggère un effet médié par une amplification du signal transmis par l'amorce. Cette amplification devrait renforcer l'amorçage perceptif induit par l'amorce, et il y aurait au moins une part d'amorçage de répétition dans l'effet comportemental observé par Lau et Passingham (2007).

Dans notre paradigme au contraire, nous proposons que la conjonction d'un masquage fort et de l'inattention spatiale a rendu le stimulus moins accessible et a diminué la taille de l'amorçage. Si les effets attentionnels expliquent la faiblesse de nos effets, pourquoi n'avons-nous pas retrouvé un effet d'amorçage de task set plus important dans notre 2^{ème} étude ? Notre manipulation attentionnelle différait de celle utilisée dans les études de la littérature (Sumner et al., 2006; Van den Bussche et al., 2010; Zhou et Davis, 2012a). Dans l'Etude 2, nous avons utilisé une technique qui ne modifie pas l'orientation de l'attention. Nous avons utilisé un stimulus qui survenait conjointement à l'amorce pour éviter de modifier la perception de l'amorce et l'amorçage de répétition. Au-delà de ce point que nous discuterons plus loin, nos résultats ne nous permettent pas de savoir si l'effet serait plus important si l'attention avait été orientée spatialement vers l'amorce non consciente. Une expérience complémentaire avec un indiçage de la position de l'amorce ou avec des essais conscients et non conscients mélangés apporterait des éléments intéressants.

Un effet d'amorçage de task set limité ?

Nous avons vu que dans nos études nous avons utilisé un stimulus fortement masqué, avec des conditions d'attention minimales, et nous avons supposé que cela pouvait expliquer la faible amplitude de nos effets. Mais une explication simple serait que l'amorçage de task set avec des amorces non conscientes est en lui-même d'intensité limitée. En effet, dans les autres études, l'amplitude des effets est soit potentiellement augmentée par un autre type d'amorçage, soit également de faible intensité. Nous avons proposé que dans l'étude de Lau et Passingham (2007), une part de l'effet comportemental puisse être liée à un amorçage de répétition (de même que dans les études de Mattler, 2003 et 2006). L'étude de Reuss et al. (2011) a éliminé la possibilité d'un amorçage de répétition en utilisant une procédure de libre choix après une amorce non consciente. Mais dans ce cas aussi, elle montrait des effets particulièrement faibles : le biais pour choisir la tâche indiquée par l'amorce non consciente, bien que significatif, n'était que de 2 %. Il faut certainement considérer l'étude de Zhou et Davis (2012a) comme à part, car il s'agit d'une situation particulière de conditionnement, comme nous l'avons évoqué dans la discussion de l'Etude 2.

Au total, nous avons un effet d'amorçage de task set de faible amplitude par rapport à d'autres données de la littérature, pour différentes raisons qui ne sont pas forcément exclusives. Notre amorce était brève et peu contrastée, et l'attention portée sur l'amorce réduite. De surcroît, l'amorçage non conscient de task set est peut-être intrinsèquement limité. Pourtant, si cet effet est limité, nous avons apporté un certain nombre de preuves expérimentales de son existence. Nous allons voir dans la suite ce que nos résultats suggèrent concernant les mécanismes qui sous-tendent l'amorçage de task set.

1.3. Mécanismes de l'amorçage de task set

Quels sont les mécanismes qui sous-tendent l'amorçage de task set ? A partir de nos résultats et des données de la littérature, nous formulons l'hypothèse que deux mécanismes différents pourraient expliquer les phénomènes d'amorçage non conscient de task set. Nous proposons de les différencier. Notons d'emblée que, en l'absence d'expérimentation et de données neurophysiologiques ou d'imagerie, ces réflexions sont largement spéculatives.

Une première possibilité est la situation explorée par Zhou et Davis, dans une série d'expériences rapportées dans deux publications (2012a, 2012b). Le principe de ces expériences était de réaliser un apprentissage totalement implicite de la signification de l'amorce. Pour cela, lors d'une phase d'apprentissage, l'amorce non consciente était présentée de manière toujours congruente avec un son qui indiquait la tâche à réaliser (phonologique ou sémantique). Pendant la phase expérimentale, l'amorce était cette fois associée à une instruction visuelle. Ainsi, il n'y avait ni apprentissage conscient de l'association entre tâche et amorce, ni formation d'un composé associant les deux. La procédure utilisée par les auteurs revient à un apprentissage par conditionnement à l'insu des sujets (Seitz et Watanabe, 2009). Il nécessite forcément un apprentissage par contiguïté temporelle entre amorce et cible, et ne peut se baser sur une connaissance délibérément apprise entre l'amorce et la forme. Cet apprentissage repose sur un mécanisme élémentaire et très automatique, conduisant à la mise en place d'une association de bas niveau entre chaque amorce et l'une des deux tâches de l'expérience (phonologique ou sémantique). Quand l'amorce est présentée ultérieurement, ce conditionnement permet l'initiation de la tâche associée à l'amorce. Une hypothèse neurophysiologique est proposée par Zhou et Davis (2012a) : ils proposent l'existence d'une activation directe par la voie dorsale et le système magnocellulaire du cortex préfrontal (Bar, 2003; Bar et Aminoff, 2003). Cette voie court-circuiterait les régions extra striées, expliquant l'absence de modification attentionnelle du phénomène d'amorçage dans leurs expériences. Dans une seconde étude, Zhou et Davis (2012b) montrent que la présentation de l'association de manière consciente

annule totalement le phénomène d’amorçage de task set. Bien que ce phénomène ne soit pas totalement expliqué, il est probable qu’une fois les amorces rendues conscientes, il est possible d’inhiber leur influence. Des études comme celles de Brass et Haggard (2007) suggèrent en effet que l’inhibition d’un comportement est particulièrement liée aux phénomènes conscients. Tant que les amorces ne sont pas présentées consciemment, elles ne peuvent pas être filtrées (Corbetta et Shulman, 2002). C’est bien la présentation consciente des amorces qui permettrait l’inhibition de leur influence et qui aurait pour conséquence d’éviter tout effet d’amorçage de task set. Cependant, le conditionnement non conscient correspond à une situation probablement rare hors d’une situation de laboratoire : il faudrait qu’un stimulus soit suffisamment fréquemment présenté, sans toutefois jamais parvenir à la conscience. La portée de ces résultats pourrait donc être limitée à des circonstances très particulières.

Ce mécanisme de conditionnement ne s’applique pas à nos résultats. D’une part, nous n’avons pas réalisé de conditionnement pour les sujets. Au contraire, le symbole de l’amorce était utilisé consciemment en tant qu’instruction, ce qui ne correspond pas à la procédure de Zhou et Davis (2012a, 2012b). D’autre part, les résultats de Zhou et Davis ne peuvent pas expliquer la modulation attentionnelle que nous avons observée, dans la mesure où cette modulation attentionnelle est indépendante d’un effet d’amorçage perceptif. Nous proposons un autre mécanisme d’amorçage, dans le cas où le symbole de l’amorce est consciemment associé à un task set. Le stimulus non conscient entraîne une activation proactive (*feedforward*). Cette activation est nécessairement suivie d’un traitement rétroactif (en feedback), mais les boucles de récurrence sont interrompues par le masque (Lamme et Roelfsema, 2000). L’influx nerveux lié à l’amorce est donc rapidement interrompu. Cependant si cet influx est potentialisé, et interprété comme pertinent par le système, via par exemple la présentation d’un son, il n’est pas filtré et peut être transmis plus avant. Nous proposons que l’amorce prenne les mêmes voies que dans le cas d’une amorce consciente. Dans l’étude de Lau et Passingham (2007), il s’agit probablement du même mécanisme, mais l’amplitude plus importante pourrait être liée à l’attente consciente

du stimulus, et l'existence d'un effet d'amorçage de répétition associé à l'amorçage de task set.

Au total, des stimuli non conscients peuvent être traités à un haut niveau (et probablement jusqu'aux régions préfrontales) et ils peuvent influencer le contrôle exécutif. Nos expériences suggèrent cependant que cela se passe dans des situations bien particulières, que nous allons revoir.

1.4. Dans quel cas un task set peut-il être amorcé de manière non consciente ? Réponses apportées par nos études

Les études d'amorçage non conscient de task set que nous avons recensées n'ont pas directement posé la question des circonstances dans lesquelles il pouvait survenir, et notamment quelles étaient les limites du phénomène. La question principale posée par ces études était celle de la potentialité d'un tel amorçage non conscient, et de la validité des résultats par rapport à un amorçage uniquement perceptif. Que pouvons-nous dire de plus avec nos études ? Nous allons d'abord analyser les points sur lesquels nos résultats apportent des éléments (intervalle de temps et attention), pour aboutir à une réflexion plus générale sur les circonstances où un task set peut être amorcé non consciemment.

Intervalle minimum entre l'amorce et la mise en route du task set ?

Dans notre Etude 1, nous avons montré qu'une durée minimale est nécessaire pour que l'amorce non consciente puisse influencer la préparation du task set, et plus particulièrement qu'un intervalle de temps de 36 ms entre l'amorce et l'instruction était insuffisant. Pour d'autres types d'amorçage, une telle limite de temps n'a pas été forcément mise en évidence (Eimer et Schlaghecken, 2003). Quels sont les déterminants de cette limitation ? Nous envisageons qu'un intervalle de temps court ne permette pas à une amorce d'avoir un effet suffisant pour activer le processus ciblé. Pour cela, nous suivons un modèle d'accumulation d'évidence, selon Vorberg et al. (2003), qui a montré sa validité

dans l'amorçage perceptif. Dans ce type de modélisation, pour chaque décision (par exemple répondre à droite ou à gauche), il existe un accumulateur d'évidence. Le niveau de cet accumulateur s'accroît avec le temps en fonction de la présence d'indices allant dans le sens de la réponse, tout en diminuant automatiquement de manière continue (correspondant à un courant de fuite, ou de perte d'évidence). Une décision, c'est à dire une réponse du côté droit ou gauche, est prise quand le seuil d'évidence est atteint. En conséquence, la réponse est plus précoce si l'accumulation a commencé plus tôt grâce à la présence d'une amorce subliminale (temps de réponse raccourci) (Figure 5). En cas de paradigme à choix forcé, la décision est prise avant que le seuil ne soit atteint, du côté où l'évidence est la plus importante (Mattler et Palmer, 2012).

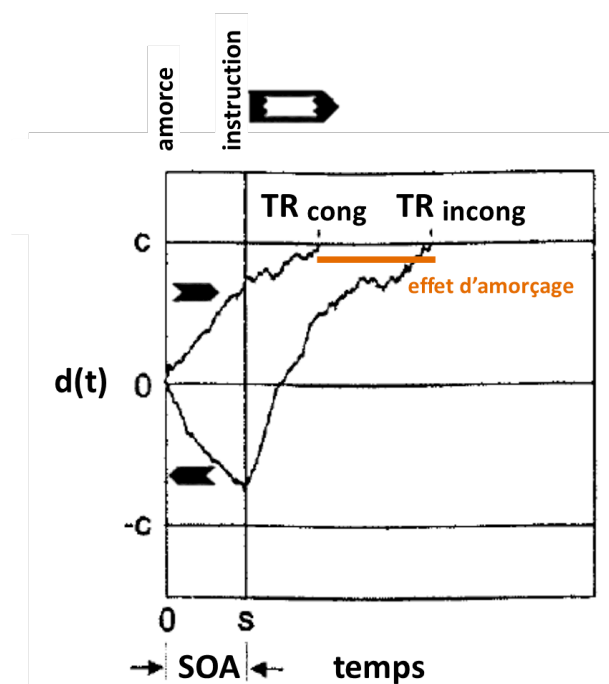


Figure 5 : Représentation schématique de l'accumulation d'évidence ($d(t)$) en fonction du temps dans un paradigme d'amorçage perceptif (d'après Vorberg et al. 2003). L'évidence s'accroît après la présentation de l'amorce, congruente ou incongruente, jusqu'à ce que survienne la cible (qui sert aussi de masque), pendant un intervalle de temps correspondant à l'intervalle amorce-instruction (SOA, Stimulus Onset Asynchrony). La réponse est déclenchée quand le niveau d'évidence atteint un seuil (c). Elle est ainsi retardée quand l'amorce est incongruente (effet d'amorçage). N'est pas représenté sur la figure le courant de fuite, qui correspond à la perte continue d'évidence en l'absence de stimulus.

Ainsi, la durée de l'intervalle de temps entre l'amorce et la cible permet une accumulation d'évidence plus ou moins importante. Le fait d'avoir une amorce non congruente conduit à une accumulation d'évidence pour la cible reliée à l'amorce, et la correction lors de l'apparition de la cible réelle entraîne un retard pour atteindre le niveau d'évidence requis, ce qui correspond au temps de réponse plus long en cas d'amorce incongruente. Le modèle prévoit aussi une augmentation du taux d'erreurs, qui survient quand l'accumulation d'évidence franchit le seuil après la présentation d'une amorce non congruente, déclenchant ainsi la mauvaise réponse.

Ce modèle d'accumulateur a été testé expérimentalement, en utilisant un mode de réponse particulier : le sujet devait répondre avec son doigt en le déplaçant sur une tablette tactile, vers une cible visuelle. Cette cible était amorcée de manière subliminale, avec un intervalle variable entre amorce masquée et cibles (Schmidt, 2002). Les trajectoires indiquaient ainsi l'accumulation d'évidence, avec une trajectoire s'infléchissant initialement du mauvais côté en cas d'amorce incongruente, et ce d'autant plus que l'intervalle amorce-cible était important.

Ce modèle s'applique-t-il à nos résultats ? Dans notre Etude 1, nous avons bien un effet d'amorçage de task-set qui augmentait avec l'intervalle entre amorce et instruction, comme le prédit le modèle par accumulateur. Par contre, c'est l'effet inverse que nous avons observé sur l'amorçage perceptif. Nos résultats sont-ils néanmoins compatibles avec le modèle par accumulation d'évidence ? Le masque interrompt le traitement perceptif de l'amorce et l'évidence concernant l'amorce elle-même décroît dès la présentation du masque, du fait du courant de fuite. Parce que l'interruption induite par le masque concerne le traitement perceptif de l'amorce, il y a une diminution de l'effet d'amorçage de répétition au fur et à mesure que l'intervalle masque-instruction augmente (Figure 6A). Par contre, pour l'amorçage de task set, l'accumulation d'évidence pourrait continuer après le masque. L'information concernant la tâche liée à l'amorce est traitée à un niveau supérieur à celui du traitement perceptif. Dans la mesure où le masque interrompt le traitement perceptif et

