

DOCTORAT AIX-MARSEILLE UNIVERSITE
délivré par *Université de Provence*

THÈSE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR D'AIX MARSEILLE UNIVERSITE
(Spécialité Psychologie – Cognitive)

Formation doctorale : Cognition, Langage, Education – ED 356

Présentée et soutenue publiquement le 21 janvier 2011
par

Colin BLÄTTLER

**La représentation du mouvement dans des
scènes naturelles: effets de l'expérience**

Directrice de thèse: Evelyne MARMÈCHE

Co-Directeurs: André DIDIERJEAN et Vincent FERRARI

JURY

Monsieur Fernand Gobet, Professeur, Université de Brunel (rapporteur)

Monsieur Dirk Kerzel, Professeur, Université de Genève (rapporteur)

Monsieur Patrick Lemaire, Professeur, Université de Provence (examinateur)

Madame Évelyne Marmèche, HDR, Chargée de recherche CNRS, LPC, Université de
Provence (directrice)

Monsieur André Didierjean, Professeur, Université de Franche-Comté (co-directeur)

Monsieur Vincent Ferrari, Enseignant–Chercheur, Centre de Recherche de l'armée de l'air
(co-directeur)

Résumé

La représentation du mouvement – *Representational Momentum* (Freyd & Finke, 1984) – est la tendance qu'a un observateur à se souvenir de la position spatiale d'une cible en mouvement plus loin dans la direction du mouvement qu'elle ne l'est en réalité. La conséquence de la représentation du mouvement (RM) est donc une anticipation. La question de recherche qui traverse l'ensemble de cette thèse concerne l'impact des connaissances acquises ontogénétiquement sur la RM. Les recherches expérimentales réalisées abordent la RM en se focalisant sur la familiarité ou l'expertise de l'observateur vis-à-vis de situations dynamiques naturelles dans lesquelles il est immergé. Cette thèse comprend quatre articles : une revue de question et trois articles expérimentaux. Les résultats expérimentaux obtenus dans ces travaux montrent que les connaissances spécifiques développées par l'observateur sont décisives pour élaborer une RM efficace. En effet, moins ces connaissances sont disponibles moins l'anticipation est importante. Cependant, les connaissances spécifiques n'ont une influence sur la RM que si les scènes dynamiques sont suffisamment proches des situations qui en ont permis le développement. Enfin, ces connaissances spécifiques apparaissent en partie liées à l'action, car plus l'observateur est impliqué dans l'action, plus il anticipe la dynamique des scènes perçues. L'ensemble de ces travaux suggère que la RM est composée, non seulement de processus génériques, mais aussi de processus spécifiques élaborés à partir des situations qui sont régulièrement rencontrées.

Mots clés : Représentation du Mouvement ; Expertise ; Connaissances spécifiques ; Situations naturelles

Abstract

Representational Momentum (RM) refers to the tendency of participants to "remember" the stopping point of an event as being farther along in the direction of movement than it was in reality (Freyd & Finke, 1984). The consequence of RM is anticipation. The research question that runs through this thesis concerns the impact of knowledge ontogenetically acquired on RM. The experimental research undertaken in this thesis addresses the RM focusing on the observers' familiarity or expertise about natural dynamic situations in which they are immersed. This thesis includes four articles: a review of literature and three experimental papers. The experimental results obtained show that specific knowledge developed by the observers is crucial for developing an efficient RM. The more specific knowledge is available, the stronger the anticipation. However, specific knowledge has an influence on RM only if the

dynamic scenes are sufficiently similar to the situations that have led to its development. Finally, specific knowledge seems partly linked to action because the more the observer is involved in action, the more he anticipates the dynamics of the scenes. As a whole this work suggests that RM is composed of generic processes, as well as specific ones that are built up from the situations regularly encountered.

Key words: Representational Momentum; Expertise; Specific knowledge; Natural situations

Laboratoire de Psychologie Cognitive : L.P.C. Université de Provence UMR 6146 Pôle 3C,
Bâtiment 9 Case D3, Place Victor Hugo, 13331 Marseille Cedex 3, France.

**Centre de Recherche de l'armée de l'air, équipe Facteurs Humains et Milieux
Opérationnels (FHMO).** Base aérienne 701 13661 Salon Air. France

Remerciements :

J'adresse mes remerciements à Mme Evelyne Marmèche qui s'est investie, depuis des années, dans ce travail harassant qui consiste à m'encadrer. Je reconnais avoir eu beaucoup de chance d'avoir pu bénéficier d'une directrice disponible, patiente et vigilante. Sa grande expérience m'a permis d'éviter et de surmonter bien des écueils qui se sont dressés devant moi.

Merci à M. André Didierjean qui, bien qu'éloigné géographiquement, a été présent dans toutes les réflexions dans lesquelles il a toujours été alerte et ingénieux. Merci pour ses nombreuses relectures et ses conseils avisés.

Merci à M. Vincent Ferrari qui, toujours très proche géographiquement, m'a suivi et conseillé pendant toutes ces années de travail au CReA. Merci pour ses efforts et tout ce temps passé à m'apprendre à améliorer mon écriture scientifique. Merci surtout d'avoir créé un environnement de travail propice à la réalisation d'une thèse.

Merci aussi à M. Guy Tiberghien pour ses conseils avisés en statistiques et modélisation.

Je tiens également à remercier M. Patrick Lemaire et les membres de son équipe "Plasticité Cognitive" du Laboratoire de Psychologie Cognitive, dont les discussions ont toujours apporté des éléments de réponse aux problèmes posés.

Je remercie aussi très vivement les membres du Centre de recherche de l'armée de l'air, qui furent d'une agréable compagnie et ont toujours été disponibles pour des conseils ou pour participer à des expériences.

Merci aux membres du jury d'avoir accepté d'expertiser mes travaux de thèse.

Enfin, merci à toute ma famille qui me soutient, sans faille, depuis le début.

INTRODUCTION.....	8
PARTIE I LA REPRESENTATION DU MOUVEMENT: DONNEES ET INTERPRETATIONS THEORIQUES.....	10
I.1 ROLE DES CARACTERISTIQUES DE LA CIBLE DANS LA RM.....	11
I.2 ROLE DE L'ENVIRONNEMENT VISUEL DANS LA RM.....	12
I.3 REPRESENTATION DU MOUVEMENT : VERS DES SITUATIONS PLUS NATURELLES.....	12
I.4 LES CONNAISSANCES DES SITUATIONS PROPRES AUX OBSERVATEURS MODULENT LA RM.....	14
PARTIE II: CONTRIBUTIONS EXPERIMENTALES.....	15
II.1 CAN EXPERTISE MODULATE REPRESENTATIONAL MOMENTUM ?	15
II.2 REPRESENTATIONAL MOMENTUM IN AVIATION	19
II.3 THE ROLE OF EXPERTISE AND ACTION IN MOTION EXTRAPOLATION	22
PARTIE III DISCUSSION GENERALE	25
BIBLIOGRAPHIE.....	33
REVUE DE QUESTIONS : L'OBSERVATEUR AUX COMMANDES DE LA REPRESENTATION DU MOUVEMENT	41
PARTIE I. LA REPRESENTATION DU MOUVEMENT REFLETE-T-ELLE LA REALITE PHYSIQUE?	44
1.1 <i>La représentation du mouvement est une anticipation du mouvement</i>	44
1.2 <i>La représentation du Mouvement est dynamique</i>	46
1.3 <i>L'inférence du mouvement</i>	46
1.4 <i>Principes physiques et Représentation du mouvement</i>	47
1.5 <i>Représentation du mouvement : vers des situations plus naturelles</i>	49
PARTIE II. MODULATION DE LA REPRESENTATION DU MOUVEMENT PAR L'OBSERVATEUR.....	52
2.1 <i>Attention et Représentation du mouvement</i>	52
2.2 <i>Influence des connaissances des observateurs</i>	55
Partie III. <i>Expertise, Action, et Représentation du Mouvement</i>	61
3.1 <i>Les connaissances des observateurs relatives aux scènes avec lesquelles ils interagissent</i>	61
3.2 <i>Les connaissances liées à l'action</i>	63
3.3 <i>Implication de la représentation du mouvement dans la programmation des saccades oculaires</i>	64
Conclusion.....	66
BIBLIOGRAPHIE.....	69
ETUDE 1 : CAN EXPERTISE MODULATE REPRESENTATIONAL MOMENTUM ?	76
INTRODUCTION	78
EXPERIMENT 1	80
<i>Method</i>	81
<i>Results</i>	84
<i>Discussion</i>	87
EXPERIMENT 2	88

<i>Method</i>	89
<i>Results</i>	90
<i>Discussion</i>	93
CORRELATIONS BETWEEN EXPERIMENTS 1 AND 2.....	94
GENERAL DISCUSSION.....	95
REFERENCES	98
ETUDE 2 : REPRESENTATIONAL MOMENTUM IN AVIATION	102
INTRODUCTION	104
EXPERIMENT 1	107
<i>Method</i>	108
<i>Results</i>	111
<i>Discussion of Experiment 1</i>	113
EXPERIMENT 2.....	114
<i>Method</i>	115
<i>Results</i>	116
<i>Discussion of Experiment 2</i>	118
EXPERIMENT 3	118
<i>Method</i>	118
<i>Results</i>	119
<i>Discussion of Experiment 3</i>	120
GENERAL DISCUSSION	120
REFERENCES	124
ETUDE 3 : THE ROLE OF EXPERTISE AND ACTION IN MOTION EXTRAPOLATION	128
INTRODUCTION	130
<i>Method</i>	133
<i>Results</i>	136
DISCUSSION	138
REFERENCES	141

« ...le résultat final de la perception est un modèle du monde »
(Philip N. Johnson-Laird, 1992)

Introduction

Le terme *representational momentum* – représentation du mouvement – est introduit par Freyd et Finke (1984) et réfère à une localisation en mémoire de la position d'une cible en mouvement décalée dans le sens de son mouvement. La représentation du mouvement (RM) peut être appréhendée selon deux approches.

Une première approche consiste à étudier le rôle que tiennent les caractéristiques physiques de la cible (par exemple sa forme), et de son mouvement (par exemple sa vitesse), sur la RM. Cette approche basée sur l'influence des informations visuelles, inhérente aux scènes présentées, intègre les caractéristiques physiques de la cible (Freyd & Finke, 1985) mais également celles du contexte dans lequel la cible évolue (Hubbard, 1993).

Une deuxième approche est centrée sur l'influence des caractéristiques des observateurs. Cette approche a été initiée par les travaux de Hubbard et Bharucha (1988) qui montrent que des connaissances génériques, indépendantes de la nature de la cible, modulent la RM. Plus récemment, Vinson et Reed (2002) ont montré que des connaissances spécifiques relatives à une cible ou sa catégorie agissent également sur la RM. C'est dans ce cadre que s'inscrivent les recherches expérimentales présentées dans cette thèse. Plus précisément, il s'agit d'étudier la RM en tenant compte du rôle et de la nature des connaissances de l'observateur.

L'influence des caractéristiques de l'observateur sur la RM a été relativement peu étudiée. Dans d'autres domaines de recherche, il a été démontré qu'avec l'expertise, la perception des observateurs se transforme radicalement et que les processus perceptifs intègrent alors de plus en plus d'aspects anticipatoires (e.g., Gobet & Simon, 1996). Les connaissances expertes, organisées sous forme de *templates*, contiennent des informations concernant les étapes consécutives à l'événement perçu. Il est donc envisageable que de telles connaissances anticipatrices viennent enrichir la trace mnésique de l'événement. Dans les recherches expérimentales menées pour réaliser cette thèse, nous avons comparé des "novices" ayant peu ou pas d'expérience des scènes présentées et des "experts" au contraire très familiers de ces scènes. Prendre en compte les connaissances des observateurs implique de présenter à ces derniers des scènes naturelles susceptibles d'activer des connaissances spécifiques. Parmi les études sur la RM, peu d'entre elles portent sur des scènes qui se rapprochent vraiment de scènes naturelles. Les recherches développées par Thornton et Hayes (2004) ont été les premières à étudier la RM en présentant des scènes visuelles proches de scènes naturelles. Les

Introduction

scènes que nous avons utilisées dans nos protocoles expérimentaux sont des scènes naturelles de conduite automobile et des situations d'atterrissage d'avion simulées. Ces scènes sont présentées, respectivement, à des conducteurs expérimentés et à des pilotes experts. Les scènes de conduite sont des situations réelles filmées à l'aide d'une caméra, ce qui leur confère une importante valeur écologique. Les scènes d'atterrissage sont simulées en trois dimensions et ont fait l'objet d'une validation, relativement à leur vraisemblance dynamique, par des pilotes experts de l'Armée de l'air française.

Cette thèse « sur articles » se compose de trois parties. Dans une première partie, nous présentons la revue de question que nous avons intitulée "L'observateur aux commandes de la représentation du mouvement" (Blättler, Ferrari, Didierjean, & Marmèche, soumis). Cette revue de question aborde l'effet des paramètres physiques reliés au mouvement de la cible et à sa trajectoire, le rôle du contexte qui entoure la cible, mais aussi celui des caractéristiques cognitives de l'observateur. La deuxième partie est consacrée à la présentation des trois recherches expérimentales que nous avons menées et des résultats que nous avons obtenus. La première recherche intitulée "Can Expertise Modulate Representational Momentum" (Blättler, Ferrari, Didierjean, Van Elsdale, & Marmèche, 2010) compare l'amplitude de la RM de conducteurs expérimentés et de non conducteurs face à des scènes dynamiques de conduite automobile et face à des scènes très éloignées du domaine de la conduite automobile. La deuxième recherche, "Representational Momentum in Aviation" (Blättler, Ferrari, Didierjean, & Marmèche, en révision) compare l'amplitude de la RM de pilotes experts et de novices en pilotage dans des scènes simulées d'atterrissage. La troisième recherche "The Role of Expertise and Action in Motion Extrapolation" (Blättler, Ferrari, Didierjean, & Marmèche, en préparation) évalue dans quelle mesure les connaissances spécifiques en jeu dans la RM peuvent être reliées à l'action. En conclusion, dans une troisième partie, nous mettons en évidence les principaux apports expérimentaux et théoriques de cette thèse. Nous abordons certaines pistes de recherches pour développer une meilleure compréhension des relations entre les caractéristiques cognitives de l'observateur et la Représentation du Mouvement.

Partie I La représentation du mouvement: données et interprétations théoriques

"L'observateur aux commandes de la Représentation du Mouvement", Revue de question soumise à "L'Année Psychologique" le 23 / 09 /2010

Ce qui suit est une synthèse de la revue de question présentée p. 41, et présente essentiellement les éléments qui nous ont conduits aux questions de recherche des différentes expérimentations réalisées et présentées en partie II. L'effet de la Représentation du Mouvement est la tendance des observateurs à "se souvenir" du point d'arrêt d'une scène dynamique de façon décalée dans le sens du mouvement (cf. Freyd & Finke, 1984). Dans un premier temps, la revue de question que nous avons écrite (cf. p. 41) met en avant que ce biais perceptif reflète certaines propriétés physiques du mouvement. Dans un second temps, nous montrons comment l'effet RM est modulé par certaines caractéristiques cognitives de l'observateur, notamment ses connaissances vis-à-vis des situations rencontrées.

Le paradigme expérimental utilisé dans l'ensemble des recherches qui ont été réalisées à ce jour sur la RM est inspiré de celui mis en œuvre par Freyd et Finke (1984) dans leur expérience princeps (voir Figure 1). Dans cette expérience trois orientations successives différentes d'un même rectangle induisent un mouvement de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens inverse. Après cette phase d'induction de mouvement, une quatrième orientation du rectangle est présentée. Ce quatrième rectangle peut avoir, soit exactement la même orientation que le troisième, soit une orientation indiquant une poursuite de la rotation ou bien une orientation indiquant un début de rotation inverse de celle induite.

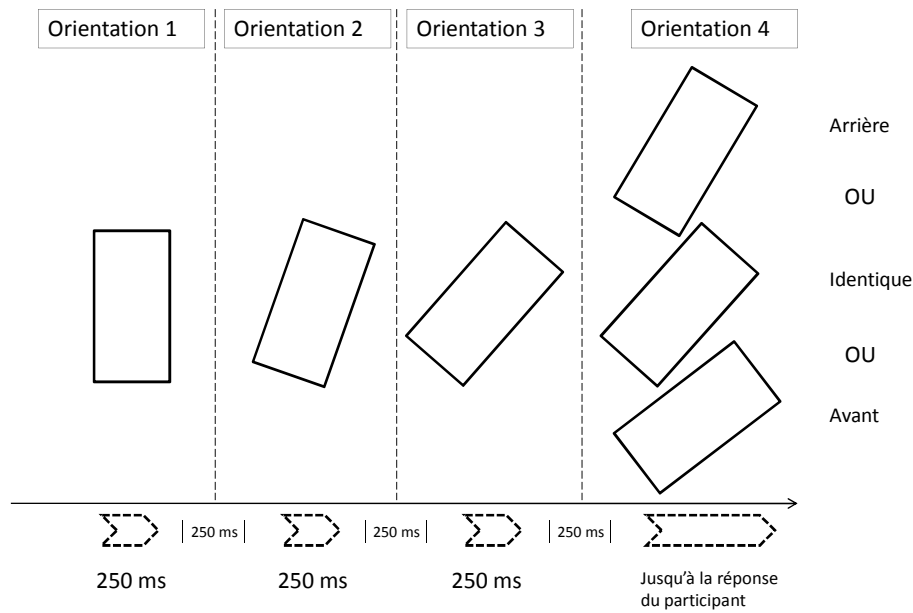


Figure 1 : Procédure de Freyd et Finke (1984). La présentation successive de trois orientations d'un rectangle induit un mouvement de rotation de ce rectangle.

Les résultats ont montré que les orientations poursuivant le mouvement de rotation induit étaient plus difficiles à rejeter que celles indiquant un début de rotation dans le sens inverse de celui induit. Le résultat fondamental qui a été obtenu est que les observateurs ont tendance à mémoriser la position spatiale d'un objet en mouvement comme étant plus loin dans la direction du mouvement qu'elle ne l'est en réalité, ce qui traduit un effet RM. Dans la littérature, on peut distinguer quatre grands axes qui orientent les recherches sur le RM :

- Le rôle des caractéristiques de la cible
- Le rôle de l'environnement visuel
- L'utilisation de situations naturelles
- Les connaissances spécifiques des observateurs

1.1 Rôle des caractéristiques de la cible dans la RM

Un certain nombre de recherches ont montré que des caractéristiques telles que la vitesse de déplacement de la cible (Freyd & Finke, 1985), son accélération ou sa décélération (Finke, Freyd, & Shyi, 1986) sont des caractéristiques prises en compte dans l'élaboration de la RM. Par exemple, plus la vitesse est importante lorsqu'une cible se déplace, plus l'effet RM est important. Dans le même sens, on observe un effet RM plus important lorsqu'une cible

visuelle accélère avant de disparaître que lorsqu'elle décélère. L'ensemble de ces résultats permet aux auteurs de conclure que la représentation du mouvement est calquée assez fidèlement sur le mouvement physique.

1.2 Rôle de l'environnement visuel dans la RM

La RM ne dépend pas exclusivement du mouvement de la cible, mais aussi de l'environnement visuel dans lequel elle évolue. Ceci suggère que la simple considération du mouvement propre de la cible s'avère tout à fait insuffisante pour en spécifier le mouvement. Seule une approche intégrée de l'analyse du mouvement d'une cible en contexte peut donc permettre d'appréhender la représentation du mouvement. Par exemple, Hubbard (1995a) présente une cible en mouvement (un carré) qui selon la condition expérimentale est en contact ou non avec une autre surface fixe (un rectangle). Les résultats ont montré un effet RM plus faible dans la condition où la cible est en contact avec l'autre surface. Hubbard (1995a) interprète le sens de cet effet, lorsque la cible est en contact, comme provenant de la connaissance de règles régissant le monde physique, ici la force de friction. Ces connaissances, appelées invariants environnementaux, réfèrent aux principes physiques invariants présents tout au long de l'évolution humaine tant phylogénétique qu'ontogénétique. Ces connaissances ont un tel poids qu'elles influencent la RM en l'absence de référentiel environnemental visible. Ainsi, lorsque Hubbard et Bharucha (1988) présentent, par exemple, une cible en mouvement apparent et rectiligne qui disparaît inopinément, les observateurs rappellent la position spatiale du point de disparition plus loin dans le sens du mouvement mais aussi plus bas. Cette représentation du mouvement ressemble au parcours du mouvement physique d'un objet qui évolue selon une trajectoire parabolique causée par la gravité terrestre.

Ces résultats suggèrent que les processus constitutifs de la RM ne dépendent pas uniquement des informations visuelles mais aussi des connaissances de l'observateur.

1.3 Représentation du mouvement : vers des situations plus naturelles

Plusieurs travaux sur la RM suggèrent que l'impact des connaissances relatives aux invariants environnementaux pourrait résulter de l'apprentissage de régularités dans la vie quotidienne. Ainsi, Verfaillie et d'Ydewalle (1991) montrent par exemple que l'effet RM peut être

influencé par les « patterns » de mouvement d'une plus grande complexité que de simples trajectoires monotones. Le paradigme utilisé reprend celui de Freyd et Finke (1984), mais introduit une condition de mouvement induit dans laquelle les rotations successives du rectangle changent de sens périodiquement. Ainsi, le mouvement de la cible peut être décrit tant à un niveau local (un mouvement dans le sens des aiguilles d'une montre) qu'au niveau global concernant le mouvement périodique de la cible en déplacement (dans le sens des aiguilles d'une montre puis dans le sens inverse, et ainsi de suite). Le point crucial des analyses concerne évidemment les cas où la cible disparaît au moment de la rupture du mouvement (changement de direction). Les résultats obtenus montrent clairement qu'on n'observe plus d'effet RM à ces points de rupture. Ainsi, la mémorisation de l'orientation finale du rectangle présenté est influencée par l'anticipation du mouvement global de la cible et pas uniquement par une extrapolation de son mouvement local. Tout se passe comme si les observateurs avaient pu extraire les régularités régissant le mouvement global. Ainsi, les observateurs anticiperaient le mouvement en se basant sur des connaissances en mémoire, à savoir des régularités extraites de l'environnement, et non uniquement sur les caractéristiques du mouvement qu'ils sont en train de percevoir. Les travaux de Vinson et Reed (2002) apportent un éclairage quelque peu différent mais néanmoins compatible avec l'idée que les régularités apprises dans la vie quotidienne et qui sont mises en œuvre dans les situations dynamiques à analyser modulent la RM. Les auteurs présentent deux figures strictement identiques qui sont dénommées soit « fusée » soit « immeuble ». Les résultats de Vinson et Reed (2002) montrent que l'effet RM est plus prononcé si l'objet mû de bas en haut est une fusée plutôt qu'un immeuble, pourtant de même apparence. Selon les auteurs, cet effet peut être attribué aux connaissances prototypiques préexistantes des participants : l'expérience commune renverrait au fait que d'habitude une fusée s'élève alors qu'un immeuble non. Le point important à souligner ici est que les prédictions qui peuvent être faites sur les phénomènes dynamiques sont déterminées par la familiarité avec des objets perçus dans la vie quotidienne en contexte. Par conséquent, les connaissances spécifiques relatives à un objet dans son environnement usuel et celles concernant ses déplacements dans cet environnement influenceraient la représentation du mouvement.

Dans cette voie, les recherches de Thornton et Hayes (2004) ont initié l'étude de la RM dans des scènes naturelles présentées à partir de vidéos, montrant par exemple une foule se déplaçant dans un parc. Ces recherches visent à étudier des situations dans lesquelles l'observateur peut ressentir un sentiment d'immersion personnelle dans les situations, par exemple, lorsqu'il s'agit de scènes routières simulées par ordinateur, du point de vue d'un

conducteur. Ce type de situations permet l'étude de nouvelles caractéristiques de l'observateur qui pourraient être associées aux processus conduisant à la RM, comme sa familiarité avec les scènes observées et, d'une certaine manière, son implication. Certaines recherches sur l'expertise montrent en effet que les processus d'anticipation qui se développent progressivement permettent la mise en œuvre de conduites de plus en plus adaptées à l'environnement. C'est pourquoi nos protocoles expérimentaux ont été élaborés pour se focaliser sur les interactions qu'entretiennent les observateurs avec les scènes dynamiques qu'ils perçoivent.

1.4 Les connaissances des situations propres aux observateurs modulent la RM

Dans la grande majorité des recherches sur la RM, les observateurs sont placés dans des situations de perception passive (e.g., Finke & Freyd, 1985 ; Freyd et Jones, 1994 ; Kerzel, 2002). Dans la vie de tous les jours, au contraire, les observateurs interagissent sans cesse avec leur environnement. Un conducteur expérimenté appliquera un schéma d'actions motrices visant à réduire la vitesse de son véhicule quand il perçoit un virage au loin, en tenant compte, comme nous l'avons souligné préalablement, du contexte physique, de ses connaissances implicites ou de ses connaissances relatives aux caractéristiques du mouvement spécifique d'un objet particulier. Ainsi, dans un contexte familier, l'observateur met en œuvre ses propres connaissances, spécifiques à la situation qu'il perçoit. Le traitement des scènes dynamiques par l'observateur ne reposerait donc pas exclusivement sur les propriétés physiques des scènes mais aussi, et peut-être surtout, sur des traces mnésiques anticipatrices permettant d'orienter les décisions d'action à prendre pour réagir au contexte situationnel en cours. Avec l'expérience liée aux situations rencontrées ou avec l'expertise, se développeraient des structures de connaissances permettant d'encoder rapidement et efficacement les situations rencontrées. Cet encodage particulier, déterminé par les connaissances spécifiques des observateurs, pourrait conduire à une RM différente, mieux adaptée aux situations et notamment aux réactions ou actions potentielles à réaliser. Le rôle des connaissances spécifiques dans la RM est l'objet des trois études expérimentales présentées dans la partie II.

Partie II: Contributions expérimentales

II.1 Can Expertise Modulate Representational Momentum ?

Blättler, C., Ferrari, V., Didierjean, A., Van Elslande P., et Marmèche É. (2010). *Visual Cognition*, 18 (9), 1253- 1273

Cet article est présenté p. 76. Les paragraphes suivants présentent les grandes lignes de cette étude. Celle-ci vise à évaluer l'impact du niveau d'expérience des participants – ici, en conduite automobile – sur la RM. Alors que la plupart des études sur l'effet RM utilisent des stimuli dynamiques simples (un petit nombre d'items non reliés à une action), l'étude de Thornton et Hayes (2004) utilise des situations dynamiques complexes (des vidéos en image de synthèse représentant une route du point de vue d'un conducteur). La présente étude prolonge les recherches de Thornton et Hayes (2004). L'objectif est double : (1) tester l'impact de l'expertise spécifique à un domaine (ici la conduite automobile) sur la RM, en utilisant des scènes routières filmées, et (2) déterminer si l'augmentation de la capacité d'anticipation qui se produit avec l'expertise se transfère à des domaines éloignés du domaine d'expertise des observateurs.

Dans l'expérience 1, des conducteurs expérimentés et des non-conducteurs ont effectué une tâche de RM relative à des scènes routières réalistes (i.e., des scènes de conduite filmées par une caméra embarquée). Le but de cette expérience était d'étudier le rôle des connaissances des conducteurs expérimentés en conduite automobile sur leur capacité à anticiper le mouvement de scènes routières. Les participants étaient divisés en deux groupes en fonction de leur expérience en conduite (les conducteurs expérimentés et les non-conducteurs). Les scènes étaient interrompues par un écran noir de 250 ms, puis reprenaient dans l'une des trois conditions suivantes (voir Figure 2) : un bond en avant (dans le sens du mouvement de la voiture), un bond en arrière (dans la direction opposée du mouvement de la voiture), ou aucun bond (exactement au même endroit que lors de l'interruption – la condition reprise normale).



Figure 2 : Exemple du Matériel de l'expérience 1. La tâche des sujets est de comparer la position spatiale juste avant la coupure (ici l'étalon) avec la position spatiale du véhicule au moment de la reprise du film (à gauche un exemple d'un bond arrière de 12 mètres, au centre la même position spatiale qu'au moment de l'interruption, à droite un exemple d'un bond avant de 3 mètres).

Les participants devaient comparer la dernière scène vue avant l'interruption à la première scène vue après l'interruption et décider si les deux scènes étaient identiques ou non (i.e., si la voiture était à la même position dans les deux scènes). Les résultats de cette expérience (voir Figure 3) montrent qu'il existe un effet RM pour les deux groupes de participants. Les Points d'Égalisation Subjective (PES), qui indiquent la valeur théorique d'un stimulus pour lequel les participants répondraient au hasard, sont supérieurs à zéro pour les deux groupes et les réponses pour les items bond avant et les items bond arrière sont asymétriques, i.e., le taux d'erreur est significativement plus important pour les bonds avant que pour les bonds arrière.

Ces résultats obtenus avec des vidéos réelles corroborent ceux obtenus par Thornton et Hayes (2004) avec des images de synthèse. De plus, il apparaît que le PES des conducteurs expérimentés est plus important que celui des novices. Les résultats de cette première expérience indiquent ainsi que les connaissances acquises pendant des années de conduite modulent l'effet RM relativement à des scènes de conduite.

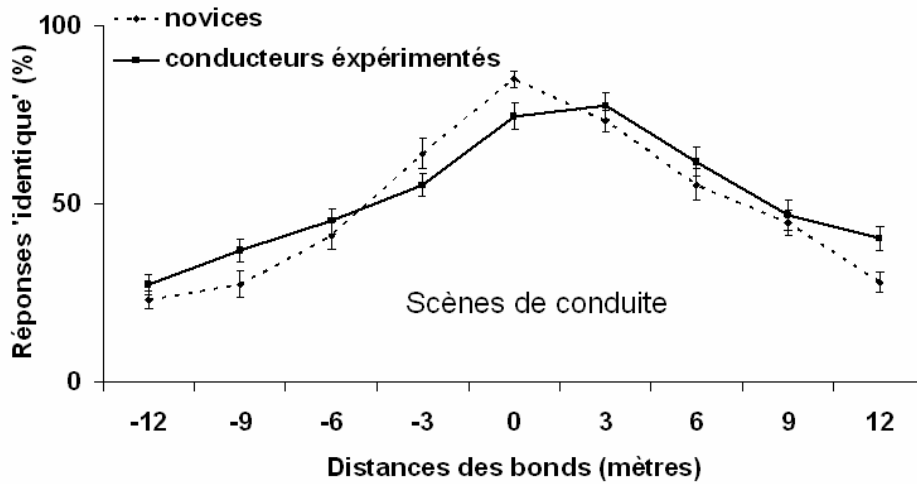


Figure 3 : Résultats de l'expérience 1 : Pourcentages de réponses « identique » en fonction de l'expérience en conduite automobile et de la distance des bords.

L'expérience 2 visait à déterminer si l'effet d'expertise est dû à l'existence d'une capacité d'anticipation générique acquise avec l'expérience en conduite ou si les connaissances développées par l'expérience en conduite sont spécifiques au domaine. Les participants, répartis en deux groupes en fonction de leur expérience en conduite, ont effectué une tâche de RM relative à des scènes dynamiques, naturelles (une personne filmée en train de courir) et artificielles (un carré se déplaçant de façon rectiligne horizontalement), éloignées de la conduite automobile. L'hypothèse testée est que les processus d'anticipation développés dans un domaine donné ne se transfèrent pas à un autre domaine. Les résultats de l'expérience 2 (voir Figure 4) montrent qu'un effet RM est obtenu pour les deux groupes de participants dans les deux types de scènes, naturelles et artificielles.