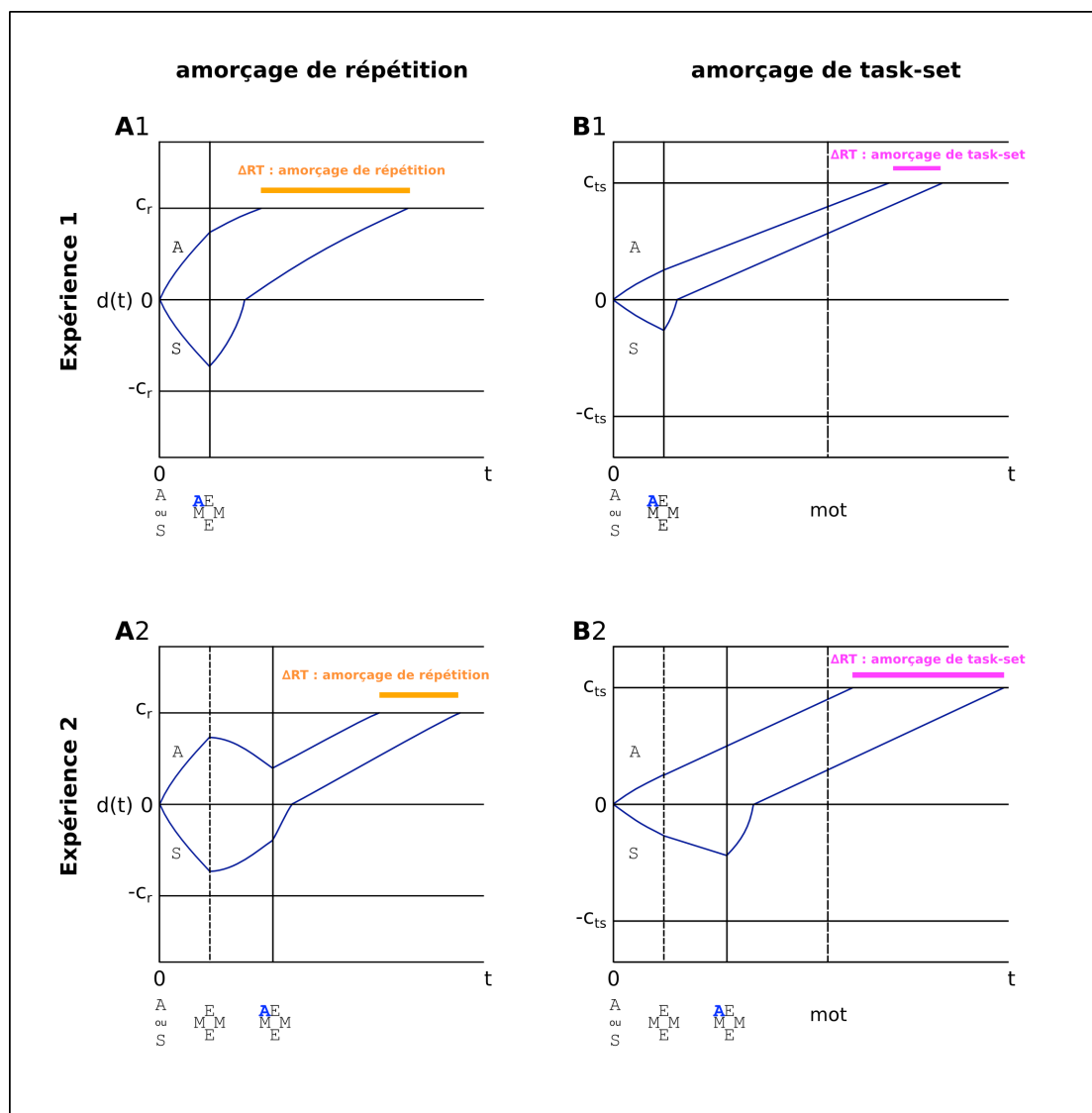


Figure 6 : Hypothèse concernant l'accumulation d'évidence ($d(t)$) dans l'Etude 1 (Expérience 1 et 2), à partir du modèle de Vorberg (2003). **A.** Situation de l'amorçage de répétition : l'évidence croît après la présentation de l'amorce, jusqu'à l'interruption par le masque. La réponse est donnée quand l'évidence atteint le seuil pour l'amorçage de répétition (c_r). L'expérience 1 (A1) reprend le modèle de Vorberg et al. (2003, voir Figure 5). Par contre, pour l'expérience 2 (A2), l'instruction est retardée par rapport au masque et en conséquence, le courant de fuite fait diminuer l'évidence, avec une différence moins importante quand survient l'instruction. La différence conduit à une baisse de l'effet d'amorçage quand l'intervalle amorce-instruction augmente. **B.** Situation de l'amorçage de task set : Dans l'Expérience 1 (B1), la pente de l'accumulation d'évidence est plus faible parce que l'amorce est traitée à un niveau supérieur, et l'amorçage reste faible (ou non mesurable). Dans l'Expérience 2 (B2), le masque n'interrompt pas le traitement comme il le fait pour un traitement perceptif. Ainsi, l'amorçage de task set est plus important quand l'intervalle amorce instruction augmente.

non celui lié à la tâche, l'accumulation d'évidence pourrait se poursuivre au-delà de l'amorce (Figure 6B). Il faudrait vérifier l'hypothèse d'une accumulation d'évidence plus lente pour un amorçage de task set et/ou un seuil de réponse différent. Ainsi, le temps laissé à l'amorce permet une accumulation d'évidence plus importante et un effet d'amorçage plus important quand l'intervalle amorce-instruction augmente. Cette explication basée sur un modèle par accumulation d'évidence doit être pris avec prudence car nous n'avons pas réalisé de modélisation avec notre paradigme. Il nous faudrait notamment un paradigme expérimental avec plusieurs intervalles amorce-instruction.

Quelle que soit l'explication, un intervalle trop court semble empêcher la survenue de l'amorçage de task set. Il semble que l'influx lié à l'amorce requiert du temps pour activer les processus liés à l'amorçage d'une tâche. C'est là une première contrainte qui s'applique à l'amorçage de task-set. La seconde contrainte que nous avons explorée est le rôle de l'attention, que nous allons maintenant reprendre.

Nécessité de processus attentionnels ?

Dans quelle mesure l'amorçage de task set dépend-il de l'attention portée sur le stimulus non conscient ?

Examinons d'abord l'orientation de l'attention sur le stimulus non conscient (préalablement à sa présentation). Nos études ont montré que l'amorçage de task set pouvait avoir lieu même si les possibilités d'orientation de l'attention étaient réduites (Etude 1). Autrement dit, pour qu'il y ait un effet d'une amorce non consciente sur la préparation d'un task set, il n'est pas nécessaire que la présentation de l'amorce soit attendue.

Qu'en est-il des effets attentionnels quand l'indice et le stimulus sont simultanés ? L'Etude 2 a mis en évidence que dans des conditions de masquage strictes, un stimulus attentionnel survenant au moment de la présentation de l'amorce pouvait affecter

l'amorçage de task set. Plusieurs études ont montré que des indices attentionnels survenant pendant, voire après la survenue d'un stimulus pouvaient faciliter la perception consciente d'un stimulus (Olivers et Van der Burg, 2008; Sergent et al., 2013). Olivers et Van der Burg (2008) ont utilisé le principe du clignement attentionnel, où une série de stimuli sont présentés de manière sérielle et rapide à la même position : un premier stimulus cible T1 à identifier, des distracteurs, et un stimulus cible T2 à identifier également. Si le stimulus T2 survient dans une fenêtre de 100 à 500 ms environ après T1, T2 n'est plus détecté (Raymond et al., 1992; voir introduction p. 12). Olivers et Van der Burg (2008) ont montré que la présentation d'un son synchrone avec T2 lui permet d'échapper au clignement attentionnel. Sergent et al. (2013), ont montré des effets similaires dans une tâche où les sujets devaient discriminer l'orientation d'un patch de Gabor présenté au seuil de perception. Ils ont montré qu'un indice attentionnel (même non spécifique) présenté jusqu'à 400 ms après le patch, facilitait l'accès à la conscience de l'information d'orientation. Ces données suggèrent qu'un indice attentionnel peut faciliter l'accès à la conscience d'une information dont le traitement a débuté. Mais dans ces deux cas, et contrairement à l'Etude 2, le stimulus n'était pas masqué et le traitement du stimulus pouvait se poursuivre après sa présentation. De plus, la détection était au-dessus du hasard. Cela explique pourquoi dans notre étude, la manipulation attentionnelle ne facilitait pas la perception de l'amorce. De plus, à notre connaissance l'effet des manipulations attentionnelles par des stimuli synchrones n'avait été étudié que sur des phénomènes d'amorçage perceptif et non de task-set. Le fait de présenter un son de manière synchrone à l'amorce, ou après celle-ci, ne modifie pas l'amorçage de répétition (Fischer et al., 2007). Il serait utile d'avoir plus de données sur l'effet de l'augmentation de la saillance par un indice attentionnel synchrone à l'amorce, en examinant en particulier les effets de ce type d'indication sur des phénomènes d'amorçage de plus haut niveau. Dans notre Etude 2, nous ne pouvons pas être sûrs que l'effet du stimulus attentionnel conduit à une facilitation de l'amorçage de task-set quand l'indice est présenté en même temps que l'amorce. Il pourrait également s'agir d'un effet d'inhibition en cas de survenue de l'indice attentionnel lors de l'instruction. Malgré cette limitation, nous apportons un résultat nouveau qui est que l'amorçage de task set est

dépendant d'un filtrage attentionnel. De manière cruciale, ce lien avec des processus attentionnels ne peut pas être expliqué par un effet d'amorçage perceptif.

Dans quelle mesure nos expériences entrent dans le cadre théorique des liens entre attention et conscience ? Si dans certains modèles, les deux processus, attention et conscience, sont totalement intriqués (Posner, 1994; Mack et Rock, 1998), nombre de modèles influents proposent que l'attention et l'expérience consciente sont fonctionnellement indépendants, et ne dépendent pas des mêmes corrélats neuronaux (Lamme, 2003; Dehaene et al., 2006; Koch et Tsuchiya, 2007; van Boxtel et al., 2010; Tallon-Baudry, 2012). Notamment, les études de psychologie expérimentale montrent que l'attention peut avoir un effet en l'absence de conscience (par exemple: Van den Bussche et al., 2010), mais aussi que des stimuli peuvent être vus consciemment en quasi absence d'attention (par exemple: Li et al., 2002). De plus, si les réseaux impliqués dans la conscience et l'attention sont superposables et impliquent des réseaux pariéto-frontaux (Corbetta et Shulman, 2002; Rees et al., 2002), des paradigmes expérimentaux permettent de différencier l'attention et la conscience sur un plan neuronal (Tallon-Baudry, 2012). Dans notre Etude 2, nous montrons que la présence d'un indice synchrone avec l'amorce n'a pas d'impact sur la perception consciente de ce stimulus. Par contre, la manipulation attentionnelle a un effet sur le signal lié à l'amorce, en lui permettant d'affecter un traitement de haut niveau, sans qu'il accède à la conscience. Ainsi, il s'agit d'une nouvelle dissociation entre processus attentionnels et accès à la conscience : l'attention a un effet mais sans pour autant conduire à l'émergence d'une perception consciente. Pourquoi notre manipulation attentionnelle n'a-t-elle pas d'effet sur l'amorçage perceptif, ni sur la capacité du stimulus à accéder à la conscience ? Nous proposons que dans notre cas (et celui de Fischer et al. 2007), seule la saillance est augmentée et que cette augmentation de la saillance a un rôle à un niveau tardif du traitement du signal, quand le stimulus est traité à un plus haut niveau. Au total, nous avons montré que l'impact de stimuli non conscients était modulé par des processus attentionnels, et cela sans que le stimulus n'accède à la

conscience. Cette donnée est cohérente avec les modèles suggérant qu'attention et conscience sont des processus séparés.

Nos expériences ont montré que l'amorçage non conscient de task set peut se faire si l'amorce bénéficie de suffisamment de temps, et que son signal est suffisamment saillant. Nous allons maintenant aborder d'autres limites à l'amorçage non conscient de task set, sur lesquelles nos études n'apportent pas directement de résultats nouveaux. Nous pensons cependant que ces points peuvent suggérer de nouvelles expérimentations, qui permettraient de mieux connaître les limites dans lesquelles un task set peut être mis en place non consciemment.

1.5. Limites générales de l'amorçage non conscient de task set.

Durée de l'effet d'amorçage non conscient de task set

Intuitivement, on s'attend à ce que les amorces non conscientes n'aient une influence que sur des durées courtes, ce qui représenterait une limite importante à leur action. La littérature comporte à ce sujet des données contradictoires. Typiquement, il existe une décroissance rapide de l'effet de stimuli non conscients, avec des durées n'excédant pas 500 ms (Greenwald et al., 1996; Lu et al., 2005; Mattler, 2005; Dupoux et al., 2008).

L'idée que les stimuli non conscients n'ont qu'une durée de vie courte est renforcée par les études qui suggèrent qu'un stimulus non conscient ne peut pas avoir d'effet à l'échelle d'un essai sur l'autre. Si l'information consciente peut être utilisée pour moduler stratégiquement les plans et contrôler les comportements futurs, l'information non consciente ne semble pas pouvoir le faire. Kunde (2003) a illustré ce phénomène en réalisant une expérience où les participants devaient donner une réponse rapide selon l'orientation d'une flèche (droite ou gauche), qui était précédée par une amorce (une plus petite flèche) consciente ou non consciente (masquée ou non par métacontraste). L'amorce,

qu'elle soit masquée ou non, accélérât les temps de réponse quand elle était congruente. De façon attendue, l'expérience consciente d'un conflit à l'essai $n-1$ (essai précédent) influençait les mécanismes de contrôle cognitif à l'essai n (essai en cours), traduisant une adaptation au conflit. L'effet de congruence à l'essai n (accélération du temps de réponse par l'amorce congruente) était plus petit s'il était précédé par un essai incongruent, traduisant une augmentation du contrôle descendant sur les processus perceptifs après un conflit (Botvinick et al., 2001). Mais dans l'étude de Kunde (2003), si l'adaptation du conflit était clairement présente après l'expérience consciente du conflit, elle était absente si les stimuli conduisant au conflit étaient inconscients. Une amorce non consciente ne pouvait pas moduler le contrôle cognitif d'un essai à l'autre, ce qui suggère un effet particulièrement court des stimuli non conscients (voir aussi Greenwald et al., 1996; Frings et Wentura, 2008).

Pourtant, des données récentes, suggèrent que la limite temporelle d'action d'une information non consciente n'est peut-être pas si franche. En effet, Van Gaal et al. (2010a) ont répliqué l'étude de Kunde en raccourcissant l'intervalle inter-essai de 2 à 1,2 secondes et en supprimant le signal de début d'essai. Ils parvenaient à montrer qu'un conflit induit non consciemment pouvait ainsi se reporter sur l'essai suivant, avec une diminution de l'effet de congruence. Donc, l'effet de stimuli non conscients sur le contrôle cognitif peut se reporter sur des durées de l'ordre de la seconde. Dans le même sens, les enregistrements intracérébraux de stimuli non conscients ont montré que les activations liés à des stimuli subliminaux, même si elles étaient bien plus faibles que celles liées à des stimuli conscients, pouvaient être observées sur la même période de temps (Naccache et al., 2005; Gaillard et al., 2009). Une amorce non consciente pourrait également activer un composant intermédiaire, et avoir une action soutenue sur une plus longue durée, comme cela a pu être montré pour la motivation (Capa et al., 2013). Il n'est donc pas exclu que des stimuli non conscients puissent avoir des influences persistant sur des durées relativement longues.

Dans nos études, nous avons recherché si l'initiation du task set par une amorce non consciente à l'essai $n-1$ modifiait l'effet d'incongruence à l'essai n , mais ce n'était pas le cas

(données non publiées). Ce résultat était attendu car nous avons comme Kunde (2003) un intervalle inter-essai relativement long. Nous pourrions vérifier dans quelle mesure l'amorçage de task set peut avoir un effet d'un essai à l'autre, en diminuant l'intervalle inter-essai, à la manière de van Gaal et al. (2010).

Au total, les données suggèrent que l'amorçage non conscient de task set est très vraisemblablement limité dans le temps, moins d'une seconde après le stimulus non conscient. Que pouvons-nous dire des limites dans l'étendue des tâches possibles, et de l'adéquation avec ce qui se passe dans la vie quotidienne ? Autrement dit, qu'en est-il du nombre des task sets non conscients potentiellement impliqués dans une même expérience.

Un nombre de tâches limité

Nous avons testé, à l'instar des autres études de la littérature, une situation simplifiée au cours laquelle un task set parmi deux doit être initié. La majorité des études, les nôtres incluses, utilisaient un paradigme de permutation de tâche, avec une amorce ayant acquis une signification d'indice pour une tâche donnée, indiquant au sujet de manière anticipée la tâche qu'il devra réaliser. Mais précisément, il n'y avait que deux tâches possibles. Le sujet devait alterner entre deux tâches, et l'amorce non consciente poussait le sujet à choisir et/ou initier l'un ou l'autre des task sets pré-activés (Kiesel et al., 2010). Dans toutes les publications sur l'amorçage non conscient de task set à ce jour, l'alternance se fait entre seulement deux task set. Il serait intéressant de savoir quelle est la limite en termes de nombre de task sets mis en route en parallèle, par exemple dans un paradigme d'alternance de trois tâches ou plus.

L'amorçage de task set est un phénomène qui est à la fois limité dans le temps, et probablement limité dans le nombre de tâches simultanément concernées. La dernière question que nous soulèverons est la taille de son influence dans le comportement. Nous avons expliqué dans la section précédente pourquoi l'effet que nous avons mesuré était

plus faible que dans d'autres études. Nous avons laissé la question d'un effet intrinsèquement de faible intensité en suspens.

Un effet limité en intensité ?

La question d'un effet limité en intensité est intéressante pour évaluer l'importance du phénomène d'amorçage non conscient de task set dans le comportement de la vie quotidienne. Soulevons d'abord un point qui est un facteur de confusion dans beaucoup d'études. Les méthodes habituelles pour rendre un stimulus non conscient, impliquent d'altérer considérablement le signal perceptif, jusqu'à ce que les participants répondent au niveau du hasard pour les tâches objectives de discrimination du stimulus (choix forcé). Ainsi, quand ce stimulus doit être utilisé pour réaliser une tâche cognitive, il est difficile de savoir si les effets sont faibles parce que le stimulus a été rendu non conscient, ou s'ils sont faibles parce que le signal perceptif a été dégradé. L'exigence de rigueur expérimentale concernant l'absence de perception du stimulus, pourrait entraîner une difficulté à montrer un effet ou un effet plus faible, qui nous ferait sous-estimer l'impact potentiel du phénomène.

Particulièrement, une seule technique pour rendre le stimulus non conscient a été utilisée dans les expériences d'amorçage non conscient de task set : le masquage. Ainsi, les amorces subliminales étaient à la fois associées à une absence d'amplification neurale du signal sensoriel (conduisant probablement à un effet d'amorçage plus faible) et une absence de réverbération à longue distance entre zones perceptives et fronto-pariétales (Dehaene et al., 2006). La question se pose d'une autre méthode pour rendre le stimulus non conscient, qui n'atteindrait pas l'amplification neurale du signal sensoriel, mais uniquement la réverbération à longue distance entre zones perceptives et fronto-pariétales. Notamment, elle pourrait se baser sur des méthodes qui ont pour objectif de diminuer l'attention (Raymond et al., 1992; Mack et Rock, 1998) comme le clignement attentionnel ? Lors de la présentation visuelle rapide des stimuli, le premier stimulus pertinent (T1) indiquerait le fait de faire ou non la tâche, ce qui forcerait le sujet à traiter le stimulus T1. Le second stimulus

(T2) serait l'indice pour la tâche. Il ne devrait pas accéder à la conscience s'il survient dans un intervalle de temps de 400 à 500 ms après T1. Nous pensons qu'un tel paradigme pourrait avoir son utilité pour savoir dans quelle mesure une tâche peut être déclenchée, hors de l'attention du sujet.

Pour synthétiser, en l'état actuel des connaissances l'amorçage non conscient de task set reste limité à des situations où il y a un petit nombre de task sets. Il a en outre une durée d'action brève, et est limité par des phénomènes de filtrage attentionnel. Son effet est probablement limité dans des circonstances normales.

Nos travaux ont montré, dans l'Etude 3, qu'il existe des circonstances où l'influence de processus non conscient pourrait être plus importante, notamment dans le domaine moteur : notre second domaine d'expérimentation a permis de voir dans quelle mesure un stimulus subliminal peut rendre compte d'un changement sur le sentiment conscient en lien avec l'action. Nous avons montré qu'un stimulus non conscient, dans la dimension haptique pouvait moduler un jugement de haut niveau, comme le sentiment de contrôle. Nous allons reprendre les principales données de l'Etude 3 et les mettre en lien avec les données sur le sentiment de contrôle.

2. Rôle des influences non conscientes sur le sentiment de contrôle

Nous avons montré dans notre Etude 3 que le sentiment de contrôle peut être modifié par des influences non conscientes dans la modalité haptique.

2.1. Stimuli non conscients dans le domaine haptique

Les études sur l'accès conscient et l'influence de stimuli subliminaux sont pour une majorité d'entre elles conduites dans le domaine de la vision (Dehaene et Changeux, 2011) ou de l'audition (Kouider et al., 2010). Les données sur les stimuli subliminaux dans la modalité haptique sont bien plus rares, et n'adressent pas forcément la question de l'influence de ces informations haptiques sur des phénomènes conscients. Nous n'avons retrouvé que deux études explorant spécifiquement l'influence de stimuli haptiques non conscients (Hilsenrat et Reiner, 2009, 2011). Ces études faisaient varier la granularité d'une surface avec des variations sous le seuil de discrimination. Quand les sujets faisaient glisser un stylet sur une surface virtuelle, même si le changement de la rugosité était imperceptible, ils adaptaient la force appliquée pour glisser le stylet sur la surface (Hilsenrat et Reiner, 2009). La seconde étude (Hilsenrat et Reiner, 2011) se basait sur l'effet de simple exposition, qui suggère qu'il existe une préférence pour les stimuli auxquels le sujet a été préalablement exposé (Kunst-Wilson et Zajonc, 1980). L'étude montrait que dans un choix forcé de préférence entre deux surfaces avec une différence de rugosité imperceptible, il y avait une préférence pour la surface préalablement choisie.

Le fait que des signaux sensoriels puissent être sous le seuil de la conscience, et que ces modifications puissent modifier le mouvement, semble assez logique au vu de

l'adaptation essentiellement automatique du mouvement. Cependant, les modèles du contrôle moteur n'intègrent pas la question de la conscience (Miall et Wolpert, 1996; Wolpert et al., 2011). Dans quelle mesure le résultat de la comparaison entre la prédiction et le retour effectif peut-il moduler des processus conscients ? Notamment, l'effet de distorsions haptiques subliminales sur des processus associés à la conscience du mouvement n'avait pas été étudié jusqu'à présent.

2.2. Influences non conscientes sur le sentiment de contrôle

Si les intentions générales, le but et les sensations qui découlent de l'action sont accessibles à la conscience, tous les mécanismes qui permettent de programmer le mouvement, d'adapter le mouvement en temps réel, et d'anticiper ses conséquences, se réalisent de manière automatique.

Généralement, nous cherchons à atteindre notre but mais nous portons peu d'attention à l'efficacité du mouvement lui-même. Pour saisir un objet, nous avons une intention générale (je vais boire de l'eau) et une intention plus immédiate (je saisis le verre). L'intention est suivie d'une programmation motrice qui nous échappe (je vais ouvrir la pince réalisée par ma main et la déplacer grâce à un mouvement du bras jusqu'au contact avec le verre, etc.). Ainsi, dans la mesure où l'action n'est que le moyen de réaliser un but, la question du sentiment de contrôle, comme celle de l'agentivité, ne se pose pas et n'entre pas dans le champ de la conscience du sujet. Je pense à assouvir ma soif en me désaltérant avec l'eau de ce verre, et « ça se fait ». Souvent, pour les gestes de préhension, ou les gestes orientés vers un objectif physique (comme atteindre avec son doigt une cible visuelle), le cerveau combine des informations tactiles à des informations visuelles (Rossetti et al., 1995; van Beers et al., 1999). Particulièrement, il existe une dominance pour la modalité visuelle quand les stimuli sont présentés dans différentes modalités, avec une extinction de la modalité haptique (Revol et al., 2009; Hartcher-O'Brien et al., 2010). La situation peut être tout autre, quand le centre de l'attention n'est plus le but ultime de l'action, mais le

mouvement lui-même. C'est particulièrement le cas chez les sportifs, ou chez les musiciens. Le geste doit être travaillé pour lui-même, car de l'exactitude ou de la précision du geste, dépendra la qualité du geste sportif ou de la performance instrumentale. Ces mouvements élaborés se déroulent sans que la vision ne soit impliquée : c'est l'idée que l'on tente d'inculquer à tout joueur de tennis ou violoncelliste débutant. Même des gestes de la vie quotidienne, qui ne font pas appel à un entraînement ou des compétences particulières, dépendent probablement d'un contrôle uniquement haptique : monter rapidement des escaliers, feuilleter les pages d'un livre... Bien sûr, dans ce type d'actions, la question d'un but plus général n'est pas pour autant exclue. Mais, il y a aura une attention particulière portée sur le déroulement de l'action. Ainsi, la question du sentiment de contrôle se pose surtout quand il n'y a pas de contrôle visuel sur le mouvement. Pour des gestes légèrement imprécis, voire pour des imprécisions dans la séquence d'action qu'il n'est pas possible de ressentir, le sujet aura le sentiment que « quelque chose ne fonctionne pas comme prévu », ou un sentiment de contrôle diminué.

L'Etude 3 apporte des éléments nouveaux sur cette question peu explorée dans la littérature. Nous avons montré que des distorsions non conscientes modifient le sentiment de contrôle. S'il existe un décalage non conscient entre la prédiction et le retour sensoriel généré par le dispositif (que le sujet intègre facilement comme une surface horizontale et régulière), alors le sentiment de contrôle est abaissé. Cette donnée suggère qu'il est possible de se sentir moins en contrôle sans percevoir des anomalies dans l'exécution de l'action. Nous pouvons ainsi avoir le sentiment que l'action n'est pas comme elle devrait être, que nous ne sommes pas en contrôle de l'action, sans pour autant être capable de ressentir un décalage entre le mouvement prédit et le retour sensoriel. Nous avons montré que c'est le cas dans une situation, où par ailleurs, il n'y a pas de discordance consciente entre la prédiction et le retour sensoriel.

Cette modification du sentiment de contrôle par des distorsions subliminales est importante pour rendre compte des capacités à vérifier que le mouvement se passe comme

prévu même dans des conditions où le retour sensoriel ne conduit pas à des distorsions suffisamment importantes pour accéder à la conscience. Mais aussi, cela nous permet de comprendre quels sont les facteurs qui déterminent le sentiment de contrôle.

2.3. Déterminants du sentiment de contrôle

Nos expériences apportent des données nouvelles sur une question peu explorée dans la littérature, concernant les processus conscients associés à l'action. En effet, les études se sont surtout basées soit sur la question de l'agentivité (« est-ce que je suis l'auteur de ce mouvement ? ») (Daprati et al., 1997), ou la question de la causalité de l'effet (« est-ce que mon action est la cause de cet effet ? ») (Metcalf et Greene, 2007; Farrer et al., 2013). Le sentiment de contrôle tel que nous l'avons défini, par le sentiment que « l'action se déroule comme prévu », reste peu exploré.

Dans notre expérience, un premier déterminant du sentiment de contrôle est le fait qu'il existe un décalage avec la surface attendue. La stabilité de la phase de décélération indique que les sujets sont capables de s'adapter à la surface de référence et d'anticiper le moment du contact. Nous suggérons que le décalage temporel introduit pendant l'expérience conduit à une distorsion entre un contact prédit et le retour sensoriel. De manière cohérente avec la théorie des modèles internes, cette comparaison permet l'adaptation du modèle inverse pour les essais suivants (Miall et Wolpert, 1996). Mais aussi, la distorsion conduira à la diminution du sentiment de contrôle. La comparaison donne l'information au sujet que « quelque chose ne va pas comme prévu », même si cette information est subliminale, et cela diminue le sentiment de contrôle.

Nous avons aussi montré que des éléments supplémentaires sont en jeu pour créer le jugement de sentiment de contrôle. Particulièrement, le sentiment de contrôle dépendait aussi des processus d'adaptations réalisés par les sujets. Si les sujets ralentissaient en présence de décalages subliminaux, le sentiment de contrôle était plus élevé. De manière intéressante, ce n'est pas le contrôle exercé en réaction à des distorsions, à savoir les

adaptations réalisées suite aux distorsions, qui modulait le sentiment de contrôle. Par contre, le facteur important est le contrôle exercé en amont du contact avec la surface, avant le résultat de l'action. Autrement dit, ce ne sont pas les adaptations réalisées de manière réactives, mais les adaptations prédictives d'une distorsion qui modulent le sentiment de contrôle.

De manière importante, nos résultats montrent que le sentiment de contrôle varie pour des actions dont les sujets se sentent l'auteur sans ambiguïté, et qui ne sont donc pas susceptibles de faire varier l'agentivité. Nous avons montré que différents facteurs peuvent modifier le sentiment de contrôle, et notamment, dans notre paradigme, les distorsions entre retour prédit et retour effectif, et la perception de sa propre adaptation. Ceci est important dans notre perspective de tester des patients. En effet, nous avons besoin de savoir si le sentiment de contrôle peut être une variable qui tient compte de la prédiction des conséquences du mouvement.

2.4. Limites de notre étude et perspectives expérimentales

Notre méthode est récente, utilisant un nouveau dispositif, et nous avons identifié des limites méthodologiques liées à notre procédure. L'identification de ces limites nous permettra d'améliorer le dispositif, et il reste sans doute à réaliser des expériences complémentaires chez le sujet sain.

Il serait utile de mieux connaître la manière dont une distorsion subliminale est traitée par les sujets. Tout d'abord, nous n'avons pas adapté les seuils de manière individuelle aux sujets. En effet, il est possible que du fait d'un entraînement particulier, une personne ait une capacité améliorée de détection des distorsions haptiques. Cette question de la variabilité de la sensibilité à une différence haptique n'a pas été à notre connaissance testée avec un dispositif comme le nôtre, mais plutôt avec une détection de formes ou

d'angles (par exemple: Louw et al., 2002). Il peut y avoir des différences interindividuelles, ce qui s'observe de façon particulière chez les personnes aveugles (Alary et al., 2008). Nous avons tenté d'éliminer au maximum les facteurs pouvant induire une sensibilité particulière (nous avons exclu les musiciens pratiquant régulièrement et les sportifs de haut niveau). Une possibilité aurait été de réaliser une mesure de seuil préalable. Nous avons procédé ainsi dans une étude préliminaire. Cependant, l'inconvénient majeur était que les sujets portaient alors leur attention sur les distorsions lors des autres phases expérimentales, et modifiaient la manière de réaliser les mouvements. Ils avaient tendance à se concentrer sur la recherche de décalages plutôt que de réaliser des mouvements réguliers. Il peut aussi être envisagé que chez un même sujet, il puisse y avoir une variabilité de la perception d'une distorsion du retour sensoriel au cours de l'expérience. En effet, d'un essai à l'autre, le mouvement peut avoir des paramètres cinématiques variables. Une variation de la vitesse par exemple peut modifier la capacité à discriminer la distorsion. Pour évaluer cette possibilité, nous pourrions demander aux sujets de juger à chaque essai à la fois leur sentiment de contrôle, et le sentiment d'avoir ressenti des distorsions dans la surface.

Nous n'avons utilisé que deux intervalles de temps, avec un décalage subliminal d'un côté, et un décalage supraliminal de l'autre. Il serait intéressant d'avoir un nombre de valeurs de décalages plus important pour avoir une estimation paramétrique des effets des distorsions. Nous pourrions observer s'il existe une transition nette entre une perception non consciente et consciente, comme ce qui est observé pour des stimuli visuels (Sergent et Dehaene, 2004). Il faudrait cependant utiliser des décalages de taille variable restant sous le seuil. Les expériences que nous venons de proposer seraient ainsi importantes pour comprendre le traitement de stimuli haptiques non conscients.

Des questions restent en suspens concernant le sentiment de contrôle. Nous nous demandons quels sont les liens existants entre le sentiment de contrôle du mouvement et le sentiment de performance du pointage (voir Metcalfe et Greene, 2007). Les deux jugements peuvent être liés à la concordance du retour sensoriel prédit et observé. Il serait donc

particulièrement utile de savoir si la composante du sentiment de contrôle liée à l'anticipation est bien indépendante de celle qui est liée à la comparaison du retour sensoriel prédit et effectif. Même si dans notre tâche, la notion de performance n'est pas évidente, il serait possible de demander aux sujets d'estimer par exemple le temps de contact, comme reflet de la performance.

Enfin, nous avons émis des hypothèses concernant le lien entre les anomalies du sentiment de contrôle et les anomalies de la prédiction temporelle. Nous n'avons cependant pas abordé directement la question du rôle de la discrimination temporelle dans la capacité à différencier deux hauteurs de surface chez les sujets sains. Pour explorer plus directement l'impact de distorsions spécifiquement temporelles et aussi pour généraliser notre paradigme à des situations où d'autres sens sont impliqués dans le fait de se sentir en contrôle de son mouvement, nous avons envisagé d'utiliser des stimuli multisensoriels. Le dispositif est en cours de programmation pour utiliser un stimulus supplémentaire s'affichant lors du contact (signal lumineux ou signal auditif) permettant de créer des asynchronies entre les différents éléments temporels : retour haptique, vision et audition. Nous pourrions ainsi évaluer de manière plus précise le rôle de décalages conscients et non conscients sur le sentiment de contrôle du mouvement.

Après cette discussion plus approfondie de nos résultats de l'Etude 3, nous allons chercher à prendre en compte de manière globale tous nos résultats, pour dessiner une réponse à la question de l'impact de stimuli non conscients sur les processus de haut niveau, et réfléchir à l'impact que nos résultats ont sur les études chez les patients.