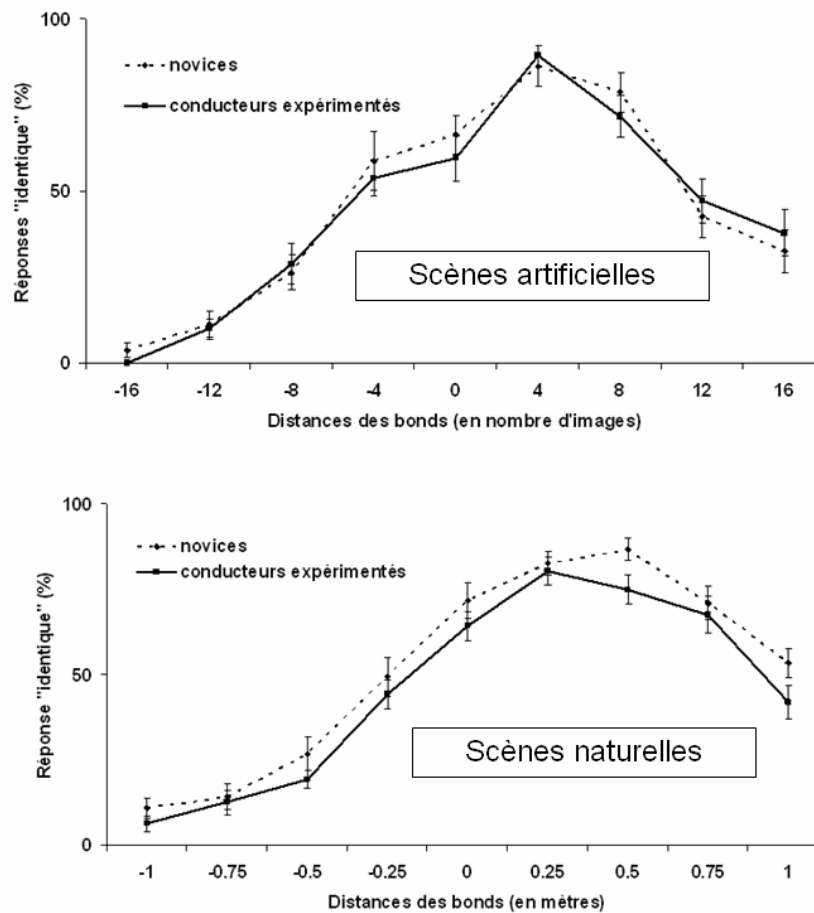


Figure 4. Résultats obtenus dans l'expérience 2. Chaque graphique présente les pourcentages de réponses « identique » en fonction de l'expérience en conduite automobile et de la distance des bords. Le graphique du haut concerne les situations dans lesquelles c'est un carré qui se meut (scène artificielle). Le graphique du bas concerne les situations dans lesquelles un individu est en train de courir (scène naturelle).

Dans l'ensemble, les participants font des erreurs de jugement dans la condition reprise normale. Leurs PES sont supérieurs à zéro, et leurs réponses concernant les bords avant et les bords arrière sont asymétriques (i.e., plus d'erreurs sur les bords avant que sur les bords arrière). Ces résultats fournissent des arguments supplémentaires concernant la présence d'un effet RM dans une grande variété de situations dynamiques. Mais, contrairement à l'Expérience 1, aucune différence d'anticipation n'a été obtenue entre les deux groupes de participants et aucune corrélation n'est observée entre les performances de chaque groupe sur les trois types de scènes (routière, naturelle et artificielle). Le résultat principal de l'Expérience 2 est que les connaissances acquises dans un domaine spécifique, comme la conduite automobile, qui mènent à une modulation de l'effet RM ne se transfèrent pas à des domaines différents.

Cette recherche avait deux objectifs : savoir si l'effet RM est sensible à l'expertise dans un domaine spécifique, la conduite automobile, et déterminer si ces connaissances acquises qui modulent la RM sont transférables à d'autres domaines éloignés du domaine d'expertise de l'observateur. Les résultats montrent, premièrement, que tous les participants produisent un effet RM pour les scènes dynamiques naturelles utilisées. Ces résultats obtenus avec des scènes filmées prolongent ceux de Thornton et Hayes (2004) avec des images de synthèse de conduite automobile. Ces résultats augmentent la variété des situations pour lesquelles un effet RM peut être observé. De plus, l'effet RM est obtenu non seulement dans les situations où les participants regardent une scène comprenant un ou des objet(s) en mouvement, mais également dans des situations où les participants font partie intégrante du mouvement (le point de vue du participant est le même que celui d'un conducteur).

En résumé, les deux études présentées soulignent certaines propriétés de la RM. Si le fait de trouver un effet RM dans une grande variété de situations suggère qu'au moins certaines composantes de la RM sont génériques, les présents résultats semblent montrer que d'autres composantes sont spécifiques au domaine. Notre recherche montre que l'expertise dans la conduite automobile peut moduler la RM face à des scènes routières : les connaissances des observateurs peuvent changer l'amplitude de l'effet RM.

II.2 Representational Momentum in Aviation

Colin Blättler, Vincent Ferrari, André Didierjean, et Évelyne Marmèche.

Article en révision : JEP HPP, 2010, présenté p. 102

Cette étude concerne le caractère *nécessaire* des connaissances spécifiques dans l'élaboration de la représentation du mouvement et vise à répondre à deux faiblesses de l'article précédent. Premièrement, les novices qui ont participé à l'étude précédente ont pu être passagers et ainsi développer des connaissances spécifiques liées à la conduite automobile. Deuxièmement, les participants expérimentés ne sont pas des experts. Le domaine étudié dans ce présent papier concerne des scènes visuelles d'atterrissages d'avion. L'utilisation de ce domaine rend possible la comparaison entre des novices qui n'ont jamais été confrontés à ce type de scènes et des pilotes experts (pilotes de l'Armée de l'air). Dans l'Expérience 1, l'effet RM de chaque groupe (novices et experts) est mesuré dans des scènes dynamiques représentant un avion en train d'atterrir, filmées du point de vue du pilote. Les scènes sont interrompues par un écran

noir de 125 ms et reprennent selon l'une des trois conditions suivantes (voir Figure 5) : un bond en avant (dans le sens du mouvement de l'avion), un bond en arrière (dans la direction opposée du mouvement de l'avion), ou aucun bond (exactement au même endroit que lors de l'interruption – la condition reprise normale).

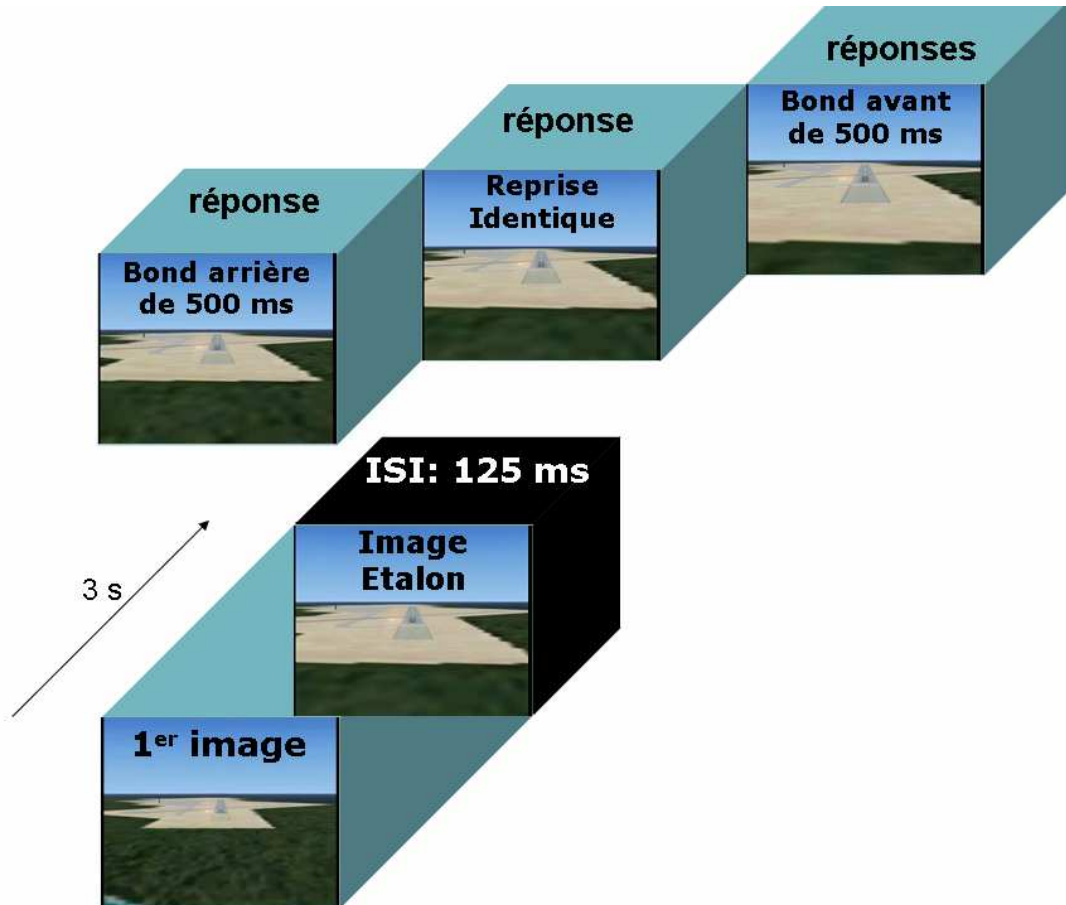


Figure 5 : Exemple du matériel et de la procédure utilisée dans les expériences.

Les résultats obtenus (voir Figure 6) indiquent un effet RM uniquement pour les experts. Ces résultats prolongent ceux obtenus par Blättler et al (2010) dans un nouveau domaine, le pilotage d'avion : avec l'acquisition d'une expertise, l'effet RM est plus important dans des situations qui appartiennent au domaine d'expertise. Cependant, il faut noter l'absence d'effet RM chez les novices. Pour comprendre ce résultat surprenant, nous avons testé l'hypothèse selon laquelle le défaut d'anticipation pourrait être dû à certaines caractéristiques des vidéos présentées qui ne permettraient pas la mise en œuvre des processus d'anticipation, à savoir la durée trop courte de l'interruption et/ou les trop grandes distances des bonds. Le but de l'Expérience 2 est de tester l'effet potentiel de ces deux facteurs. Ainsi, dans la condition où la durée de l'interruption est allongée, les résultats ne montrent aucun effet RM (en

conservant la même distance des bonds que dans l'Expérience 1). En revanche, dans la condition où la distance des bonds est raccourcie (en conservant la même durée d'interruption que dans l'Expérience 1), un effet RM est obtenu. Ainsi, un PES significativement positif est obtenu pour les novices lorsque de petits bonds sont utilisés avec une durée d'interruption de 125 ms. Le but de l'Expérience 3 est de déterminer si l'augmentation de la durée de l'interruption (de 125 ms à 250 ms) augmente l'effet RM obtenu avec les novices dans la condition 'petits bonds' de l'Expérience 2. Les résultats ne montrent aucun effet RM dans cette condition. L'augmentation de la durée d'interruption fait disparaître l'effet RM.

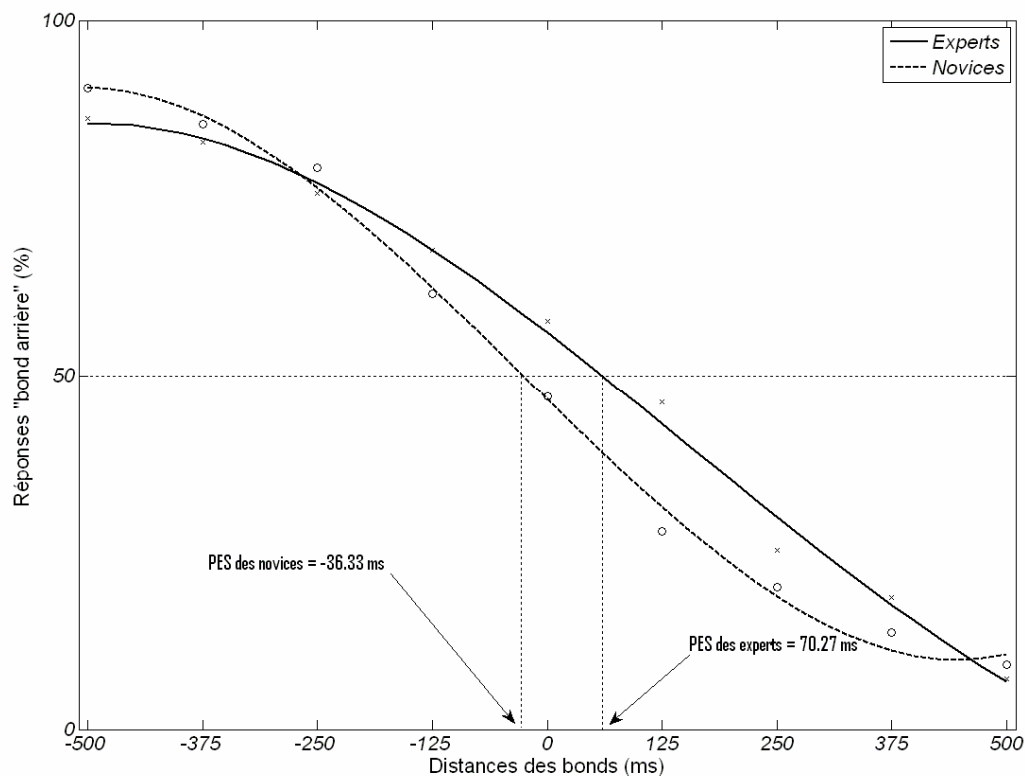


Figure 6 : Résultats de l'expérience 1. Pourcentage de réponses bonds arrière en fonction du niveau d'expertise et de la distance des bonds.

Pour résumer, des pilotes experts de l'Armée de l'air française ont été comparés à des novices dans une tâche de RM présentant des scènes d'atterrissage d'avions en images de synthèse. Les résultats font ressortir deux phénomènes. Premièrement, un effet d'expertise a été obtenu sur cette tâche de RM. Ces résultats prolongent ceux obtenus dans le domaine de la conduite automobile par Blättler et al (2010). Deuxièmement, il apparaît que les novices ne produisent pas d'effet RM dans la plupart des conditions expérimentales proposées, excepté lorsque la distance des bonds est très petite et que la durée de l'interruption est courte. Les

traces mnésiques anticipatrices des novices auraient un faible niveau d'élaboration et disparaîtraient très rapidement, alors que celles des experts seraient plus élaborées. Concernant les novices, les traces mnésiques anticipatrices seraient le résultat de processus de bas niveau prenant place au niveau rétinien, processus qui ne dépendraient pas de connaissances acquises avec l'expérience. Les experts, quant à eux, disposeraient en plus, de connaissances de haut niveau, sémantiques et stratégiques, impliquées dans l'élaboration de la RM.

II.3 The Role of Expertise and Action in Motion Extrapolation

Colin Blättler, Vincent Ferrari, André Didierjean, et Évelyne Marmèche

(Manuscrit en préparation)

Cette troisième (voir p. 128) étude vise à prolonger les résultats obtenus dans notre première étude (Blättler, Ferrari, Didierjean, Van Elslsande, & Marmèche, 2010), concernant la différence d'amplitude d'anticipation observée entre des novices et des experts, dans des situations de conduite automobile. L'originalité de cette étude est d'étudier dans quelle mesure la RM est modulée dès lors que les participants jouent un rôle actif vis-à-vis des scènes dynamiques qu'ils perçoivent. Cette manipulation expérimentale peut contribuer à l'étude des relations entre "la vision pour la perception" et "la vision pour l'action".

Plus précisément, le but de cette étude est de déterminer si les connaissances spécifiques développées par des années de conduite, dont on sait maintenant qu'elles permettent une augmentation de l'effet RM, sont reliées à l'implication dans l'action. Pour manipuler le niveau d'implication des participants dans la tâche, les participants (des conducteurs expérimentés et des novices) ont été répartis dans deux conditions expérimentales. La condition "clavier" est une tâche de RM classique dans laquelle les participants estiment si les scènes présentées sont des bonds avant ou des bonds arrière en répondant à l'aide du clavier. Dans la condition "volant", les participants ont un volant entre les mains et doivent faire une tâche de RM tout en suivant le précisément possible la trajectoire de la route.

Les résultats (voir Figure 7) sont analysés de la même façon que dans les deux précédentes études, en calculant la tendance centrale des courbes de chaque participant par la méthode des PES. Cette analyse montre que les participants (expérimentés en conduite et novices)

impliqués dans la tâche de conduite (volant) produisent un effet RM plus important que ceux faiblement impliqués (clavier). De plus, les résultats montrent un effet significatif du niveau d'expérience en conduite puisque les participants les plus expérimentés en conduite (avec ou sans volant) produisent un effet RM plus important que les participants novices. L'interaction entre le facteur expertise et le facteur implication dans l'action n'est pas significative. Enfin, seuls les PES des participants expérimentés en conduite dans la condition volant sont significativement supérieurs à zéro.

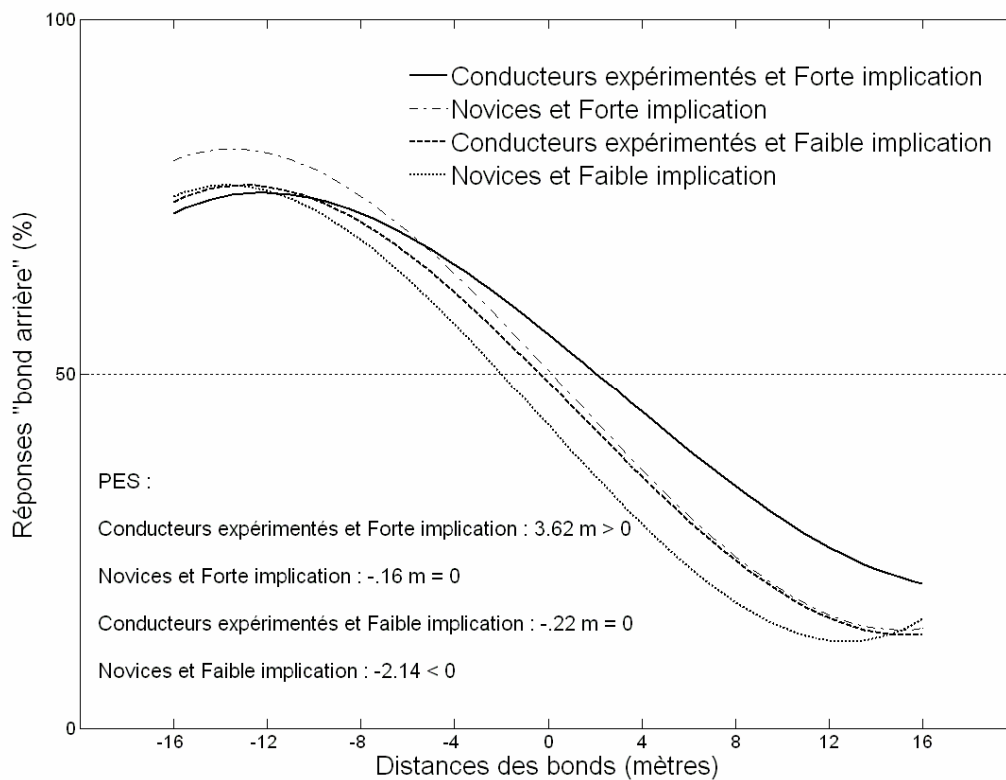


Figure 7 : Pourcentage de réponses « bond arrière » en fonction de la taille des bonds, du niveau d'expertise et de l'implication dans l'action. Les Points d'Egalisation Subjective (PES) sont comparés à zéro.

Ainsi, l'expertise et l'implication dans la tâche de conduite sont deux dimensions qui favorisent l'expression de l'effet RM et semblent se cumuler. Il est ainsi possible de conclure que les connaissances spécifiques des observateurs sont liées à l'action. Par contre, l'absence d'interaction entre ces deux facteurs suggère une indépendance entre ces deux sources de connaissances. Les processus respectifs semblent dissociés, mais auraient la propriété de s'associer à un niveau computationnel plus tardif ou plus élevé. Ces résultats sont compatibles avec la "Theory of Event Coding" (TEC voir Hommel, Müssler, Aschersleben, & Prinz,

2001). Cette théorie fait l'hypothèse d'un partage entre des processus conduisant aux actions motrices et des processus conduisant à la formation des représentations. Ainsi, un événement perceptif conduirait à la création d'un « fichier » de cet événement (Hommel, 2004). Ce fichier, contenant diverses informations de l'événement en question, serait transitoire. Il serait constitué d'un réseau liant temporairement les codes de l'événement (c.-à-d., les informations liées à cet événement) avec les actions subséquentes et avec le contexte actuel. La TEC trouve une illustration intéressante dans la recherche de Kerzel et Gegenfurtner (2003). Les auteurs montrent qu'un effet RM est plus important si le système bénéficie à la fois des coordonnées rétinotopiques et des coordonnées égocentriques (la position de l'objet perçu par rapport à son propre corps), toutes deux relatives à une cible en mouvement, plutôt que si le système ne bénéficie que de coordonnées rétinotopiques.

L'un des résultats intéressants et le plus surprenant de cette recherche est que sur les quatre groupes expérimentaux, un seul groupe présente un effet RM significativement positif. Il est encore plus surprenant de constater que les novices peu impliqués dans la tâche de conduite présentent un PES significativement négatif. Ces résultats ne sont pas concordants avec ceux obtenus dans notre précédente étude (Etude 1, Blättler & al, 2010) puisqu'un effet RM significatif, et positif, est observé pour tous les participants. Cependant, ces résultats sont compatibles avec le modèle à deux processus de Freyd et Johnson (1987). Le premier de ces processus est celui qui conduit à un effet RM. Le second est dénommé « memory averaging ». Le "moyennage en mémoire" consisterait à moyenniser les différentes positions spatiales de la cible avant sa disparition. Ainsi, la représentation spatiale de la cible dérivée de cette moyenne décalerait la position finale de la cible dans la direction opposée à celle du mouvement induit. Il y aurait donc une compétition entre ces deux processus conduisant à des effets opposés. C'est le processus qui recevrait la plus forte activation qui prendrait le pas sur le second. Si dans notre expérience certaines caractéristiques nuisent aux processus constitutifs de la RM, alors le processus de memory averaging serait celui qui recevrait la plus forte activation (voir aussi Hubbard, 1996). Ceci amène à s'interroger sur la particularité du matériel utilisé dans cette étude qui présente des virages serrés. Il s'ensuit que de nouvelles informations apparaissent continuellement. On peut faire l'hypothèse qu'un trop grand flot d'informations peut entraver les processus constitutifs de la RM dans sa composante anticipatoire. Cette hypothèse est, nous semble-t-il, une voie intéressante afin de mieux comprendre comment la RM contribue à la représentation de situations dynamiques réelles dans lesquelles de nombreuses informations, venant de sources multiples, sont à considérer.

Partie III Discussion générale

Les travaux qui ont été présentés pour étudier la représentation du mouvement sont centrés sur la perception des observateurs dans des scènes naturelles dynamiques. La question initiale qui a motivé ces travaux portait sur la possibilité que la représentation du mouvement soit liée aux connaissances acquises ontogénétiquement. Par la suite, nous avons précisé cette question en nous interrogeant sur la nature de ces connaissances, génériques ou spécifiques, liées ou non à l'action. Les résultats de notre première étude montrent que les connaissances spécifiques des observateurs influent sur la représentation du mouvement et témoignent d'une plus grande anticipation pour les observateurs expérimentés que pour les novices. L'anticipation du mouvement est plus importante lorsque l'observateur dispose de connaissances spécifiques reliées aux scènes présentées. Cependant, ces connaissances spécifiques n'interviennent que lorsque la situation observée est comparable à celles qui ont permis le développement de ces connaissances. Une deuxième étude a permis de préciser que le rôle des connaissances spécifiques est déterminant pour élaborer la représentation du mouvement dans des scènes dynamiques complexes. Des novices peu familiers des situations présentées ne manifestent pas d'effet RM dans plusieurs des conditions expérimentales que nous avons utilisées. La troisième étude met en évidence un lien étroit entre la RM et les connaissances liées à l'action, l'activation de ces dernières allant dans le sens d'une augmentation de l'effet RM.

Nous présenterons dans cette discussion les apports du travail de thèse qui a été réalisé, ainsi que certaines de ses limites. Nous soulignerons dans une première partie comment l'effet RM peut être modulé par les connaissances préalables des observateurs vis-à-vis des scènes présentées. Ceci nous amènera à nous interroger sur les stratégies perceptivo-cognitives qui peuvent être mises en œuvre par les novices et les experts. Nous montrerons dans une deuxième partie l'intérêt de l'utilisation de scènes naturelles pour étudier la représentation du mouvement. Nous intégrerons dans une troisième partie la RM dans la boucle perception/action qu'il est nécessaire de considérer quand l'observateur est amené à agir pour décider des actions les plus adaptées au contexte courant. En conclusion, nous suggérerons certaines perspectives de recherche qui nous semblent prometteuses.

1. Le rôle des connaissances spécifiques de l'observateur

1.1 L'effet RM est modulé par l'expérience de l'observateur

Dans l'ensemble des expériences que nous avons réalisées, nous avons comparé des novices et des observateurs expérimentés vis-à-vis des scènes présentées. Concernant les scènes routières, nous avons comparé des novices, n'ayant pas le permis de conduire, à des conducteurs expérimentés conduisant régulièrement depuis de nombreuses années. Les scènes routières utilisées dans les expériences, essentiellement des routes de campagne, relèvent d'une catégorie de scènes familière à tous les observateurs. Les conducteurs ont très souvent été amenés à conduire dans des environnements similaires. Ils ont donc dû réagir à de telles scènes en prenant les décisions d'action les plus efficaces possible : freiner, accélérer... Les observateurs inexpérimentés en conduite (n'ayant pas le permis de conduire) ont eux aussi pu être confrontés aux mêmes scènes visuelles, mais seulement en tant que passagers dans une voiture. Il apparaît néanmoins qu'avec l'expérience en conduite l'effet RM devient plus important. Concernant les scènes d'atterrissage (simulant des scènes d'atterrissage dans divers types de contexte) les résultats obtenus montrent aussi un écart important entre les novices et les experts. Les pilotes experts, ayant effectué des milliers d'heures de vol, sont très familiers des scènes d'atterrissage présentées. Les novices quant à eux n'ont aucune expérience directe de ces scènes, n'ayant jamais eu l'occasion de voir ces scènes du même point de vue qu'un pilote, dans son cockpit. Il ressort des recherches que nous avons réalisées que l'effet RM est nettement plus prononcé pour les experts que pour les novices.

L'ensemble de ces résultats montre que ce biais perceptif de RM, découlant de la mise en œuvre de processus anticipatoires dans l'analyse de scènes dynamiques, est d'autant plus prononcé que celles-ci ont déjà été "expérimentées" par l'observateur, au sens où celui-ci a déjà eu à réagir ou agir dans ce type de scène. Ainsi, il apparaît clairement que l'effet RM est modulé par les connaissances préalables de l'observateur relativement aux scènes dynamiques présentées. Cet effet semble robuste puisqu'il a été répliqué dans les trois études que nous avons réalisées. Le biais d'anticipation observé chez les observateurs expérimentés, en conduite automobile, ou experts en pilotage, serait l'une des marques de l'expertise. Ceci nous semble constituer un apport important de la thèse que nous défendons.

1.2 Le rôle déterminant des connaissances spécifiques dans la RM

L'absence ou la faible ampleur de l'effet RM chez les novices reflète l'importance des connaissances spécifiques dès lors que l'observateur est confronté à un environnement complexe et signifiant. Nous avons montré que l'effet RM augmente avec l'expérience des observateurs. Mais il nous paraît intéressant de nous attarder sur certains de nos résultats. Dans certaines des conditions expérimentales que nous avons utilisées, aucun effet RM n'est observé. En effet, dans l'étude 2, les observateurs novices en pilotage, auxquels il était présenté des scènes d'atterrissage, ne présentent pas d'effet RM dans trois des quatre conditions expérimentales que nous avons comparées. C'est aussi le cas dans l'étude 3 que nous avons réalisée. Les observateurs novices en conduite, et ceux qui ne sont pas directement impliqués dans l'action, ne présentent pas d'effet RM positif pouvant refléter un processus d'anticipation. Est-ce à dire qu'il n'existe pas d'effet RM dans certaines scènes visuelles, pour des observateurs novices? La réponse est certainement non, puisque les propriétés de la rétine peuvent déjà créer une trace anticipatrice (Berry, Brivanlou, Jordan, & Meister, 1999). Dans l'Etude 2, relative à des novices face à des scènes d'atterrissage, un effet RM n'est obtenu que dans certaines conditions expérimentales bien particulières (liées aux paramètres relatifs à la durée de l'interruption de la scène visuelle et à la taille des bonds consécutifs à la reprise des vidéos). Il semble bien exister une capacité générique d'anticipation du mouvement, comme en atteste la très grande diversité de situations dans lesquelles un effet RM est observé. Cependant, il doit exister une certaine adéquation entre la durée de l'interruption proposée dans les protocoles expérimentaux et la distance des bonds, pour que l'effet RM puisse se manifester pleinement. Cet ajustement est certainement en relation avec les caractéristiques des scènes visuelles présentées, ainsi qu'avec les connaissances de l'observateur vis-à-vis de ces scènes. En effet, si l'interruption est trop longue l'effet RM peut diminuer (Freyd & Johnston, 1987, Kerzel, 2002) et peut ne plus être observé dans les réponses des participants. De même, si l'ampleur des bonds est trop importante, alors l'effet RM disparaît. Cependant, lorsque les situations présentées sont signifiantes, mais ont été rencontrées peu fréquemment par l'observateur, il est difficile de mettre en évidence un effet RM. Ceci permet de conclure que dans la vie de tous les jours, l'anticipation du mouvement relève d'un apprentissage, spécialisé dans les domaines d'expérience, qui consiste en un développement d'une capacité d'anticipation liée à ce domaine.

1.3 Comment les connaissances spécifiques peuvent-elles intervenir dans les processus de la RM ?

Les trois points qui suivent présentent trois hypothèses :

- Par modulation de stratégies d'extraction d'informations des scènes dynamiques.

Les travaux sur l'expertise montrent bien qu'à l'aide de chunks stockés en Mémoire à Long Terme, les experts encodent des informations différentes (plus d'informations et de meilleure qualité au regard de l'activité en cours) de celles des novices. Ceci s'accompagne notamment d'un positionnement oculaire différent de la part des experts (Reingold, Charness, Pomplun, & Stampe, 2001). Ainsi, les conducteurs expérimentés (études 1 et 3) et les pilotes experts (étude 2) pourraient fixer des zones différentes des scènes dynamiques. Un pilote expert (4000h de vol) qui a évalué la vraisemblance de nos scènes d'atterrissage nous a dit : « je ne regarde que la moitié haute de la scène, car tout ce qui se trouve dans la moitié basse est du passé pour un pilote ». L'utilisation de l'oculométrie pourrait étayer cette hypothèse. Regarder loin devant soi est une stratégie qui est aussi recommandée en conduite automobile. La position spatiale d'un élément loin devant soi change moins vite que celle d'un élément proche. La différence spatiale, pour une même distance de bond, sera donc moins grande si l'on regarde au loin que si l'on regarde près. Ainsi, il se pourrait que les experts n'aient pas un empan d'anticipation plus important que les novices, mais que ce soit leur stratégie de positionnement oculaire (déterminée par leurs connaissances antérieures) qui rende compte, au final, d'un effet RM plus important.

- Par enrichissement de la trace mnésique formant la RM. Vinson et Reed (2002) montrent que si un objet est placé dans une catégorie associée à une propriété de mouvement alors l'effet RM obtenu est plus important que si ce même objet est placé dans une catégorie qui n'est pas associée à une propriété de mouvement. La trace mnésique d'un même objet est donc différente selon qu'elle est ou non associée à des connaissances contenues en MLT. Les experts se différencient des novices par leur plus grande quantité de connaissances dans un domaine donné, mais aussi par l'organisation de ces connaissances entre elles. Cette organisation, sous forme de templates (Gobet et Simon, 1996, Gobet, 1998), contient des informations concernant les étapes consécutives à l'événement perçu. Il est alors envisageable que de telles connaissances anticipatrices

soient ajoutées à la trace mnésique de l'événement (Didierjean & Marmèche, 2005 ; Ferrari, Didierjean, & Marmèche, 2006, 2008). De plus, les recherches de Wexler et Klam (2001), Kerzel et Gegenfurtner (2003) et de Jordan et Hunsinger (2008) montrent bien que les connaissances perceptivo-motrices sont elles aussi génératrices d'anticipation. Comme le postule la Theory of Event Coding (Hommel, Müssler, Aschersleben, & Prinz (2001), il est possible que des processus conduisant aux actions motrices et des processus conduisant à la formation des représentations soient communs. Dans ce cadre, le modèle de Gobet et Simon (1996), développé pour rendre compte de l'expertise au jeu d'échec, pourrait être compatible avec celui de la TEC. Des schémas d'action pourraient être ainsi élaborés et alimenter les traces mnésiques anticipatrices.