3. Stimuli non conscients, attention et processus de haut niveau

Dans notre thèse, nous nous sommes intéressés à deux domaines très différents, d'une part une fonction qui est liée au contrôle cognitif, et d'autre part une fonction liée à l'action et à son contrôle. Dans la suite de notre propos, tout en ayant conscience de la difficulté de l'exercice, nous allons nous interroger sur les conclusions plus générales que nous pouvons émettre et qui concerneraient ces deux domaines.

3.1. Influence de stimuli non conscients sur les processus de haut niveau

Des processus de haut niveau peuvent être sous l'influence de stimuli non conscients. Les effets que nous avons identifiés dans cette thèse, amorçage du task set (Etude 1 et 2) et modification du sentiment de contrôle (Etude 3), s'ajoutent à d'autres preuves expérimentales : contrôle inhibiteur (van Gaal et al., 2008), contrôle des erreurs (Cohen et al., 2009; Pavone et al., 2009), et l'adaptation au conflit cognitif (van Gaal et al., 2010a). Ainsi, d'une part, des stimuli non conscients permettent d'informer le système sur la présence d'indices, de distorsions ou d'erreurs, qui ne sont pas accessibles à la conscience. D'autre part, ces stimuli non conscients conduisent à des adaptations, que ce soit en termes de préparation de tâches, ou de contrôle cognitif sur les essais suivants. Il semble que la plupart des opérations de contrôle simple peuvent être modulées par des indices non conscients.

Des influences non conscientes difficilement observables

Les données se multiplient concernant les influences non conscientes sur les processus cognitifs de 'haut niveau', mais les études mettent en évidence ces effets avec une certaine difficulté. Elles requièrent des paradigmes raffinés, nécessitant de multiplier la même tâche sur des dizaines ou des centaines d'essais, avec un nombre de réponses possibles limitées. Il semble que ces influences non conscientes sont difficilement observables, car les paradigmes expérimentaux ne retrouvent que des effets de petite taille, nécessitant de contrôler plusieurs types de biais. Cet effet faible s'explique d'abord par le fait qu'il est nécessaire d'utiliser, pour préserver le caractère non conscient, des stimuli de faible durée ou de faible intensité, ou un système de masquage qui limite l'amplification perceptive du stimulus. Ensuite, dans une expérience, les processus conscients peuvent entrer en concurrence, et limitent probablement l'observation de l'influence de processus non conscients. Par exemple, dans les Etudes 1 et 2, le sujet effectuait principalement, et consciemment, une tâche de permutation entre traitement phonologique et sémantique, venant s'opposer directement aux influences non conscientes. Il peut être envisagé que le fait d'avoir un traitement conscient et contrôlé, peut diminuer toute influence non consciente. Pourtant, si les influences non conscientes sont difficilement observables dans des conditions contrôlées de laboratoire, il est prématuré de conclure qu'elles sont peu pertinentes dans le fonctionnement habituel du sujet. Dans la vie quotidienne, il n'est pas exclu que l'influence soit plus marquée.

Rôle des influences non conscientes pour le fonctionnement souple du traitement de l'information

Quelle pourrait être l'utilité des influences non conscientes sur les processus de haut niveau ? Il peut être souhaitable que nous ne soyons pas conscients de tous les mécanismes de contrôle. De même il n'est pas forcément nécessaire que les influences qui nous poussent à modifier subtilement notre comportement soient toutes conscientes. La

prise de conscience nécessite plusieurs centaines de millisecondes, ce qui est bien trop lent pour de nombreuses actions de la vie de tous les jours et pour beaucoup de tâches cognitives. Ceci est particulièrement évident dans le domaine moteur. Si nous devons penser consciemment à chacun de nos mouvements et chacune de nos adaptations motrices, nous serions particulièrement maladroits. Nous serions des musiciens, des joueurs de tennis éternellement débutants, devant mentaliser chaque coup. Nous serions incapables de parler de manière fluente, encore moins de danser ou conduire. Cette conception du contrôle moteur comme un processus très automatique est facilement acceptée, tant nous sommes habitués à améliorer nos performances motrices en nous appuyant sur la répétition et la procéduralisation dans notre vie quotidienne. Mais il convient probablement d'étendre cette notion aux processus cognitifs. Si dans une vision traditionnelle l'inflexibilité des processus non conscients a pu prévaloir (Shiffrin et Schneider, 1977), les données récentes suggèrent que ces derniers peuvent être flexibles. Ils participent à la régulation du contrôle cognitif (Etude 1), ils sont modulés par l'attention (Naccache et al., 2002; Kentridge et al., 2004; Etude 2), ou par les intentions du sujet (Kunde et al., 2003), même essai après essai (Wokke et al., 2011). Ainsi, les traitements non conscients participent non seulement à des processus automatisés et non flexibles, mais sont impliqués dans des situations où la flexibilité est nécessaire. Si tout changement de tâche, ou tout contrôle d'erreur devait être déterminé et pris en compte consciemment, nos performances cognitives seraient également plus limitées. Un certain nombre d'ajustements et de changements de tâches se déroulent probablement sans que nous n'ayons consciemment décidé de le faire.

Rôle de la conscience

Il nous semble important de rappeler que les preuves actuelles des influences non conscientes sur les processus de contrôle ne sont pas pour autant une preuve que la conscience et le libre arbitre (conscient) soient un épiphénomène ou une illusion (Huxley,

1874; Wegner, 2002). Nous pouvons reprendre la même critique que nous avons faite pour les expériences de Libet et al. (1983), qui montraient une activation EEG avant la prise de décision consciente. Cette activation ne signifie pas forcément que la décision était prise inconsciemment, mais uniquement que des patrons d'activité neurale étaient observés avant une prise de décision. La décision générale, c'est-à-dire de participer à l'expérience, était déjà prise et les participants se préparaient à attendre et signaler un besoin imminent d'appuyer sur un bouton de réponse. De la même manière, dans nos études 1 et 2, les sujets étaient dans un état mental où ils se préparaient à faire une expérience de psychologie, dont ils comprennent les instructions. Lors de l'expérience, ressentie comme répétitive, ils savaient qu'ils allaient devoir permuter la tâche. Ils attendaient les indices pour leur indiquer la tâche à effectuer. L'influence non consciente consistait donc à les orienter sur une décision d'un ordre supérieur déjà engagée.

Dans quels cas intervient alors la conscience ? Même si ce point porte au-delà du champ de cette thèse, la conscience intervient quand le comportement doit être plus élaboré, flexible ou partageable avec d'autres. Elle semble nécessaire pour mettre en place des buts généraux, et intégrer les éléments du passé dans la prise de décision (Gollwitzer et Sheeran, 2006). La conscience intervient pour maintenir une tâche sur une longue durée, permettant sa stabilité. Elle semble aussi nécessaire quand une nouvelle stratégie doit être imaginée, du fait d'une impasse d'un comportement ou de nouvelles données requérant de revoir les buts, ou lorsque des éléments multiples et complexes doivent être intégrés (Acker, 2008). Dans le contexte du contrôle moteur, la conscience intervient quand le sentiment de contrôle indique que les mécanismes automatiques sont dépassés, comme nous le proposons à partir des résultats de l'Etude 3. Enfin, la conscience semble nécessaire pour rapporter et expliquer un comportement, afin de pouvoir l'échanger avec les autres, dans un contexte d'optimisation des relations sociales. Au total, il semble que la conscience est indispensable pour prendre en compte et intégrer de multiples possibilités, de manière à favoriser celle qui est préférable (Baumeister et al., 2011).

Interactions entre processus conscients et non conscients

Il est très probable que la grande majorité du comportement humain émerge d'une combinaison de processus conscients et non conscients. En plus de données comportementales, des éléments issus des études d'imagerie viennent soutenir cette proposition. Pour des processus de haut niveau, comme l'inhibition, il existe un chevauchement des zones cérébrales impliquées, que le processus soit conscient ou non conscient. Par exemple, dans une tâche de Go/NoGo, avec des stimuli masqués ou non, van Gaal et al. (2010b) ont montré que l'amplitude d'un potentiel N2 fronto-central était corrélée à l'inhibition efficace suite à un signal NoGo conscient, mais aussi avec la quantité de ralentissement lié à un signal NoGo inconscient. La taille de l'onde était donc corrélée à la mesure comportementale de l'inhibition consciente ou non consciente. De plus, dans la même étude, l'imagerie fonctionnelle en IRMf a montré que les indices non conscients activaient une bonne part des régions qui étaient activées par les indices conscients (aire pré-motrice supplémentaire et cortex frontal inférieur) (van Gaal et al., 2010b). La quantité d'activation était également corrélée à la quantité de ralentissement, suggérant que les activations secondaires aux processus non conscients avaient un effet comportemental effectif. Ces données incitent à revenir sur la notion traditionnelle stipulant que les processus automatiques et les processus contrôlés sont basés sur des voies différentes dans le cerveau.

Ainsi, il existe une interaction probablement flexible entre processus de haut niveau non conscients et conscients. Dans nos études sur l'amorçage non conscient de task set, nos études n'évaluent pas spécifiquement ce point. Nous nous permettons cependant de proposer que l'amorçage non conscient de task set pourrait être un processus fréquent, mais que la mise en route d'un task set de manière consciente prendrait le dessus de manière fluide. Cette prise de contrôle se ferait probablement lorsque survient un événement externe ou interne auquel les task set pré-activés ne peuvent répondre : externe en cas de stimulus comme notre instruction qui accède à la conscience, interne suite à un

autre élément dans le champ de la conscience comme une nouvelle intention. L'Étude 3, nous permet probablement d'être moins spéculatifs, en proposant le même schéma. Le sentiment de contrôle est largement influencé de manière non consciente par des décalages entre le retour sensoriel prédit et effectif. Mais en cas de distorsions supraliminales, il existe une transition vers un sentiment de contrôle dont la modification se fait consciemment.

Au total, à partir nos résultats et nos réflexions sur les données de la littérature, nous suggérons que les processus de haut niveau peuvent être modulés de manière non consciente, et que cette modulation a probablement un rôle dans les actions routinières, même si celles-ci requièrent une certaine flexibilité. Il reste des questions en suspens concernant les limites des modulations non conscientes des processus de haut niveau. Il est possible que toutes les régions cérébrales, même les plus antérieures puissent être modulées par des processus non conscients¹. Par contre ces activations secondaires à des stimuli inconscients seraient limitées d'une part par leur durée, et d'autre part par le contrôle exercé par des processus conscients. Nous faisons l'hypothèse qu'une altération de la régulation de l'effet des processus non conscients par les processus conscients pourrait conduire à des anomalies cognitives et comportementales.

3.2. Quelles implications dans la pathologie ?

S'il y a une influence des processus non conscients sur les processus conscients chez les témoins, qu'en est-il chez les patients ? Nous avons vu en introduction que les patients souffrant de schizophrénie ont des anomalies de processus associés à la conscience (Huron et al., 1995; Dehaene et al., 2003; Danion et al., 2005), mais aussi des anomalies de processus implicites (Javitt, 2009). Pour comprendre l'interaction qu'il y a entre ces deux

¹ La limite pourrait se poser pour des régions qui ne reçoivent pas d'influx sensoriels directement et qui ne pourraient être activées que par le biais d'une diffusion du signal, et donc un processus conscient (par exemple le cortex dorsolatéral préfrontal ou le cortex pariétal).

types d'anomalies, nous proposons de prendre en compte la question des interactions entre processus conscients et non conscients.

Une série de modèles influents de la schizophrénie proposent que les patients sont altérés au niveau des processus conscients. Les éléments allant dans ce sens sont les anomalies des fonctions frontales (Andreasen et al., 1997), et les anomalies de connectivité à longue distance (Friston, 1999), qui pourraient altérer le fonctionnement des processus associés à la conscience, basé sur ces projections neuronales à longue distance (Dehaene et al., 2003). Mais les altérations de la connectivité longue-distance ne sont pas spécifiques à la schizophrénie, et se retrouvent notamment dans la sclérose en plaques où les symptômes psychotiques sont pourtant rares (Reuter et al., 2007).

Ainsi, on ne peut pas exclure que les patients soient plus sensibles à l'effet de processus non conscients, avec des anomalies secondaires au niveau de la conscience. Les patients pourraient être plus vulnérables à des influences non conscientes, par le biais de difficultés à filtrer ou par une saillance augmentée des stimuli non conscients. Plusieurs mécanismes pourraient conduire à cette saillance augmentée : des anomalies neurochimiques comme une hyperdopaminergie (Howes et Kapur, 2009), mais aussi des mécanismes associés aux mécanismes de prédiction. Les patients auraient en effet du mal à utiliser les erreurs de prédictions pour ajuster leurs prédictions à venir (Fletcher et Frith, 2009), et souffriraient d'une perception hachée et disjointe dans le temps (Giersch et al., 2013). Selon des données récentes, les patients auraient des difficultés à suivre les événements dans le temps de façon continue. Ils pourraient ainsi avoir tendance à moins tenir compte d'un stimulus conscient qui surviendrait après un stimulus non conscient. De telles anomalies pourraient conduire à ce que les patients aient des difficultés à filtrer l'influence de stimuli non conscients, alors que chez les volontaires sains, leur influence est modulée par des stimuli conscients.

Au total, les anomalies des interactions entre processus conscients et non conscients pourraient être une piste de travail intéressante. En quoi les résultats de nos

études doivent nous rendre attentifs lors de l'utilisation de ce type de paradigmes chez les patients ? Tout en répondant à cette question, nous présenterons aussi dans notre partie suivante quelques perspectives de travaux expérimentaux chez les patients.

4. Perspectives : études dans la schizophrénie

L'objectif de la thèse est de proposer des paradigmes permettant d'étudier les interactions entre processus conscients et non conscients chez les sujets souffrant de schizophrénie.

Nos études 1 et 2 nous ont permis de mieux connaître le phénomène d'amorçage non conscient de task set. Nous avons montré dans l'Etude 1 qu'il fallait un certain temps à l'amorce pour qu'elle ait un effet. Chez les patients, cet intervalle pourrait être d'autant plus crucial à prendre en compte que des résultats récents suggèrent que le traitement d'amorces non conscientes pourrait ne pas avoir la même temporalité que chez les contrôles (Kiefer et al., 2013). Les auteurs ont montré que l'évolution des effets d'amorçage en fonction de l'intervalle entre cible et instruction était différente chez les patients souffrant de schizophrénie et les sujets contrôle¹. Même si le type d'amorçage utilisé dans l'étude mentionnée n'était pas un amorçage de task set et que les résultats ne peuvent être généralisés à notre paradigme, cela doit nous rendre attentifs à l'importance de la prise en compte du temps accordé à l'amorce pour expliquer les effets observés chez les patients. Le rôle d'un effet de filtrage attentionnel dans l'amorçage de haut niveau doit aussi être pris en compte comme facteur de confusion dans un paradigme chez les patients. En effet il serait possible d'observer une différence sur l'effet d'amorçage de task set qui ne serait dû qu'au traitement attentionnel de l'amorce. Pour le moment nos Etudes 1 et 2 ont montré que l'amorçage non conscient de task set était un phénomène difficile à observer, et nous avons

¹ Kiefer et al. (2013) ont utilisé le phénomène de Negative Compatibility Effect (NCE), qui correspond à la diminution puis à l'inversion de l'effet d'amorçage perceptif quant l'intervalle entre amorce et cible augmente au delà de 150 ms. Les patients ne présentaient pas de NCE.

pris la décision de ne pas l'appliquer aux patients. Nous l'appliquerons si les données que nous obtenons par ailleurs nous amènent à prédire une augmentation de l'effet d'amorçage.

Notre expérience sur le sentiment de contrôle est par contre en cours de réalisation chez les patients. Nous la menons également chez des patients souffrant de troubles bipolaires afin de tester notamment la spécificité d'un déficit chez les patients schizophrènes.

De manière cohérente avec les anomalies de la détection temporelle chez les patients (Giersch et al., 2009), nous nous attendons à ce que les patients aient un seuil plus élevé pour détecter un décalage. Mais les données récentes de notre laboratoire montrent que si les patients sont altérés pour détecter consciemment un seuil, ils sont néanmoins sensibles à des décalages subliminaux, qu'ils traitent de manière anormale (Lalanne et al., 2012b; Giersch et al., 2013). Ainsi, dans notre expérience, nous pensons que les patients seront perturbés par des décalages subliminaux, avec un sentiment de contrôle qui sera abaissé dans cette condition de manière anormalement ample. En ce qui concerne la prédiction du retour haptique, il est difficile de faire des prédictions quant à la capacité d'adaptation des patients. Il est possible qu'ils aient des difficultés à anticiper le retour haptique même quand celui-ci est stable, particulièrement en l'absence de retour visuel (Malenka et al., 1982; Delevoye-Turrell et al., 2003). Mais nous pensons que les patients présenteront une vulnérabilité particulière en cas de distorsions, avec des difficultés à adapter leur anticipation, en plus d'une baisse importante du sentiment de contrôle.

Les patients pourraient avoir des difficultés à mettre en œuvre les mécanismes impliqués dans la prédiction, et plus particulièrement l'anticipation du retour sensoriel. Cette absence de prédiction pourrait expliquer pourquoi ils peuvent perdre le sentiment de contrôle dans certaines circonstances. Si les mécanismes de compensation (jugements rétrospectifs basés sur l'information visuelle, par exemple) sont dépassés, ou qu'ils conduisent à des interprétations du monde erronées, des anomalies plus importantes, comme la perte du sentiment d'agentivité ou la construction de phénomènes psychotiques,

peuvent émerger. Cette vision est concordante avec des modèles récents de l'agentivité, qui se base sur une intégration optimale des indices prédictifs et rétrospectifs. Ces modèles suggèrent que les patients se basent moins sur les indices prédictifs trop imprécis que sur des indices survenant après l'action, comme le retour visuel ou la valence affective du résultat de l'action (Synofzik et al., 2013).

CONCLUSIONS

Des stimuli non conscients peuvent moduler des fonctions cognitives de haut niveau, classiquement considérées comme spécifiques de la conscience. D'une part des stimuli masqués, non perceptibles, peuvent moduler la préparation d'une tâche que le sujet choisit par ailleurs de manière délibérée à partir d'un indice. Ensuite, un décalage non conscient dans le retour sensoriel peut diminuer le sentiment de contrôle de l'action, que le sujet ressent pourtant comme déterminé par une évaluation consciente et réfléchie des circonstances de la tâche. Nous avons noté que ces phénomènes se déroulent dans des circonstances bien particulières. Dans le cas d'un amorçage de task set, il faut qu'un temps suffisant soit donné à l'amorce pour agir, et que l'amorce elle-même soit suffisamment saillante. Dans nos expériences sur le sentiment de contrôle, pour que les décalages subliminaux modifient le sentiment de contrôler son mouvement, il faut que le contexte de la tâche ne soit pas marqué par des variations importantes du retour sensoriel qui altèrent en elles-mêmes le sentiment de contrôle. De manière intéressante, le sentiment de contrôle dépend aussi de la quantité d'anticipation (la durée de la période de décélération) que le sujet a mis en place, pour améliorer ses performances dans la réalisation du mouvement. Il existe ainsi un jugement qui dépend à la fois d'éléments non conscients liés à l'environnement, mais aussi d'éléments dépendants des anticipations réalisées par le sujet.

Au total, l'influence de processus non conscients sur des processus de haut niveau est possible, dans des situations limitées, mais qui peuvent un rôle important dans l'adaptation flexible du comportement.

BIBLIOGRAPHIE

- Aarts H, Custers R, Wegner DM (2005) On the inference of personal authorship: Enhancing experienced agency by priming effect information. *Conscious Cogn* 14:439–458.
- Acker F (2008) New findings on unconscious versus conscious thought in decision making: Additional empirical data and meta-analysis. *Judgm Decis Mak* 3:292–303.
- Aglioti S, DeSouza JF, Goodale MA (1995) Size-contrast illusions deceive the eye but not the hand. *Curr Biol CB* 5:679–685.
- Alary F, Goldstein R, Duquette M, Chapman CE, Voss P, Lepore F (2008) Tactile acuity in the blind: a psychophysical study using a two-dimensional angle discrimination task. *Exp Brain Res* 187:587–594.
- Aleman A, Hijman R, de Haan EH, Kahn RS (1999) Memory impairment in schizophrenia: a meta-analysis. *Am J Psychiatry* 156:1358–1366.
- Allport A, Styles EA, Hsieh S (1994) Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks. *Atten Perform XV* 15:421–452.
- Andreasen NC, O’Leary DS, Flaum M, Nopoulos P, Watkins GL, Ponto LLB, Hichwa RD (1997) Hypofrontality in schizophrenia: distributed dysfunctional circuits in neuroleptic-naive patients. *The Lancet* 349:1730–1734.
- Arguin M, Bub D (1995) Priming and Response Selection Processes in Letter Classification and Identification Tasks. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 21:1199–1219.
- Aron AR (2007) The neural basis of inhibition in cognitive control. *Neurosci Rev J Bringing Neurobiol Neurol Psychiatry* 13:214–228.
- Axelrod BN, Goldman RS, Heaton RK, Curtiss G, Thompson LL, Chelune GJ, Kay GG (1996) Discriminability of the Wisconsin Card Sorting Test using the standardization sample. *J Clin Exp Neuropsychol* 18:338–342.
- Baars BJ (1988) *A cognitive theory of consciousness*. Cambridge, Mass.: Cambridge University Press. Available at: http://www.sscnet.ucla.edu/comm/steen/cogweb/Abstracts/Baars_88.html.
- Bach M (2006) The Freiburg Visual Acuity Test-Variability unchanged by post-hoc re-analysis. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 245:965–971.

-
- Bacon E, Izaute M, Danion J-M (2007) Preserved memory monitoring but impaired memory control during episodic encoding in patients with schizophrenia. *J Int Neuropsychol Soc* 13:219–227.
- Baddeley A (1992) Working memory. *Science* 255:556–559.
- Baddeley A (1996) Exploring the central executive. *Q J Exp Psychol Sect A* 49:5–28.
- Baddeley AD, Hitch GJ (1974) Working memory. In: *Recent advances in learning and motivation* (Bower GA, ed), pp 47–90. New York: Academic Press.
- Bahrami B, Lavie N, Rees G (2007) Attentional load modulates responses of human primary visual cortex to invisible stimuli. *Curr Biol* 17:509–513.
- Bar M (2003) A cortical mechanism for triggering top-down facilitation in visual object recognition. *J Cogn Neurosci* 15:600–609.
- Bar M, Aminoff E (2003) Cortical analysis of visual context. *Neuron* 38:347–358.
- Barbalat G, Chambon V, Franck N, Koechlin E, Farrer C (2009) Organization of cognitive control within the lateral prefrontal cortex in schizophrenia. *Arch Gen Psychiatry* 66:377–386.
- Bargh JA, Gollwitzer PM, Lee-Chai A, Barndollar K, Trötschel R (2001) The automated will: nonconscious activation and pursuit of behavioral goals. *J Pers Soc Psychol* 81:1014–1027.
- Barker WJ (1977) The role of retrieval in schizophrenic memory deficit. *Can J Behav Sci* 9:176–186.
- Barton JJS, Cherkasova MV, Lindgren K, Goff DC, Intriligator JM, Manoach DS (2002) Antisaccades and task switching: studies of control processes in saccadic function in normal subjects and schizophrenic patients. *Ann N Y Acad Sci* 956:250–263.
- Baumeister RF, Masicampo EJ, Vohs KD (2011) Do conscious thoughts cause behavior? *Annu Rev Psychol* 62:331–361.
- Bechara A, Damasio H, Tranel D, Damasio AR (1997) Deciding Advantageously Before Knowing the Advantageous Strategy. *Science* 275:1293–1295.
- Bijleveld E, Custers R, Aarts H (2010) Unconscious reward cues increase invested effort, but do not change speed-accuracy tradeoffs. *Cognition* 115:330–335.
- Bijleveld E, Custers R, Aarts H (2012) Adaptive reward pursuit: how effort requirements affect unconscious reward responses and conscious reward decisions. *J Exp Psychol Gen* 141:728–742.
- Binsted G, Brownell K, Vorontsova Z, Heath M, Saucier D (2007) Visuomotor system uses target features unavailable to conscious awareness. *Proc Natl Acad Sci* 104:12669 – 12672.

- Blakemore SJ, Smith J, Steel R, Johnstone EC, Frith CD (2000) The perception of self-produced sensory stimuli in patients with auditory hallucinations and passivity experiences: evidence for a breakdown in self-monitoring. *Psychol Med* 30:1131–1139.
- Blakemore SJ, Frith CD, Wolpert DM (2001) The cerebellum is involved in predicting the sensory consequences of action. *Neuroreport* 12:1879–1884.
- Blakemore SJ, Wolpert DM, Frith CD (2002) Abnormalities in the awareness of action. *Trends Cogn Sci* 6:237–242.
- Block N (2005) Two neural correlates of consciousness. *Trends Cogn Sci* 9:46–52.
- Boltwood CE, Blick KA (1970) The delineation and application of three mnemonic techniques. *Psychon Sci* 20:339–341.
- Bonner-Jackson A, Haut K, Csernansky JG, Barch DM (2005) The influence of encoding strategy on episodic memory and cortical activity in schizophrenia. *Biol Psychiatry* 58:47–55.
- Botvinick M, Cohen J (1998) Rubber hands “feel” touch that eyes see. *Nature* Available at: <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1998-00359-001> [Accessed October 11, 2013].
- Botvinick MM, Braver TS, Barch DM, Carter CS, Cohen JD (2001) Conflict monitoring and cognitive control. *Psychol Rev* 108:624.
- Brass M, Haggard P (2007) To do or not to do: the neural signature of self-control. *J Neurosci* 27:9141–9145.
- Braver TS, Reynolds JR, Donaldson DI (2003) Neural mechanisms of transient and sustained cognitive control during task switching. *Neuron* 39:713–726.
- Brébion G, Amador X, Smith MJ, Gorman JM (1997) Mechanisms underlying memory impairment in schizophrenia. *Psychol Med* 27:383–393.
- Brébion G, David AS, Jones H, Pilowsky LS (2004) Semantic organization and verbal memory efficiency in patients with schizophrenia. *Neuropsychology* 18:378–383.
- Breitmeyer B, Ogmen H (2006) *Visual Masking: Time Slices through Conscious and Unconscious Vision*, 2nd ed. Oxford University Press, USA.
- Broadbent DE (1957) A mechanical model for human attention and immediate memory. *Psychol Rev* 64:205.
- Bulot V, Thomas P, Delevoye-Turrell Y (2007) A pre-reflective indicator of an impaired sense of agency in patients with Schizophrenia. *Exp Brain Res* 183:115–126.
- Calev A, Venables PH, Monk AF (1983) Evidence for distinct verbal memory pathologies in severely and mildly disturbed schizophrenics. *Schizophr Bull* 9:247.

-
- Capa RL, Bouquet CA, Dreher J-C, Dufour A (2013) Long-lasting effects of performance-contingent unconscious and conscious reward incentives during cued task-switching. *Cortex* 49:1943–1954.
- Carter CS, MacDonald AW, Ross LL, Stenger VA (2001) Anterior cingulate cortex activity and impaired self-monitoring of performance in patients with schizophrenia: an event-related fMRI study. *Am J Psychiatry* 158:1423–1428.
- Castiello U, Paulignan Y, Jeannerod M (1991) Temporal dissociation of motor responses and subjective awareness. A study in normal subjects. *Brain J Neurol* 114 (Pt 6):2639–2655.
- Chambon V, Franck N, Koechlin E, Fakra E, Ciuperca G, Azorin J-M, Farrer C (2008) The architecture of cognitive control in schizophrenia. *Brain* 131:962–970.
- Chambon V, Haggard P (2012) Sense of control depends on fluency of action selection, not motor performance. *Cognition* 125:441–451.
- Chambon V, Wenke D, Fleming SM, Prinz W, Haggard P (2013) An online neural substrate for sense of agency. *Cereb Cortex N Y N 1991* 23:1031–1037.
- Chan AS, Kwok IC, Chiu H, Lam L, Pang A, Chow L (2000) Memory and organizational strategies in chronic and acute schizophrenic patients. *Schizophr Res* 41:431–445.
- Cohen MX, van Gaal S, Ridderinkhof KR, Lamme VAF (2009) Unconscious errors enhance prefrontal-occipital oscillatory synchrony. *Front Hum Neurosci* 3:54.
- Cohen NJ, Squire LR (1980) Preserved learning and retention of pattern-analyzing skill in amnesia: Dissociation of knowing how and knowing that. *Science* Available at: <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1981-26121-001> [Accessed January 12, 2014].
- Collins CJS, Barnes GR (2009) Predicting the unpredictable: weighted averaging of past stimulus timing facilitates ocular pursuit of randomly timed stimuli. *J Neurosci* 29:13302–13314.
- Corbetta M, Shulman GL (2002) Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nat Rev Neurosci* 3:201–215.
- Coull JT, Nobre AC (1998) Where and when to pay attention: the neural systems for directing attention to spatial locations and to time intervals as revealed by both PET and fMRI. *J Neurosci* 18:7426–7435.
- Custers R, Aarts H (2010) The Unconscious Will: How the Pursuit of Goals Operates Outside of Conscious Awareness. *Science* 329:47–50.
- Damasio AR (1998) Investigating the biology of consciousness. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 353:1879–1882.
- Danion J-M, Cuervo C, Piolino P, Huron C, Riutort M, Peretti CS, Eustache F (2005) Conscious recollection in autobiographical memory: an investigation in schizophrenia. *Conscious Cogn* 14:535–547.

- Danion J-M, Huron C, Vidailhet P, Berna F (2007) Functional mechanisms of episodic memory impairment in schizophrenia. *Can J Psychiatry* 52:693–701.
- Danion J-M, Meulemans T, Kauffmann-Muller F, Vermaat H (2001) Intact Implicit Learning in Schizophrenia. *Am J Psychiatry* 158:944–948.
- Danion J-M, Rizzo L, Bruant A (1999) Functional Mechanisms Underlying Impaired Recognition Memory and Conscious Awareness in Patients With Schizophrenia. *Arch Gen Psychiatry* 56:639–644.
- Daprati E, Franck N, Georgieff N, Proust J, Pacherie E, Dalery J, Jeannerod M (1997) Looking for the agent: an investigation into consciousness of action and self-consciousness in schizophrenic patients. *Cognition* 65:71–86.
- De Gardelle V, Kouider S (2009) Cognitive theories of consciousness. *Enycl Conscious* 1:135–146.
- Dean I, Harper NS, McAlpine D (2005) Neural population coding of sound level adapts to stimulus statistics. *Nat Neurosci* 8:1684–1689.
- Dehaene S, Artiges E, Naccache L, Martelli C, Viard A, Schürhoff F, Recasens C, Martinot MLP, Leboyer M, Martinot J-L (2003) Conscious and subliminal conflicts in normal subjects and patients with schizophrenia: The role of the anterior cingulate. *Proc Natl Acad Sci U S A* 100:13722–13727.
- Dehaene S, Changeux J-P (2011) Experimental and theoretical approaches to conscious processing. *Neuron* 70:200–227.
- Dehaene S, Changeux J-P, Naccache L, Sackur J, Sergent C (2006) Conscious, preconscious, and subliminal processing: a testable taxonomy. *Trends Cogn Sci* 10:204–211.
- Dehaene S, Kerszberg M, Changeux J-P (1998) A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks. *Proc Natl Acad Sci* 95:14529–14534.
- Dehaene S, Naccache L (2001) Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework. *Cognition* 79:1–37.
- Del Cul A, Baillet S, Dehaene S (2007) Brain dynamics underlying the nonlinear threshold for access to consciousness. *PLoS Biol* 5:e260.
- Del Cul A, Dehaene S, Leboyer M (2006) Preserved subliminal processing and impaired conscious access in schizophrenia. *Arch Gen Psychiatry* 63:1313–1323.
- Delevoeye-Turrell Y, Giersch A, Danion J-M (2002) A deficit in the adjustment of grip force responses in schizophrenia. *Neuroreport* 13:1537–1539.
- Delevoeye-Turrell Y, Giersch A, Danion J-M (2003) Abnormal Sequencing of Motor Actions in Patients With Schizophrenia: Evidence From Grip Force Adjustments During Object Manipulation. *Am J Psychiatry* 160:134–141.