- Par maintien de la trace mnésique anticipatrice. Freyd et Johnson (1987) montrent que la force de l'effet RM nécessite un certain laps de temps pour atteindre son maximum. Ce maximum atteint, la force de l'effet diminue au fil du temps (voir aussi Kerzel, 2002). Ces résultats suggèrent (1) que les processus conduisant à la RM sont actifs pendant un temps déterminé et (2) que l'activation de ces processus ne dure pas indéfiniment. Dans l'étude 2, nous avons montré que la force de l'effet RM des novices ne résiste pas non plus à l'effet du temps. En effet, lorsque le protocole est calibré pour montrer un effet RM chez les novices avec de petits bonds et une interruption courte, cet effet disparaît dès que l'interruption s'allonge. Un mécanisme permettant de maintenir l'activation du RM pourrait être l'attention. En effet, Kerzel (2003) montre ainsi que si l'attention est capturée par un distracteur lors de l'interruption, aucun effet RM n'est alors observé (voir aussi, Hubbard, Kumar & Carp, 2009). Il en découle qu'un minimum de ressource attentionnelle doit être alloué à la RM. Une des caractéristiques du système cognitif pour réduire le coût attentionnel dans une tâche donnée est d'automatiser les processus en jeu dans cette tâche. L'une des conséquences de l'acquisition de l'expertise est d'automatiser les processus, par organisation des connaissances spécifiques. Ainsi, les experts de nos expériences pourraient disposer d'une plus grande quantité de ressources attentionnelles puisqu'ils traitent des situations habituelles. Cette ressource plus importante que celle des novices pourrait être suffisante pour maintenir l'activation de la trace mnésique anticipatrice, ce qui ne serait pas le cas des novices.

2. Des situations naturelles pour étudier l'effet RM

Un point important présent dans l'ensemble de ces travaux de thèse est la volonté de se rapprocher des conditions naturelles. Si le but initial est de permettre aux observateurs d'activer leurs connaissances spécifiques reliées à la nature des scènes, un autre but est d'étudier le comportement humain dans des situations les plus proches possible de l'activité quotidienne.

Un avantage de l'utilisation de scènes naturelles est de pouvoir analyser les stratégies de prise d'information des observateurs. Si les experts extraient des informations différentes de celles des novices, alors les stratégies de déplacement oculaire devraient être différentes. Le recours aux scènes naturelles peut apporter des informations différentes par rapport aux scènes artificielles. Par exemple, les études portant sur le rôle de distracteurs pendant l'interruption concluent à une altération de la RM (Kerzel, 2003 ; Hubbard, Kumar, & Carp, 2009). Cependant, ces résultats sont très étonnants si l'on considère l'activité humaine *in situ*. Dans la conduite automobile et dans le pilotage d'avion, il est fréquent de perdre de vue la situation dynamique extérieure au véhicule pour prendre des informations sur le tableau de bord. Durant ces instants l'attention est détournée, pourtant, ni un conducteur, ni un pilote, ne sont étonnés que la situation extérieure ait évolué après leur prise d'information à l'intérieur de l'habitacle. Comme il est suggéré dans la partie précédente, il est possible que les connaissances spécifiques servent au maintien de la RM. Ainsi, dans une situation qui est liée à des connaissances spécifiques il est possible que ces connaissances maintiennent la RM alors même que l'observateur est en train d'effectuer une autre tâche. Cette hypothèse ne peut pas être mise à l'épreuve dans des situations artificielles puisqu'il serait étonnant qu'un observateur ait développé des connaissances spécifiques dans de telles situations (sauf dans le cas d'un apprentissage *ad hoc*). L'importance des connaissances spécifiques sur le traitement de scènes dynamiques complexes souligne la difficulté d'élaborer des lois universelles à partir d'expérimentations basées uniquement sur des scènes artificielles. L'emploi de scènes naturelles dans des recherches expérimentales est un instrument qui complète probablement bien les travaux sur les scènes artificielles. Si Thornton et Hayes (2004) ont initié l'utilisation de telles scènes, les travaux réalisés dans cette thèse en montrent l'indéniable importance puisque l'obtention ou non d'un effet RM, ou son amplitude, est conditionnée par les connaissances des observateurs sur les scènes présentées (e.g., études 2 et 3).

3. Vision pour la perception et vision pour l'action

Nous avons montré dans la troisième étude de cette thèse que les connaissances liées à l'action ont un impact sur l'amplitude de l'effet RM dans des scènes de conduite automobile. Cependant, il est difficile d'expliquer cet effet. Seules quelques études mettent en relation la RM et l'action (e.g., Jordan & Hunsiger, 2008 ; Kerzel & Gengenfurtner, 2003). Deux courants ont été développés concernant les relations qu'entretiennent la vision pour la perception et la vision pour l'action. Dans le cadre de la théorie proposée par Hommel et al. (2001), "The Theory of Event Coding" (TEC), il est proposé que les contenus perceptifs des scènes visuelles et les plans d'action qui peuvent être associés sont encodés dans des structures de représentation communes. Par exemple, la recherche de Land et Mcleod (2002) montre que les saccades oculaires de poursuite d'une cible en mouvement sont programmées en tenant compte des informations provenant de la représentation spatiale anticipée de la cible. Stipuler que la perception et l'action partagent les mêmes codes est élégant et peut s'appuyer sur un substrat biologique possédant cette fonction comme les neurones miroirs. Cependant, la TEC n'est peut-être pas adéquate pour expliquer certains résultats expérimentaux suggérant au contraire une dissociation entre la perception et l'action. En effet, un deuxième courant de recherche propose que les informations à but perceptif et celles à but d'action motrice peuvent être distinctes. Dans cette voie Aglioti, DeSouza, et Goodale (1995) montrent que certaines illusions perceptives, qui donnent lieu à des représentations erronées, n'affectent pas la programmation motrice. L'illusion d'Ebbinghaus conduit à percevoir la taille de deux cercles comme différente, alors qu'elles sont physiquement de même taille. Dans une version de l'illusion dans laquelle les deux cercles à comparer sont des objets en trois dimensions, c'est-à-dire des disques, l'illusion visuelle se produit. Par contre, si la tâche est de prendre un disque avec la main, l'ouverture de la main correspond à la taille réelle du disque. Tout se passe comme si l'illusion altérait la représentation visuelle de l'observateur sans pour autant altérer la programmation motrice. Alors que l'information rétinienne est équivalente, il semblerait donc que les processus conduisant à la représentation visuelle et ceux conduisant à la programmation motrice ne traitent pas cette information de façon équivalente. Ces résultats montrent bien la séparation possible entre la représentation visuelle d'un objet et les actes moteurs à l'égard de ce même objet.

Rappelons que les résultats obtenus dans la troisième étude de cette thèse mettent en évidence deux dimensions facilitant l'effet RM, l'expertise et l'implication dans l'action. Ces deux dimensions semblent indépendantes puisqu'aucune interaction entre elles n'est obtenue. Ces

résultats suggèrent que les connaissances liées à l'action s'ajouteraient aux connaissances spécifiques des observateurs comme le postule la TEC, mais que cette association se produirait tardivement, à un niveau élevé dans le traitement des scènes dynamiques.

La thèse présentée, sur la représentation du mouvement dans des situations naturelles, étudie l'effet des connaissances spécifiques des observateurs vis-à-vis des scènes présentées. Les scènes utilisées dans les expériences que nous avons réalisées sont proches de situations naturelles dans lesquelles l'observateur est lui-même impliqué dans le mouvement, par exemple des scènes perçues du point de vue d'un conducteur automobile, ou celles perçues par un pilote d'avion de son cockpit.

Les résultats obtenus montrent que les connaissances spécifiques des observateurs sont décisives pour élaborer une anticipation efficace. Ces connaissances agissent sur la RM si et seulement si la situation dynamique présentée est suffisamment similaire à celles qui ont permis le développement de ces connaissances. L'implication dans l'action permet d'accroître l'ampleur de l'anticipation ce qui suggère que les connaissances spécifiques sont liées aux connaissances perceptivo motrices.

Ces résultats suggèrent que la RM met en jeu des composantes génériques — l'effet RM a pu être mis en évidence dans de nombreuses situations —, mais aussi des composantes spécifiques puisque l'effet RM est modulé par l'expertise des observateurs vis-à-vis des scènes observées. D'un côté, l'effet RM apparaît robuste, mais d'un autre côté, il est possible d'affirmer que la RM est soumise à des processus d'apprentissage. Il est donc envisageable d'apprendre à mieux anticiper. Il en découle qu'il serait sans doute possible d'évaluer les capacités d'anticipation d'un individu face à une situation dynamique donnée, ce qui donnerait un indice de maîtrise de la situation comme celle de la conduite automobile ou de l'aviation. Détecter les lacunes d'un individu face aux nouvelles technologies et les lacunes de conceptions ergonomiques de ces technologies nous semble un enjeu actuel mais aussi d'avenir dans nos sociétés.

En plus d'apporter une contribution scientifique à l'étude de la RM proprement dite, ces travaux montrent que les trois dimensions centrales de cette thèse, les scènes naturelles, les connaissances spécifiques de l'observateur et celles liées à l'action doivent probablement être considérées conjointement pour tenter de rendre compte du comportement humain dans la vie de tous les jours. En effet, les connaissances spécifiques des observateurs qui modulent le résultat de la perception (e.g., stratégies visuelles, enrichissement et maintien des traces

mnésiques) ne sont activées que dans des situations voisines de celles à partir desquelles elles ont été élaborées, et sont très souvent reliées à l'action.

Bibliographie

- Aglioti, S., DeSouza, J. F. X., & Goodale, M. A. (1995). Size-contrast illusions deceive the eye but not the hand. *Current Biology* 5, 679-685.
- Baldo, M. V., & Klein, S. A. (1995). Extrapolation or attention shift? *Nature*, 378, 565-566.
- Berry, M. J., 2nd, Brivanlou, I. H., Jordan, T. A., & Meister, M. (1999). Anticipation of moving stimuli by the retina. *Nature*, 398, 334-338.
- Bertamini, M. (1993). Memory for position and dynamic representations. *Memory & Cognition*, 21, 449-457.
- Bharucha, J. J., & Hubbard, T. L. (1992 (unpublished)). Anticipated collision along an oblique path: Effects on judged displacement.
- Blättler, C., Ferrari, V., Didierjean, A., & Marmèche, E. (en révision). Representational Momentum in Aviation.
- Blättler, C., Ferrari, V., Didierjean, A., Van Elslande, P., & Marmèche, E. (2010). Can Expertise Modulate Representational Momentum. *Visual Cognition*. 18, 1253-1273
- Bryant, D. J., & Subbiah, I. (1994). Subjective landmarks in perception and memory for spatial location. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 48, 119-139.
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in Chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55-81.
- Clarke, D. D., Ward, P. J., & Jones, G. (1998). Overtaking road-accidents: Differences in manoeuvre as a function of driver age. *Accident Analysis and Prevention*, 30, 455-467.
- Cooper, L. A., & Munger, M. P. (1993). Extrapolations and remembering positions along cognitive trajectories: Uses and limitations of analogies to physical momentum. In R. McCarthy & B. Brewer (Eds.), *Spatial representations: Problems in philosophy and psychology*. Cambridge, MA: Blackwell.
- Courtney, J. R., & Hubbard, T. L. (2008). Spatial memory and explicit knowledge: an effect of instruction on representational momentum. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 1778-1784.
- De Valois, R. L., & De Valois, K. K. (1991). Vernier acuity with stationary moving Gabors. *Vision Research*, 31, 1619-1626.

Bibliographie

- Decety, J. (2002). Is there such a thing as a functional equivalence between imagined, observed and executed action? In A. Metzlöff & W. Prinz (Eds.), *The imitative mind, development, evolution and brain bases* (pp. 291-310). Cambridge: University Press.
- DeLucia, P. R., & Mardia, M. M. (2006). Visual memory for moving scenes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *59*, 340-360.
- DeLucia, P. R., & Mather, R. D. (2006). Motion extrapolation of car-following scenes in younger and older drivers. *Human Factors*, *48*, 666-674.
- Didierjean, A., Ferrari, V., & Marmèche, E. (2004). L'expertise cognitive au jeu d'échecs : quoi de neuf depuis De Groot (1946) ? *L'année psychologique*, *104*, 771 - 793.
- Didierjean, A., & Gobet, F. (2008). Sherlock Holmes. *British Journal of Psychology*, *99*, 109–125.
- Didierjean, A., & Marmèche, E. (2005). Anticipatory representation of visual basketball scenes by novice and expert players. *Visual Cognition*, *12*, 265-283.
- Doane, S. M., Sohn, Y. W., & Jodlowski, M. T. (2004). Pilot Ability to Anticipate the Consequences of Flight Actions as a Function of Expertise. *Human Factors*, *46*, 92-103.
- Ericsson, K. A. (1985). Memory Skill. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *39*, 188-231.
- Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, *102*, 211-245.
- Ferrari, V., Didierjean, A., & Marmèche, E. (2006). Dynamic perception in chess. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* *59*, 397-410.
- Ferrari, V., Didierjean, A., & Marmèche, E. (2008). Effect of expertise acquisition on strategic perception: the example of chess. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *61*(8), 1265-1280.
- Finke, R. A., & Freyd, J. J. (1985). Transformations of visual memory induced by implied motions of pattern elements. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *11*, 780-794.
- Finke, R. A., Freyd, J. J., & Shyi, G. C. (1986). Implied velocity and acceleration induce transformations of visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *115*, 175-188.
- Finke, R. A., & Shyi, G. C. (1988). Mental extrapolation and representational momentum for complex implied motions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *14*, 112-120.

Bibliographie

- Freyd, J. J. (1983). The mental representation of movement when static stimuli are viewed. *Perception & Psychophysics*, *33*, 575-581.
- Freyd, J. J. (1987). Dynamic Mental Representation. *Psychological Review*, *94*, 427-438.
- Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1984). Representational Momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *10*, 126-132.
- Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1985). A velocity effect of representational momentum. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *23*, 443-446.
- Freyd, J. J., & Johnson, J. Q. (1987). Probing the time course of representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *13*, 259-268.
- Freyd, J. J., & Jones, K. T. (1994). Representational momentum for a spiral path. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*, 968-976.
- Freyd, J. J., & Jones, K. T. (1994). Representational momentum for a spiral path. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*, 968-976.
- Freyd, J. J., Kelly, M. H., & DeKay, M. L. (1990). Representational momentum in memory for pitch. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *16*, 1107-1117.
- Freyd, J. J., Pantzer, T. M., & Cheng, J. L. (1988). Representing statics as forces in equilibrium. *Journal of Experimental Psychology: General*, *117*, 395-407.
- Futterweit, L. R., & Beilin, H. (1994). Recognition memory for movement in photographs: a developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology*, *57*, 163-179.
- Getzmann, S., Lewald, J., & Guski, R. (2004). Representational momentum in spatial hearing. *Perception*, *33*, 591-599.
- Gobet, F., Lane, P. C., Croker, S., Cheng, P. C., Jones, G., Oliver, I., & Pine, J.M. (2001). Chunking mechanisms in human learning. *Trends in Cognitive Sciences*, *5*, 236-243.
- Gobet, F., & Simon, H. A. (1996). Templates in chess memory: a mechanism for recalling several boards. *Cognitive Psychology*, *31*, 1-40.
- Gray, R. (2005). Perceptual processes used by driver during over taking in a driving simulator. *Human Factors*, *47*, 394-417.
- Gray, R., & Reagan, D. (1999). Do monocular time-to-collision estimates necessarily involve perceived distance? *Perception*, *28*, 1257-1264.
- Halpern, A. R., & Kelly, M. H. (1993). Memory biases in left versus right implied motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *19*, 471-484.

Bibliographie

- Hatano, G., & Osawa, K. (1983). Digit memory of grand experts in abacus-derived mental calculation. *Cognition, 15*, 95-110.
- Hayes, A. E., & Freyd, J. J. (2002). Representational momentum when attention is divided. *Visual Cognition, 9*(1/2), 8-27.
- Hayes, A. E., Sacher, G., Thornton, I. M., Sereno, M. E., & Freyd, J. J. (1996). Representational momentum in depth using stereopsis [ARVO Abstract 2120]. *Investigative Ophthalmology & Visual Science, 37*(Suppl. 3), S467.
- Hayhoe, M. M. (2009). Visual memory in motor planning and action. In J. R. Brockmole (Ed.), *The visual world in memory*. Hove: Psychology Press.
- Hommel, B. (2004). Event files: feature binding in and across perception and action. *Trends in Cognitive Sciences, 8*, 494-500.
- Hommel, B., Musseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The Theory of Event Coding (TEC): a framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences, 24*, 849-937.
- Hubbard, T. L. (1990). Cognitive representation of linear motion: possible direction and gravity effects in judged displacement. *Memory & Cognition, 18*, 299-309.
- Hubbard, T. L. (1993). The effect of context on visual representational momentum. *Memory & Cognition, 21*, 103-114.
- Hubbard, T. L. (1995). Auditory representational momentum: Surface form, velocity, and direction effect. *American Journal of Psychology, 108*, 255-274.
- Hubbard, T. L. (1995). Cognitive representation of motion: evidence for friction and gravity analogues. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 21*, 241-254.
- Hubbard, T. L. (1995). Environmental invariants in the representation of motion: Implied dynamics and representational momentum, gravity, friction, and centripetal forces. *Psychonomic Bulletin & Review, 2*, 322-338.
- Hubbard, T. L. (1996). Displacement in depth: representational momentum and boundary extension. *Psychological Research, 59*, 33-47.
- Hubbard, T. L. (1997). Target Size and Displacement Along the Axis of Implied Gravitational Attraction: Effects of Implied Weight and Evidence of Representational Gravity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 23*, 1484-1493.

Bibliographie

- Hubbard, T. L. (1998). Some effects of representational friction, target size, and memory averaging on memory for vertically moving targets. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 52, 44-49.
- Hubbard, T. L. (2001). The effect of height in the picture plane on the forward displacement of ascending and descending targets. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 55, 325-329.
- Hubbard, T. L. (2005). Representational momentum and related displacements in spatial memory: A review of the findings. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 822-851.
- Hubbard, T. L. (2006). Bridging the Gap: Possible Roles and Contributions of Representational Momentum. *Psicológica*, 27, 1-31.
- Hubbard, T. L., & Bharucha, J. J. (1988). Judged displacement in apparent vertical and horizontal motion. *Perception & Psychophysics*, 44, 211-221.
- Hubbard, T. L., Kumar, A. M., & Carp, C. L. (2009). Effects of spatial cueing on representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35, 666-677.
- Hubbard, T. L., & Ruppel, S. E. (1999). Representational Momentum and the Landmark Attraction Effect. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 53, 242-256
- Hubbard, T. L., & Ruppel, S. E. (2000). Spatial memory averaging, the landmark attraction effect, and representational gravity. *Psychological Research*, 64, 41-55.
- Jarraya, M., Amorim, M. A., & Bardy, B. G. (2005). Optical flow and viewpoint change modulate the perception and memorization of complex motion. *Perception & Psychophysics*, 67, 951-961.
- Johnson-Laird, P. N. (1993). *L'ordinateur et l'esprit*. Paris: Odile Jacob.
- Johnston, H. M., & Jones, M. R. (2006). Higher Order Pattern Structure Influences Auditory Representational Momentum. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32, 2-17.
- Jones, M. R. (1981). A tutorial on some issues and methods in serial pattern research. *Perception & Psychophysics*, 30, 492-504.
- Joordens, S., Spalek, T. M., Razmy, S., & Van Duijn, M. (2004). A clockwork orange: compensation opposing momentum in memory for location. *Memory & Cognition*, 32, 39-50.
- Jordan, J. S., & Hunsinger, M. (2008). Learned patterns of action-effect anticipation contribute to the spatial displacement of continuously moving stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34, 113-124.

Bibliographie

- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Engelwood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Karn, K. S., & Hayhoe, M. M. (2000). Memory representations guide targeting eye movements in a natural task. *Visual Cognition*, 7, 673–703.
- Kausler, D. H. (1991). *Experimental Psychology, Cognition, and Human Aging*. New York: Springer-Verlag.
- Kelly, M. H., & Freyd, J. J. (1987). Explorations of representational momentum. *Cognitive Psychology*, 1, 369-401.
- Kerzel, D. (2000). Eye movements and visible persistence explain the mislocalization of the final position of a moving target. *Vision Research*, 40, 3703-3715.
- Kerzel, D. (2002). A matter of design: No representational momentum without predictability. *Visual Cognition*, 9(1/2), 66-80.
- Kerzel, D. (2003). Attention maintains mental extrapolation of target position: irrelevant distractors eliminate forward displacement after implied motion. *Cognition*, 88, 109-131.
- Kerzel, D. (2004). Attentional load modulates mislocalization of moving stimuli, but does not eliminate the error. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11, 848-853.
- Kerzel, D. (2006). Why eye movements and perceptual factors have to be controlled in studies on "representational momentum". *Psychonomic Bulletin & Review*, 13, 166-173.
- Kerzel, D., & Gegenfurtner, K. R. (2003). Neuronal processing delays are compensated in the sensorimotor branch of the visual system. *Current Biology*, 13, 1975-1978.
- Kerzel, D., Jordan, J. S., & Musseler, J. (2001). The role of perception in the mislocalization of the final position of a moving target. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 829-840.
- Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). Impetus beliefs as default heuristics: dissociation between explicit and implicit knowledge about motion. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8, 439-453.
- Land, M. F., & McLeod, P. (2000). From eye movements to actions: how batsmen hit the ball. *Nature Neuroscience*, 3, 1340-1345.
- McIntyre, J., Zago, M., Berthoz, A., & Lacquaniti, F. (2001). Does the brain model Newton's laws? *Nature Neuroscience*, 4, 693-694.
- McNamara, T. P., & Diwadkar, V. A. (1997). Symmetry and asymmetry of human spatial memory. *Cognitive Psychology*, 34, 160-190.
- Mitrani, L., & Dimitrov, G. (1978). Pursuit eye movements of a disappearing moving target. *Vision Research*, 18, 537-539.

Bibliographie

- Munger, M. P., & Owens, T. R. (2004). Representational Momentum and the flash-lag effect. *Visual Cognition, 11*, 81-103.
- Munger, M. P., Owens, T. R., & Conway, J. E. (2005). Are boundary extension and representational momentum related? *Visual Cognition, 12*, 1041-1056.
- Munger, M. P., Solberg, J. L., & Horrocks, K. K. (1999). The relationship between mental rotation and representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 25*, 1557-1568.
- Munger, M. P., Solberg, J. L., Horrocks, K. K., & Preston, A. S. (1999). Representational momentum for rotations in depth: effects of shadings and axis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 25*, 157-171.
- Nagai, M., & Yagi, A. (2001). The pointedness effect on representational momentum. *Memory & Cognition, 29*, 91-99.
- Nijhawan, R. (1994). Motion extrapolation in catching. *Nature, 370*, 256-257.
- Nijhawan, R. (1997). Visual decomposition of colour through motion extrapolation. *Nature, 386*, 66-69.
- Pearson, P. M., & Schaefer, E. G. (2005). Toupee or not toupee? The role of instructional set, centrality, and relevance in change blindness. *Visual Cognition, 12*, 1528-1543.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 32*, 3-25.
- Purushothaman, G., Patel, S. S., Bedell, H. E., & Ogmen, H. (1998). Moving ahead through differential visual latency. *Nature, 396*, 424.
- Reed, C. L., & Vinson, N. G. (1996). Conceptual effects on representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 22*, 839-850.
- Reingold, E. M., Charness, N., Pomplun, M., & Stampe, D. M. (2001). Visual span in expert chess players: evidence from eye movements. *Psychological Science, 12*, 48-55.
- Reingold, E. M., Charness, N., Schultetus, R. S., & Stampe, D. M. (2001). Perceptual automaticity in expert chess players: parallel encoding of chess relations. *Psychonomic Bulletin & Review, 8*, 504-510.
- Restle, F. (1970). Theory of serial pattern learning: structural trees. *Psychological review, 77*, 481-495.
- Rozencwaig, P., Lemoine, C., Rolland-Grot, M., & Bompard, A. (2005). Combined effects of age and job experience on spatial abilities: the case of air traffic controllers. *Psychologie du Travail et des Organisations, 11*, 47-57.

Bibliographie

- Ruppel, S. E., Fleming, C. N., & Hubbard, T. L. (2009). Representational momentum is not (totally) impervious to error feedback. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 63*, 49-58.
- Sadella, E., Staplin, L. J., & Burrough, W. J. (1979). Retrieval Processes in Distance Cognition. *Memory & Cognition, 7*, 291-296.
- Salthouse, T. A. (1982). *Adult cognition: An experimental psychology of human aging*. New York: Springer-Verlag.
- Stork, S., & Musseler, J. (2004). Perceived locations and eye movements with action-generated and computer-generated vanishing points of moving stimuli. *Visual Cognition, 11*, 299-314.
- Tanaka, J. W., Curran, T., & Sheinberg, D. L. (2005). The training and transfer of real-world perceptual expertise. *Psychological Science, 16*, 145-151.
- Thornton, I. M., & Hayes, A. E. (2004). Anticipating action in complex scenes. *Visual Cognition, 11*, 341-370.
- Tversky, B., & Schiano, D. J. (1989). Perceptual and conceptual factors in distortions in memory for graphs and maps. *Journal of Experimental Psychology: General, 118*, 387-398.
- Unterrainer, J. M., Kaller, C. P., Halsband, U., & Rahm, B. (2006). Planning abilities and chess: a comparison of chess and non-chess players on the Tower of London task. *British Journal of Psychology, 97*(Pt 3), 299-311.
- Verfaillie, K., & d'Ydewalle, G. (1991). Representational momentum and event course anticipation in the perception of implied periodical motions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 17*, 302-313.
- Vinson, N. G., & Reed, C. L. (2002). Sources of Object-Specific Effects in Representational Momentum. *Visual Cognition, 9*(1/2), 41-65.
- Wexler, H. R., & Klam, F. (2001). Movement prediction and movement production. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 27*, 48-64.
- Wexler, M., Kosslyn, S. M., & Berthoz, A. (1998). Motor processes in mental rotation. *Cognition, 68*, 77-94.
- Whitney, D., & Cavanagh, P. (2002). Surrounding motion affects the perceived locations of moving stimuli. *Visual Cognition, 9*, 131-152.
- Wulf, G., & Prinz, W. (2001). Directing attention to movement effects enhances learning: a review. *Psychonomic Bulletin & Review, 8*, 648-660.

Revue de questions : L'observateur aux commandes de la Représentation du Mouvement

**Blättler, C., Ferrari, V., Didierjean, A., Marmèche, É. (soumis). L'observateur aux
commandes de la Représentation du Mouvement. *L'année psychologique***

L'observateur aux commandes de la Représentation du Mouvement

Colin Blättler

Laboratoire de Psychologie Cognitive, Université de Provence, Marseille, France

Vincent Ferrari

Centre de Recherche de l'Armée de l'air, Salon-de-Provence, France

André Didierjean

Université de Franche-Comté, Besançon, France

Evelyne Marmèche

CNRS, Laboratoire de Psychologie Cognitive, Marseille, France

Titre courant : La représentation du mouvement

Correspondant principal: Colin Blättler, **L.P.C.** Université de Provence UMR 6146 Pôle 3C, Bâtiment 9 Case D3, Place Victor Hugo, 13331 Marseille Cedex 3, France. Email: colin.blattler@etu.univ-provence.fr Phone: +33 488 57 69 08. Fax: +33 (0)4 88 57 68 95

Résumé :

L'effet de "Representational Momentum" (RM) réfère à la tendance des observateurs à "se souvenir" du point d'arrêt d'une scène dynamique de façon décalée dans le sens du mouvement (cf. Freyd et Finke, 1984). Dans la revue de question qui est présentée, nous montrons tout d'abord que ce biais perceptif reflète certaines propriétés physiques du mouvement. Nous montrons ensuite comment l'effet RM est modulé par certaines caractéristiques cognitives de l'observateur, notamment ses connaissances vis-à-vis des situations rencontrées, ou son expertise dans le domaine de connaissance en jeu. Nous soulignons, en conclusion, les liens entre perception et action, l'observateur n'étant jamais passif lors de l'analyse de scènes dynamiques.

Mots-clés : Représentation du mouvement, scène dynamique, expertise, action

Representational Momentum under control of the observer

Abstract:

Representational Momentum (RM) refers to the tendency of observers to "remember" the stopping point of a dynamic scene as being farther along in the direction of motion that it was in reality (Freyd & Finke, 1984). Studies reported in the first part of this review show that this perceptive bias reflects some physical properties of the movement. In the second part of this review, we reported studies that attest that the RM effect may be modulated by the cognitive characteristics of the observer, his/her knowledge relative to the scenes, or his/her expertise in the knowledge domain. In conclusion, we stressed the links between perception and action, showing that observers are rarely passive when they observe dynamic scenes.

Key words: Representational Momentum, dynamic scene, expertise, action

INTRODUCTION

Lorsqu'un individu perçoit un objet en mouvement, l'information concernant le déplacement de cet objet est transmise des photorécepteurs aux aires visuelles supérieures en, à peu près, 100ms (Delavois & Delavois, 1991). Pendant ce délai, l'objet en mouvement a déjà changé de position spatiale. Ainsi, les décisions d'actions à propos de cet objet en mouvement, devraient reposer, en théorie, sur des informations obsolètes. L'objectif du présent article est de présenter les principaux mécanismes qui permettent à l'être humain de compenser ces délais neuronaux irréductibles. Plus précisément, nous montrerons que pour compenser ces délais, le système cognitif encode la position spatiale d'un objet en mouvement à une position décalée dans le sens du mouvement. Ce phénomène est appelé Representational Momentum – Représentation du Mouvement (RM)- par Freyd et Finke (1984). Cet article présentera dans un premier temps les similitudes entre la représentation du mouvement et le mouvement réel. Il s'agira de montrer comment la représentation du mouvement intègre des paramètres physiques liés au mouvement de la cible et à sa trajectoire, ainsi que le contexte dans lequel la cible apparaît. Puis, dans une seconde partie, il sera davantage question du rôle des caractéristiques de l'observateur dans les processus constitutifs de la RM. Dans une troisième partie, nous analyserons les liens étroits qu'entretiennent les connaissances expertes avec la RM. Nous soulignerons en conclusion la valeur adaptative de ce biais perceptif qui constitue un atout majeur pour l'adaptation de l'homme à son environnement dynamique.

Partie I. La représentation du mouvement reflète-t-elle la réalité physique?

1.1 La représentation du mouvement est une anticipation du mouvement

Dans une expérience princeps, Freyd et Finke (1984) ont élaboré un paradigme expérimental élégant pour étudier la représentation du mouvement. Les auteurs présentent successivement trois orientations différentes d'un même rectangle afin d'induire un mouvement de rotation (dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens inverse). Après cette phase d'induction de mouvement, une quatrième orientation du rectangle était présentée. Ce quatrième rectangle pouvait avoir, soit exactement la même orientation que le troisième, soit une orientation indiquant une poursuite de la rotation ou une orientation indiquant un début de rotation inverse à celle induite. Chaque rectangle était présenté 250ms et le délai entre chaque

présentation était de 250ms. La tâche des participants était d'indiquer si la quatrième orientation du rectangle était la même que la troisième (voir Figure 1).