-
- Delevoeye-Turrell Y, Giersch A, Wing AM, Danion J-M (2007) Motor fluency deficits in the sequencing of actions in schizophrenia. *J Abnorm Psychol* 116:56–64.
- Delevoeye-Turrell YN, Thomas P, Giersch A (2006) Attention for movement production: Abnormal profiles in schizophrenia. *Schizophr Res* 84:430–432.
- Descartes R (1651) *Les principes de la philosophie*. Chez Henry le Gras et Edme Pepingué.
- Desimone R, Duncan J (1995) Neural Mechanisms of Selective Visual Attention. *Annu Rev Neurosci* 18:193–222.
- Desmurget M, Reilly KT, Richard N, Szathmari A, Mottolese C, Sirigu A (2009) Movement Intention After Parietal Cortex Stimulation in Humans. *Science* 324:811–813.
- Desmurget M, Sirigu A (2009) A parietal-premotor network for movement intention and motor awareness. *Trends Cogn Sci* 13:411–419.
- Deubel H (2008) The time course of presaccadic attention shifts. *Psychol Res* 72:630–640.
- Deubel H, Schneider WX (1996) Saccade target selection and object recognition: evidence for a common attentional mechanism. *Vision Res* 36:1827–1837.
- Dupoux E, Gardelle V de, Kouider S (2008) Subliminal speech perception and auditory streaming. *Cognition* 109:267–273.
- Edelman GM, Gally JA, Baars BJ (2011) Biology of consciousness. *Front Psychol* 2:4.
- Eimer M, Schlaghecken F (2003) Response facilitation and inhibition in subliminal priming. *Biol Psychol* 64:7–26.
- Ey H (1963) *La conscience*. Paris: Presses universitaires de France.
- Fabre L, Lemaire P, Grainger J (2007) Attentional modulation of masked repetition and categorical priming in young and older adults. *Cognition* 105:513–532.
- Farrer C, Franck N, Georgieff N, Frith CD, Decety J, Jeannerod M (2003) Modulating the experience of agency: a positron emission tomography study. *NeuroImage* 18:324–333.
- Farrer C, Frey SH, Horn JDV, Tunik E, Turk D, Inati S, Grafton ST (2008) The Angular Gyrus Computes Action Awareness Representations. *Cereb Cortex* 18:254–261.
- Farrer C, Valentin G, Hupé JM (2013) The time windows of the sense of agency. *Conscious Cogn* 22:1431–1441.
- Ferrand L (1996) The masked repetition priming effect dissipates when increasing the inter-stimulus interval: Evidence from word naming. *Acta Psychol (Amst)* 91:15–25.
- Finkbeiner M, Palermo R (2009) The role of spatial attention in nonconscious processing: a comparison of face and nonface stimuli. *Psychol Sci* 20:42–51.

- Fischer R, Plessow F, Kiesel A (2013) The effects of alerting signals in masked priming. *Front Psychol* 4 Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3713395/> [Accessed December 30, 2013].
- Fischer R, Schubert T, Liepelt R (2007) Accessory stimuli modulate effects of nonconscious priming. *Percept Psychophys* 69:9–22.
- Fitzsimons GM, Bargh JA (2003) Thinking of you: nonconscious pursuit of interpersonal goals associated with relationship partners. *J Pers Soc Psychol* 84:148.
- Fletcher PC, Frith CD (2009) Perceiving is believing: a Bayesian approach to explaining the positive symptoms of schizophrenia. *Nat Rev Neurosci* 10:48–58.
- Foley JM, Schwarz W (1998) Spatial attention: Effect of position uncertainty and number of distractor patterns on the threshold-versus-contrast function for contrast discrimination. *JOSA A* 15:1036–1047.
- Fourneret P, Jeannerod M (1998) Limited conscious monitoring of motor performance in normal subjects. *Neuropsychologia* 36:1133–1140.
- Francis G (1997) Cortical dynamics of lateral inhibition: Metacontrast masking. *Psychol Rev* 104:572–594.
- Franck N, Farrer C, Georgieff N, Marie-Cardine M, Daléry J, d' Amato T, Jeannerod M (2001) Defective recognition of one's own actions in patients with schizophrenia. *Am J Psychiatry* 158:454–459.
- Freud S (1917) *Introduction à la psychanalyse*; traduit par S. Jankelevitch, 1953. Paris: Ed. Payot & Rivages.
- Fried I, Katz A, McCarthy G, Sass KJ, Williamson P, Spencer SS, Spencer DD (1991) Functional organization of human supplementary motor cortex studied by electrical stimulation. *J Neurosci Off J Soc Neurosci* 11:3656–3666.
- Fried I, Mukamel R, Kreiman G (2011) Internally generated preactivation of single neurons in human medial frontal cortex predicts volition. *Neuron* 69:548–562.
- Frings C, Wentura D (2008) Trial-by-trial effects in the affective priming paradigm. *Acta Psychol (Amst)* 128:318–323.
- Friston KJ (1999) Schizophrenia and the disconnection hypothesis. *Acta Psychiatr Scand* 395:68–79.
- Frith C (2005) The neural basis of hallucinations and delusions. *C R Biol* 328:169–175.
- Frith CD, Blakemore S, Wolpert DM (2000a) Abnormalities in the awareness and control of action. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 355:1771–1788.
- Frith CD, Blakemore S, Wolpert DM (2000b) Explaining the symptoms of schizophrenia: abnormalities in the awareness of action. *Brain Res Brain Res Rev* 31:357–363.

-
- Fuster JM (2001) The Prefrontal Cortex—An Update: Time Is of the Essence. *Neuron* 30:319–333.
- Gaillard R, Dehaene S, Adam C, Clémenceau S, Hasboun D, Baulac M, Cohen L, Naccache L (2009) Converging Intracranial Markers of Conscious Access. *PLoS Biol* 7:e1000061.
- Gaillard R, Del Cul A, Naccache L, Vinckier F, Cohen L, Dehaene S (2006) Nonconscious semantic processing of emotional words modulates conscious access. *Proc Natl Acad Sci U S A* 103:7524–7529.
- Gallagher (2000) Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. *Trends Cogn Sci* 4:14–21.
- Gauchet M (1992) *L'inconscient cérébral*. Paris: Editions du Seuil.
- Genovesio A, Brasted PJ, Mitz AR, Wise SP (2005) Prefrontal cortex activity related to abstract response strategies. *Neuron* 47:307–320.
- Ghinescu R, Schachtman TR, Stadler MA, Fabiani M, Gratton G (2010) Strategic behavior without awareness? Effects of implicit learning in the Eriksen flanker paradigm. *Mem Cognit* 38:197–205.
- Giersch A, Lalanne L, Corves C, Seubert J, Shi Z, Foucher J, Elliott MA (2009) Extended visual simultaneity thresholds in patients with schizophrenia. *Schizophr Bull* 35:816–825.
- Giersch A, Lalanne L, van Assche M, Elliott MA (2013) On disturbed time continuity in schizophrenia: an elementary impairment in visual perception? *Front Psychol* 4:281.
- Gold JJ, Shadlen MN (2007) The Neural Basis of Decision Making. *Annu Rev Neurosci* 30:535–574.
- Goldman-Rakic PS, Cools AR, Srivastava K (1996) The prefrontal landscape: implications of functional architecture for understanding human mentation and the central executive [and Discussion]. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 351:1445–1453.
- Goldstein JM, Goodman JM, Seidman LJ, Kennedy DN, Makris N, Lee H, Tourville J, Caviness VS Jr, Faraone SV, Tsuang MT (1999) Cortical abnormalities in schizophrenia identified by structural magnetic resonance imaging. *Arch Gen Psychiatry* 56:537–547.
- Gollwitzer PM, Sheeran P (2006) Implementation intentions and goal achievement: A meta-analysis of effects and processes. *Adv Exp Soc Psychol* 38:69–119.
- Gotler A, Meiran N, Tzelgov J (2003) Nonintentional task set activation: Evidence from implicit task sequence learning. *Psychon Bull Rev* 10:890.
- Green MF, Kern RS, Braff DL, Mintz J (2000) Neurocognitive deficits and functional outcome in schizophrenia: are we measuring the “right stuff”? *Schizophr Bull* 26:119–136.

- Greenwald AG, Abrams RL, Naccache L, Dehaene S (2003) Long-term semantic memory versus contextual memory in unconscious number processing. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 29:235–247.
- Greenwald AG, Draine SC, Abrams RL (1996) Three cognitive markers of unconscious semantic activation. *Science* 273:1699–1702.
- Greenwald AG, Klinger MR, Schuh ES (1995) Activation by marginally perceptible (“subliminal”) stimuli: dissociation of unconscious from conscious cognition. *J Exp Psychol Gen* 124:22–42.
- Greenzang C, Manoach DS, Goff DC, Barton JJS (2007) Task-switching in schizophrenia: active switching costs and passive carry-over effects in an antisaccade paradigm. *Exp Brain Res* 181:493–502.
- Haggard P (2005) Conscious intention and motor cognition. *Trends Cogn Sci* 9:290–295.
- Haggard P (2008) Human volition: towards a neuroscience of will. *Nat Rev Neurosci* 9:934–946.
- Haggard P, Clark S (2003) Intentional action: conscious experience and neural prediction. *Conscious Cogn* 12:695–707.
- Haggard P, Clark S, Kalogeras J (2002) Voluntary action and conscious awareness. *Nat Neurosci* 5:382–385.
- Haggard P, Eimer M (1999) On the relation between brain potentials and the awareness of voluntary movements. *Exp Brain Res* 126:128–133.
- Haggard P, Martin F, Taylor-Clarke M, Jeannerod M, Franck N (2003) Awareness of action in schizophrenia. *Neuroreport* 14:1081–1085.
- Haggard P, Whitford B (2004) Supplementary motor area provides an efferent signal for sensory suppression. *Brain Res Cogn Brain Res* 19:52–58.
- Hakun JG, Ravizza SM (2012) Cognitive control: preparation of task switching components. *Brain Res* 1451:53–64.
- Hannula DE, Simons DJ, Cohen NJ (2005) Imaging implicit perception: promise and pitfalls. *Nat Rev Neurosci* 6:247–255.
- Hart W, Albarracín D (2009) The effects of chronic achievement motivation and achievement primes on the activation of achievement and fun goals. *J Pers Soc Psychol* 97:1129.
- Hartcher-O’Brien J, Levitan C, Spence C (2010) Extending visual dominance over touch for input off the body. *Brain Res* 1362:48–55.
- Hashimoto A, Watanabe S, Inui K, Hoshiyama M, Murase S, Kakigi R (2006) Backward-masking: the effect of the duration of the second stimulus on recognition of the first stimulus. *Neuroscience* 137:1427–1437.

-
- Haynes J-D, Sakai K, Rees G, Gilbert S, Frith C, Passingham RE (2007) Reading hidden intentions in the human brain. *Curr Biol* 17:323–328.
- Heckers S, Rauch S, Goff D, Savage C, Schacter D, Fischman A, Alpert N (1998) Impaired recruitment of the hippocampus during conscious recollection in schizophrenia. *Nat Neurosci* 1:318–323.
- Heinrichs RW, Zakzanis KK (1998) Neurocognitive deficit in schizophrenia: a quantitative review of the evidence. *Neuropsychology* 12:426–445.
- Heuer H, Rapp K (2012) Adaptation to novel visuo-motor transformations: further evidence of functional haptic neglect. *Exp Brain Res* 218:129–140.
- Hill SK, Beers SR, Kmiec JA, Keshavan MS, Sweeney JA (2004) Impairment of verbal memory and learning in antipsychotic-naïve patients with first-episode schizophrenia. *Schizophr Res* 68:127–136.
- Hilsenrat M, Reiner M (2009) The impact of unaware perception on bodily interaction in virtual reality environments. *Presence Teleoperators Virtual Environ* 18:413–420.
- Hilsenrat M, Reiner M (2011) The impact of subliminal haptic perception on the preference discrimination of roughness and compliance. *Brain Res Bull* 85:267–270.
- Holland RW, Hendriks M, Aarts H (2005) Smells Like Clean Spirit Nonconscious Effects of Scent on Cognition and Behavior. *Psychol Sci* 16:689–693.
- Hommel B (2007) Consciousness and control: Not identical twins. *J Conscious Stud* 14 1:155–176.
- Howes OD, Kapur S (2009) The Dopamine Hypothesis of Schizophrenia: Version III—The Final Common Pathway. *Schizophr Bull* 35:549–562.
- Huddy VC, Aron AR, Harrison M, Barnes TRE, Robbins TW, Joyce EM (2009) Impaired conscious and preserved unconscious inhibitory processing in recent onset schizophrenia. *Psychol Med* 39:907–916.
- Hughes G, Velmans M, Fockert JD (2009) Unconscious priming of a no-go response. *Psychophysiology* 46:1258–1269.
- Huron C, Danion J-M, Giacomoni F, Grangé D, Robert P, Rizzo L (1995) Impairment of recognition memory with, but not without, conscious recollection in schizophrenia. *Am J Psychiatry* 152:1737–1742.
- Huxley TH (1874) On the Hypothesis that Animals are Automata, and its History. *Nature* 10:362–366.
- Ikeda A, Lüders HO, Burgess RC, Shibasaki H (1992) Movement-related potentials recorded from supplementary motor area and primary motor area. Role of supplementary motor area in voluntary movements. *Brain J Neurol* 115 (Pt 4):1017–1043.

- Jamadar S, Michie P, Karayanidis F (2010) Compensatory mechanisms underlie intact task-switching performance in schizophrenia. *Neuropsychologia* 48:1305–1323.
- Javitt DC (2009) When doors of perception close: bottom-up models of disrupted cognition in schizophrenia. *Annu Rev Clin Psychol* 5:249–275.
- Javitt DC, Spencer KM, Thaker GK, Winterer G, Hajós M (2008) Neurophysiological biomarkers for drug development in schizophrenia. *Nat Rev Drug Discov* 7:68–83.
- Jeannerod M (2003) The mechanism of self-recognition in humans. *Behav Brain Res* 142:1–15.
- Jeannerod M (2004) Visual and action cues contribute to the self–other distinction. *Nat Neurosci* 7:422–423.
- Jeannerod M (2009a) The sense of agency and its disturbances in schizophrenia: a reappraisal. *Exp Brain Res* 192:527–532.
- Jeannerod M (2009b) *Le cerveau volontaire*. [Paris]: O. Jacob.
- Jogems-Kosterman B, Zitman F, Van Hoof J, Hulstijn W (2001) Psychomotor slowing and planning deficits in schizophrenia. *Schizophr Res* 48:317–333.
- Karayanidis F, Nicholson R, Schall U, Meem L, Fulham R, Michie PT (2006) Switching between univalent task-sets in schizophrenia: ERP evidence of an anticipatory task-set reconfiguration deficit. *Clin Neurophysiol* 117:2172–2190.
- Kareken DA, Moberg PJ, Gur RC (1996) Proactive inhibition and semantic organization: relationship with verbal memory in patients with schizophrenia. *J Int Neuropsychol Soc* 2:486–493.
- Kay AC, Wheeler SC, Bargh JA, Ross L (2004) Material priming: The influence of mundane physical objects on situational construal and competitive behavioral choice. *Organ Behav Hum Decis Process* 95:83–96.
- Kazès M, Berthet L, Danion J-M, Amado I, Willard D, Robert P, Poirier MF (1999) Impairment of consciously controlled use of memory in schizophrenia. *Neuropsychology* 13:54–61.
- Keefe RSE, Eesley CE (2009) Neurocognition in Schizophrenia. In: Kaplan & Sadock's comprehensive textbook of psychiatry (Sadock BJ, Sadock VA, Ruiz P, eds).
- Kentridge RW, Heywood CA, Weiskrantz L (2004) Spatial attention speeds discrimination without awareness in blindsight. *Neuropsychologia* 42:831–835.
- Kentridge RW, Nijboer TCW, Heywood CA (2008) Attended but unseen: Visual attention is not sufficient for visual awareness. *Neuropsychologia* 46:864–869.
- Kiefer M, Brendel D (2006) Attentional modulation of unconscious “automatic” processes: evidence from event-related potentials in a masked priming paradigm. *J Cogn Neurosci* 18:184–198.

-
- Kiefer M, Martens U (2010) Attentional sensitization of unconscious cognition: task sets modulate subsequent masked semantic priming. *J Exp Psychol Gen* 139:464–489.
- Kiefer M, Morschett A, Schönfeldt-Lecuona C, Spitzer M, Kammer T (2013) Altered time course of unconscious response priming in schizophrenia patients. *Schizophr Res* 150:590–591.
- Kiefer M, Spitzer M (2000) Time course of conscious and unconscious semantic brain activation. [Miscellaneous Article]. *Neuroreport* August 3 2000 11:2401–2407.
- Kieffaber PD, Kappenman ES, Bodkins M, Shekhar A, O'Donnell BF, Hetrick WP (2006) Switch and maintenance of task set in schizophrenia. *Schizophr Res* 84:345–358.
- Kiesel A, Miller J (2007) Impact of contingency manipulations on accessory stimulus effects. *Atten Percept Psychophys* 69:1117–1125.
- Kiesel A, Steinhauser M, Wendt M, Falkenstein M, Jost K, Philipp AM, Koch I (2010) Control and interference in task switching--a review. *Psychol Bull* 136:849–874.
- Kim C-Y, Blake R (2005) Psychophysical magic: rendering the visible “invisible.” *Trends Cogn Sci* 9:381–388.
- Kirchhoff BA (2009) Individual Differences in Episodic Memory: The Role of Self-initiated Encoding Strategies. *The Neuroscientist* 15:166–179.
- Knoblich G, Kircher TTJ (2004) Deceiving oneself about being in control: conscious detection of changes in visuomotor coupling. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 30:657–666.
- Knoblich G, Stottmeister F, Kircher T (2004) Self-monitoring in patients with schizophrenia. *Psychol Med* 34:1561–1569.
- Knudsen EI (2007) Fundamental components of attention. *Annu Rev Neurosci* 30:57–78.
- Koch C, Tsuchiya N (2007) Attention and consciousness: Two distinct brain processes. *Trends Cogn Sci* 11:16–22.
- Koch I (2001) Automatic and intentional activation of task sets. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 27:1474–1486.
- Koechlin E, Ody C, Kouneiher F (2003) The Architecture of Cognitive Control in the Human Prefrontal Cortex. *Science* 302:1181–1185.
- Koh SD, Peterson RA (1978) Encoding orientation and the remembering of schizophrenic young adults. *J Abnorm Psychol* 87:303.
- Körding KP, Beierholm U, Ma WJ, Quartz S, Tenenbaum JB, Shams L (2007) Causal inference in multisensory perception. *PLoS One* 2:e943.
- Körding KP, Wolpert DM (2006) Bayesian decision theory in sensorimotor control. *Trends Cogn Sci* 10:319–326.

- Kouider S, de Gardelle V, Dehaene S, Dupoux E, Pallier C (2010) Cerebral bases of subliminal speech priming. *NeuroImage* 49:922–929.
- Kouider S, Dehaene S (2007) Levels of processing during non-conscious perception: a critical review of visual masking. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* 362:857–875.
- Kubicki M, McCarley RW, Nestor PG, Huh T, Kikinis R, Shenton ME, Wible CG (2003) An fMRI study of semantic processing in men with schizophrenia. *NeuroImage* 20:1923–1933.
- Kunde W (2003) Sequential modulations of stimulus-response correspondence effects depend on awareness of response conflict. *Psychon Bull Rev* 10:198–205.
- Kunde W, Kiesel A, Hoffmann J (2003) Conscious control over the content of unconscious cognition. *Cognition* 88:223–242.
- Kunst-Wilson WR, Zajonc RB (1980) Affective discrimination of stimuli that cannot be recognized. *Sci N Y NY* 207:557.
- Lalanne L, Dufour A, Després O, Giersch A (2012a) Attention and Masking in Schizophrenia. *Biol Psychiatry* 71:162–168.
- Lalanne L, Van Assche M, Wang W, Giersch A (2012b) Looking forward: An impaired ability in patients with schizophrenia? *Neuropsychologia* 50:2736–2744.
- Lamme VAF (2003) Why visual attention and awareness are different. *Trends Cogn Sci* 7:12–18.
- Lamme VAF (2006) Towards a true neural stance on consciousness. *Trends Cogn Sci* 10:494–501.
- Lamme VAF, Roelfsema PR (2000) The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing. *Trends Neurosci* 23:571–579.
- Lau H, Rosenthal D (2011) Empirical support for higher-order theories of conscious awareness. *Trends Cogn Sci* 15:365–373.
- Lau HC (2007) A higher order Bayesian decision theory of consciousness. *Prog Brain Res* 168:35–48.
- Lau HC, Passingham RE (2007) Unconscious activation of the cognitive control system in the human prefrontal cortex. *J Neurosci* 27:5805–5811.
- Lee J, Park S (2005) Working memory impairments in schizophrenia: a meta-analysis. *J Abnorm Psychol* 114:599–611.
- Leitman DI, Laukka P, Juslin PN, Saccante E, Butler P, Javitt DC (2010) Getting the cue: sensory contributions to auditory emotion recognition impairments in schizophrenia. *Schizophr Bull* 36:545–556.

-
- Lenggenhager B, Tadi T, Metzinger T, Blanke O (2007) Video ergo sum: manipulating bodily self-consciousness. *Science* 317:1096–1099.
- Leonard CJ, Chiu Y-C (2007) What You Set Is Not What You See: Unconscious Activation of Cognitive Control. *J Neurosci* 27:11170–11171.
- Levitt H (1971) Transformed up-down methods in psychoacoustics. *J Acoust Soc Am* 49:467.
- Lewis S, Escalona PR, Keith SJ (2009) Phenomenology of Schizophrenia. In: Kaplan & Sadock's comprehensive textbook of psychiatry (Sadock BJ, Sadock VA, Ruiz P, eds).
- Li C-SR (2004) Do schizophrenia patients make more perseverative than non-perseverative errors on the Wisconsin Card Sorting Test? A meta-analytic study. *Psychiatry Res* 129:179–190.
- Li FF, VanRullen R, Koch C, Perona P (2002) Rapid natural scene categorization in the near absence of attention. *Proc Natl Acad Sci* 99:9596–9601.
- Libet B, Gleason CA, Wright EW, Pearl DK (1983) Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential). The unconscious initiation of a freely voluntary act. *Brain J Neurol* 106 (Pt 3):623–642.
- Lingnau A, Vorberg D (2005) The time course of response inhibition in masked priming. *Percept Psychophys* 67:545–557.
- Locke J (1690) *Essai philosophique concernant l'entendement humain*. Paris: Librairie philosophique J. Vrin, 1998.
- Logan GD, Bundesen C (2003) Clever homunculus: is there an endogenous act of control in the explicit task-cuing procedure? *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 29:575–599.
- Logan GD, Crump MJ (2010) Cognitive illusions of authorship reveal hierarchical error detection in skilled typists. *Science* 330:683–686.
- Logan GD, Schneider DW (2006) Priming or executive control? Associative priming of cue encoding increases “switch costs” in the explicit task-cuing procedure. *Mem Cognit* 34:1250–1259.
- Louw S, Kappers AML, Koenderink JJ (2002) Haptic discrimination of stimuli varying in amplitude and width. *Exp Brain Res* 146:32–37.
- Lu Z-L, Neuse J, Madigan S, Doshier BA (2005) Fast decay of iconic memory in observers with mild cognitive impairments. *Proc Natl Acad Sci U S A* 102:1797–1802.
- Mack A, Rock I (1998) Inattention blindness: Perception without attention. In: *Visual attention* (Wright RD, ed), pp 55–76. Oxford University Press.
- Maia TV, McClelland JL (2004) A reexamination of the evidence for the somatic marker hypothesis: What participants really know in the Iowa gambling task. *Proc Natl Acad Sci U S A* 101:16075–16080.

- Malenka RC, Angel RW, Hampton B, Berger PA (1982) Impaired central error-correcting behavior in schizophrenia. *Arch Gen Psychiatry* 39:101.
- Manoach DS, Lindgren KA, Cherkasova MV, Goff DC, Halpern EF, Intriligator J, Barton JJS (2002) Schizophrenic subjects show deficient inhibition but intact task switching on saccadic tasks. *Biol Psychiatry* 51:816–826.
- Marchal-Crespo L, Reinkensmeyer DJ (2008) Haptic Guidance Can Enhance Motor Learning of a Steering Task. *J Mot Behav* 40:545–557.
- Marchal-Crespo L, van Raaij M, Rauter G, Wolf P, Riener R (2013) The effect of haptic guidance and visual feedback on learning a complex tennis task. *Exp Brain Res* 231:277–291.
- Martens U, Ansorge U, Kiefer M (2011) Controlling the unconscious: attentional task sets modulate subliminal semantic and visuomotor processes differentially. *Psychol Sci J Am Psychol Soc APS* 22:282–291.
- Marzouki Y, Grainger J, Theeuwes J (2007) Exogenous spatial cueing modulates subliminal masked priming. *Acta Psychol (Amst)* 126:34–45.
- Matsui M, Yuuki H, Kato K, Kurachi M (2006) Impairment of memory organization in patients with schizophrenia or schizotypal disorder. *J Int Neuropsychol Soc* 12:750–754.
- Mattler U (2003) Priming of mental operations by masked stimuli. *Percept Psychophys* 65:167–187.
- Mattler U (2005) Inhibition and decay of motor and nonmotor priming. *Percept Psychophys* 67:285–300.
- Mattler U (2006) On the locus of priming and inverse priming effects. *Percept Psychophys* 68:975–991.
- Mattler U, Palmer S (2012) Time course of free-choice priming effects explained by a simple accumulator model. *Cognition* 123:347–360.
- Mayr U (2002) Inhibition of action rules. *Psychon Bull Rev* 9:93–99.
- McClain L (1983) Encoding and retrieval in schizophrenics' free recall. *J Nerv Ment Dis* 171:471.
- Meiran N (2000) Modeling cognitive control in task-switching. *Psychol Res* 63:234–249.
- Meiran N, Levine J, Meiran N, Henik A (2000) Task set switching in schizophrenia. *Neuropsychology* 14:471–482.
- Merikle PM, Joordens S, Stolz JA (1995) Measuring the relative magnitude of unconscious influences. *Conscious Cogn* 4:422–439.
- Metcalfe J, Greene MJ (2007) Metacognition of agency. *J Exp Psychol Gen* 136:184–199.

-
- Miall RC, Wolpert DM (1996) Forward models for physiological motor control. *Neural Netw* 9:1265–1279.
- Miele DB, Wager TD, Mitchell JP, Metcalfe J (2011) Dissociating Neural Correlates of Action Monitoring and Metacognition of Agency. *J Cogn Neurosci* 23:3620–3636.
- Milot M-H, Marchal-Crespo L, Green CS, Cramer SC, Reinkensmeyer DJ (2010) Comparison of error-amplification and haptic-guidance training techniques for learning of a timing-based motor task by healthy individuals. *Exp Brain Res* 201:119–131.
- Minkowski E (1927) *La schizophrénie : psychopathologie des schizoïdes et des schizophrènes*. Paris: Payot.
- Monsell S (2003) Task switching. *Trends Cogn Sci* 7:134–140.
- Monsell S, Sumner P, Waters H (2003) Task-set reconfiguration with predictable and unpredictable task switches. *Mem Cognit* 31:327–342.
- Mulckhuysen M, Theeuwes J (2010) Unconscious attentional orienting to exogenous cues: A review of the literature. *Acta Psychol (Amst)* 134:299–309.
- Müsseler J, Sutter C (2009) Perceiving one's own movements when using a tool. *Conscious Cogn* 18:359–365.
- Naccache L, Blandin E, Dehaene S (2002) Unconscious masked priming depends on temporal attention. *Psychol Sci* 13:416–424.
- Naccache L, Dehaene S (2001) Unconscious semantic priming extends to novel unseen stimuli. *Cognition* 80:215–229.
- Naccache L, Gaillard R, Adam C, Hasboun D, Clémenceau S, Baulac M, Dehaene S, Cohen L (2005) A direct intracranial record of emotions evoked by subliminal words. *Proc Natl Acad Sci U S A* 102:7713–7717.
- Nahmias E (2005) Agency, authorship, and illusion. *Conscious Cogn* 14:771–785.
- Neumann O, Klotz W (1994) Motor responses to nonreportable, masked stimuli: Where is the limit of direct parameter specification. In: *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing* (Umiltà C, ed), pp 123–150. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- New B, Pallier C, Ferrand L, Matos R (2001) Une base de données lexicales du français contemporain sur internet: LEXIQUETM//A lexical database for contemporary french: LEXIQUETM. *Année Psychol* 101:447–462.
- Nietzsche F (1886) *Par delà le bien et le mal / Frédéric Nietzsche ; traduit par L. Weiscopef et G. Art ; [et édité par Henri Albert]*. C. G. Naumann (Leipzig). Available at: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5526366d> [Accessed June 21, 2013].

- Nohara S, Suzuki M, Kurachi M, Yamashita I, Matsui M, Seto H, Saitoh O (2000) Neural correlates of memory organization deficits in schizophrenia. A single photon emission computed tomography study with 99mTc-ethyl-cysteinate dimer during a verbal learning task. *Schizophr Res* 42:209–222.
- Oldfield RC (1971) The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9:97–113.
- Olivers CN, Van der Burg E (2008) Bleeping you out of the blink: Sound saves vision from oblivion. *Brain Res* 1242:191–199.
- Ortells JJ, Frings C, Plaza-Ayllon V (2012) Influence of spatial attention on conscious and unconscious word priming. *Conscious Cogn* 21:117–138.
- Pacherie E (2008) The phenomenology of action: A conceptual framework. *Cognition* 107:179–217.
- Palmer BW, Heaton RK (2000) Executive dysfunction in schizophrenia. In: Sharma, T., Harvey, P. (Eds.), *Cognition in Schizophrenia: Impairments, Importance and Treatment Strategies*, pp 51–73. Oxford: Oxford University Press.
- Pantelis C, Barber FZ, Barnes TR, Nelson HE, Owen AM, Robbins TW (1999) Comparison of set-shifting ability in patients with chronic schizophrenia and frontal lobe damage. *Schizophr Res* 37:251–270.
- Pantelis C, Harvey CA, Plant G, Fossey E, Maruff P, Stuart GW, Brewer WJ, Nelson HE, Robbins TW, Barnes TRE (2004) Relationship of behavioural and symptomatic syndromes in schizophrenia to spatial working memory and attentional set-shifting ability. *Psychol Med* 34:693–703.
- Parducci A (1965) Category judgment: a range-frequency model. *Psychol Rev* 72:407.
- Paul BM, Elvevåg B, Bokat CE, Weinberger DR, Goldberg TE (2005) Levels of processing effects on recognition memory in patients with schizophrenia. *Schizophr Res* 74:101–110.
- Paulsen JS, Heaton RK, Sadek JR, Perry W, Delis DC, Braff D, Kuck J, Zisook S, Jeste DV (1995) The nature of learning and memory impairments in schizophrenia. *J Int Neuropsychol Soc* 1:88–99.
- Pavone EF, Marzi CA, Girelli M (2009) Does subliminal visual perception have an error-monitoring system? *Eur J Neurosci* 30:1424–1431.
- Persaud N, McLeod P, Cowey A (2007) Post-decision wagering objectively measures awareness. *Nat Neurosci* 10:257–261.
- Pessiglione M, Schmidt L, Draganski B, Kalisch R, Lau H, Dolan RJ, Frith CD (2007) How the Brain Translates Money into Force. *Science* 316:904–906.
- Pettersson-Yeo W, Allen P, Benetti S, McGuire P, Mechelli A (2011) Dysconnectivity in schizophrenia: Where are we now? *Neurosci Biobehav Rev* 35:1110–1124.