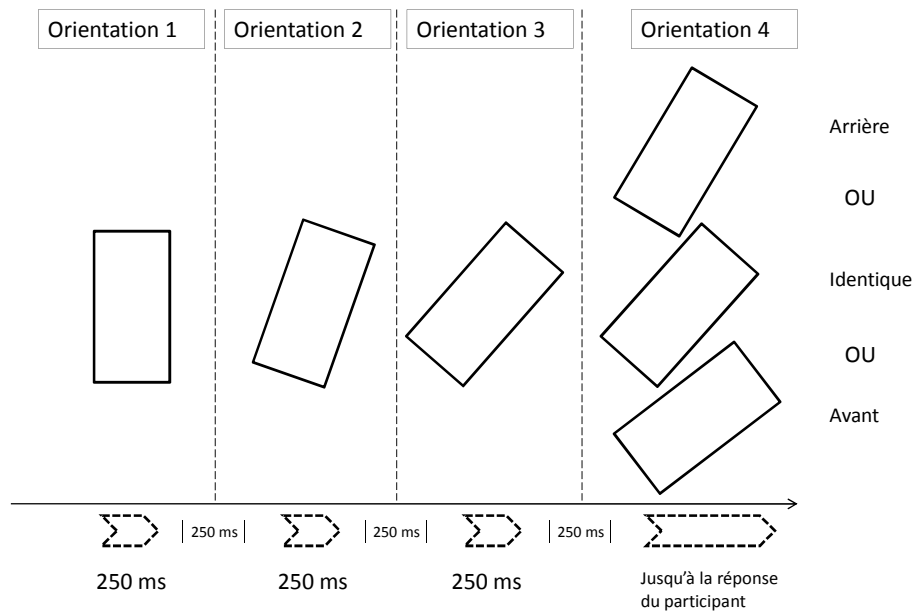


Figure 1. Procédure de Freyd et Finke (1984). La présentation successive de trois orientations d'un rectangle induit un mouvement de rotation de ce rectangle.

Figure 1. Procedure from Freyd and Finke (1984). The successive presentation of three orientations of a rectangle induces a movement of rotation of this rectangle.

Les résultats ont montré que les orientations poursuivant le mouvement de rotation induit étaient plus difficiles à rejeter que celles indiquant un début de rotation dans le sens inverse de celui induit. Ce pattern de résultats n'est pas observé lorsqu'aucun mouvement n'est induit (c.-à-d., en permutant la troisième orientation avec la seconde). Selon les auteurs, l'induction du mouvement activerait chez l'observateur, une représentation spatiale erronée de la troisième orientation du rectangle. Tout se passe comme si les participants encodent la position spatiale de la troisième orientation de façon décalée dans le sens du mouvement induit. Ces résultats permettent aux auteurs de conclure à l'existence d'une certaine analogie entre le mouvement représenté et le mouvement réel d'un objet.

Dans cette optique, Freyd et Finke (1985) ont testé l'effet de la vitesse de déplacement d'un objet sur la RM. Dans un protocole globalement identique à celui employé dans leur précédente étude (Freyd & Finke, 1984), deux conditions expérimentales étaient contrastées : le mouvement était soit rapide soit lent. Les résultats ont clairement montré un déplacement plus important de la position spatiale encodée avec une vitesse rapide. Prolongeant ces résultats, Finke, Freyd, et Shyi (1986) ont testé l'effet d'une accélération ou d'une décélération

du mouvement induit. Leurs résultats ont montré que lorsque la cible accélère, la position spatiale représentée par l'observateur est fortement décalée dans le sens du mouvement. À l'inverse, une décélération de la cible entraîne un faible décalage de la représentation de la position spatiale (voir aussi Finke & Shyi, 1988 pour des résultats similaires). De plus, lorsque le mouvement induit une décélération jusqu'à une vitesse proche de zéro, aucun déplacement de la dernière position mémorisée n'est obtenu. Ce dernier résultat constitue un argument supplémentaire en faveur de l'hypothèse d'une certaine similitude entre les propriétés du mouvement physique et les propriétés du mouvement représenté.

1.2. La représentation du Mouvement est dynamique

Si les études princeps ont mis en évidence les principales caractéristiques de la RM, notamment sa similitude avec le mouvement réel, il reste à déterminer comment se constitue la RM (Freyd, 1987). Lorsque l'observateur se représente un mouvement, se représente-t-il l'ensemble des positions spatiales de la cible (jusqu'à ce qu'il donne sa réponse), ou se représente-t-il directement la cible dans sa position finale (sans représentations intermédiaires). Pour répondre à cette question, Freyd et Johnson (1987) ont répliqué le protocole de Freyd et Finke (1984) dans lequel différentes orientations d'un rectangle induisaient un mouvement de rotation. L'originalité de cette étude est de faire varier la latence entre la troisième orientation présentée et la quatrième (de 10 ms à 900ms). Les résultats obtenus montrent une augmentation de l'effet RM (c.-à-d., un déplacement de la position spatiale mémorisée de la cible dans le sens du mouvement induit) avec l'augmentation de la latence d'encodage (Interval Inter Stimuli : ISI). À noter cependant que lorsque la valeur de l'ISI dépasse une certaine limite, ici 300 ms, cet effet diminue au fur et à mesure que le temps d'ISI continue d'augmenter. Cette diminution de l'effet RM après 300 ms suggère que l'évolution de la RM est similaire au mouvement qu'aurait un objet dans la réalité, à savoir une diminution de sa vitesse avec le temps. C'est cette similitude entre le mouvement réel et la RM qui fait de cette dernière une représentation dynamique.

1.3. L'inférence du mouvement

La représentation du mouvement est un phénomène si fondamental dans la capacité de l'être humain à s'adapter à son environnement qu'il peut être observé même à partir d'une image statique, dès lors que cette dernière suggère un mouvement. Freyd (1983) montre à des

participants des paires d'instantanés de photographies représentant une action en cours (par ex., un enfant effectuant un saut du haut d'un parapet). Ces paires étaient présentées séquentiellement, soit dans l'ordre chronologique (n puis $n+1$), soit dans l'ordre inverse ($n+1$ puis n), soit les deux photographies présentées étaient identiques (n puis n). La tâche des participants était de dire si les paires étaient identiques ou non. Les résultats ont montré que les photographies suivant l'ordre chronologique étaient plus difficiles à rejeter que les photographies présentées dans l'ordre inverse. Alors même qu'aucun mouvement n'était induit, les participants l'ont inféré en extrapolant la position spatiale de la cible dans le sens naturel suggéré par le contexte de la scène (voir aussi Freyd, Pantzer, & Cheng, 1988 ; Futterweit & Beilin, 1994).

1.4. Principes physiques et Représentation du mouvement

Dans leur ensemble, les recherches précédemment citées (Freyd, 1983 ; Freyd, Pantzer, & Cheng, 1988) sont en faveur de l'hypothèse selon laquelle les connaissances relatives aux principes physiques jouent un rôle lors de l'encodage spatial d'une cible dynamique. Des arguments supplémentaires en faveur de cette hypothèse sont apportés par la recherche d'Hubbard et Bharucha (1988). Cette recherche utilise un nouveau protocole expérimental pour évaluer l'effet RM. Il est présenté aux participants une cible (un point) se déplaçant de façon continue (ici le mouvement est visible et non induit comme dans les expériences précédemment citées) et rectiligne, soit du bas vers le haut, soit du haut vers le bas, soit de droite à gauche soit de gauche à droite (voir Figure 2). Après quelques instants d'animation, la cible disparaissait de façon inopinée. Dès que la cible disparaissait, le pointeur de la souris (en forme de croix) apparaissait afin que le participant clique à l'endroit qu'il pensait être celui de la disparition de la cible.

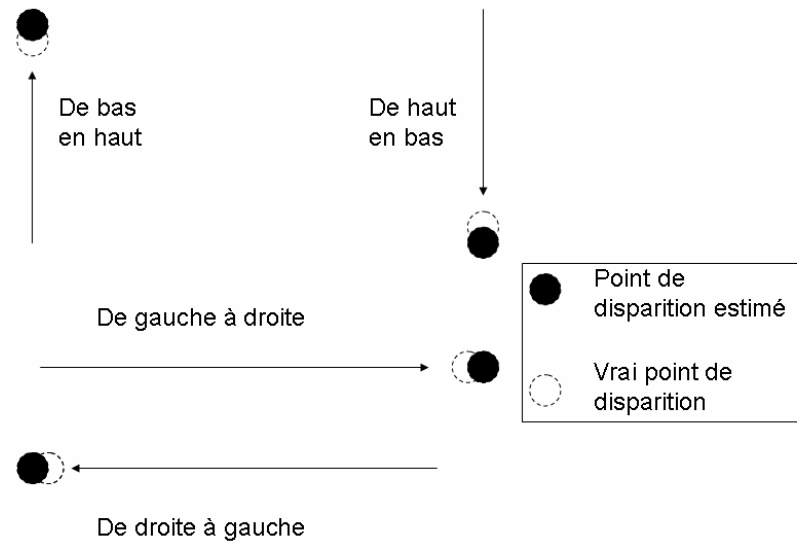


Figure 2. Matériel et résultats adaptés de Hubbard et Bharucha (1988)

Figure 2. Material and results adapted from Hubbard and Bharucha (1988)

Les résultats ont montré que les participants rappellent la position de la cible, au moment de sa disparition, non pas à l'emplacement exact, mais un peu plus loin dans le sens de la trajectoire de la cible. Cet effet RM se produit quel que soit le sens de déplacement, vertical ou horizontal. Ainsi, un effet RM est observé que ce soit pour un mouvement induit (Freyd & Finke, 1984) ou pour un mouvement continu (Hubbard & Bharucha, 1988). Cependant, Hubbard et Bharucha (1988) ont obtenu des résultats a priori quelque peu insolites. En effet, quand la cible poursuit un mouvement du haut vers le bas, l'effet RM est plus fort que quand la cible poursuit un mouvement du bas vers le haut. De plus, lorsque la cible poursuit un mouvement horizontal, la cible est rappelée plus loin dans la continuité du mouvement (effet de la RM), mais aussi un peu plus bas. Plus récemment, Hubbard (2001) rapporte que le mouvement d'une cible chutant sur une courte distance produit un effet RM plus restreint que si la cible chute sur une longue distance. Lorsqu'une cible s'élève sur une longue distance, ceci produit un effet RM plus restreint que si la cible s'élève sur une courte distance. Selon Hubbard (1990, 1995b, 1997, 2001), l'ensemble de ces résultats (Hubbard & Bharucha, 1988 ; Hubbard, 2001 ; voir aussi Bertamini, 1993) est probablement dû à la prise en compte par l'observateur de la notion de gravité terrestre. En effet, sur terre, la force gravitationnelle entraîne l'accélération d'un objet qui chute et la décélération d'un objet qui s'élève. C'est également la gravité terrestre qui donne une forme parabolique au mouvement d'un objet se déplaçant de manière horizontale.

Dans le même sens, Hubbard (1995a) a étudié l'implication de la force de friction sur l'effet de la RM. L'auteur présente une cible en mouvement (un carré) qui selon la condition expérimentale est en contact ou non avec une autre surface fixe (un rectangle). L'hypothèse défendue par l'auteur est que si les connaissances sur le monde interviennent dans le RM, lorsqu'une cible mouvante est en contact avec une autre surface (existence alors de frottements), une annulation ou une diminution de l'effet RM devrait être observée. Les résultats ont montré effectivement un effet RM plus faible dans la condition où la cible est en contact avec l'autre surface (voir aussi Hubbard, 1998 ; Kerzel, 2002).

1.5. Représentation du mouvement : vers des situations plus naturelles

1.5.1. Rôle du contexte

Les études d'Hubbard (1995a, 1998) et de Kerzel (2002) relatives au phénomène de friction montrent que la RM est modulée par les éléments du contexte environnant. Dans ce cadre, Hubbard (1993) montre que lorsque le contexte est lui-même en mouvement, ce dernier module l'effet RM. Ainsi, si un rectangle (la cible) effectue une rotation à l'intérieur d'un carré plus large et concentrique (le contexte environnant) qui effectue une rotation dans le même sens, l'effet RM est accru (voir Figure 3). En revanche, si la rotation du rectangle et celle du carré effectuent une rotation dans des directions opposées, l'effet RM est diminué.

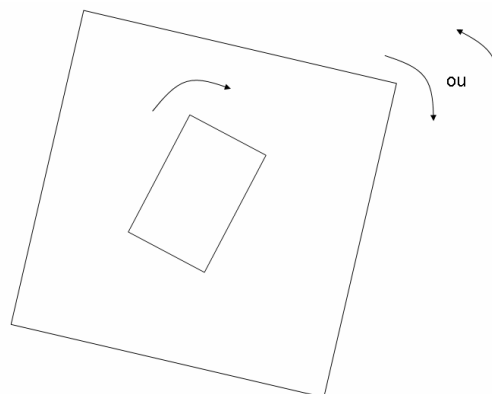


Figure 3. Matériel adapté de Hubbard (1993). La cible (le rectangle) effectue une rotation. Le carré concentrique (l'environnement) effectue une rotation dans le même sens que la cible ou dans le sens inverse.

Figure 3. Material adapted from Hubbard (1993). The target (the rectangle) is rotated. The concentric square (the environment) rotates in the same direction as the target or in the reverse direction.

Les résultats obtenus par Hubbard (1993 ; voir aussi Whitney et Cavanagh, 2002, pour des résultats similaires) montrent que le mouvement d'une cible est représenté en lui associant les caractéristiques du mouvement du contexte dans lequel la cible évolue. Toutefois, il arrive que certains éléments de l'environnement soient statiques (par ex. en conduite, lorsque le conducteur, arrêté à une intersection, doit décider s'il a le temps de s'engager). Hubbard et Ruppel (1999) ont testé l'hypothèse que la présence d'un repère fixe (qui joue ici le rôle de contexte) devrait moduler l'effet de la RM. Cette hypothèse repose sur l'effet de « l'attraction d'un repère » (Bryant & Subbiah, 1994 ; McNamara & Diwadkar, 1997 ; Sadella, Staplin, & Burrough, 1979 ; Tversky & Schiano, 1989). Ce biais mnésique consiste à rappeler la position d'une cible fixe à proximité d'un repère comme étant plus proche de ce dernier qu'elle ne l'est en réalité, comme si le repère exerçait une attraction sur la cible. Compte tenu de cet effet d'attraction, Hubbard et Ruppel (1999) font l'hypothèse que si une cible en mouvement se dirige vers un repère fixe, l'effet RM devrait être plus fort que si la cible s'en éloigne. Les résultats obtenus par Hubbard et Ruppel (1999) vont dans le sens de cette hypothèse et montrent que même un repère fixe peut moduler la RM.

En résumé, il apparaît que le contexte dans lequel évolue une cible en mouvement joue un rôle primordial sur l'estimation du mouvement de la cible, et de son point de disparition. La simple considération du mouvement propre de la cible s'avère tout à fait insuffisante pour spécifier l'ampleur, voire la direction, du mouvement. Seule une approche intégrée de l'analyse du mouvement d'une cible en contexte peut donc permettre d'appréhender la représentation du mouvement. L'approche développée par Hubbard (1995b) nous semble très prometteuse pour interpréter les mécanismes en jeu, essentiellement des mécanismes mnésiques, plus que strictement perceptifs. Selon l'auteur, ce sont les traces mnésiques relatives aux différents éléments de l'environnement (fixes ou variables), ainsi que celles relatives aux différentes positions de la cible en mouvement (réelles ou anticipées) qui seraient déterminantes pour « calculer » la position de la cible en mouvement ou sa vitesse, lorsque la cible est occultée.

1.5.2. Situations naturelles

Nous avons vu jusqu'à présent que la RM peut être modulée par de nombreux facteurs comme les caractéristiques du mouvement de la cible (par exemple, sa vitesse, sa direction), les

connaissances implicites des observateurs sur le monde (par exemple la gravité), ainsi que le contexte environnant la cible. Cependant, il est clair que dans un contexte de situations « naturelles », d'autres facteurs interviennent tels que la profondeur du champ et le fait que dans une scène naturelle l'observateur est immergé dans le contexte.

Dans l'objectif de prendre en compte ces paramètres, plusieurs expériences (Hayes, Sacher, Thornton, Sereno, & Freyd, 1996 ; Hubbard, 1996 ; Nagai & Yagi, 2001) ont montré que le mouvement d'une cible qui grossit (c.-à-d. qui augmente en taille quand la cible se rapproche) ou rétrécit (c.-à-d. qui diminue en taille quand la cible s'éloigne) provoque un encodage de la taille de la cible plus large quand la cible était en train de grossir et plus restreint quand la cible était en train de rétrécir. Dans le même sens, Munger, Solberg, et Horrocks (1999) présentent des figures complexes en trois dimensions induisant un mouvement de rotation. Les résultats ont montré que des objets complexes, produisant un mouvement dans la profondeur du champ visuel, conduisent aussi à une extrapolation du mouvement de type RM. Ainsi, la représentation d'une cible en mouvement prend en compte la dynamique du contexte et les mouvements dans la profondeur du champ visuel, pour des objets simples comme complexes.

Les trois caractéristiques, contexte environnant, profondeur de champ, et complexité des éléments influent sur le traitement des scènes naturelles. Pour tenter de se rapprocher encore plus des conditions naturelles, Thornton & Hayes (2004) ont montré un film — c'est-à-dire un mouvement continu —, en caméra statique, d'une situation naturelle présentant une foule se déplaçant. Leurs résultats montrent un effet RM dans cette situation.

Si les situations naturelles, alliant complexité et profondeur de champ, engendrent un effet RM, il reste encore, dans le souci d'une démarche écologique, à étudier la RM lorsque l'observateur est cette fois immergé dans le contexte. Pour rendre compte de ce point de vue, DeLucia et Maldia (2006) ainsi que Thornton et Hayes (2004) ont utilisé des scènes familières, susceptibles d'induire chez le participant une impression d'immersion personnelle dans la situation. Ces scènes représentent des situations simulées par ordinateur de conduite automobile, du point de vue du conducteur. Les résultats de ces études montrent qu'un effet RM se produit aussi dans ce contexte (voir aussi Blättler, Ferrari, Didierjean, Van Elslande, & Marmèche, sous presse). Plusieurs enseignements peuvent être tirés de ces expériences. Premièrement, le fait d'obtenir un effet RM dans des situations naturelles montre la généralité de cet effet. Deuxièmement, ces types de situations permettent l'étude de nouvelles caractéristiques qui pourraient être associées aux processus conduisant au RM. En effet, dans le cadre des recherches sur la RM, l'emploi de scènes naturelles, porteuses de sens, ouvre

naturellement vers des études sur les caractéristiques de l'observateur. Si l'objectif *in fine* est l'étude de la RM élaborée par un observateur plus ou moins familier des scènes rencontrées, ou plus ou moins expert relativement à l'environnement dans lequel il est immergé (partie III), il convient au préalable d'étudier les caractéristiques de l'observateur dans des environnements simples et contrôlés (partie II).

Partie II. Modulation de la Représentation du Mouvement par l'observateur

2.1. Attention et Représentation du mouvement

L'hypothèse générale testée dans un ensemble de recherches est que plus l'attention est focalisée sur la trajectoire de la cible en mouvement, plus l'effet RM serait faible. Dans l'une des premières recherches portant sur la relation entre attention et RM, Hayes et Freyd (2002) présentent simultanément un point qui se déplace de gauche à droite (ou de droite à gauche) et un carré qui s'agrandit ou se rétrécit. Les résultats montrent que l'effet RM augmente lorsque l'attention est détournée de la cible en mouvement. De même, dans une condition de double tâche (les sujets doivent réaliser une tâche de comptage, en plus de la tâche principale de poursuite de la cible), les résultats montrent que l'effet RM est plus important dans la condition de double tâche que dans la condition simple. Selon les auteurs, la RM n'est pas seulement un processus automatique puisque l'effet RM peut être modulé par la charge attentionnelle dévolue à la cible. L'attention visuelle permettrait de stopper les processus d'extrapolation mentale. Lorsque le foyer attentionnel ne serait plus dirigé sur la cible, l'effet RM aurait tendance à augmenter.

2.1.1. L'attention préserve la RM

Kerzel (2003) s'est attaché à déterminer si la présentation de distracteurs pouvait limiter, ou non, l'effet RM. L'auteur formule et teste les deux hypothèses contradictoires suivantes :

— H1 : Si le rôle de l'attention visuelle est de stopper l'extrapolation mentale, alors une augmentation de l'effet RM devrait être observée quand des distracteurs sont présentés pendant l'intervalle de rétention ;

— H2 : Alternativement, si le rôle de l'attention visuelle est de guider et d'orienter le processus d'extrapolation mentale, alors une diminution de l'effet RM devrait être observée quand des distracteurs sont présentés pendant l'intervalle de rétention.

Dans cette recherche, des distracteurs sont présentés pendant l'intervalle de rétention, c'est-à-dire après la disparition de la cible. Ces distracteurs sont non pertinents par rapport à la tâche en cours, mais peuvent provoquer des changements (involontaires) du foyer attentionnel (c.f., Posner, 1980). Plus précisément, un distracteur est présenté à une certaine distance de la cible pendant l'intervalle de rétention (le distracteur est très discriminable de la cible, étant beaucoup plus grand, et présenté loin de la cible). Les résultats montrent que lorsque des distracteurs sont présentés, l'effet de la RM est, non seulement annulé, mais inversé. Cette inversion de l'effet RM va à l'encontre de l'hypothèse H1 selon laquelle l'attention visuelle serait nécessaire pour stopper l'extrapolation mentale du mouvement de la cible. L'inversion de l'effet RM est en outre compatible avec l'hypothèse d'un moyennage en mémoire des différentes traces mnésiques (Freyd & Johnson, 1987 ; Hubbard & Ruppel, 2000). Freyd et Johnson font l'hypothèse d'une compétition entre les processus de moyennage des différentes positions spatiales d'une cible perçues avant l'arrêt du déplacement et le biais d'anticipation (RM). Ainsi, il se pourrait que la disparition de l'allocation attentionnelle sur la cible facilite l'expression du processus de moyennage en faisant disparaître le processus opposé qu'est le RM. L'effet du traitement d'un distracteur, même non pertinent par rapport à la tâche, pourrait alors annuler, voire inverser, l'effet RM en détournant l'attention de la cible. Le rôle de l'attention visuelle ne serait donc pas d'arrêter le processus d'extrapolation mentale, mais de le maintenir. L'attention visuelle serait nécessaire pour que se déroule le processus d'extrapolation mentale.

2.1.2. Effets de l'indication spatiale

Les recherches d'Hubbard, Kumar et Carp (2009) visent à apporter des preuves plus directes de l'effet de l'attention sur l'ampleur du RM. Elles utilisent un paradigme de « spatial cueing » (indication spatiale). Un indice (« cue ») est présenté pendant le déplacement de la cible, ou pendant l'intervalle de rétention, c'est-à-dire après la disparition de la cible. Certains indices sont considérés comme « très pertinents », au sens où ils apparaissent à l'endroit de la localisation finale de la cible, d'autres sont non pertinents (ils apparaissent au-dessus ou au-dessous de l'endroit où disparaît la cible). Les résultats montrent que la présentation d'un indice (pertinent ou non) pendant le déplacement de la cible et/ou après sa disparition entraîne

une diminution de l'effet RM observé sans indice. Concernant la pertinence des indices, pendant le déplacement de la cible, la présentation d'indices pertinents conduit à une plus grande diminution de l'effet RM que la présence d'indices non pertinents. Ce pattern de résultats s'inverse dans la condition d'un indiçage après la disparition de la cible.

Les résultats concernant la présentation d'indices pertinents pendant le déplacement de la cible suggèrent que ces indices joueraient le rôle de « prime », augmenteraient l'allocation attentionnelle dévolue à la cible, notamment à son point de disparition, et provoqueraient donc une diminution de l'effet RM. Cependant, les résultats obtenus lorsque l'indice est présenté après la disparition de la cible sont, quant à eux, compatibles avec l'hypothèse faite par Kerzel (2003) qui propose que la diminution observée de l'effet RM peut être due à une perturbation de l'attention dévolue à la cible. Selon Kerzel (2003), c'est le caractère « distracteur » de l'indice qui rendrait compte de la diminution de l'effet RM.

En résumé, quels que soient le moment et la durée pendant lesquels un indice spatial est présenté, l'effet RM est diminué, mais non supprimé. Ces résultats vont dans le sens de l'hypothèse selon laquelle l'effet RM est au moins en partie automatique puisque cet effet peut être modulé par l'attention (Kerzel, 2003 ; 2004). Focaliser l'attention sur la trajectoire de la cible et son point de disparition permettrait de réduire l'effet RM. Cependant, le fait de perturber le traitement de la cible en focalisant l'attention sur un distracteur, après la disparition de la cible, pourrait aussi diminuer l'effet de la RM en interrompant ou en réduisant le traitement du flot perceptif provenant de la cible.

Considérés ensemble, ces résultats (Hubbard et *al.*, 2009 ; Kerzel, 2003) suggèrent que le rôle de l'attention est de maintenir la dynamique de la situation lors de la disparition visuelle de celle-ci. Par contre, lors de la vision de la scène, une focalisation de l'attention amènerait une plus grande précision spatiale (Hubbard et *al.*, 2009). Ces effets de l'attention sont un argument en faveur d'une perméabilité d'une partie des processus constitutifs du RM. Puisque la RM ne semble pas être complètement automatique, il est possible que les connaissances des observateurs puissent être intégrées dans les processus constitutifs de la RM. La partie suivante développe ce point de vue.

2.2. Influence des connaissances des observateurs

2.2.1. Connaissances à propos de l'effet RM

Freyd (1987; Finke & Freyd, 1985) suggère que la RM est un phénomène qui n'est pas influencé par des feedback sur les erreurs commises, argument en faveur de l'hypothèse selon laquelle le RM est modulaire, non cognitivement pénétrable. Pour tester cette hypothèse, Courtney et Hubbard (2008) étudient dans une recherche si prévenir les observateurs de l'existence de l'effet RM, ou les informer de leurs erreurs concernant la localisation de la cible au moment de sa disparition, peut diminuer l'effet RM ? Dans leurs expériences, trois groupes de sujets sont comparés : des sujets « naïfs », des sujets avertis de l'effet RM, et des sujets, non seulement avertis de l'effet RM, mais auxquels il était demandé de contrecarrer cet effet. Les résultats montrent que tous les sujets présentent encore un effet RM, même si cet effet est néanmoins amoindri dans les deux groupes informés. Jusqu'alors, très peu de recherches ont explicitement étudié l'effet d'un feedback relatif aux erreurs de localisation sur l'ampleur de l'effet RM, alors que ceci constitue a priori le test le plus direct de la pénétrabilité de la RM. En effet, si l'individu peut moduler volontairement la RM alors il est évident que la RM est cognitivement pénétrable. Finke et Freyd (1985) ont réalisé des expériences dans lesquelles des feedbacks sont donnés aux sujets durant la phase de familiarisation. Ces feedbacks portent sur le caractère « correct » ou « erroné » de la réponse donnée par les sujets. Les résultats montrent que ces feedbacks n'ont aucun effet sur l'ampleur de la RM, ni dans la phase de familiarisation, ni dans la phase expérimentale. Comme l'ont précisé Joordens, Spalek, Razmy, et van Duijn (2004), cette absence d'effet pourrait être due au fait que les feedbacks délivrés sont relativement peu informatifs, n'indiquant que la présence d'une erreur, mais non de sa direction, et qu'ils ne sont délivrés que pendant les quelques essais de la phase d'entraînement. En tenant compte de cette limite, Ruppel, Fleming et Hubbard (2009) ont répliqué et prolongé les études de Finke et Freyd (1985). Dans l'expérience réalisée, le feedback délivré est plus ou moins informatif selon les conditions : soit un simple feedback en termes de réussite ou d'échec, soit un feedback qui précise le sens de l'erreur (en avant ou en arrière). De plus, selon les conditions, le feedback n'est délivré que pendant la phase d'entraînement, ou bien dans quelques-uns ou dans tous les essais de la phase expérimentale. Le résultat le plus saisissant est que, globalement, le feedback, quel qu'il soit, peu ou plus informatif, ainsi que la quantité de feedback délivrée, sur peu ou sur de nombreux essais, ne

diminue pas l'ampleur de l'effet de la RM. C'est dans la condition où aucun feedback n'est délivré que l'effet RM est le plus faible. Une interprétation possible serait que, lorsque des feedbacks sont délivrés, la focalisation de l'attention serait partiellement détournée de la cible, et du moment de sa disparition. L'attention serait surtout focalisée sur la réponse à donner, ce qui perturberait l'apprentissage proprement perceptif de la trajectoire de la cible et de son point d'arrêt (cf. Wulf & Prinz, 2001). L'apport systématique d'un feedback pourrait ainsi perturber les mécanismes d'apprentissage implicite mis spontanément en œuvre. L'attention serait détournée de la cible ce qui augmenterait l'effet RM.

En résumé, l'ensemble des recherches réalisées montre qu'informer les sujets de leurs erreurs, y compris lorsque le sens de l'erreur est indiqué, comme fournir des feedbacks sur de nombreux essais, ne modifie guère l'ampleur du RM. (voir aussi, Finke & Freyd, 1985 ; Courtney & Hubbard, 2008). Cependant, et de façon à priori quelque peu paradoxale, non seulement les feedbacks n'ont pas tendance à diminuer l'effet RM, mais à l'augmenter. Une interprétation possible serait que, plus l'attention est focalisée sur la cible en mouvement, et sur son point d'arrêt, plus l'ampleur de l'effet de la RM serait faible. Ce point est repris dans la partie suivante qui met en relation l'impact de la focalisation attentionnelle sur l'objet en mouvement et le moment de sa disparition, sur l'ampleur du RM.

2.2.2. Le rôle des attentes dans la représentation du mouvement

Un ensemble de recherches montre que la représentation du mouvement peut être affectée par les prédictions de l'observateur quant à la trajectoire probable de la cible en mouvement. Des informations locales permettant la prévision de la trajectoire de la cible à court terme peuvent être utilisées, mais aussi des informations globales concernant le mouvement de la cible, extraites à partir de durées temporelles plus longues. Hubbard et Bharucha (1988) et Bharucha et Hubbard (1992) ont ainsi analysé des situations où le mouvement de la cible est périodique. Par exemple, les participants voient une cible qui se déplace horizontalement ou verticalement à vitesse constante dans un cadre. La cible rebondit périodiquement contre les parois du cadre. Selon les essais, la cible disparaît, soit dans une situation de pré-collision, soit dans une situation de collision avec la paroi la plus proche, soit après la collision. La tâche des participants est de positionner un curseur là où ils croient que la cible a disparu. Les résultats montrent que dans les situations de précollision et de collision, les participants positionnent le point de disparition dans le sens opposé au mouvement perçu juste avant la coupure. Tout se

passé comme si les participants anticipaient le rebond de la cible sur la paroi et ainsi le changement de direction de la cible. Dans le même sens, les études de Verfaillie et d'Ydewalle (1991) montrent que l'extrapolation du mouvement peut être influencée par les « patterns » de mouvement d'une plus grande complexité que de simples trajectoires monotones. Le paradigme utilisé reprend celui de Freyd et Finke (1984), mais introduit une condition de mouvement induit dans laquelle les rotations successives du rectangle changent de sens périodiquement (voir Figure 4). Ainsi, le mouvement de la cible peut être décrit à un niveau local (un mouvement dans le sens des aiguilles d'une montre), mais aussi au niveau global concernant le mouvement périodique de la cible en déplacement (dans le sens des aiguilles d'une montre puis dans le sens inverse, etc.).

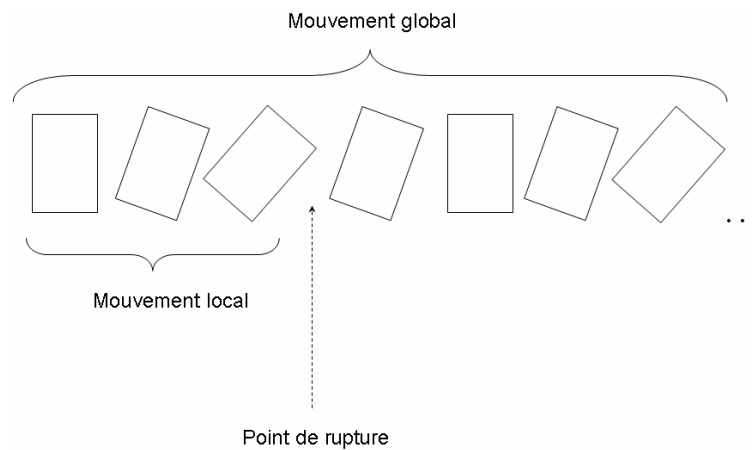


Figure 4. Matériel adapté de Verfaillie et d'Ydewalle (1991). Le rectangle est présenté successivement sous différentes orientations ce qui induit un mouvement de rotation. À certains moments la rotation change de sens (point de rupture).

Figure 4. Material adapted from Verfaillie and Ydewalle (1991). The rectangle is presented successively in different orientations that induces a rotational movement. At various times the rotation moves in the opposite direction (breaking point).

Le point crucial des analyses concerne évidemment les cas où la cible disparaît au moment de la rupture du mouvement (changement de direction). Les résultats obtenus montrent clairement qu'on n'observe plus d'extrapolation du mouvement à ces points de rupture. Ceci montre que la mémorisation de l'orientation finale du rectangle présenté est influencée par l'anticipation du mouvement global de la cible, et pas seulement par une extrapolation de son mouvement local. Tout se passe comme si les observateurs avaient pu extraire les régularités

régissant le mouvement global. Ainsi, les observateurs anticiperaient le mouvement en se basant sur des connaissances en mémoire (les régularités extraites) et non uniquement sur le mouvement qu'ils sont en train de percevoir. Ces résultats sont en accord avec les recherches menées dans le cadre de l'apprentissage sériel (Jones, 1981 ; Restle, 1970) qui montrent que le système cognitif peut utiliser à la fois les propriétés locales des patterns, et leurs propriétés structurelles globales. Il est intéressant de noter que des résultats comparables ont également récemment été obtenus par Johnston et Jones (2006) dans le domaine de l'extrapolation de séquences auditives. Dans leur recherche, ce sont des patterns auditifs dynamiques qui sont présentés. Ceux-ci peuvent donner lieu, tant à des extrapolations locales, qu'à des extrapolations basées sur la structure mélodique globale de l'enchaînement des notes (le contour mélodique).

Un point essentiel de l'ensemble des recherches que nous avons citées est donc que l'extrapolation du mouvement peut reposer, tant sur des régularités locales, qui permettent d'anticiper la continuation immédiate du mouvement (dans les prochaines centaines de ms), que sur des régularités globales prenant en compte la trajectoire d'ensemble du mouvement en utilisant une échelle temporelle plus étendue (d'une à plusieurs secondes). L'extrapolation du mouvement dans les situations expérimentales que nous avons évoquées, mais certainement aussi dans des situations plus écologiques, nous semble donc devoir être appréhendée selon deux dimensions au moins : une dimension locale de l'évolution à court terme de la trajectoire d'une cible, prenant sans doute essentiellement en compte des paramètres dynamiques du mouvement (vitesse, accélération...), et une dimension globale à plus long terme, liée à des régularités d'ordre supérieur qui gèrent le mouvement d'ensemble de la cible.

Ces régularités temporelles, génératrices d'attentes chez l'observateur, de bas ou de haut niveau, extraites des séries dynamiques présentées de façon répétée ne sont bien sûr pas les seules à moduler les processus d'extrapolation de la trajectoire de cibles en mouvement. Notamment, les connaissances préalables des participants peuvent également jouer un rôle sur les effets RM qui sont observés.

2.2.3. Le rôle des connaissances préalables des observateurs

Freyd et Jones (1994) ont étudié la RM dans une situation où une balle est propulsée dans une spirale creuse (voir Figure 5). La tâche des participants était d'indiquer à quel endroit était positionnée la balle quelques instants après sa sortie de la spirale.



Figure 5. Matériel adapté de Freyd et Jones (1994)

Figure 5. Material adapted from Freyd and Jones (1994)

Les résultats montrent que les participants anticipent la trajectoire de la balle selon une trajectoire incurvée (c.-à-d. une trajectoire influencée par la forme de la spirale). Cependant, lorsque les auteurs interrogent les participants, dans un questionnaire post-test, sur la trajectoire que prend une balle qui sort d'une spirale, la réponse "ligne droite" est choisie par plus de 60 % des participants. Ainsi, l'effet RM observé reflète davantage une physique naïve qu'une connaissance explicite des lois de la physique chez les participants. Les recherches menées par Kozhevnikov & Hegarty (2001) vont dans le même sens et mettent l'accent sur le caractère explicite vs implicite des connaissances en physique qui peuvent être mobilisées. Dans cette recherche, conduite auprès d'experts et de novices en physique, les auteurs ont élaboré une tâche de RM faisant appel à des lois spécifiques de la physique (notamment sur la gravité terrestre). Les résultats obtenus montrent que les novices comme les experts (ces derniers étant pourtant capables d'énoncer les lois physiques correctes) continuent à recourir aux principes de la physique naïve, ce qui a conduit, selon les conditions expérimentales, à des erreurs concernant la trajectoire des objets en mouvement (il s'agit de cas où les lois physiques prédisent des résultats différents de ceux qui découlent de la physique naïve).

Les résultats de ces expériences vont dans le sens de l'hypothèse selon laquelle les connaissances explicites et implicites restent dissociées, et selon laquelle la connaissance implicite reste impénétrable aux connaissances conceptuelles déclaratives.

L'ensemble de ces résultats amène à souligner deux points :

- Les connaissances « abstraites conceptuelles » restent souvent dissociées des connaissances implicites acquises avec l'expérience des situations ;
- Le rôle de l'expérience, à savoir la confrontation régulière avec des situations du même type, semble jouer un rôle prépondérant. Ainsi, les situations familières sont le plus souvent traitées de façon adéquate, alors que les situations peu fréquentes peuvent donner lieu à des

erreurs de jugement. Avec l'expérience, le système perceptivo-cognitif ne serait pas tant sensible aux principes physiques invariants qu'aux conséquences phénoménologiques de ces principes physiques (Hubbard, 1998). Les connaissances mobilisées pourraient cependant rester implicites, liées aux procédures les mieux adaptées aux modifications de l'environnement, voire devenir des routines automatisées avec l'évolution de l'expérience ou à fortiori de l'expertise.

Les travaux de Vinson & Reed (2002 ; voir aussi Reed & Vinson, 1996) apportent un éclairage quelque peu différent, mais néanmoins compatible avec l'idée que la familiarité avec les objets spécifiques en jeu dans les situations dynamiques à analyser module le RM. Les auteurs présentent deux figures strictement identiques qui sont, par exemple, dénommées soit « fusée » soit « immeuble » (Figure 6). Les résultats de Vinson et Reed (2002) montrent que l'effet RM est plus prononcé si l'objet mû de bas en haut est une fusée, plutôt qu'un immeuble, pourtant de même apparence. Selon les auteurs cet effet peut être attribué aux connaissances prototypiques pré-existantes des participants : l'expérience commune renverrait au fait que d'habitude une fusée s'élève, alors qu'un immeuble non. Pour interpréter ces différences, les auteurs utilisent le concept de « contexte conceptuel » relié au mouvement typiquement associé à l'objet.

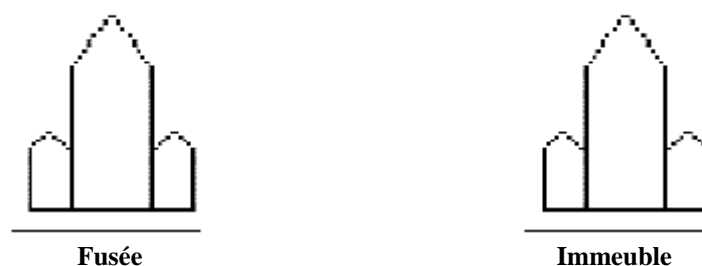


Figure 6. Matériel adapté de Vinson et Reed (2002). L'objet est mû vers le haut et est labellisé soit « fusée » soit « immeuble ».

Figure 6. Material adapted from Vinson and Reed (2002). The object is moved upwards and is labelled either "rocket" or "building".

Les connaissances activées pour évaluer le déplacement seraient ici plutôt des connaissances pragmatiques, liées à l'expérience, que des connaissances conceptuelles liées aux lois physiques. Le point important à souligner ici est que c'est la familiarité avec des objets perçus dans la vie quotidienne, en contexte, qui dicterait les prédictions qui peuvent être faites sur les phénomènes dynamiques. Les connaissances spécifiques sur un objet dans son environnement habituel et celles concernant ses déplacements dans cet environnement influenceraient la représentation du mouvement. Habituellement, les déplacements que nous observons sont causés par diverses actions. Ce sont donc les connaissances, même implicites, pragmatiques, procédurales et automatisées, qui régiraient notre adaptation au monde environnant. Tout porte à penser que la RM est constituée de processus composites. La partie III mettra en avant les relations entre connaissances expertes, connaissances spécifiques et connaissances liées à l'action au sein des processus conduisant au RM.

Partie III. Expertise, Action, et Représentation du Mouvement

3.1. Les connaissances des observateurs relatives aux scènes avec lesquelles ils interagissent

Dans une grande majorité des recherches sur la RM, les observateurs sont placés dans des situations de perception passive. Dans la vie de tous les jours, au contraire, les observateurs interagissent sans cesse avec leur environnement. Par exemple, un conducteur expérimenté appliquera un schéma d'actions motrices visant à réduire la vitesse de son véhicule quand il perçoit un virage au loin, en tenant compte, comme nous l'avons souligné préalablement, du contexte physique (Whitney & Cavanaugh, 2002), de ses connaissances implicites, comme par exemple celles sur la gravité terrestre (Hubbard & Bharucha, 1988), ou de ses connaissances relatives aux caractéristiques du mouvement spécifique d'un objet particulier (Vinson & Reed, 2002). Ainsi, dans un contexte familier l'observateur peut mettre en œuvre ses propres connaissances, spécifiques à la situation qu'il perçoit. Les recherches sur l'expertise, qui se sont développées depuis une quarantaine d'années, à partir des travaux princeps de Chase & Simon (1973), ont mis en évidence des différences fondamentales entre la perception des experts et celle des novices (voir Didierjean, Ferrari, & Marmèche, 2004 ; Didierjean & Gobet, 2008, pour des revues de questions). Ces recherches portent pour l'essentiel sur l'expertise échiquienne. Elles montrent que les experts ont construit et utilisent

de très nombreux "chunks" (des regroupements de pièces ; voir par ex., Gobet & Simon, 1996; Reingold, Charness, Pomplun, & Stampe, 2001) leur permettant de structurer très rapidement l'environnement de jeu. De plus, ces chunks peuvent être liés aux actions à réaliser. La perception des experts serait donc à la fois plus efficace et rapide, parce qu'elle intègre les aspects pertinents de l'environnement, et plus opérationnelle, parce qu'elle oriente l'observateur vers les actions pertinentes à réaliser (Didierjean & Marmèche, 2005 ; Ferrari, Didierjean, & Marmèche, 2006 ; 2008). Le traitement des scènes dynamiques par l'observateur ne reposerait pas exclusivement sur les propriétés physiques des scènes, mais aussi, et peut-être surtout, sur des traces mnésiques anticipatrices permettant d'orienter les décisions d'action à prendre pour réagir au contexte situationnel en cours. Avec la familiarité des situations rencontrées, ou avec l'expertise, se développeraient des structures de connaissances permettant d'encoder rapidement et efficacement les situations rencontrées. Cet encodage particulier, causé par les connaissances spécifiques des observateurs, pourrait conduire à une RM différente, mieux adaptée aux situations rencontrées.

Cette hypothèse qui considère que la RM puisse être modulée par les connaissances spécifiques des observateurs a été testée en comparant des novices et des participants expérimentés ou experts dans tâches de RM relatives à des scènes naturelles dynamiques. Blättler, Ferrari, Didierjean, Van Elslande, et Marmèche (sous presse) ont analysé la perception de scènes réelles (filmées) de conduite automobile, du point de vue du conducteur. Les observateurs sont, soit des novices (ne sachant pas conduire), soit des conducteurs expérimentés. La tâche utilisée est une tâche classique de RM. La séquence vidéo qui est présentée quelques secondes est brusquement interrompue. Puis la séquence reprend, soit à l'endroit de la coupure, soit en avant, soit en arrière. Les résultats montrent que l'effet RM, qui traduit un biais d'anticipation, est plus important pour les participants expérimentés en conduite que pour les novices. La modulation de l'effet de la RM avec l'expérience dépendrait donc des connaissances spécifiques des observateurs, eu égard aux scènes dynamiques avec lesquelles ils ont l'habitude d'interagir. Ce résultat a été généralisé à d'autres situations dynamiques, comme, par exemple, des scènes simulées d'atterrissage d'avion, vues du point de vue du pilote (cf. Blättler, Ferrari, Didierjean, & Marmèche, en révision). Cette étude porte sur des pilotes experts, et sur des novices n'ayant jamais observé ce type de scène. Les résultats montrent que seuls les experts en pilotage présentent un biais d'anticipation, pas les novices. Ceci souligne le poids prépondérant des connaissances spécifiques des observateurs sur l'effet RM. En conséquence, de nouvelles recherches devraient viser à approfondir la nature exacte de ces connaissances spécifiques.

3.2. Les connaissances liées à l'action

Dans de nombreuses situations il a pu être montré que perception et action peuvent entretenir des relations étroites. Wexler, Kosselyn, et Berthoz (1998) montrent, par exemple, qu'il est plus facile pour un individu de mettre en œuvre une rotation mentale d'un objet s'il peut également exercer une rotation manuelle (dans le même sens) d'un objet similaire. Les processus moteurs impliqués dans la rotation d'un objet physique, et les processus impliqués dans la rotation mentale — qui est une représentation dynamique — semblent ainsi reliés. Wexler et Klam (2001) ont montré que ce lien est aussi effectif pour l'effet RM. Ces auteurs montrent, dans une tâche de RM, que l'effet est plus important si le participant contrôle le mouvement de la cible que s'il ne le contrôle pas. Prolongeant cette étude, Jordan et Hunsinger (2008) apportent des arguments convaincants sur ce point. Leur étude se déroule en deux phases. Dans la première phase, la moitié des participants peut contrôler le déplacement d'une cible qui disparaît inopinément, alors que l'autre moitié des participants ne peut qu'observer passivement l'affichage. La tâche est de pointer la zone de l'écran que les participants considèrent comme étant celle de la disparition de la cible. Dans une deuxième phase, la même tâche est proposée aux mêmes participants, mais aucun participant n'a la possibilité de contrôler le déplacement de la cible. Les résultats montrent que les participants ayant pu contrôler le déplacement de la cible dans la phase 1 présentent un effet RM plus fort dans la phase 2 que les participants n'ayant pas contrôlé la cible. Jordan et Hunsinger (2008) obtiennent aussi un effet RM plus important pour des participants ayant observé quelqu'un contrôler la cible en mouvement en phase 1 (vision de l'affichage et des gestes du contrôleur), que pour des participants ayant observé quelqu'un contrôler la cible en mouvement en phase 1 mais sans voir les gestes du contrôleur. Le fait de pouvoir observer une personne réalisant un mouvement dans une scène semble suffisant pour acquérir des connaissances liées à l'action. Ceci peut être rapproché du fait que les novices en conduite (Blättler et *al*, sous presse) ont toutefois pu développer de telles connaissances en n'étant que passagers en voiture dans la vie de tous les jours.

Dans leur théorie "TEC", "The Theory of Event Coding", Hommel, Müssler, Aschersleben, et Prinz (2001) proposent un cadre visant à interpréter cet ensemble de résultats. Cette théorie fait l'hypothèse d'un partage entre des processus conduisant aux actions motrices et des processus conduisant à la formation des représentations. Ainsi, un événement perceptif conduirait à la création d'un « fichier » de cet événement (Hommel, 2004). Ce fichier,

contenant diverses informations de l'événement en question, serait transitoire. Il serait constitué d'un réseau liant temporairement les codes de l'événement (c.-à-d., les informations liées à cet événement) avec les actions subséquentes et avec le contexte actuel. Ainsi, les schémas d'actions à effectuer dans un environnement donné pourraient enrichir les traces mnésiques provenant des événements perçus. Les individus ayant plus d'expérience dans un domaine particulier auraient de fait une plus grande probabilité d'enrichir les informations sensorielles provenant de ce domaine. Cette hypothèse de partage entre processus moteurs et représentationnels est étayée expérimentalement par une étude de Kerzel et Gegenfurtner (2003) qui montre une modulation de l'effet RM par l'activation de connaissances visuo-motrices

3.3. Implication de la représentation du mouvement dans la programmation des saccades oculaires

L'importance des processus sensori-moteurs dans l'effet RM peut avoir des répercussions sur le positionnement des fixations oculaires dans le contrôle du comportement guidé par la vision. Par exemple, Land et Mcleod (2000) montrent le rôle du positionnement oculaire dans l'efficacité d'une activité visuo-motrice comme celle du batteur au jeu de cricket. L'étude de ces auteurs montre que les batteurs fixent la balle peu de temps après qu'elle soit lâchée par le lanceur. La saccade qui suit fixe le regard à l'endroit attendu du rebond de la balle (au cricket le batteur frappe la balle après un premier rebond sur le sol). L'endroit du rebond est stratégique puisqu'il détermine la suite du mouvement de la balle et ainsi où le batteur doit placer sa batte pour intercepter la balle. Les auteurs ont déterminé que les « bons » batteurs sont ceux qui parviennent à déclencher la saccade, conduisant le regard sur l'endroit anticipé du rebond, le plus rapidement. Finalement, le batteur anticipe la trajectoire future de la balle, en observant son mouvement pendant quelques millisecondes. Cette anticipation du mouvement semble être une ressource informationnelle guidant le point de fixation de la prochaine saccade oculaire. Plus précisément, la représentation du mouvement de la balle est prise en considération dans la programmation de la saccade oculaire. L'hypothèse selon laquelle la programmation des saccades oculaires dérive des représentations spatiales en mémoire est confortée par l'étude de Karn et Hayhoe (2000). Les auteurs demandent à des participants de reproduire une figure se composant de plusieurs rectangles de couleurs différentes (c.-à-d., le modèle). Pour réaliser la tâche, les sujets doivent sélectionner, un par

un, les différents rectangles à leur disposition dans une zone ressource, et les déposer dans un espace de travail afin de reproduire la figure qui sert de modèle (voir Figure 7).

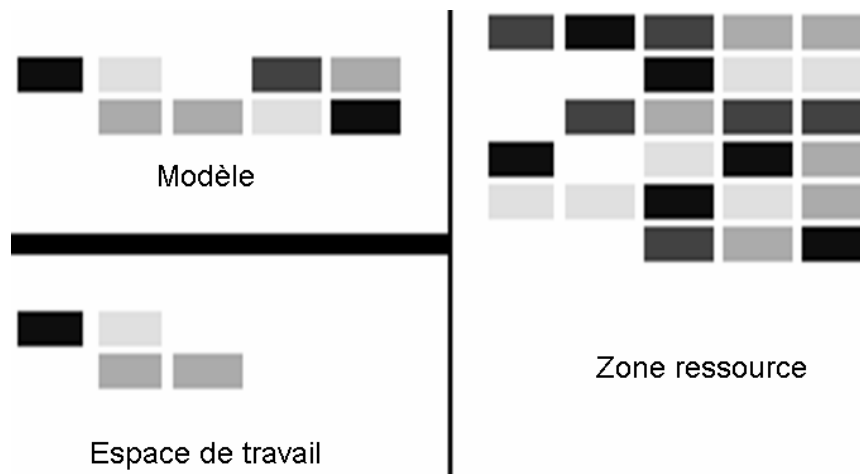


Figure 7. Matériel adapté de Karn et Hayhoe (2000)

Figure 7. Material adapted from Karn and Hayhoe (2000)

Les auteurs montrent que les participants sélectionnent un rectangle, puis regardent le modèle, puis regardent l'espace de travail pour placer le rectangle. Lors de certains essais, l'espace de travail est masqué pendant que le participant fixe le modèle. Dès que la saccade oculaire du participant est déclenchée pour se rendre du modèle vers l'espace de travail, ce dernier redevient visible. Ainsi, la programmation de la saccade, c'est-à-dire son prochain point de chute, ne peut pas être basée sur des informations oculo-périphériques du lieu d'arrivée, ce qui est le cas quand ces informations sont disponibles. L'hypothèse des auteurs est que la représentation de l'espace de travail, mémorisée lors des premiers placements de rectangles, va remplacer l'absence d'information en vision périphérique du lieu d'arrivée lors des essais dans lesquels l'espace de travail est masqué. Lors de ces essais, la précision du point de chute est comparable à celle obtenue dans les essais dans lesquels l'espace de travail est toujours visible. Les auteurs concluent que la représentation en mémoire de l'espace de travail sert à programmer la saccade oculaire.

La représentation du mouvement, qui intègre des traces perceptives et des traces mnésiques anticipatrices du mouvement, va ainsi de pair avec la programmation de saccades oculaires adaptées aux actions à réaliser. Cependant, dans la plupart des recherches que nous avons mentionnées, les mouvements oculaires ne sont pas systématiquement contrôlés/enregistrés dans les études portant sur la RM. Ceci a d'ailleurs donné lieu à des controverses (Kerzel, 2006). En effet, dans les études dont le paradigme consiste à montrer aux participants une

cible en mouvement continu, on peut penser que le participant suit la cible des yeux. À l'instant où la cible disparaît inopinément, le mouvement des yeux ne stoppe pas instantanément, mais poursuit son chemin dans le sens du mouvement initié (Mitrani & Dimitrov, 1978). La question qui se pose alors est la suivante : l'effet de déplacement de la position spatiale d'une cible en mouvement, après sa disparition, est-il la conséquence d'un encodage biaisé des informations visuo-cognitives ou d'un encodage biaisé par les informations proprioceptives de l'œil (c.-à-d., la position spatiale de l'œil) ? Comme nous l'avons montré plus haut les résultats obtenus par Kerzel et Gegenfurtner (2003) sont en faveur de la seconde hypothèse. Cette seconde hypothèse est aussi étayée par les études de Kerzel (2000), Kerzel, Jordan et Müsseler (2001), et Stork et Müsseler (2004) qui montrent l'absence d'effet RM en supprimant la poursuite oculaire de la cible en mouvement. Cependant, il n'est pas si simple de trancher entre les deux hypothèses. Une représentation du mouvement ayant pour conséquence un encodage biaisé de la position spatiale dans le sens du mouvement peut se produire même lorsque les mouvements oculaires ne sont pas en jeu. Un effet RM peut ainsi se produire en l'absence de mouvement physique de la cible, quand le contexte permet d'induire un dynamisme (comme avec une photographie par exemple, Freyd, Pantzer, & Cheng, 1988). De plus, un tel phénomène de déplacement de la position d'un stimulus en mouvement vers une position qui devrait être la sienne quelques instants plus tard, se produit aussi en modalité auditive (Freyd, Kelly, & DeKay, 1990 ; Hubbard, 1995c ; Getzmann, Lewald, & Guski, 2004). Étant donné les associations entre les processus représentationnels et les processus sensori-moteurs, il est vraisemblable que les mouvements oculaires sont programmés en concordance avec ces représentations. Ainsi, les mouvements oculaires seraient une conséquence de la représentation du mouvement.

Conclusion

L'ensemble des recherches que nous avons rapportées montre qu'un effet RM (Representational Momentum) est observé dans de très nombreuses situations dynamiques. Dans toutes ces situations, la dynamique des scènes visuelles perçues est extrapolée dans le sens du mouvement. Lorsque la tâche des observateurs est de localiser le point de disparition d'une cible en mouvement, celui-ci est systématiquement positionné plus loin, dans le sens de la trajectoire de la cible. Au moment de l'interruption du mouvement de la cible, celle-ci serait déjà encodée avec des composantes anticipatrices intégrant son mouvement futur. Ce

phénomène d'extrapolation du mouvement apparaît dans des situations aussi diverses que la poursuite visuelle d'une cible en mouvement, constituées d'un simple point, que d'une cible entourée d'éléments contextuels, fixes ou eux-mêmes mobiles, ou de véritables scènes dynamiques naturelles complexes, telles que des scènes routières perçues par un conducteur d'un véhicule automobile. Cet effet RM est robuste (les feedbacks donnés aux observateurs visant à les informer de cet effet, et à le prévenir, n'ont guère d'effet).

Les résultats des recherches que nous avons mentionnées montrent que l'effet de la RM peut être modulé par des facteurs de nature très diverse : des caractéristiques liées aux propriétés physiques de la cible en mouvement, des caractéristiques liées au contexte dans lequel évolue la cible, et des caractéristiques cognitives de l'observateur liées à sa familiarité avec les scènes dynamiques perçues.

Les caractéristiques physiques de la cible en mouvement - ce sont celles qui ont jusqu'alors été les plus étudiées - jouent un rôle sur l'ampleur de l'effet RM observé : par exemple, la vitesse de la cible, son accélération ou sa décélération, la prise en compte de la gravité... Le système cognitif serait ainsi à même de représenter la dynamique d'une cible, ou d'une scène en mouvement, sur la base d'un modèle cognitif reflétant certaines de leurs propriétés physiques.

La RM peut aussi être modulée par certaines caractéristiques du contexte environnant la cible ou la scène en mouvement. Ainsi, selon que la cible évolue sur une surface où les forces de friction sont plus ou moins importantes, l'effet RM peut être modifié. De même, selon que la cible en mouvement est entourée d'objets qui se déplacent dans le même sens que la cible, ou non, l'effet RM peut être soit augmenté, soit diminué. De plus, dans les scènes naturelles notamment, la prise en compte du déplacement dans la profondeur du champ (dans le sens d'un agrandissement ou d'une diminution du champ visuel) joue également un rôle important dans l'ampleur de l'effet RM.

Les caractéristiques cognitives de l'observateur jouent également un rôle important dans la modulation de l'effet RM. C'est ce point qui a jusqu'alors été le moins étudié. Ainsi, les processus attentionnels développés par l'observateur permettent aussi de moduler l'ampleur de l'effet RM observé. Quand l'attention de l'observateur est focalisée sur la cible en mouvement et son point d'arrêt, l'effet RM diminue, l'attention visuelle permettant de stopper les processus d'extrapolation mentale. Mais si l'attention allouée à la trajectoire de la cible diminue lorsque la cible a disparu, par exemple en présence de distracteurs dans l'environnement, l'effet RM peut aussi diminuer.

Enfin, les connaissances de l'observateur, son expérience, voire son expertise, vis-à-vis des scènes dynamiques perçues, jouent également un rôle modulateur très important dans l'ampleur de l'effet RM. Le rôle des connaissances de l'observateur a été jusqu'alors assez peu étudié. Certaines recherches montrent cependant le rôle des attentes de l'observateur eu égard à la trajectoire de la cible, celles-ci pouvant porter, soit sur des régularités locales, soit sur des régularités globales prenant en compte la trajectoire d'ensemble du mouvement en utilisant une échelle temporelle plus large (pouvant recouvrir plusieurs secondes, et non seulement quelques ms). Les connaissances qu'ont les observateurs sur les lois physiques qui régissent les scènes dynamiques perçues jouent également un rôle modulateur de l'effet RM. Il peut s'agir de connaissances explicites, mais aussi, et surtout, de connaissances implicites et pragmatiques acquises progressivement avec l'expérience, et qui sont le plus souvent suffisantes pour la gestion des situations rencontrées. Ceci nous a amenés à mettre l'accent sur les interactions qu'entretiennent les observateurs avec les scènes dynamiques qu'ils perçoivent, notamment en ce qui concerne les décisions d'action qu'ils peuvent être amenés à prendre. En effet, dans la vie quotidienne, nous sommes rarement passifs vis-à-vis des scènes dynamiques perçues. Par exemple, en situation de conduite automobile, le dynamisme des scènes perçues doit être relié aux actions à réaliser, freiner, accélérer, doubler... Certaines recherches sur l'expertise montrent que les processus d'anticipation se développent progressivement, permettant la mise en œuvre de conduites de plus en plus adaptées à l'environnement. Perception et action semblent dans ce cadre intrinsèquement liées.

Au travers de l'ensemble des recherches que nous avons rapportées, nous avons montré que l'effet RM, qui constitue la marque d'une extrapolation du mouvement dans des scènes dynamiques, relève d'une diversité de facteurs. Des facteurs proprement physiques liés aux propriétés de la cible en mouvement, des facteurs contextuels liés aux caractéristiques de l'environnement dans lequel évolue la cible, et des facteurs cognitifs liés aux connaissances propres de l'observateur qui interagissent avec les scènes qu'il perçoit. Comment ces facteurs interagissent-ils, et comment leurs effets évoluent-ils avec l'expérience des observateurs? Seule une théorie intégrée liant les processus perceptifs et les plans d'action à développer vis-à-vis des scènes dynamiques pourrait apporter des éléments de solution. La théorie proposée par Hommel et al. (2001), la théorie du codage des événements ("The Theory of Event Coding" (TEC)) va dans ce sens en proposant que les contenus perceptifs des scènes visuelles et les plans d'action qui peuvent être associés sont encodés dans des structures de représentation communes. L'originalité de cette théorie est d'intégrer d'emblée perception et action et de poser directement la question de l'évolution des structures de représentation avec

la familiarité des observateurs vis-à-vis des scènes dynamiques perçues, leur expérience ou leur expertise. Autrement dit, la question fondamentale qui est posée est celle de la sélection des indices qui sont pertinents dans les scènes visuelles perçues pour réaliser les tâches perceptives requises, qui peuvent être plus ou moins reliées aux actions ou décisions à prendre étant donné le contexte. La "TEC" propose des pistes de recherche intéressantes, mais n'est pas encore vraiment opérationnelle, en ce que les unités de représentation permettant l'encodage des scènes dynamiques ne sont pas clairement définies, pas plus que les mécanismes d'évolution. Il reste donc encore à préciser quelles sont les structures de représentation communes à l'analyse des scènes visuelles, et celles qui sont spécifiques à chaque type de scène, en relation avec l'expérience des observateurs vis-à-vis de ces scènes. L'analyse des mouvements oculaires des observateurs, associée aux paradigmes concernant l'expertise, apporterait certainement des données importantes relativement au type d'encodage des scènes effectué par les observateurs, relié en particulier à l'enjeu de la perception, plus ou moins passive ou plus ou moins active, en liaison étroite avec les actions potentielles à réaliser étant donné l'environnement présenté.

Au terme de cet article, nous sommes bien évidemment amenés à souligner la complexité des processus qui contribuent à l'extrapolation du mouvement, notamment dans des scènes dynamiques. C'est l'intrication de facteurs physiques, contextuels et cognitifs qui peut rendre compte de l'encodage optimal des scènes perçues, compte tenu du but perceptif de l'observateur.

Bibliographie

- Bertamini, M. (1993). Memory for position and dynamic representations. *Memory & Cognition*, 21(4), 449-457.
- Bharucha, J. J., & Hubbard, T. L. (1992). Anticipated collision along an oblique path: Effects on judged displacement. Unpublished manuscript
- Blättler, C., Ferrari, V., Didierjean, A., & Marmèche, E. (en révision). Representational Momentum in Aviation.
- Blättler, C., Ferrari, V., Didierjean, A., Van Elslande, P., & Marmèche, E. (sous presse). Can Expertise Modulate Representational Momentum. *Visual Cognition*. doi : 10.1080/13506281003737119
- Bryant, D. J., & Subbiah, I. (1994). Subjective landmarks in perception and memory for spatial location. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 48(1), 119-139.

- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in Chess. *Cognitive Psychology*, 4(1), 55-81.
- Courtney, J. R., & Hubbard, T. L. (2008). Spatial memory and explicit knowledge : an effect of instruction on representational momentum. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(12), 1778-1784.
- De Valois, R. L., & De Valois, K. K. (1991). Vernier acuity with stationary moving Gabors. *Vision Research*, 31(9), 1619-1626.
- DeLucia, P. R., & Mardia, M. M. (2006). Visual memory for moving scenes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(2), 340-360.
- Didierjean, A., Ferrari, V., & Marmèche, E. (2004). L'expertise cognitive au jeu d'échecs : Quoi de neuf depuis de Groot (1946) ? *L'Année Psychologique*, 104, 771-793.
- Didierjean, A., & Gobet, F. (2008). Sherlock Holmes - An Expert's View of Expertise. *British Journal of Psychology*, 99, 109-125.
- Didierjean, A., & Marmèche, E. (2005). Anticipatory representation of visual basketball scenes by novice and expert players. *Visual Cognition*, 12, 265-283.
- Ferrari, V., Didierjean, A., & Marmèche, E. (2006). Dynamic perception in chess. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(2), 397-410.
- Ferrari, V., Didierjean, A., & Marmèche, E. (2008). Effect of expertise acquisition on strategic perception: The example of chess. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 1265-1280.
- Finke, R. A., & Freyd, J. J. (1985). Transformations of visual memory induced by implied motions of pattern elements. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11(4), 780-794.
- Finke, R. A., Freyd, J. J., & Shyi, G. C. (1986). Implied velocity and acceleration induce transformations of visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115(2), 175-188.
- Finke, R. A., & Shyi, G. C. (1988). Mental extrapolation and representational momentum for complex implied motions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14(1), 112-120.
- Freyd, J. J. (1983). The mental representation of movement when static stimuli are viewed. *Perception & Psychophysics*, 33(6), 575-581.
- Freyd, J. J. (1987). Dynamic Mental Representation. *Psychological Review*, 94(4), 427-438.
- Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1984). Representational Momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10(1), 126-132.

- Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1985). A velocity effect of representational momentum. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 23(6), 443-446.
- Freyd, J. J., & Johnson, J. Q. (1987). Probing the time course of representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(2), 259-268.
- Freyd, J. J., & Jones, K. T. (1994). Representational momentum for a spiral path. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20(4), 968-976.
- Freyd, J. J., Kelly, M. H., & DeKay, M. L. (1990). Representational momentum in memory for pitch. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16(6), 1107-1117.
- Freyd, J. J., Pantzer, T. M., & Cheng, J. L. (1988). Representing statics as forces in equilibrium. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117(4), 395-407.
- Futterweit, L. R., & Beilin, H. (1994). Recognition memory for movement in photographs: a developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 57(2), 163-179.
- Getzmann, S., Lewald, J., & Guski, R. (2004). Representational momentum in spatial hearing. *Perception*, 33(5), 591-599.
- Gobet, F., & Simon, H. A. (1996). Templates in chess memory: a mechanism for recalling several boards. *Cognitive Psychology*, 31(1), 1-40.
- Hayes, A. E., & Freyd, J. J. (2002). Representational momentum when attention is divided. *Visual Cognition*, 9(1/2), 8-27.
- Hayes, A. E., Sacher, G., Thornton, I. M., Sereno, M. E., & Freyd, J. J. (1996). Representational momentum in depth using stereopsis [ARVO Abstract 2120]. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 37(Suppl. 3), S467.
- Hommel, B. (2004). Event files: feature binding in and across perception and action. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(11), 494-500.
- Hommel, B., Musseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The Theory of Event Coding (TEC): a framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(5), 849-878; discussion 878-937.
- Hubbard, T. L. (1990). Cognitive representation of linear motion: possible direction and gravity effects in judged displacement. *Memory & Cognition*, 18(3), 299-309.
- Hubbard, T. L. (1993). The effect of context on visual representational momentum. *Memory & Cognition*, 21(1), 103-114.

- Hubbard, T. L. (1995a). Cognitive representation of motion: evidence for friction and gravity analogues. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 21(1), 241-254.
- Hubbard, T. L. (1995b). Environmental invariants in the representation of motion: Implied dynamics and representational momentum, gravity, friction, and centripetal forces. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2, 322-338.
- Hubbard, T. L. (1995c). Auditory representational momentum: Surface form, velocity, and direction effects. *American Journal of Psychology*, 108, 255-274.
- Hubbard, T. L. (1996). Displacement in depth: representational momentum and boundary extension. *Psychological Research*, 59(1), 33-47.
- Hubbard, T. L. (1997). Target Size and Displacement Along the Axis of Implied Gravitational Attraction : Effects of Implied Weight and Evidence of Representational Gravity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23, 1484-1493.
- Hubbard, T. L. (1998). Some effects of representational friction, target size, and memory averaging on memory for vertically moving targets. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 52(1), 44-49.
- Hubbard, T. L. (2001). The effect of height in the picture plane on the forward displacement of ascending and descending targets. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 55(4), 325-329.
- Hubbard, T. L., & Bharucha, J. J. (1988). Judged displacement in apparent vertical and horizontal motion. *Perception & Psychophysics*, 44(3), 211-221.
- Hubbard, T. L., Kumar, A. M., & Carp, C. L. (2009). Effects of spatial cueing on representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(3), 666-677.
- Hubbard, T. L., & Ruppel, S. E. (1999). Representational Momentum and the Landmark Attraction Effect. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 53, 242-256.
- Hubbard, T. L., & Ruppel, S. E. (2000). Spatial memory averaging, the landmark attraction effect, and representational gravity. *Psychological Research*, 64(1), 41-55.
- Johnston, H. M., & Jones, M. R. (2006). Higher Order Pattern Structure Influences Auditory Representational Momentum. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32, 2-17.
- Jones, M. R. (1981). A tutorial on some issues and methods in serial pattern research. *Perception & Psychophysics*, 30(5), 492-504.

- Joordens, S., Spalek, T. M., Razmy, S., & van Duijn, M. (2004). A clockwork orange: compensation opposing momentum in memory for location. *Memory & Cognition*, 32(1), 39-50.
- Jordan, J. S., & Hunsinger, M. (2008). Learned patterns of action-effect anticipation contribute to the spatial displacement of continuously moving stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(1), 113-124.
- Karn, K. S., & Hayhoe, M. M. (2000). Memory representations guide targeting eye movements in a natural task. *Visual Cognition*, 7(6), 673-703.
- Kerzel, D. (2000). Eye movements and visible persistence explain the mislocalization of the final position of a moving target. *Vision Research*, 40(27), 3703-3715.
- Kerzel, D. (2002). A matter of design: No representational momentum without predictability. *Visual Cognition*, 9(1/2), 66-80.
- Kerzel, D. (2003). Attention maintains mental extrapolation of target position: irrelevant distractors eliminate forward displacement after implied motion. *Cognition*, 88(1), 109-131.
- Kerzel, D. (2004). Attentional load modulates mislocalization of moving stimuli, but does not eliminate the error. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(5), 848-853.
- Kerzel, D. (2006). Why eye movements and perceptual factors have to be controlled in studies on "representational momentum". *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(1), 166-173; discussion 174-167.
- Kerzel, D., & Gegenfurtner, K. R. (2003). Neuronal processing delays are compensated in the sensorimotor branch of the visual system. *Current Biology*, 13(22), 1975-1978.
- Kerzel, D., Jordan, J. S., & Musseler, J. (2001). The role of perception in the mislocalization of the final position of a moving target. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(4), 829-840.
- Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). Impetus beliefs as default heuristics: dissociation between explicit and implicit knowledge about motion. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(3), 439-453.
- Land, M. F., & McLeod, P. (2000). From eye movements to actions: how batsmen hit the ball. *Nature Neuroscience*, 3(12), 1340-1345.
- McNamara, T. P., & Diwadkar, V. A. (1997). Symmetry and asymmetry of human spatial memory. *Cognitive Psychology*, 34(2), 160-190.
- Mitrani, L., & Dimitrov, G. (1978). Pursuit eye movements of a disappearing moving target. *Vision Research*, 18(5), 537-539.

- Munger, M. P., Solberg, J. L., & Horrocks, K. K. (1999). The relationship between mental rotation and representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(6), 1557-1568.
- Nagai, M., & Yagi, A. (2001). The pointedness effect on representational momentum. *Memory & Cognition*, 29, 91-99.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3-25.
- Reed, C. L., & Vinson, N. G. (1996). Conceptual effects on representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(4), 839-850.
- Reingold, E. M., Charness, N., Pomplun, M., & Stampe, D. M. (2001). Visual span in expert chess players: evidence from eye movements. *Psychological Science*, 12(1), 48-55.
- Restle, F. (1970). Theory of serial pattern learning: structural trees. *Psychological Review*, 77, 481-495.
- Ruppel, S. E., Fleming, C. N., & Hubbard, T. L. (2009). Representational momentum is not (totally) impervious to error feedback. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 63(1), 49-58.
- Sadella, E., Staplin, L. J., & Burrough, W. J. (1979). Retrieval Processes in Distance Cognition. *Memory & Cognition*, 7, 291-296.
- Stork, S., & Musseler, J. (2004). Perceived locations and eye movements with action-generated and computer-generated vanishing points of moving stimuli. *Visual Cognition*, 11, 299-314.
- Thornton, I. M., & Hayes, A. E. (2004). Anticipating action in complex scenes. *Visual Cognition*, 11(2/3), 341-370.
- Tversky, B., & Schiano, D. J. (1989). Perceptual and conceptual factors in distortions in memory for graphs and maps. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118(4), 387-398.
- Verfaillie, K., & d'Ydewalle, G. (1991). Representational momentum and event course anticipation in the perception of implied periodical motions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17(2), 302-313.
- Vinson, N. G., & Reed, C. L. (2002). Sources of Object-Specific Effects in Representational Momentum. *Visual Cognition*, 9(1/2), 41-65.
- Wexler, H. R., & Klam, F. (2001). Movement prediction and movement production. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 48-64.

- Wexler, M., Kosslyn, S. M., & Berthoz, A. (1998). Motor processes in mental rotation. *Cognition*, 68(1), 77-94.
- Whitney, D., & Cavanagh, P. (2002). Surrounding motion affects the perceived locations of moving stimuli. *Visual Cognition*, 9, 131-152.
- Wulf, G., & Prinz, W. (2001). Directing attention to movement effects enhances learning: a review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(4), 648-660.

Etude 1 : Can Expertise Modulate Representational Momentum ?

Blättler, C., Ferrari, V., Didierjean, A., Van Elslande, P., Marmèche, É. (2010). Can Expertise Modulate Representational Momentum ? *Visual Cognition*, 18, 1253-1273

Can Expertise Modulate Representational Momentum?

Colin Blättler

Laboratoire de Psychologie Cognitive, Université de Provence, Marseille, France

Vincent Ferrari

*Centre de Recherche en Psychologie de la Connaissance, du Langage et de l'Émotion,
Université de Provence, Aix-en-Provence, France*

André Didierjean

Université de Franche-Comté, Besançon, France

Pierre Van Elslande

Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, Salon-de-Provence, France

Evelyne Marmèche

CNRS, Laboratoire de Psychologie Cognitive, Marseille, France

Short title: RM and expertise

Please address correspondence to: Colin Blättler, **L.P.C.** Université de Provence UMR 6146
Pôle 3C, Bâtiment 9 Case D3, Place Victor Hugo, 13331 Marseille Cedex 3, France. Email:
colin.blattler@etu.univ-provence.fr Phone: +33 488 57 69 08. Fax: +33 (0)4 88 57 68 95

Keywords: Representational momentum; expertise; natural scenes.

Abstract

Representational momentum (RM) refers to the tendency of participants to "remember" the stopping point of an event as being farther along in the direction of movement than it was in reality (Freyd & Finke, 1984). Our aim was twofold: (1) test for the impact of domain-specific expertise (here, automobile driving) on RM, using films of road scenes, and (2) find out whether the improved anticipation ability that comes with greater

Etude 1 : Can Expertise Modulate Representational Momentum ?

expertise is transferred to scenes from domains that are far-removed from the person's domain of expertise. Two experiments were conducted in which experienced and inexperienced automobile drivers performed a movement-anticipation task on realistic road scenes (Experiment 1), with stimuli that were very different from those found in their domain of expertise (Experiment 2). These studies pointed out some properties of representational momentum, and showed that RM is dependent upon knowledge acquired by participants in specific domains. Our research also showed that expertise in automobile driving can modulate RM in road-scene perception (i.e, the cognitive characteristics of the observer can modulate the magnitude of the RM effect) but that expertise in automobile driving is not transferred to dissimilar domains.

Introduction

Representational momentum refers to the tendency of participants to "remember" the stopping point of an event as being farther along in the direction of movement than it was in reality (Freyd & Finke, 1984). For about 30 years now, this effect has been demonstrated using a wide variety of materials, with both dynamic stimuli (e.g. a moving dot, a rotating rectangle, the continuous motion of a set of dots; for a detailed review, see Hubbard, 2005) and static stimuli (drawings, still photographs of actions; Freyd, 1983; Freyd, Pantzer, & Cheng, 1988). One of the conclusions drawn in all of these studies is that "frozen" actions are usually be perceived in terms of their dynamic dimension. This effect is robust. For example, if during the experimental phase, feedback about response accuracy is given to participants, this does not reduce RM (Ruppel, Fleming, & Hubbard, 2009). Courtney and Hubbard (2008) even showed that the participants' knowing that the RM effect exists, or their wanting to counteract it, reduces the RM effect but does not eliminate it. Since the original work by Freyd and Finke (1984), a large number of studies on representational momentum (RM) have shown that when the cognitive system is processing a dynamic event, it has the ability to extrapolate the probable evolution of the current scene. Most of this research deals with the role played by the properties of a moving object in the RM effect, and to a lesser extent, how this effect is modulated by the perceiver's knowledge of the object. Some studies have shown that RM is modulated by the moving target's physical characteristics, such as its shape (Kelly & Freyd, 1987; Nagai & Yagi, 2001), direction (Halpern & Kelly, 1993; Hubbard, 1990; Munger, Solberg, Horrocks, & Preston, 1999), speed (Freyd & Finke, 1985), acceleration

Etude 1 : Can Expertise Modulate Representational Momentum ?

(Finke, Freyd, & Shyi, 1986), and also whether it is moving away from or coming toward the participants (Hayes, Sacher, Thornton, Sereno, et Freyd, 1996; Hubbard, 1996), all of which can act as cues to where the object is likely to be located in the future.

Other studies have addressed RM by examining the effects of the observer's prior implicit knowledge, including the principles of physics such as gravity (Hubbard, 1995; Hubbard, & Bharucha, 1988) and friction (Bertamini, 1993; Hubbard, 1998). The effect of declarative knowledge has also been studied. Finke and Shyi (1988) showed that the attempt to anticipate motion in an RM task does not make the RM effect any stronger. Kozhevnikov and Hegarty (2001) showed that experts in the laws of physics (e.g., the law of gravity) are not better at determining an object's spatial location in an RM task. Their studies showed that declarative knowledge does not modulate RM. Yet Vinson and Reed (2002) (see also Reed & Vinson, 1996) showed that when inducing the upward movement of an object, if the object is said to be a rocket, the RM effect is stronger than when the object is said to be a building. In one case (the rocket), the object is associated with a feature that allows it to move upwards whereas in the other case (building), the object is not associated with such a feature. The authors thus showed that declarative knowledge can influence the processes underlying RM.

The study reported here falls in line with this research trend, insofar as it looks at the impact of the participant's level of expertise - here, in automobile driving - on RM. Although most studies on the RM effect have used relatively simple dynamic stimuli (a small number of items that are not action-related), a study by Thornton and Hayes (2004) (see also DeLucia & Maldia, 2006; Munger, Owens, & Conway, 2005) extended this effect to dynamic complex situations (videos depicting a synthesized image of a road as seen from inside a car driving at 55, 65, or 72 km/hr). In their experiment, participants viewed films of road scenes temporarily interrupted by a black screen lasting 250 ms. After the interruption, the film continued and the participants had to judge whether the scene resumed at exactly the same point as it had stopped (normal-resumption condition) or at some other point. When the scene resumed at a different point, it could either be a shift forward (as if the car had quickly accelerated during the cut) or a shift backward (as if the car had backed up during the cut). The results obtained showed that forward shifts were more difficult to reject than backward shifts, and that the point deemed to be the most acceptable resumption point was shifted by about one meter in the car's direction of movement. This study thus showed that RM can also be found in the case of dynamic scenes.

The present study extends Thornton and Hayes's (2004) research. Our aim was twofold: (1) test for the impact of domain-specific expertise (here, automobile driving) on

Etude 1 : Can Expertise Modulate Representational Momentum ?

RM, using films of road scenes, and (2) find out whether the improved anticipation ability that comes with greater expertise is transferred to scenes from domains that are far-removed from the individual's domain of expertise.

In Experiment 1, experienced automobile drivers and inexperienced automobile drivers performed a movement-anticipation task on realistic road scenes (i.e., automobile driving filmed by an on-board camera). Many studies on expertise have shown that experts making judgments in their domain of expertise anticipate more than novices do, due to the large amount of domain-specific knowledge they have stored in long-term memory (Didierjean & Marmèche, 2005; Doane, Sohn, & Jodlowski, 2004; Ericsson & Kintsch, 1995; Ferrari, Didierjean, & Marmèche, 2006; for a review, see Didierjean & Gobet, 2008). Our idea was to use an RM task similar to Thornton and Hayes's (2004) in order to find out whether an expertise effect occurs as early as the perceptual encoding phase. The fact of observing or not observing an expertise effect in the RM task should tell us whether or not some of the mechanisms responsible for this effect might be generic (i.e., general or not domain specific).

In Experiment 2, experienced drivers and inexperienced drivers performed two RM tasks with stimuli not involved in driving. One task showed a black square moving from left to right across the screen; the other showed a film of a person running. Our goal was to find out if the knowledge mobilized in RM tasks is partly task-specific. Most studies on cognitive expertise have shown that expert knowledge is not transferred to material that is not from the expert's domain (e.g., Chase & Simon, 1973; Ericsson, 1985; Hatano & Osawa, 1983; Unterrainer, Kaller, Halsband, & Rahm, 2006; see however Gauthier, Williams, Tarr, & Tanaka, 1998; Tanaka, Curran, & Sheinberg, 2005). The results of Experiment 2 should tell us whether the anticipatory processes implemented by participants in RM tasks are solely domain-specific or whether they are transferable to other domains.

Experiment 1

The purpose of this experiment was to study the role of experienced drivers' knowledge of automobile driving in their ability to anticipate motion in road scenes. The participants were divided into two groups (experienced drivers and inexperienced drivers) on the basis of their driving experience. They viewed road scenes filmed by an on-board camera.

Etude 1 : Can Expertise Modulate Representational Momentum ?

The scenes were interrupted by the display of a black screen lasting 250 ms, and then resumed in one of three conditions: a shift forward (with respect to the car's direction of movement), a shift backward (in the direction opposite to the car's movement), or no shift (at exactly the same point as before the interruption (normal-resumption condition). In the shift conditions, the size of the forward and backward shifts was manipulated (± 3 m, ± 6 m, ± 9 m, and ± 12 m). The task was a same/different comparison task. Participants had to compare the last scene viewed before the cut, to the first scene viewed after the cut, and decide whether or not the two scenes were the same (i.e., whether the vehicle was in the same location in both scenes).

If more RM effect is observed in experienced drivers than inexperienced ones, then in the normal-resumption condition, experienced drivers should make significantly more errors than inexperienced ones. In the forward-shift and backward-shift conditions, if participants anticipate, they should have more trouble deciding on forward shifts (than on backward shifts) whether or not the first image seen after the cut is different from the last image seen before the cut. Accordingly, if experienced drivers anticipate more than inexperienced ones, then we can expect the asymmetry between forward and backward shifts (on "same" responses) to be greater for experienced drivers than for inexperienced ones.

Method

Participants

Seventy participants took part in the experiment. They were divided into two groups on the basis of their driving experience. The "inexperienced" group was made up of 35 young adults who did not have their driver's licence (mean age: 21 years 5 months, standard deviation: 1 year 3 months). The "experienced" group contained 35 drivers (mean age: 36 years 5 months, standard deviation: 10 years 3 months) who had been driving regularly (for at least 2 hours a day) for an average of 18 years (standard deviation: 10 years 6 months). To make sure the participants in the experienced-driver group were "good" drivers, only drivers

Etude 1 : Can Expertise Modulate Representational Momentum ?

who had never caused a road accident and had never gotten a moving violation were selected for the study.¹

All participants had normal or corrected-to-normal vision and were naive to the purpose of the study until the experiments were over.

Materials

The monitor was located approximately 60 cm from the observer, and was presented in normal room illumination. All driving scenes were filmed with a digital camera. The montage of the videos was done using Pinnacle Studio Plus Version 10 software. The experiment was run on a Dell Latitude 120L portable computer. Fifteen basic videos, corresponding to 15 different places, were made. The car was always moving at a speed of 60 km/hr. In each video, a black screen lasting 250 ms (interstimulus interval or ISI) was inserted after 3 seconds of the video. Following this interruption, the video resumed in one of nine conditions. In the normal-resumption condition, the video resumed exactly where it had been cut, i.e., the first image after the cut was identical to the last image before the cut (hereafter called the "standard frame"). In the forward-shift conditions, the video resumed at a point corresponding to +3 m, +6 m, +9 m, or +12 m past the location where the car was last seen (+3 m was the location closest to the standard frame). In the backward-shift conditions, the video resumed -3 m, -6 m, -9 m, or -12 m behind the interruption point. Figure 1 gives an illustration of a standard frame, a 12-m shift forward, and a 12-m shift backward.

¹ In France, a driver's license owner is assigned merit points that are taken away every time a violation is committed. Only individuals who had never lost a point were included in the study.

Etude 1 : Can Expertise Modulate Representational Momentum ?



Figure 1. Example of the material used in Experiment 1. The standard frame (in the middle) was the last image seen before the cut. The video resumed after a backward shift of 12 m or a forward shift of 12 m.

Procedure

The experiment was run in two phases: a task-familiarization phase, followed by the experimental phase. Before the familiarization phase, the experimenter gave the participants the following instructions: "You are going to see some automobile-driving videos filmed from the driver's point of view. After a few seconds, the video will be interrupted for a short while. After the interruption, the video will resume either at exactly the same point as right before the cut, or at a different point. Your task will be to judge whether the video resumes at the same point or at a different point, and respond by pressing the green key to answer '*same*' or the red key to answer '*different*' ". Once they had heard the instructions, the participants performed three practice trials on three different driving scenes: one with normal resumption, one with a forward shift of 12 m, and one with a backward shift of 12 m. Next they performed 135 experimental trials (15 locations x 9 resumption conditions). All videos were presented in a different random order for each participant. An illustration of the procedure is given in Figure 2.

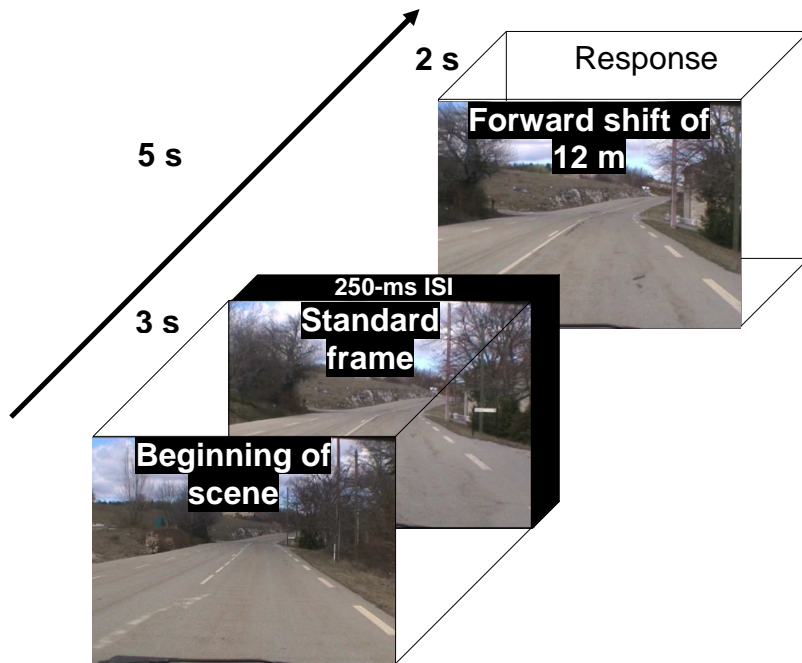


Figure 2. Illustration of the procedure. Each video was viewed for 3 seconds before the 250-ms cut. The scene resumed at the point where the cut was made, after a forward shift, or after a backward shift. Top: example of a 12-m shift forward.

Results

Three analyses were conducted. The first is an analysis of RM magnitude using PSEs; the second pertained to the percentage of "same" responses in the normal-resumption condition; the third looked at the percentage of "same" responses in the shifted-resumption conditions.

Figure 3 plots the percentage of "same" responses, by group and shift distance.

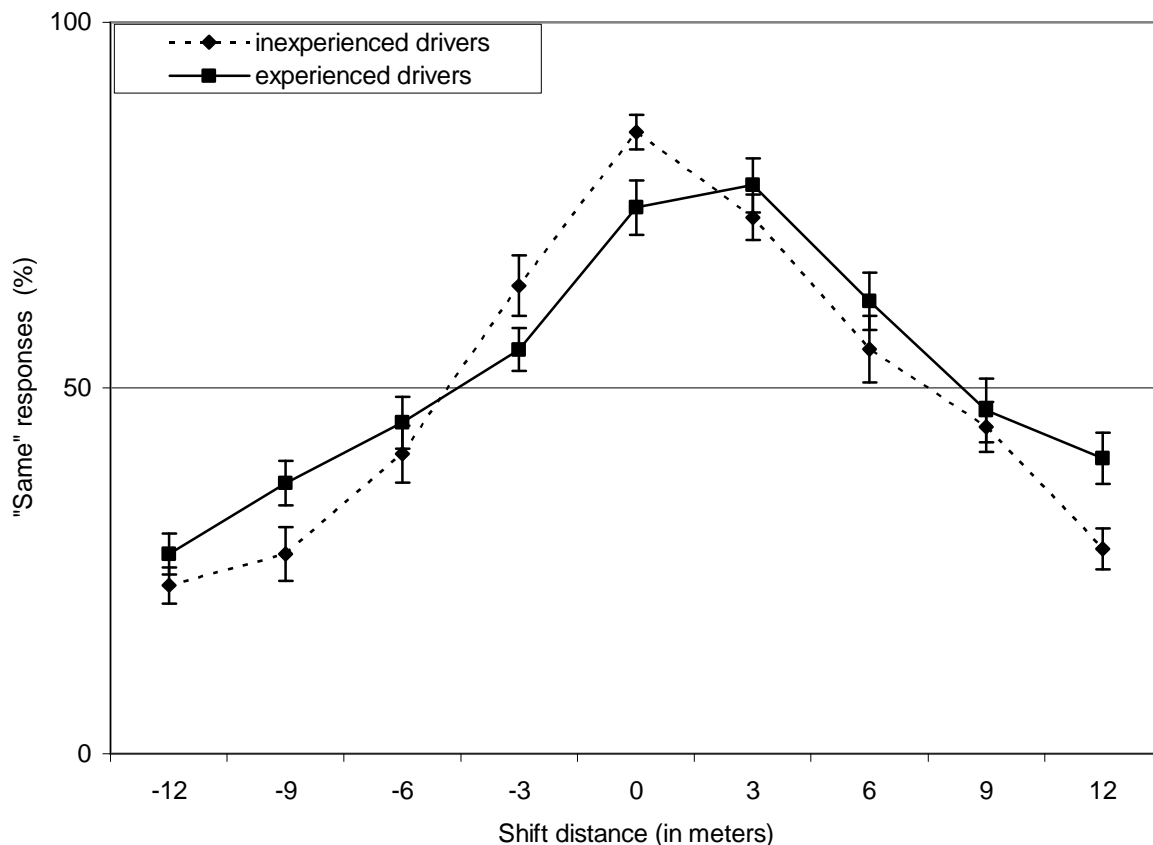


Figure 3. Percentage of "same" responses, by expertise level, shift direction, and shift distance (error bars are standard error).

Analysis of RM magnitude

The point of subjective equality (PSE) (see Jarraya, Amorim, & Bardy, 2005) is a psychophysics measure that estimates the size of the shift a participant sees as being equal to a standard (here, the standard frame). PSE is obtained by averaging the upper differential threshold (UDT) and the lower differential threshold (LDT). For forward shifts, UDT is equal to the shift size for which participants respond 50% "same" and 50% "different" (i.e., it corresponds to the highest degree of uncertainty). Likewise for LDT, which pertains to backward shifts. A positive PSE reflects an anticipation bias.

The experienced drivers' mean PSE was 1.82 m (SD = 1.43). The inexperienced drivers had a mean of 1.10 m (SD = 1.25). Each of these means was significantly different from zero [$t(34) = 7.51, p < .001$, and $t(34) = 5.19, p < .001$, respectively]. The difference between them was statistically significant [$F(1,68) = 4.99, Mse = 1.81, p < .05$]

Analysis of the normal-resumption condition

An ANOVA was conducted on the percentage of "same" responses in the normal-resumption condition, as a function of the participants' level of expertise. The results indicated a significant effect of expertise [$F(1,42) = 4.99$, $Mse = 232.81$, $p < .05$]. The percentage of "same" responses was significantly higher for inexperienced drivers than for experienced ones (85% vs. 74.67%).

Analysis of forward/backward shift asymmetry

A second ANOVA was conducted on the percentage of "same" responses, with expertise level (inexperienced vs. experienced drivers) as a between-participant factor, and shift direction (forward vs. backward) and shift distance (3 m, 6 m, 9 m, 12 m) as within-participant factors. The results did not indicate a main effect of expertise [$F(1, 68) = 1.15$, $Mse = 1164.9$]. The shift-direction effect was significant [$F(1, 68) = 79.95$, $Mse = 334.4$, $p < .01$]: there were more "same" responses (i.e., more errors) for forward shifts than for backward shifts, which corresponds to a forward/backward asymmetry. The results also indicated a significant effect of shift distance [$F(3, 204) = 220.72$, $Mse = 158.6$, $p < .01$]. The greater the shift distance, the smaller the number of "same" responses. Interaction between shift-direction and shift distance was significant [$F(3, 204) = 3.06$; $Mse = 136.88$; $p < 0.05$]. The greater the shift distance, the smaller forward/backward asymmetry.

The three-way interaction between expertise, shift direction, and shift distance was significant [$F(3, 204) = 3.16$, $Mse = 136.88$, $p < .05$]. The planned comparisons showed that experienced drivers exhibited a stronger asymmetry than inexperienced drivers on 3-m shifts [$F(1, 68) = 7.97$, $Mse = 188.59$, $p < .01$]. The experienced drivers exhibited a significant forward/backward asymmetry for 12-m shifts [$F(1, 68) = 15.04$, $Mse = 195.62$, $p < .001$], but the inexperienced drivers did not [$F(1, 68) = 1.86$, $Mse = 195.62$, $p = .17$]. Figure 4 presents the forward-shift/backward-shift comparison for each shift distance.

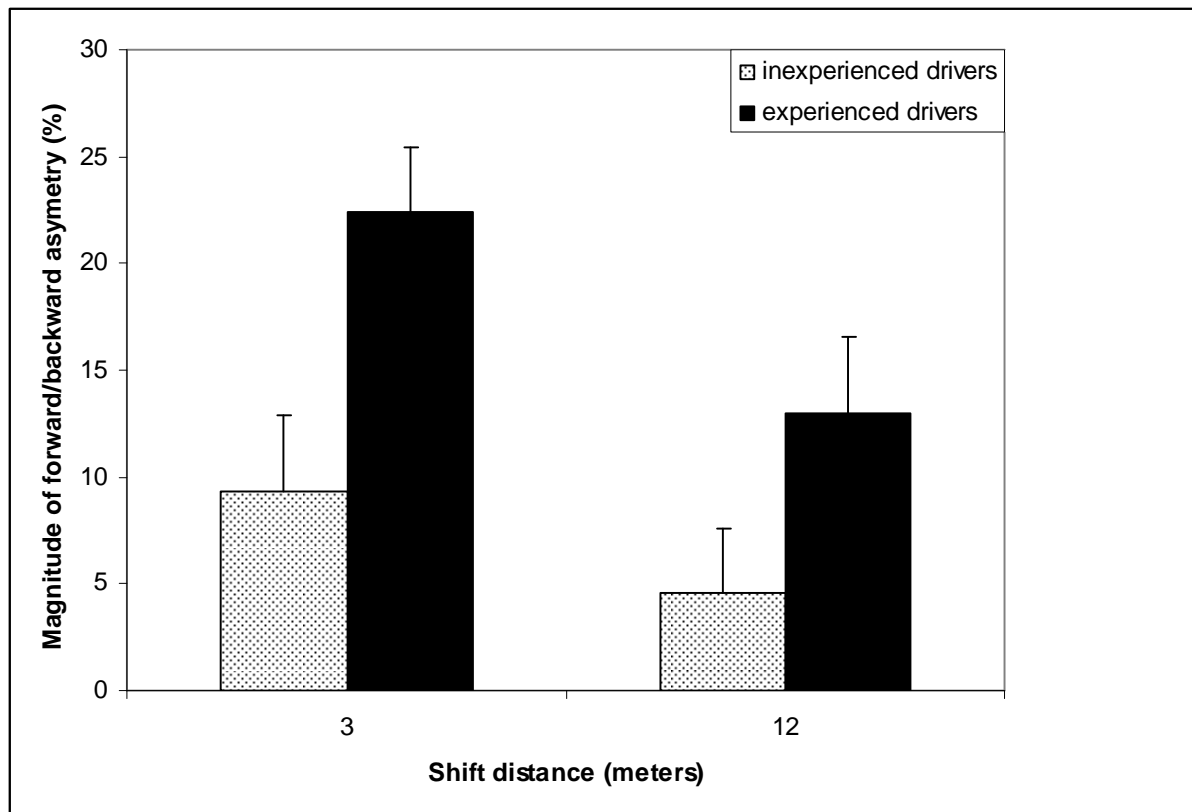


Figure 4. Differences between the percentage of "same" responses on forward and backward shifts, by shift distance and participant group (inexperienced and experienced). Error bars are standard error.