-
- Platon (1997) *Apologie de Socrate*. Trad. Brisson L. Paris: Flammarion.
- Posner MI (1994) Attention: the mechanisms of consciousness. *Proc Natl Acad Sci* 91:7398–7403.
- Ragland JD, Gur RC, Valdez J, Turetsky BI, Elliott M, Kohler C, Siegel S, Kanes S, Gur RE (2004) Event-Related fMRI of Frontotemporal Activity During Word Encoding and Recognition in Schizophrenia. *Am J Psychiatry* 161:1004–1015.
- Ragland JD, Gur RC, Valdez JN, Loughead J, Elliott M, Kohler C, Kanes S, Siegel SJ, Moelter ST, Gur RE (2005) Levels-of-Processing Effect on Frontotemporal Function in Schizophrenia During Word Encoding and Recognition. *Am J Psychiatry* 162:1840–1848.
- Ragland JD, Moelter ST, McGrath C, Hill SK, Gur RE, Bilker WB, Siegel SJ, Gur RC (2003) Levels-of-processing effect on word recognition in schizophrenia. *Biol Psychiatry* 54:1154–1161.
- Rahnev DA, Huang E, Lau H (2012) Subliminal stimuli in the near absence of attention influence top-down cognitive control. *Atten Percept Psychophys* 74:521–532.
- Rangelov D, Töllner T, Müller HJ, Zehetleitner M (2013) What are task-sets: a single, integrated representation or a collection of multiple control representations? *Front Hum Neurosci* 7:524.
- Ravizza SM, Moua KCK, Long D, Carter CS (2010) The impact of context processing deficits on task-switching performance in schizophrenia. *Schizophr Res* 116:274–279.
- Raymond JE, Shapiro KL, Arnell KM (1992) Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: an attentional blink? *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 18:849–860.
- Raz A, Buhle J (2006) Typologies of attentional networks. *Nat Rev Neurosci* 7:367–379.
- Rees G, Kreiman G, Koch C (2002) Neural correlates of consciousness in humans. *Nat Rev Neurosci* 3:261–270.
- Repp BH (2000) Compensation for subliminal timing perturbations in perceptual-motor synchronization. *Psychol Res* 63:106–128.
- Reuss H, Kiesel A, Kunde W, Hommel B (2011) Unconscious activation of task sets. *Conscious Cogn* 20:556–567.
- Reuter F, Del Cul A, Audoin B, Malikova I, Naccache L, Ranjeva JP, Lyon-Caen O, Ali Chérif A, Cohen L, Dehaene S (2007) Intact subliminal processing and delayed conscious access in multiple sclerosis. *Neuropsychologia* 45:2683–2691.
- Revol P, Farnè A, Pisella L, Holmes NP, Imai A, Susami K, Koga K, Rossetti Y (2009) Optokinetic stimulation induces illusory movement of both out-of-the-body and on-the-body hand-held visual objects. *Exp Brain Res* 193:633–638.

- Revonsuo A (2001) Can functional brain imaging discover consciousness in the brain? *J Conscious Stud* 8:3–23.
- Robertson EM, Pascual-Leone A, Miall RC (2004) Current concepts in procedural consolidation. *Nat Rev Neurosci* 5:576–582.
- Rogers R, Monsell S (1995) Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *J Exp Psychol Gen* 124:207–230.
- Rossetti Y, Desmurget M, Prablanc C (1995) Vectorial coding of movement: Vision, proprioception, or both? *J Neurophysiol* 74:457–463.
- Russell P, Beekhuis ME (1976) Organization in Memory: A Comparison of Psychotics and Normals. *J Abnorm Psychol* 85:527–534.
- Sakai K (2008) Task set and prefrontal cortex. *Annu Rev Neurosci* 31:219–245.
- Sakai K, Passingham RE (2003) Prefrontal interactions reflect future task operations. *Nat Neurosci* 6:75–81.
- Sakai K, Passingham RE (2006) Prefrontal set activity predicts rule-specific neural processing during subsequent cognitive performance. *J Neurosci* 26:1211–1218.
- Salamé P, Burglen F, Danion J-M (2006) Differential disruptions of working memory components in schizophrenia in an object-location binding task using the suppression paradigm. *J Int Neuropsychol Soc JINS* 12:510–518.
- Sass LA, Parnas J (2003) Schizophrenia, consciousness, and the self. *Schizophr Bull* 29:427–444.
- Sato A (2009) Both motor prediction and conceptual congruency between preview and action-effect contribute to explicit judgment of agency. *Cognition* 110:74–83.
- Sato A, Yasuda A (2005) Illusion of sense of self-agency: discrepancy between the predicted and actual sensory consequences of actions modulates the sense of self-agency, but not the sense of self-ownership. *Cognition* 94:241–255.
- Schlaghecken F, Eimer M (1997) The influence of subliminally presented primes on response preparation. *Sprache Kognit* 16:166–175.
- Schmidt T (2002) The finger in flight: Real-time motor control by visually masked color stimuli. *Psychol Sci* 13:112–118.
- Schmidt T, Vorberg D (2006) Criteria for unconscious cognition: three types of dissociation. *Percept Psychophys* 68:489–504.
- Schubert T, Palazova M, Hutt A (2013) The time course of temporal attention effects on nonconscious prime processing. *Atten Percept Psychophys* 75:1667–1686.
- Seitz AR, Watanabe T (2009) The phenomenon of task-irrelevant perceptual learning. *Vision Res* 49:2604–2610.

-
- Sergent C, Dehaene S (2004) Is consciousness a gradual phenomenon? Evidence for an all-or-none bifurcation during the attentional blink. *Psychol Sci* 15:720–728.
- Sergent C, Wyart V, Babo-Rebello M, Cohen L, Naccache L, Tallon-Baudry C (2013) Cueing Attention after the Stimulus Is Gone Can Retrospectively Trigger Conscious Perception. *Curr Biol* 23:150–155.
- Shergill SS, Samson G, Bays PM, Frith CD, Wolpert DM (2005) Evidence for Sensory Prediction Deficits in Schizophrenia. *Am J Psychiatry* 162:2384–2386.
- Shiffrin RM, Schneider W (1977) Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychol Rev* 84:127–190.
- Sigrist R, Rauter G, Riener R, Wolf P (2013) Terminal feedback outperforms concurrent visual, auditory, and haptic feedback in learning a complex rowing-type task. *J Mot Behav* 45:455–472.
- Silverstein SM, Hatashita-Wong M, Solak BA, Uhlhaas P, Landa Y, Wilkniss SM, Goicochea C, Carpiello K, Schenkel LS, Savitz A, Smith TE (2005) Effectiveness of a two-phase cognitive rehabilitation intervention for severely impaired schizophrenia patients. *Psychol Med* 35:829–837.
- Sirigu A, Duhamel JR, Cohen L, Pillon B, Dubois B, Agid Y (1996) The mental representation of hand movements after parietal cortex damage. *Science* 273:1564–1568.
- Smiley-Oyen AL, Lowry KA, Kerr JP (2007) Planning and control of sequential rapid aiming in adults with Parkinson's disease. *J Mot Behav* 39:103–114.
- Smith PL, Ratcliff R, Wolfgang BJ (2004) Attention orienting and the time course of perceptual decisions: Response time distributions with masked and unmasked displays. *Vision Res* 44:1297–1320.
- Soon CS, Brass M, Heinze H-J, Haynes J-D (2008) Unconscious determinants of free decisions in the human brain. *Nat Neurosci* 11:543–545.
- Soon CS, He AH, Bode S, Haynes J-D (2013) Predicting free choices for abstract intentions. *Proc Natl Acad Sci U S A* 110:6217–6222.
- Spinoza B (1677) *Éthique*, traduit par B. Pautrat, 1988. Paris: Librairie générale française.
- Stoerig P, Cowey A (1997) Blindsight in man and monkey. *Brain J Neurol* 120 (Pt 3):535–559.
- Strahan EJ, Spencer SJ, Zanna MP (2002) Subliminal priming and persuasion: Striking while the iron is hot. *J Exp Soc Psychol* 38:556–568.
- Sumner P, Tsai P-C, Yu K, Nachev P (2006) Attentional modulation of sensorimotor processes in the absence of perceptual awareness. *Proc Natl Acad Sci U S A* 103:10520–10525.

- Synofzik M, Thier P, Leube DT, Schlotterbeck P, Lindner A (2010) Misattributions of agency in schizophrenia are based on imprecise predictions about the sensory consequences of one's actions. *Brain* 133:262–271.
- Synofzik M, Vosgerau G, Newen A (2008) Beyond the comparator model: A multifactorial two-step account of agency. *Conscious Cogn* 17:219–239.
- Synofzik M, Vosgerau G, Voss M (2013) The experience of agency: an interplay between prediction and postdiction. *Front Conscious Res* 4:127.
- Tallon-Baudry C (2012) On the neural mechanisms subserving consciousness and attention. *Front Conscious Res* 2:397.
- Tononi G, Edelman GM (1998) Consciousness and Complexity. *Science* 282:1846–1851.
- Tsakiris M, Haggard P (2005) The rubber hand illusion revisited: visuotactile integration and self-attribution. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 31:80.
- Tsakiris M, Haggard P, Franck N, Mainy N, Sirigu A (2005) A specific role for efferent information in self-recognition. *Cognition* 96:215–231.
- Tsakiris M, Hesse MD, Boy C, Haggard P, Fink GR (2007) Neural signatures of body ownership: a sensory network for bodily self-consciousness. *Cereb Cortex N Y N* 1991 17:2235–2244.
- Tsuchiya N, Koch C (2005) Continuous flash suppression reduces negative afterimages. *Nat Neurosci* 8:1096–1101.
- Tulving E (1985) Memory and consciousness. *Can Psychol* 26:1–12.
- Tzelgov J (1997) Specifying the relations between automaticity and consciousness: a theoretical note. *Conscious Cogn* 6:441–451.
- Van Beers RJ (2009) Motor learning is optimally tuned to the properties of motor noise. *Neuron* 63:406–417.
- Van Beers RJ, Sittig AC, Denier Van Der Gon JJ (1999) Integration of proprioceptive and visual position-information: An experimentally supported model. *J Neurophysiol* 81:1355–1364.
- Van Boxtel JJA, Tsuchiya N, Koch C (2010) Consciousness and attention: on sufficiency and necessity. *Front Conscious Res* 1:217.
- Van den Bussche E, Hughes G, Humbeeck NV, Reynvoet B (2010) The relation between consciousness and attention: an empirical study using the priming paradigm. *Conscious Cogn* 19:86–97.
- Van den Bussche E, Notebaert K, Reynvoet B (2009) Masked primes can be genuinely semantically processed: a picture prime study. *Exp Psychol* 56:295–300.

-
- Van den Bussche E, Reynvoet B (2007) Masked priming effects in semantic categorization are independent of category size. *Exp Psychol* 54:225–235.
- Van den Bussche E, Segers G, Reynvoet B (2008) Conscious and unconscious proportion effects in masked priming. *Conscious Cogn* 17:1345–1358.
- Van der Burg E, Olivers CNL, Bronkhorst AW, Theeuwes J (2008a) Audiovisual events capture attention: evidence from temporal order judgments. *J Vis* 8:2.1–10.
- Van der Burg E, Olivers CNL, Bronkhorst AW, Theeuwes J (2008b) Pip and pop: nonspatial auditory signals improve spatial visual search. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 34:1053–1065.
- Van Gaal S, Lamme VAF, Fahrenfort JJ, Ridderinkhof KR (2011) Dissociable brain mechanisms underlying the conscious and unconscious control of behavior. *J Cogn Neurosci* 23:91–105.
- Van Gaal S, Lamme VAF, Ridderinkhof KR (2010a) Unconsciously triggered conflict adaptation. *PLoS One* 5:e11508.
- Van Gaal S, Ridderinkhof KR, Fahrenfort JJ, Scholte HS, Lamme VAF (2008) Frontal cortex mediates unconsciously triggered inhibitory control. *J Neurosci* 28:8053–8062.
- Van Gaal S, Ridderinkhof KR, Scholte HS, Lamme VAF (2010b) Unconscious activation of the prefrontal no-go network. *J Neurosci* 30:4143–4150.
- Van Gaal S, Ridderinkhof KR, van den Wildenberg WPM, Lamme VAF (2009) Dissociating consciousness from inhibitory control: evidence for unconsciously triggered response inhibition in the stop-signal task. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 35:1129–1139.
- Vangkilde S, Coull JT, Bundesen C (2012) Great expectations: temporal expectation modulates perceptual processing speed. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 38:1183–1191.
- Varela FJ (1993) *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. MIT Press.
- Verstynen T, Sabes PN (2011) How each movement changes the next: an experimental and theoretical study of fast adaptive priors in reaching. *J Neurosci* 31:10050–10059.
- Vorberg D, Mattler U, Heinecke A, Schmidt T, Schwarzbach J (2003) Different time courses for visual perception and action priming. *Proc Natl Acad Sci U S A* 100:6275–6280.
- Voss M, Moore J, Hauser M, Gallinat J, Heinz A, Haggard P (2010) Altered awareness of action in schizophrenia: a specific deficit in predicting action consequences. *Brain* 133:3104–3112.
- Vroomen J, de Gelder B (2000) Sound enhances visual perception: cross-modal effects of auditory organization on vision. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 26:1583.
- Wegner DM (2002) *The illusion of conscious will*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

- Weibel S, Giersch A, Dehaene S, Huron C (2013) Unconscious task set priming with phonological and semantic tasks. *Conscious Cogn* 22:517–527.
- Weiskrantz L (1986) *Blindsight: A case study and implications*. Clarendon Press Oxford. Available at: <http://www.getcited.org/pub/102535868> [Accessed May 9, 2013].
- Wenke D, Fleming SM, Haggard P (2010) Subliminal priming of actions influences sense of control over effects of action. *Cognition* 115:26–38.
- Whalen PJ, Rauch SL, Etcoff NL, McInerney SC, Lee MB, Jenike MA (1998) Masked Presentations of Emotional Facial Expressions Modulate Amygdala Activity without Explicit Knowledge. *J Neurosci* 18:411–418.
- Wiggs CL, Martin A (1998) Properties and mechanisms of perceptual priming. *Curr Opin Neurobiol* 8:227–233.
- Wohlschläger A, Haggard P, Gesierich B, Prinz W (2003) The perceived onset time of self- and other-generated actions. *Psychol Sci* 14:586–591.
- Wokke ME, van Gaal S, Scholte HS, Ridderinkhof KR, Lamme VAF (2011) The flexible nature of unconscious cognition. *PLoS One* 6:e25729.
- Wolpert DM (1997) Computational approaches to motor control. *Trends Cogn Sci* 1:209–216.
- Wolpert DM, Diedrichsen J, Flanagan JR (2011) Principles of sensorimotor learning. *Nat Rev Neurosci* 12:739–751.
- Wolpert DM, Ghahramani Z, Jordan MI (1995) An internal model for sensorimotor integration. *Science* 269:1880–1882.
- Zeki S (2003) The disunity of consciousness. *Trends Cogn Sci* 7:214–218.
- Zhou FA, Davis G (2012a) Unconscious priming of task sets: the role of spatial attention. *Atten Percept Psychophys* 74:105–114.
- Zhou FA, Davis G (2012b) Momentary Conscious Pairing Eliminates Unconscious-Stimulus Influences on Task Selection. *PLoS ONE* 7:e46320.

Influences non conscientes sur des processus mentaux complexes

Résumé

Est-ce que des stimuli non conscients peuvent modifier des processus classiquement considérés comme conscients ? Cette question est d'un intérêt particulier dans la schizophrénie où il existe à la fois des anomalies de processus implicites et des anomalies de processus conscients, comme par exemple, initier une stratégie ou se sentir en contrôle de son action. Pour réaliser des études chez les patients, nous devons savoir dans quelle mesure le choix d'une stratégie ou le sentiment de contrôler son action sont soumis à des influences non conscientes. Nous avons réalisé deux études chez le sujet sain montrant qu'un stimulus non conscient peut influencer la préparation d'une stratégie. Cependant, il existe des limites à ces influences non conscientes : le traitement du stimulus non conscient ne doit pas être interrompu trop tôt, et des filtres attentionnels le modulent. Notre troisième étude a analysé l'effet de distorsions subliminales du retour haptique (tactile et kinesthésique) sur l'adaptation motrice et sur le sentiment conscient de contrôler son action. Nous avons montré que le sentiment de contrôler l'action était modulé par des distorsions du retour haptique, même quand celui-ci est subliminaire. Les influences non conscientes ont un impact sur les processus habituellement conscients, dans des circonstances limitées et contrôlées.

Mots-clés : Conscience, Subliminal, Contrôle cognitif, Agentivité, Schizophrénie

Abstract

Do unconscious stimuli modify processes that are typically associated with consciousness? This question is of particular interest in schizophrenia in which there is both impairments of implicit processes and abnormalities of conscious processes. For instance patients have difficulties to initiate a strategy or to feel in control of their actions. For this purpose, we wanted to know to what extent the choice of a task set or the feeling of control over the action could be influenced by unconscious cues. We conducted two studies in healthy subjects showing that unconscious stimuli can influence the preparation of a task set. However, we have shown that there are limitations to these unconscious influences: the processing of unconscious stimuli must be uninterrupted for some time, and it is modulated by attentional mechanisms. Our third study analyzed the effect of subliminal distortions of the haptic feedback (tactile and kinesthetic) on motor adaptation and on the conscious sense of control over the action. We have shown that the feeling of control was modulated by subliminal distortions of the haptic feedback. Unconscious influences have an impact on conscious processes, but in limited and controlled circumstances.

Keywords: Consciousness, Subliminal, Cognitive control, Agentivity, Schizophrenia