Discussion

The results of this experiment indicated that all participants of both driving-expertise levels exhibited an RM effect. The PSEs are different from zero for both group and responses for the forward and backward shifts given by both groups of participants were asymmetrical, i.e., the error rate was significantly higher for forward shifts than for backward ones. This finding obtained with real videos corroborates those obtained with synthesized images by Thornton and Hayes (2004).

Concerning the main goal of this study, i.e., to explore the effect of domain-specific knowledge on motion anticipation, the results showed that the experienced drivers did indeed

Etude 1 : Can Expertise Modulate Representational Momentum ?

anticipate more than the inexperienced ones did². The following findings confirmed this result. Firstly, the experienced drivers' PSE was higher than that of the inexperienced ones (with the larger group size). Secondly, when the video resumed at exactly the same place as before the cut (normal-resumption condition), experienced drivers made more errors than did inexperienced ones. Thirdly, the asymmetry obtained in the 3-m shift condition was greater for experienced drivers than for inexperienced ones. Fourthly, while for experienced drivers the asymmetry persisted for 12-m shifts, for inexperienced drivers the forward/backward asymmetry no longer existed at this shift distance.

In short, the findings of this first experiment indicate that knowledge acquired from years of driving modulates the effect of representational momentum on driving-scene judgments. Experiment 2 was aimed at determining whether this expertise effect is due to the existence of a general anticipation ability acquired with driving expertise, or whether the knowledge developed by experienced drivers is domain-specific.

Experiment 2

The purpose of this experiment was to find out whether the expertise effect observed in Experiment 1 can be generalized to other dynamic environments that are far-removed from the one in which the expert knowledge was acquired. Participants assigned to two groups on the basis of their driving experience conducted an RM task on dynamic scenes that did not pertain to automobile driving. The hypothesis tested was that anticipation processes developed in a given domain are not transferred to other domains. With this hypothesis, we can expect no differences between experienced and inexperienced drivers in terms of movement anticipation.

² Note that in the present experiment (as in many studies on expertise), the age of the participants covaried with expertise. However, while nearly every study on age-related effects on cognition has found a decline or at least stability with aging, our older participants anticipated more than the younger ones. The anticipation advantage acquired with the development of expertise may compensate for the deleterious effects of age generally observed (e.g., Rozenzweig, Lemoine, Rolland-Grot, & Bompard, 2005).

Method

Participants

Forty-four participants of Experiment 1 took also part in Experiment 2, namely, 20 young adults who did not have their driver's license and 24 experienced drivers.

Materials

The monitor was located approximately 60 cm from the observer, and was presented in normal room illumination. The material consisted of two types of videos, ones presenting a natural scene and ones presenting an artificial scene (see Figure 5).

In the natural-scene videos - "natural" in the sense that they showed a human action filmed by a stationary camera - a person was seen running from left to right³ across the screen. The person was moving at a constant speed (5.5°/s) in a relatively homogeneous environment (a quarry with light-colored soil). Two seconds after the beginning of the video, a black screen was displayed for 250 ms. After the interruption, the video resumed in one of the same nine conditions as in Experiment 1 (normal-resumption condition, forward-shift conditions, and backward-shift conditions). In both shift conditions, there were four shift distances (meters travelled by the person in the video): 0.25 m, 0.5 m, 0.75 m, 1 m.

The artificial scene showed an animated (24fps) black square moving from left to right (5.5°/s) across the screen against a plain, light-colored background. As above, after two seconds of animation, a black screen appeared for 250 ms before the rest of the video was shown, in one of the nine resumption conditions: normal-resumption condition, forward-shift conditions, and backward-shift conditions, the last two of which had four shift distances each (expressed in number of images): 4 images, 8 images, 12 images, and 16 images. This made nine videos per type of scene.

³ Given that we did not set forth any hypotheses about the potential effect of the direction of motion, we chose the direction that seemed the most likely to produce an RM effect. Halpern and Kelly (1993) reported that left-to-right motion gave rise to a greater shift. Note, however, that Hubbard (1990, 1995), Hubbard and Bharucha (1988), and Cooper and Munger (1993) did not find such differences.



Figure 5. Examples of the material used in Experiment 2. Left: the image is a screen print of a video showing a person running from left to right. Right: the image is a screen print of an animated square moving from left to right.

Procedure

Forty-four participants who had taken part in Experiment 1 went directly on to this experiment after a short break of a few minutes. The procedure was the same as in Experiment 1. All participants performed two blocks of trials in succession: one showing natural scenes and one showing artificial scenes (the testing order for the two blocks was counterbalanced across participants). Within each block, the items were presented in random order. Items in the natural-scene block were repeated six times; those in the artificial-scene block were repeated four times. This made for a total of 54 natural scenes and 36 artificial scenes. The participant's task was the same as in Experiment 1.

Results

Artificial scenes (moving square)

Figure 6 presents all results obtained for the artificial scenes.

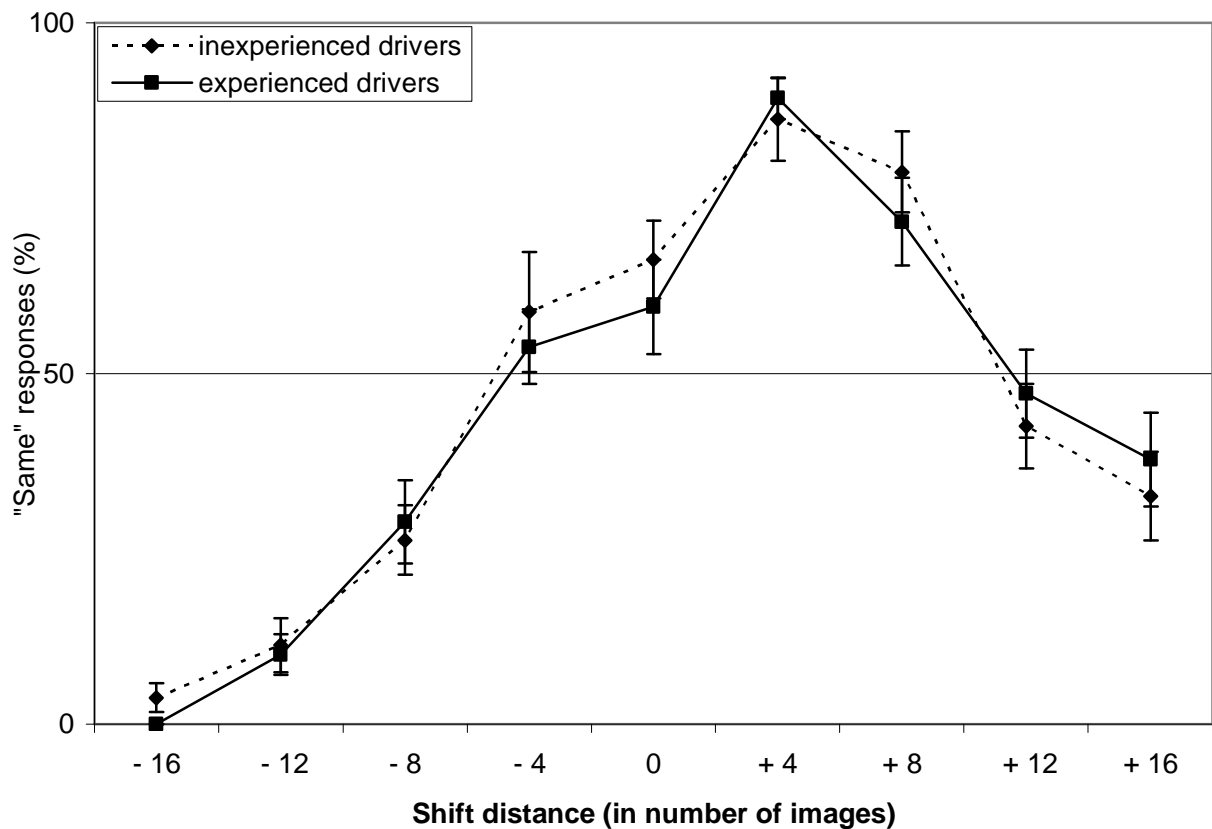


Figure 6. Percentage of "same" responses for artificial scenes, by driving experience, shift direction, and shift distance (error bars are standard error).

Analysis of RM magnitude. The mean PSE of the experienced drivers was 3.65 images (i.e., 15.2 ms) (SD = 2.93); it was 2.63 images (i.e., 10.95 ms) (SD = 2.35) for the inexperienced drivers. Each of these values is significantly different from zero [$t(23) = 6.11$, $p < .001$, and $t(19) = 4.99$, $p < .001$, respectively]. The difference between these two means was nonsignificant [$F(1, 42) = 1.58$, $Mse = 7.22$, $p = .21$].

Analysis of normal-resumption condition. The ANOVA on "same" responses in the normal-resumption condition did not yield a significant effect [$F(1, 42) = .94$, $Mse = 877.7$, $p = .33$]. The percentage of "same" responses given by experienced drivers (59.49%) was not statistically different from that of inexperienced drivers (66.25%).

Analysis of forward/backward shift asymmetry. The ANOVA on the artificial scenes, with expertise as a between-group factor and shift direction and distance as within-group

Etude 1 : Can Expertise Modulate Representational Momentum ?

factors, did not yield an expertise effect [$F(1, 42) = .0001$, $Mse = 952.9$, $p = .99$]. The shift-direction factor had a significant effect [$F(1, 42) = 90.3$, $Mse = 1265.89$, $p < .01$], and so did the shift-distance factor [$F(3, 126) = 79.47$, $Mse = 578.98$, $p < .01$]. There were no significant interactions.

Natural scenes (person running)

Figure 7 presents all results obtained for the natural scenes.

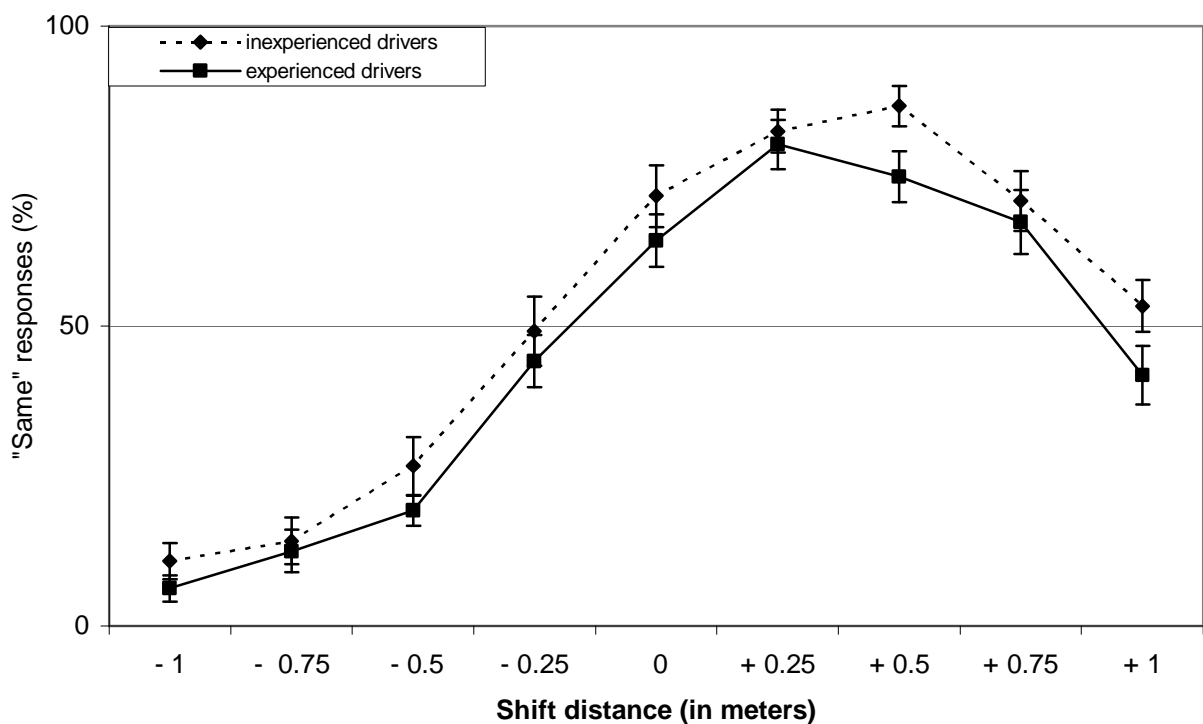


Figure 7. Percentage of "same" responses for natural scenes, by driving experience, shift direction, and shift distance (error bars are standard error).

Analysis of RM magnitude. The mean PSE of the experienced drivers was 0.33 m ($SD = 0.14$); it was 0.38 m ($SD = 0.15$) for the inexperienced drivers. Both of these values are significantly different from zero [$t(23) = 11.73$, $p < .001$, and $t(19) = 10.95$, $p < .001$, respectively]. The difference between these two means was nonsignificant [$F(1, 42) < 1$].

Analysis of normal-resumption condition. The ANOVA conducted on "same" responses for natural scenes in the normal-resumption condition did not indicate a significant

Etude 1 : Can Expertise Modulate Representational Momentum ?

effect [$F(1, 42) = 1.23$, $Mse = 489.01$, $p = .27$]. The percentage of "same" responses given by experienced drivers (64.23%) did not differ significantly from that of inexperienced drivers (71.66%).

Analysis of forward/backward shift asymmetry. The ANOVA on the percentage of "same" responses for natural scenes, with expertise as a between-group factor and shift direction and distance as within-group factors, revealed a main effect of expertise [$F(1, 42) = 5.13$, $Mse = 603.98$, $p < 0.05$]. On average, inexperienced drivers responded "same" a little more often than experienced drivers did. The shift-direction effect was significant [$F(1, 42) = 270.31$, $Mse = 708.08$, $p < .01$], as was the shift-distance effect [$F(1, 126) = 62.3$, $Mse = 328.63$, $p < .01$]. The interaction between shift direction and shift distance was also significant [$F(3, 126) = 12.11$, $Mse = 244.91$, $p < .01$]. The three-way interaction between expertise, shift direction, and shift distance was nonsignificant [$F(3, 126) = .38$, $Mse = 244.91$, $p = .76$].

Discussion

The results of Experiment 2 showed that for both natural scenes and artificial scenes, all participants exhibited an RM effect. As a whole, the participants made judgment errors in the normal-resumption condition, their PSE values were significantly greater than zero, and their forward-shift and backward-shift responses were asymmetrical (i.e., there were more mistakes on forward shifts than on backward ones). These results thus provide further evidence of an RM effect in dynamic situations. Unlike Experiment 1, however, there was no anticipation difference between the two groups of participants (experienced or inexperienced drivers).

Note that an unexpected result was obtained in this study for natural scenes: expertise had a main effect. No matter where the video resumed, the inexperienced drivers answered "same" slightly more often than the experienced drivers did, although the shape of the response distributions was similar for the two groups. Such an effect was not found in Experiment 1, nor was it observed for the artificial scenes in Experiment 2. This finding (for which we have no explanation) is probably not linked to the processes underlying the RM effect - which was the focus of the present study - so it will not receive further comments here. Ruppel, et al (2009) found similar results and discuss how the height of the distribution

Etude 1 : Can Expertise Modulate Representational Momentum ?

does not reflect representational momentum, but the asymmetry of the distribution does reflect representational momentum.

The main finding of Experiment 2 is that knowledge acquired in a specific domain (here, automobile driving), which led to RM modulation with experience, was not transferred to dissimilar domains. Note that an anticipation difference could have been obtained because of the age difference between the two groups (mean age 20 for the inexperienced drivers vs. 38 for the experienced drivers). DeLucia and Mather (2006) showed that age tended to slow down the extrapolation of motion. However, in their study, the older participants (mean age 58) were much older than the experienced drivers in our study. Furthermore, age-linked cognitive declines have mainly been demonstrated in individuals age 50 or older (Kausler, 1991; Salthouse, 1982).

Correlations between Experiments 1 and 2

Correlations were calculated in order to relate the participants' performance of the 44 participants which took part in both experiments on the driving scenes in Experiment 1 and on of the two types of scenes in Experiment 2. Correlations between natural-scene performance and artificial-scene performance in Experiment 2 were also computed. This gave us six correlations (three for the inexperienced group and three for the experienced group). The correlations were calculated on the PSE values.

For the novices, nonsignificant correlations were obtained between the driving-scene data and the natural-scene data ($r = .08$, $p > .05$), between the driving-scene data and the artificial-scene data ($r = -.25$, $p > .05$), and between the natural-scene data and the artificial-scene data ($r = .09$, $p > .05$). For the experienced drivers, nonsignificant correlations were also obtained between the driving scenes and the natural scenes ($r = -.12$, $p > .05$), between the driving scenes and the artificial scenes ($r = -.04$, $p > .05$), and between the natural scenes and the artificial scenes ($r = .18$, $p > .05$). The fact that no correlations were found between these different types of scenes, for either group of participants, argues in favor of the presence of RM components specific to the scenes presented.

General discussion

This research had two objectives: find out if the RM effect is sensitive to expertise in the specific domain of automobile driving, and determine whether knowledge acquired with expertise is transferable to other types of scenes that are not from the observer's domain of expertise.

Our results showed, first of all, that for the natural dynamic scenes we used, all participants exhibited an RM effect. They extend Thornton and Hayes's (2004) findings (obtained using synthesized automobile-driving scenes) to real scenes that were actually filmed. They also add to the range of situations in which the RM effect can be observed. The RM effect is found not only in situations where participants are watching a scene containing a moving object or objects, but also in situations where the participant is an integral part of the movement (Munger, Owens, & Conway, 2005; DeLucia & Maldia, 2006). This study placed the observer in the driver's position in a car moving at a constant speed, so the observer saw an ever-changing visual scene. In such situations, an RM effect is always observed.

Experiment 1 comparing experienced drivers and persons who had never driven showed that some RM components can be modulated by expertise. Firstly, the experienced drivers had a higher PSE. Secondly, the experienced drivers made more errors when the video resumed at exactly the same point as before the cut. Thirdly, unlike the inexperienced drivers, the experienced ones exhibited more asymmetry for smaller shifts, and an asymmetry that persisted up to 12 m. Accordingly, in the road scenes used, the more experienced the drivers were, the greater the amplitude of the representational momentum. Thus, expert knowledge of some kind had an impact on anticipation processes in dynamic-scene processing, provided the scenes are from the observer's domain of expertise. These results extend earlier findings from the few studies demonstrating RM modulation by the observer's domain-specific conceptual knowledge of the moving object (Vinson & Reed, 2002). They also show, as noted in certain models of expert memory (for a review, see Gobet, Lane, Croker, Cheng, Oliver, & Pine, 2001), that expert perception of scenes differs from that of novices right from the perceptual encoding phase.

The results of Experiment 2 showed that RM modulation as a function of observer expertise in a specific domain (automobile driving) was not generalized to other domains. For the visual scenes studied, i.e., a moving square on a plain background and a person running in a natural environment, the experienced drivers exhibited the same RM effect as the other

Etude 1 : Can Expertise Modulate Representational Momentum ?

participants, so there was no transfer of expertise. A question that arises here concerning the wide variety of situations in which an RM effect is observed (for a review, see Hubbard, 2005) is whether these effects are rooted in a single, general skill or in multiple, specific skills. Our results indicate that at least part of experts' knowledge is domain-specific. The absence of correlations between each group's performance on the three different types of scenes used here suggests that certain processes underlying RM are task-specific.

The two studies reported here point out some properties of representational momentum. Although the fact of having found an RM effect in a wide variety of situations suggests that at least one of the components of RM is generic, the present results seem to show that RM might be composed of a set of both general and domain-specific processes. Our research showed that expertise in automobile driving can modulate RM in road-scene perception: the cognitive characteristics of the observer can change the magnitude of the RM effect. The next question to be answered concerns what specific anticipation processes are implemented to analyze these scenes as a function of their characteristics, including whether the observer is moving along with the scene, and whether he/she is making decisions about what action to take next. In this vein, the research conducted by Jordan and Hunsinger (2008) demonstrated that action control can have an impact on perception. These authors compared the estimated vanishing points given by participants trained in advance to control the motion of a stimulus moving horizontally on a screen (using two knobs for increasing or decreasing the speed of the stimulus) to those of participants who had never had the opportunity to control the motion of the stimulus, and showed that the trained participants exhibited a greater forward displacement (FD). The hypothesis tested was that experience acquired by "observers-actors" about the action-effect coupling on distal events has an impact on perception, even in situations where the movement of the stimulus can no longer be controlled. The theoretical framework for interpreting this effect was the Theory of Event Coding or TEC (Hommel, Müssler, Aschersleben, & Prinz, 2001). Neurophysiological data support this interpretation. Decety (2002), for example, showed that the brain areas activated when a person is planning an action are also activated when the person is watching that action. In this context, the learning of action-effect anticipation patterns is thought to influence FD magnitude, in such a way that the best possible fit between the actions and the dynamic environment presented is achieved.

Jordan and Hunsinger (2008) themselves drew an analogy between the experimental situation they used and that of automobile drivers who are acting as simple passengers. They hypothesized that driving or riding in an automobile modifies the observer's perception of

Etude 1 : Can Expertise Modulate Representational Momentum ?

driving situations they have experienced. This is exactly what we observed by comparing experienced drivers and inexperienced drivers. It therefore seemed relevant to try to operationalize the TEC in situations of road-scene perception. Relevant, but not trivial insofar as the road scenes processed by our participants were much more complex than the experimental situations used by Jordan and Hunsinger (2008); and they were all different. Thus, the actions to be carried out always had to be modulated by environment-specific characteristics, and participants with expertise in a specific domain would be more sensitive to the relevant environment-specific characteristics in that domain. Moreover, action schemas take months or years to be acquired, not a few dozen trials. Attempting to operationalize TEC in this context nevertheless seems to us to be a promising avenue for identifying the more or less specific patterns of action-effect anticipation that are acquired with experience.

Even in this framework, it would be worthwhile to gain deeper insight into the relationships between attention and RM. (see, Hayes & Freyd, 2002; Kerzel, 2003; Munger & Owens, 2004). Pearson and Schaefer (2005) showed that participants' involvement in a change-blindness task on photographs of road scenes modified their performance. Participants in the so-called cognitive-engagement condition were told that the results of the study might be of diagnostic value in identifying people in need of remedial driver training. This sole piece of information gave rise to significant differences between the performance of simple observers and observers who were more involved in the automobile-driving situation. Not only the changes occurring in the main areas of interest in the scene, but also changes that were in marginally interesting areas but were nonetheless relevant to automobile driving, were detected better by the more-involved participants, due solely to the instructions they had been given. These findings are consistent with views of attention that allow for increases in attentional resources and a flexible distribution of attention (Kahneman, 1973). The results we obtained here by comparing observers who were "expert" automobile drivers and others who were "novices" can be interpreted in this framework. Compared to novices, experts may feel more involved in the action and so may allocate their attention differently (see Reingold, Charness, Pomplun, & Stampe, 2001 and Reingold, Charness, Schultetus, & Stampe, 2001 for examples on chess experts). On this point, an analysis of drivers' eye movements could provide some interesting information. Whatever the case may be, a key topic that remains to be studied concerns the relative contributions of exogenous and endogenous factors in the mechanisms of attention allocation and decision-making about what actions will lead to the most optimal fit to the dynamic situations encountered.

References

- Bertamini, M. (1993). Memory for position and dynamic representations. *Memory & Cognition*, *21*, 449-457.
- Chase, W.G., & Simon, H.A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, *4*, 55-81.
- Courtney, J.R., & Hubbard, T.L. (2008). Spatial memory and explicit knowledge: an effect of instruction on representational momentum. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *61*(12), 1778-1784.
- Cooper, L.A., & Munger, M.P. (1993). Extrapolations and remembering positions along cognitive trajectories: Uses and limitations of analogies to physical momentum. In N. Eilan, R. McCarthy, & B. Brewer (Eds.), *Spatial representation: Problems in philosophy and psychology* (pp. 112-131). Cambridge, MA: Blackwell.
- Decety, J. (2002). Is there such a thing as functional equivalence between imagined, observed, and executed action?. In A. Meltzoff & W. Prinz.
- DeLucia, P.R., & Maldia, M.M. (2006). Visual memory for moving scenes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *59*, 340-360.
- DeLucia, P.R., & Mather, R.D. (2006). Motion extrapolation of car-following scenes in younger and older drivers. *Human Factors*, *48*, 666-674.
- Didierjean, A., & Gobet, F. (2008). Sherlock Holmes - An expert's view of expertise. *British Journal of Psychology*, *99*, 109-125.
- Didierjean, A., & Marmèche E. (2005). Anticipatory representation of visual basketball scenes by novice and expert players. *Visual Cognition*, *12*, 265-283.
- Doane, S.M., Sohn, Y. W., & Jodlowski, M. T. (2004). Pilot ability to anticipate the consequences of flight actions as a function of expertise. *Human Factors*, *46*, 92-103.
- Ericsson, K.A. (1985). Memory skill. *Canadian Journal of Psychology*, *39*, 188-231.
- Ericsson, K.A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, *102*, 211-245.
- Ferrari, V., Didierjean, A., & Marmèche, E. (2006). Dynamic perception in chess. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *59*, 397-410.
- Finke, R.A., Freyd, J.J., & Shyi, G.C. (1986). Implied velocity and acceleration induce transformations of visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *115*, 175-188.

Etude 1 : Can Expertise Modulate Representational Momentum ?

- Finke, R.A., & Shyi, G.C. (1988). Mental extrapolation and representational momentum for complex implied motions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *14*(1), 112-120.
- Freyd, J.J. (1983). The mental representation of movement when static stimuli are viewed. *Perception & Psychophysics*, *33*, 575-581.
- Freyd, J.J., & Finke, R.A. (1984). Representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *10*, 126-132.
- Freyd, J.J., & Finke, R.A. (1985). A velocity effect of representational momentum. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *23*, 443-446.
- Freyd, J.J., Pantzer, T.M., & Cheng, J.L. (1988). Representing statics as forces in equilibrium. *Journal of Experimental Psychology: General*, *117*, 395-407.
- Gauthier, I., Williams, P., Tarr, M.J., & Tanaka, J. (1998). Training 'greeble' experts: a framework for studying expert object recognition processes. *Vision Research*, *38*, 2401-2428.
- Gobet, F., Lane, P.C.R., Croker, S., Cheng, P.C.H., Jones, G., Oliver, I., & Pine, J.M. (2001). Chunking mechanisms in human learning. *Trends in Cognitive Sciences*, *5*, 236-243.
- Halpern, A.R., & Kelly, M.H. (1993). Memory biases in left versus right implied motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *19*, 471-484.
- Hatano, G., & Osawa, K. (1983). Digit memory of grand experts in abacus-derived mental calculation. *Cognition*, *15*, 95-110.
- Hayes, A.E., & Freyd, J.J. (2002). Representational momentum when attention is divided. *Visual Cognition*, *9*, 8-27.
- Hommel, B., Musseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The Theory of Event Coding (TEC): a framework for perception and action planning. *Behavioral Brain Sciences*, *24*(5), 849-878; discussion 878-937.
- Hubbard, T.L. (1990). Cognitive representation of linear motion: possible direction and gravity effects in judged displacement. *Memory & Cognition*, *18*, 299-309.
- Hubbard, T.L. (1995). Environmental invariants in the representation of motion: Implied dynamics and representational momentum, gravity, friction, and centripetal forces. *Psychonomic Bulletin & Review*, *2*, 322-338.
- Hubbard, T.L. (1996). Displacement in depth: representational momentum and boundary extension. *Psychological Research*, *59*(1), 33-47.

Etude 1 : Can Expertise Modulate Representational Momentum ?

- Hubbard, T.L. (1998). Some effects of representational friction, target size, and memory averaging on memory for vertically moving targets. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 52, 44-49.
- Hubbard, T.L. (2005). Representational momentum and related displacements in spatial memory: A review of the findings. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 822-851.
- Hubbard, T.L., & Bharucha, J.J. (1988). Judged displacement in apparent vertical and horizontal motion. *Perception & Psychophysics*, 44, 211-221.
- Jarraya, M., Amorim, M. A., & Bardy, B.G. (2005). Optical flow and viewpoint change modulate the perception and memorization of complex motion. *Perception & Psychophysics*, 67(6), 951-961.
- Jordan, J.S., & Hunsinger, M. (2008). Learned patterns of action-effect anticipation contribute to the spatial displacement of continuously moving stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(1), 113-124.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Kausler, D. H. (1991). *Experimental Psychology, Cognition, and Human Aging*. New York: Springer-Verlag.
- Kelly, M.H., & Freyd, J.J. (1987) Exploration of representational momentum. *Cognitive Psychology*, 19, 369-401.
- Kerzel, D. (2003). Attention maintains mental extrapolation of target position: irrelevant distractors eliminate forward displacement after implied motion. *Cognition*, 88(1), 109-131.
- Kozhevnikov, M. & Hegarty, M. (2001). Impetus beliefs as default heuristics: Dissociation between explicit and implicit knowledge about motion. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8, 439-453.
- Munger, M.P., Solberg, J.L., Horrocks, K.K., & Preston, A.S. (1999). Representational momentum for rotations in depth: effects of shadings and axis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 157-171.
- Munger, M.P. & Owens, T.R. (2004). Representational momentum and the flash-lag effect. *Visual Cognition*, 11, 81-103.
- Munger, M.P., Owens, T.R. & Conway, J.E. (2005). Are boundary extension and representational momentum related? *Visual Cognition*, 12, 1041-1056.
- Nagai, M., & Yagi, A. (2001). The pointedness effect on representational momentum. *Memory & Cognition*, 29, 91-99.

- Pearson, P.M., & Schaefer, E.G. (2005). Toupee or not toupee? The role of instructional set, centrality, and relevance in change blindness. *Visual Cognition, 12*(8), 1528-1543.
- Reed, C.L., & Vinson, N.G. (1996) Conceptual effect on representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 2*, 839-850.
- Reingold, E.M., Charness, N., Pomplun, M., & Stampe, D.M. (2001). Visual span in expert chess players: evidence from eye movements. *Psychological Science, 12*(1), 48-55.
- Reingold, E.M., Charness, N., Schultetus, R.S., & Stampe, D.M. (2001). Perceptual automaticity in expert chess players: parallel encoding of chess relations. *Psychonomic Bulletin & Review, 8*(3), 504-510.
- Rozenchwajg, P., Lemoine, C., Rolland-Grot, M., Bompard, A. (2005). Combined effects of age and job experience on spatial abilities: the case of air-traffic controllers. *Psychologie du Travail et des Organisations, 11*, 47-57.
- Ruppel, S.E., Fleming, C.N., & Hubbard, T.L. (2009). Representational momentum is not (totally) impervious to error feedback. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 63*(1), 49-58.
- Salthouse, T.A. (1982). *Adult cognition: An experimental psychology of human aging*. New York: Springer-Verlag.
- Tanaka, J.W., Curran, T., & Sheinberg, D.L. (2005). The training and transfer of real-world perceptual expertise. *Psychological Science, 16*, 145-151.
- Thornton, I.M., & Hayes, A.E. (2004). Anticipating action in complex scenes. *Visual Cognition, 11*, 341-370.
- Unterrainer, J.M., Kaller, C.P., Halsband, U., & Rahm, B. (2006). Planning abilities and chess: a comparison of chess and non-chess players on the Tower of London task. *British Journal of Psychology, 97*, 299-311.
- Vinson, N.G., & Reed, C.L. (2002). Sources of object-specific effects in representational momentum. *Visual Cognition, 9*, 41-65.

Etude 2 : Representational Momentum in Aviation

Blättler, C., Ferrari, V., Didierjean, A., & Marmèche, E. (en révision). Representational Momentum in Aviation. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception & Performance*

Representational Momentum in Aviation

Colin Blättler

Laboratoire de Psychologie Cognitive, Université de Provence, Marseille, France

Vincent Ferrari

Centre de Recherche de l'Armée de l'air, Salon de Provence, France

André Didierjean

Université de Franche-Comté, Besançon, France

Evelyne Marmèche

CNRS, Laboratoire de Psychologie Cognitive, Marseille, France

July 2010

Short title: RM in Aviation

Please address correspondence to: Colin Blättler, **L.P.C.** Université de Provence UMR 6146
Pôle 3C, Bâtiment 9 Case D3, Place Victor Hugo, 13331 Marseille Cedex 3, France. Email:
colin.blattler@etu.univ-provence.fr Phone: +33 488 57 69 08. Fax: +33 (0)4 88 57 68 95

Abstract

The purpose of this study was to examine the effects of expertise on motion anticipation. We conducted three experiments in which novices and expert pilots viewed simulated aircraft-landing scenes. The scenes were interrupted by the display of a black screen and then started up again after a forward or backward shift. The participant's task was to determine whether the moving scene had been shifted forward or backward. A forward misjudgment of the final position of the moving scene was interpreted as a representational momentum (RM) effect. Experiment 1 showed that experts exhibited a significant RM effect, but the novices did not. The lack of motion anticipation on the part of novices is a surprising result for the RM literature. It could be related to scene unfamiliarity, encoding time, or shift size. Experiments 2 and 3 were run with novices only. They were aimed at testing the potential impact of two factors on the RM effect: scene encoding time and shift size. As a whole, the results showed that scene familiarity, encoding time, and shift size all modulated RM.

Introduction

In everyday situations, people must continuously interact with dynamic environments that are constantly changing. Very often, information intake is interrupted for reasons related to the observer (e.g., blinking) or to outside events (e.g., windshield-wiper movement during automobile driving). When the perception of the environment is interrupted, even very briefly, the cognitive system must be able to fill in the perceptual gap between the last image actually perceived and the new image seen. One of the most powerful adaptive mechanisms available to the visucognitive system for avoiding localization errors is to anticipate the probable evolution of the dynamic event as the environmental scenes are being perceived (see Gray, 2005; Gray & Regan, 1999; Clarke, Ward, & Jones, 1998). An important question that arises is whether such highly adaptive mechanisms (see Munger, Owens, & Conway, 2005) take effect in a similar way in all individuals, or whether they are modulated by the knowledge the observer has of the scenes perceived. One way of studying anticipation processes and their development with experience consists of comparing the performance of novices and experts in a given knowledge domain. Many studies on expertise have shown that the perception of

experts (in their domain of expertise) evolves over time. The knowledge acquired by experts is known to have an impact on many aspects of perception, including the anticipation of how a situation will evolve (Gobet & Simon, 1996; Ferrari, Didierjean, & Marmèche, 2006; Didierjean & Marmèche, 2005). The domain studied in the present paper was visual scenes of aircraft landings. Using this domain made it possible to compare novices who had never been confronted with this type of visual scene, and experts who, on the contrary, were very skilled at analyzing such scenes, namely experienced pilots from the French Air Force.

The paradigm implemented in the present study was the representational momentum paradigm (for a review, see Hubbard, 2005). Most studies using this paradigm have worked with very simple visual scenes that only require participants to analyze a moving target. Few studies have dealt with complex dynamic scenes, and among them, not many have looked at how the perceptual anticipation bias is related to the observer's prior knowledge. Here, we attempt to find out whether expertise modifies the representational momentum effect when the dynamic visual scenes are videos of an aircraft preparing to land on a runway.

Representational momentum (RM) refers to the tendency of observers to "remember" the stopping point of an event as being farther along in the direction of motion than it was in reality. In the seminal study by Freyd and Finke (1984), a rotation movement was induced by presenting a rectangle in three different orientations in succession. Then a fourth rectangle was shown that was either in exactly the same position as the third rectangle, or tilted in the same or opposite direction to that of the induced motion. The participants' task was to decide whether the fourth rectangle was in the same position as the third one. The results showed that participants had more trouble rejecting the rectangles whose orientation extended the induced motion than those indicating a backward movement. These findings were interpreted as a sign of a forward displacement (FD) relative to the last rectangle presented, of the position stored in memory.

Since this original work, a large body of research on representational momentum has shown that when the cognitive system is processing a dynamic event, it has the ability to extrapolate the probable evolution of the current scene. Most of the research has dealt with the role played by the properties of a moving object in the FD effect, and to a lesser extent, with how this effect is modulated by the perceiver's knowledge of the object. Some studies have shown that RM depends on the moving target's physical characteristics, including its shape (Kelly & Freyd, 1987; Nagai & Yagi, 2001), direction (Halpern & Kelly, 1993; Hubbard, 1990; Munger, Solberg, Horrocks, & Preston, 1999), speed (Freyd & Finke, 1985), and acceleration (Finke, Freyd, & Shyi, 1986), and also by whether the target is moving away

from or coming toward the participant (Hayes, Sacher, Thornton, Sereno, & Freyd, 1996; Hubbard, 1996). All of these properties can act as cues to where the object is likely to be located in the future. The FD effect has been demonstrated using a wide variety of materials, including both dynamic stimuli (e.g. a moving dot, a rotating rectangle, continuous motion of a set of dots; for a detailed review, see Hubbard, 2005) and static stimuli such as drawings or still photographs of actions (Freyd, 1983; Freyd, Pantzer, & Cheng, 1988). One of the conclusions drawn in all of these studies is that "frozen" actions can only be perceived in terms of their dynamic dimension. Other studies, although scarce, have addressed RM by examining the effects of the observer's prior implicit knowledge, including principles of physics such as gravity (Hubbard, 1995, 1997; Hubbard, & Bharucha, 1988) and friction (Bertamini, 1993). As a whole, these studies showed that an FD is generated in very many situations, and that this effect can be modulated by both the physical characteristics of the moving object and the observer's knowledge of the scenes.

In line with the above research, our study was based on two important considerations. Firstly, most studies on FD have presented relatively simple dynamic stimuli (rotating rectangles, set of dots, a small number of items that are not action-related, etc.); few have used moving scenes. The study by Thornton and Hayes (2004) is one of the rare studies that used dynamic scenes (see also DeLucia & Maldia, 2006; Munger, Owens, & Conway, 2005). These authors had participants view videos showing a synthesized image of a road as seen from inside a car driving at 55, 65, or 72 km/hr. The videos were temporarily interrupted by a black screen lasting 250 ms. After the interruption, the film continued and the participants had to decide whether the scene resumed at exactly the same point as it had stopped (normal-resumption condition) or at some other point. When the scene resumed at a different point, it could be either with a shift forward (as if the car had quickly accelerated during the cut) or with a shift backward (as if the car had backed up during the cut). The results showed that forward shifts were more difficult to reject than backward shifts, and that the point judged to be the most acceptable resumption point was shifted by about one meter in the car's direction of motion. This study thus demonstrated that FD can also be found in the case of dynamic scenes. The study we report here was aimed at extending this finding to other types of dynamic scenes.

Secondly, very few researchers have looked into the potential effects of experts' domain-specific knowledge on RM phenomena. In an earlier study (Blättler, Ferrari, Didierjean, Van Elslande, & Marmèche, in press), we reused the Thornton and Hayes (2004) paradigm while varying the expertise level of the participants: they were either experienced

automobile drivers or inexperienced automobile drivers (people without a driver's licence). The results indicated that while all participants of both expertise levels exhibited an FD, experienced drivers anticipated more than inexperienced ones did. Knowledge acquired from years of driving modulated the FD effect on driving-scene judgments.

The first goal of the study reported here was to show that FD is modulated by the observer's level of expertise in piloting. This finding would allow us to contend that FD modulation by domain-specific expertise can be generalized to other domains.

One of the limitations of the Blättler et al. study (in press) was that the inexperienced drivers were not "true" novices. As car passengers, the novices must have seen the same types of visual scenes as the experienced drivers. Indeed, Jordan and Hunsinger (2008) argued that even riding in an automobile can modify a person's perception of the driving situations he/she observes. This question is important at a more general level, because while RM is a particularly robust phenomenon (Courtney & Hubbard, 2008; Ruppel, Fleming, & Hubbard, 2009) that has been observed in many different situations, in the vast majority of studies, the observers were not actually real novices relative to the scenes presented. Then, the second goal of the present study was to find out whether an FD effect would be observed for "true" novices, or if this effect requires some minimal amount of knowledge of the scenes observed.

Experiment 1

The goal of Experiment 1 was to obtain a greater FD effect among expert pilots than among novice participants (persons with no flying experience). The FD bias of each group (Group 1: novices, Group 2: expert pilots) was measured using moving scenes of an airplane landing, seen from the pilot's point of view. The scenes were interrupted by the display of a black screen lasting 125 ms, and then resumed in one of three conditions: a shift forward (with respect to the aircraft's direction of motion), a shift backward (in the direction opposite to the plane's motion), or no shift, i.e. at exactly the same point as before the interruption (normal-resumption condition). In the shift conditions, the size of the forward and backward shifts was manipulated (± 125 ms, ± 250 ms, ± 375 ms, and ± 500 ms). Participants had to compare the last view of the aircraft seen before the cut, to the first view seen after the cut, and decide whether the scene had shifted backward or forward. If it is true that expert pilots anticipate more than novices do, then in the normal-resumption condition, the experts should give significantly more "backward" responses than the novices. In the shifted conditions, if

participants anticipate, they should have more trouble seeing forward shifts than backward shifts. This difficulty should be greater for experts than for novices.

Method

Participants. Thirty-six participants divided into two groups took part in the experiment. Group 1 was made up of 21 novice participants (mean age: 31 years, standard deviation: 5), who had never been in the cockpit of an airplane or on board an aircraft simulator. Group 2 was made up of 15 expert pilots from the French Air Force (mean age: 38.5 years, standard deviation: 6.5; mean number of flying hours: 3193, standard deviation: 1488). All participants had normal or corrected-to-normal eyesight and were unaware of the goals of the experiment.

Materials. The open-source flight simulator called FlightGear was used to obtain the scenes (24 frames per second). Eighteen different landing scenes were generated (i.e., each with a different background). The landing was seen from the pilot's point of view (first-person view), with no part of the airplane visible (cockpit, airborne instruments, etc.). To ensure that the slope, angle, and speed of approach were the same in all 18 scenes, the landing scenes were generated with the help of an autopilot input into the FlightGear software. Two expert pilots (who did not participate in the experiment and had 4000 hrs and 3500 hrs of flying experience, respectively) agreed that all of the scenes were realistic.

The speed chosen for the landing was a standard speed for a jet plane (e.g., of the Alphajet type). The video montage at different resumption times was achieved using Pinnacle Studio Plus Version 10 software. The experiment was run on a Dell Latitude 120L laptop computer. Each initial scene (i.e., with its particular background) was used to make nine videos that differed only in the magnitude of the shift after the cut (-500 ms, -375 ms, -250 ms, -125 ms, 0 ms, +125 ms, +250 ms, +375 ms, +500 ms). A scene presented with a shift of +125 ms, for example, meant that when the video resumed, three images had been removed from the moving scene. This gave us 162 videos in all ($18 \times 9 = 162$).

An example of the scenes presented in the three conditions is given later in Figure 1: normal resumption (0 ms), forward shift of 500 ms, and backward shift of 500 ms.

Procedure. After three seconds on each trial (i.e., each video), a black screen lasting 125 ms (inter-stimulus interval or ISI) was displayed. After the cut, the trial resumed in one of nine

conditions. In the normal-resumption condition, the video started up at exactly the same point as before the cut (the comparison frame and the first image after the cut were identical). In the forward-shift conditions, the trial started back up after a forward shift of 125 ms, 250 ms, 375 ms, or 500 ms (the size of the first shift adjusted to the ISI duration⁴). In the backward-shift conditions, the trial resumed with an image corresponding to 125 ms, 250 ms, 375 ms, or 500 ms before the cut. Once the video had resumed, the trial continued until the aircraft touched the runway; or as soon as the participant responded.

The experiment had two phases: a task familiarization phase, followed by the experimental phase. Before the familiarization phase, the experimenter gave the participants the following instructions to read: "You are going to see some videos simulating the landing of an airplane from the pilot's point of view. After a few seconds, the video will be interrupted for a short while. Then the video will resume either with a forward shift (as if time had abruptly jumped forward), or with a backward shift (as if time had abruptly jumped backwards). Your task will be to decide whether the video resumed after a forward shift or a backward shift, and to respond by pressing the blue key to answer 'forward shift' or the red key to answer 'backward shift.'" Note that no information about the existence of normal resumptions was given to the participants at this point. After reading the instructions, the participants got familiar with the task by doing 18 practice trials on two scenes that were not used in the experimental phase. Then the experimental phase began. In this phase, 16 scenes were used, each giving rise to 9 different resumption conditions. This made 144 trials (16 x 9), which were presented in random order to all participants. Figure 1 illustrates the procedure.

⁴ Hubbard (2005) suggested that RM serves to fill in the gap generated by the time taken to process visual information. During the perception of moving objects the cognitive system takes some time, albeit very short, to process incoming information. Given that the principal characteristic of moving scenes is perpetual change, the mental representation of the object's spatial location would always be shifted backward. RM is thought to correct this error by way of a spatial representation that incorporates the continuous spatial change.

Etude 2 : Representational Momentum in Aviation

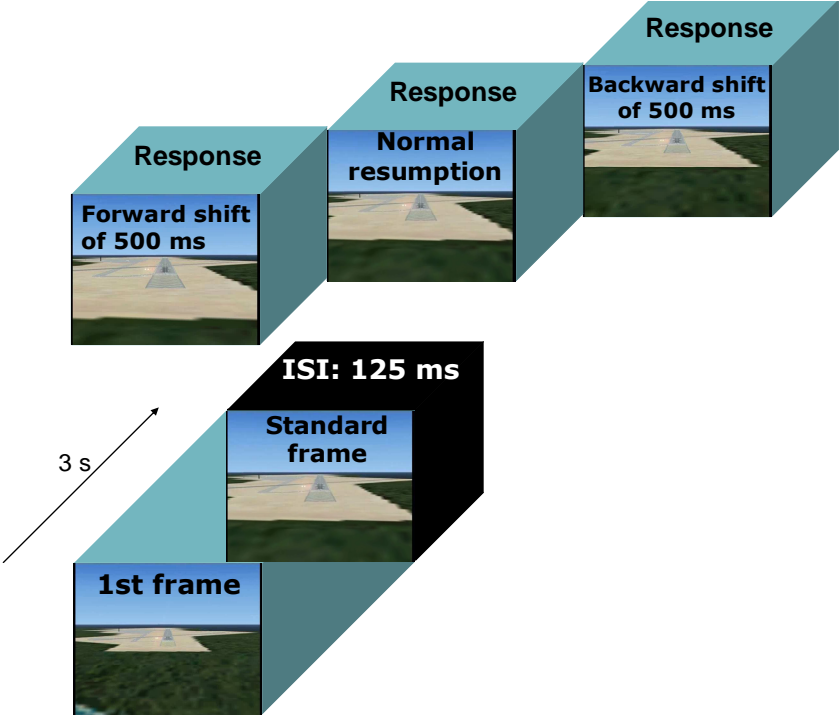


Figure 1. Procedure of Experiment 1. The video began with three seconds of a landing scene. Then a cut occurred with an ISI of 125 ms. After the cut, the video resumed with a forward shift (upper left: forward shift of 500 ms), no shift (upper middle), or a backward shift (upper right: backward shift of 500 ms).

Results

Figure 2 presents the results obtained for the two groups of participants (experts and novices), as a function of the shift size. The dependent variable was the percentage of "backward" responses.

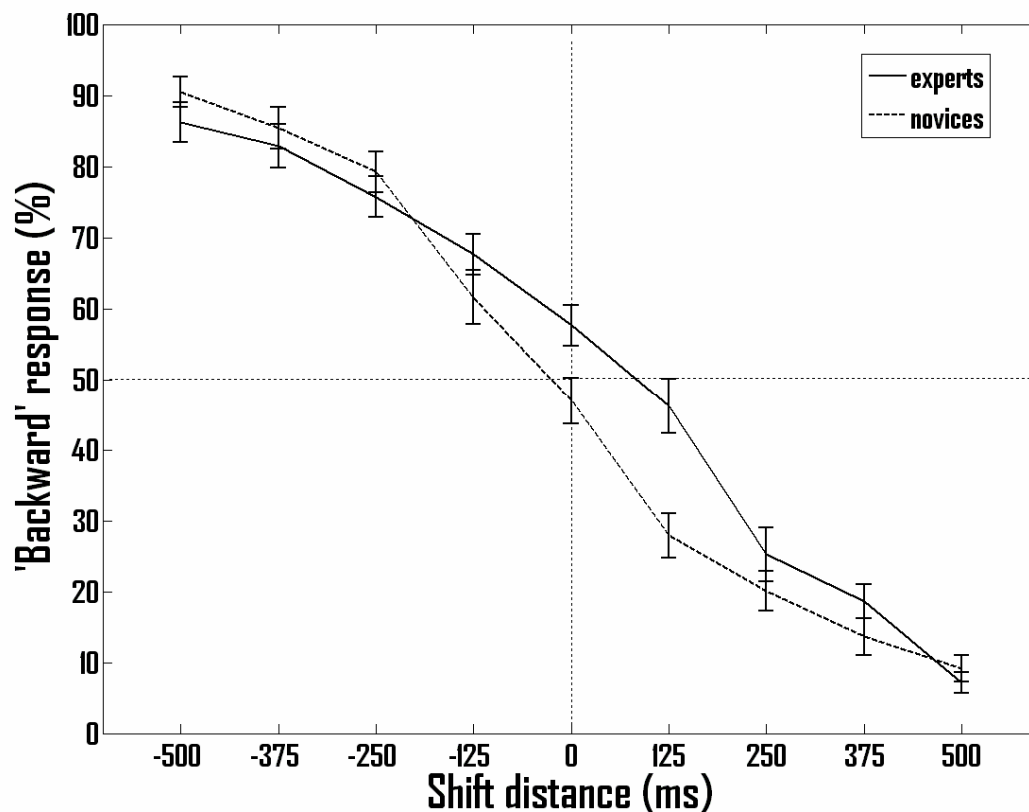


Figure 2. Percentage of backward responses, by expertise level, shift direction, and shift distance in Experiment 1 (error bars are standard errors).

Four analyses were conducted on all data obtained. The first analysis pertained to the magnitude of the displacement of each participant, based on the PSE indicator. The second concerned the percentage of backward responses in the backward-shift condition. The third was on the percentage of backward responses in the normal-resumption condition. The fourth dealt with the percentage of backward responses in the forward-shift condition.

Analysis of RM Magnitude. To assess RM magnitude, we computed the point of subjective equality (PSE) for each subject. This point is the theoretical value of the stimulus the participant considers to be subjectively equal to a standard. It indicates the point of maximal

Etude 2 : Representational Momentum in Aviation

uncertainty. This measure was computed by fitting sigmoid curves to the responses of each participant. Each PSE was calculated from this curve by taking all responses of that participant into account. A positive PSE indicated an FD. Mean PSE was +70.27 ms (SD = 112.1) for the expert pilots and -36.33 ms (SD = 104.4) for the novices. The experts' mean PSE was significantly greater than zero [$t(14) = 2.42, p < .05$] whereas the novices' was not [$t(20) = 1.9, p = .07$]. Experts' mean PSE was significantly greater than the novices' mean PSE [$t(34) = 3.12, p < .05$]. Figure 3 presents the curves for the two groups.

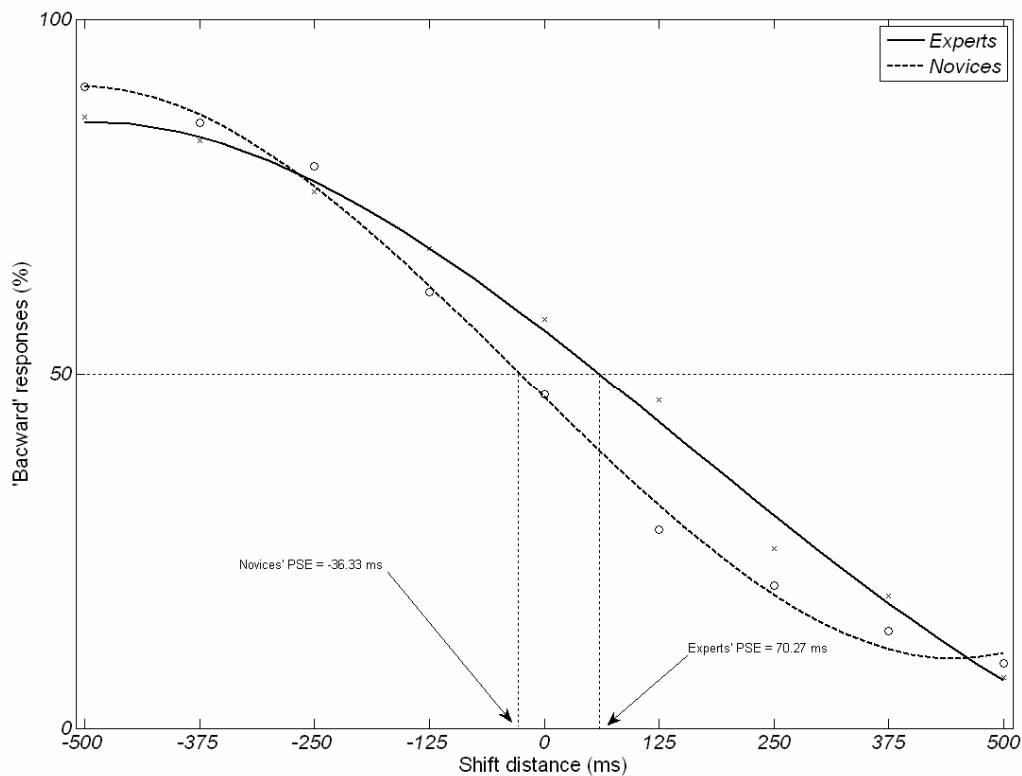


Figure 3. Percentage of backward responses, by expertise level, shift direction, and shift distance in Experiment 1

Analysis of the Backward-Shift Conditions. An ANOVA was conducted on "backward" responses to backward shifts, with expertise as a between-group factor and shift size as a within-group factor. It yielded a shift-size effect [$F(3, 102) = 39.02$, $MSE = 96.46$, $p < .001$]. The percentage of backward responses increased with shift size (64.59% for 125 ms, 77.48% for 250 ms, 84.11% for 375 ms, and 88.33% for 500 ms). The expertise factor had no effect [$F(1, 34) < 1$], and expertise and shift size did not interact [$F(3, 102) = 2.09$, $MSE = 96.46$, $p = .1$].

Analysis of the Normal-Resumption Condition. An ANOVA was conducted on the percentage of backward responses in the normal-resumption condition, as a function of the participants' level of expertise. The results indicated a significant effect of expertise [$F(1, 34) = 4.88$, $MSE = 204.19$, $p < .05$]. The percentage of backward responses was significantly higher for expert pilots than for novices (57.61% vs. 46.93%).

Analysis of the Forward-Shift Conditions. The ANOVA was on backward responses to forward shifts, with expertise as a between-group factor and shift size as a within-group factor. It yielded a significant effect of expertise [$F(1, 34) = 4.98$, $MSE = 305.9$, $p < .05$]. The percentage of backward responses by experts (24.28%) was significantly higher than that of novices (17.68%). A shift-size effect was also obtained [$F(3, 102) = 42.85$, $MSE = 122.22$, $p < .001$]. The percentage of backward responses decreased with shift size (37.04% for 125 ms, 22.65% for 250 ms, 16.08% for 375 ms, and 8.16% for 500 ms). Expertise and shift size interacted here [$F(3, 102) = 5.16$, $MSE = 122.22$, $p < .01$]. Planned comparisons indicated a significant difference between the backward response percentages of experts (46.19%) and novices (27.89%) at 125 ms [$F(1, 34) = 11.65$, $p < .01$]. No significant differences were observed for the other shifts.

Discussion of Experiment 1

The goal of Experiment 1 was to determine whether the RM effect is modulated by expertise. The results obtained indicated an FD among experts. Their mean PSE was positive, i.e., their point of maximum uncertainty was shifted in the forward displacement direction. In other words, when the expert pilots were processing small forward shifts, they did not know how to interpret them. This phenomenon, which was not found for the novices, can be

Etude 2 : Representational Momentum in Aviation

interpreted as an anticipation in the direction of motion. By contrast, the results of the ANOVA on the backward-shift items brought out no difference between the pilots and the novices. This finding means that, even though the experts were more familiar with the type of environment presented in the scenes, they did not necessarily have a better overall discrimination ability than the novices. Indeed, the perceptual difference between experts and novices only showed up on normal resumptions and forward shifts. In these two conditions, the experts answered "backward shift" more often than the novices did. Note that this expertise effect disappeared as soon as the forward shifts got larger (i.e., 250, 375, and 500 ms).

These findings call for two remarks. First of all, they extend the results obtained by Blättler et al. (in press) to a new domain, airplane piloting. With the acquisition of expertise, FD appears to be greater for expert pilots than for novices in situations that belong to their domain of expertise. The results of Experiment 1 brought out a very surprising finding: the lack of anticipation among novices. Very few studies have found no RM effect at all (see however: Finke & Freyd, 1985; Verfaillie & de Ydewalle, 1991). In these rare studies, the absence of an RM effect was ascribed to the lack of motion congruity (Finke & Freyd, 1985) or to the fact that the motion that would be predicted to follow the cut was a movement going in the opposite direction (Verfaillie & de Ydewalle, 1991). These two possibilities can be ruled out for our study. The movement we tested was clearly congruent, and there was nothing suggesting that the motion would go in the opposite direction after the cut. To understand the absence of novice anticipation in Experiment 1, two interpretations can be entertained. Either the novices did not anticipate because they had no knowledge in this domain (landing scenes) that they could utilize to anticipate the motion, or they did not anticipate because the characteristics of the scenes (ISI duration and/or shift size) did not allow them to implement anticipatory processes. The purpose of Experiment 2 was to test for the potential impact of these two factors.

Experiment 2

The results of Experiment 1 showed that on an RM task using dynamic environments simulating aircraft landings, expert pilots exhibited a displacement of the spatial location stored in memory that was shifted in the direction of motion (FD), but the novices did not. If

we hypothesize that RM is modulated by expertise, the fact that the novices had no prior knowledge of the landing scenes can account for the lack of anticipation. However, we can propose another interpretation of the lack of a novice RM effect, based on the experimental parameters used in Experiment 1. The choices we made for ISI duration (125 ms) and shift size could account for why anticipation processes were not observed among the novices. Firstly, it is possible that the ISI in Experiment 1 was too short, so there was not enough time for an RM effect to be observed. Secondly, the smallest forward shifts presented in Experiment 1 may still have been too great, i.e., not small enough for an FD under 125 ms to show up. Two experimental conditions were set up in Experiment 2 to test the effects of these two factors: a long-ISI condition, where the ISI lasted 250 ms (i.e., twice the duration of the ISI in Experiment 1) and a small-shift condition in which shifts of 0 ms, ± 42 ms, ± 83 ms, and ± 125 ms were presented (i.e., the biggest shift in Experiment 2 was equal to the smallest shift in Experiment 1).

Method

Participants. The participants were fifteen novices who had not been in Experiment 1 (mean age: 29.5 years, standard deviation: 6.5). They all had normal or corrected-to-normal eyesight and were unaware of the goals of the experiment.

Materials.

Long-ISI Condition. In this condition, the ISI lasted 250 ms (instead of 125 ms as in Experiment 1). The shift sizes were the same as in Experiment 1 (0 ms, ± 125 ms, ± 250 ms, ± 375 ms, and ± 500 ms). So there were 9 shift sizes for each of the 18 scenes, making for a total of 162 videos.

Small-Shift Condition. In this condition, the biggest shifts corresponded to the smallest shifts used in Experiment 1 (125 ms). The shift sizes were 0 ms, ± 42 ms, ± 83 ms, and ± 125 ms. So there were 7 shift sizes for each of the 18 scenes, which made for a total of 126 videos. In this condition, the ISI was 125 ms, as in Experiment 1.

In all, there were 288 scenes in the experimental materials.

Procedure. The instructions and task were the same as in Experiment 1. For the familiarization phase, 18 long-ISI trials and 14 small-shift trials were presented randomly to the participants. Then the experimental phase began. It consisted of 144 trials in the long-ISI condition and 112 trials in the small-shift condition. The 256 trials were presented in a single block, in a different random order for each participant. This means that all participants performed in both experimental conditions (long-ISI and small-shift).

Results

Analysis of the Results in the Long-ISI Condition (250 ms). Figure 4 presents the data obtained in the long-ISI condition.

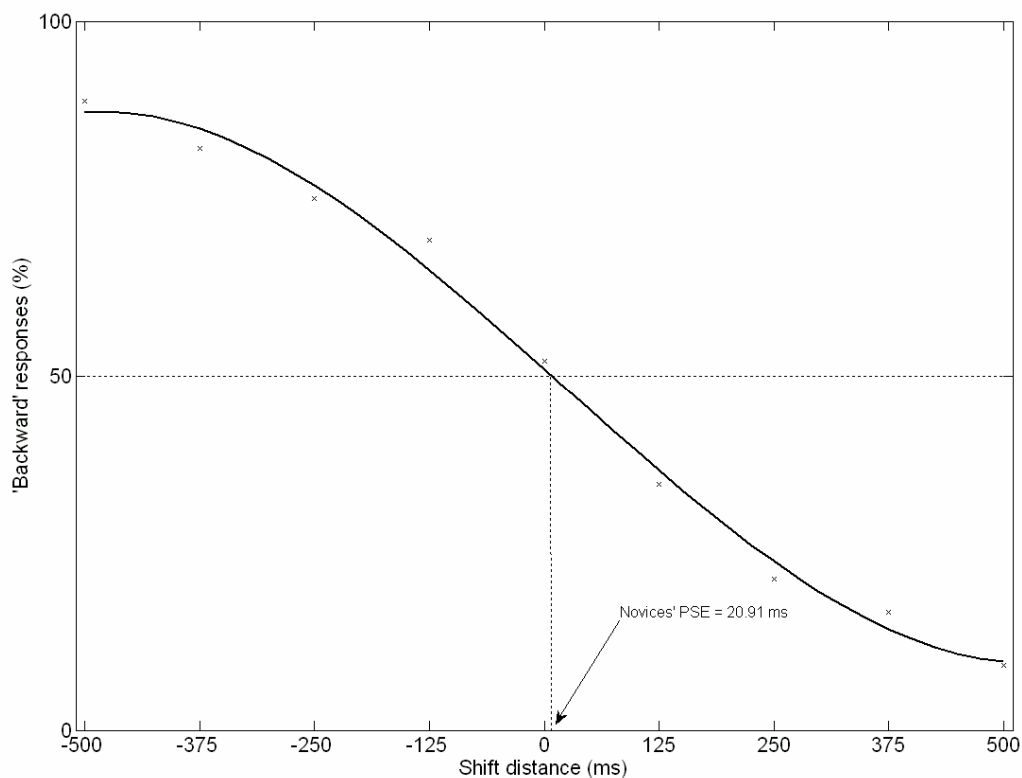


Figure 4. Percentage of backward responses in the long-ISI condition, by shift direction, and shift distance.

Analysis of RM Magnitude. Mean PSE (20.96 ms, SD = 125.5) was not significantly different from zero [$t(14) < 1$, $p = .5$].

Analysis of the Results in the Small-Shift Condition. Figure 5 shows the results obtained in the small-shift condition.

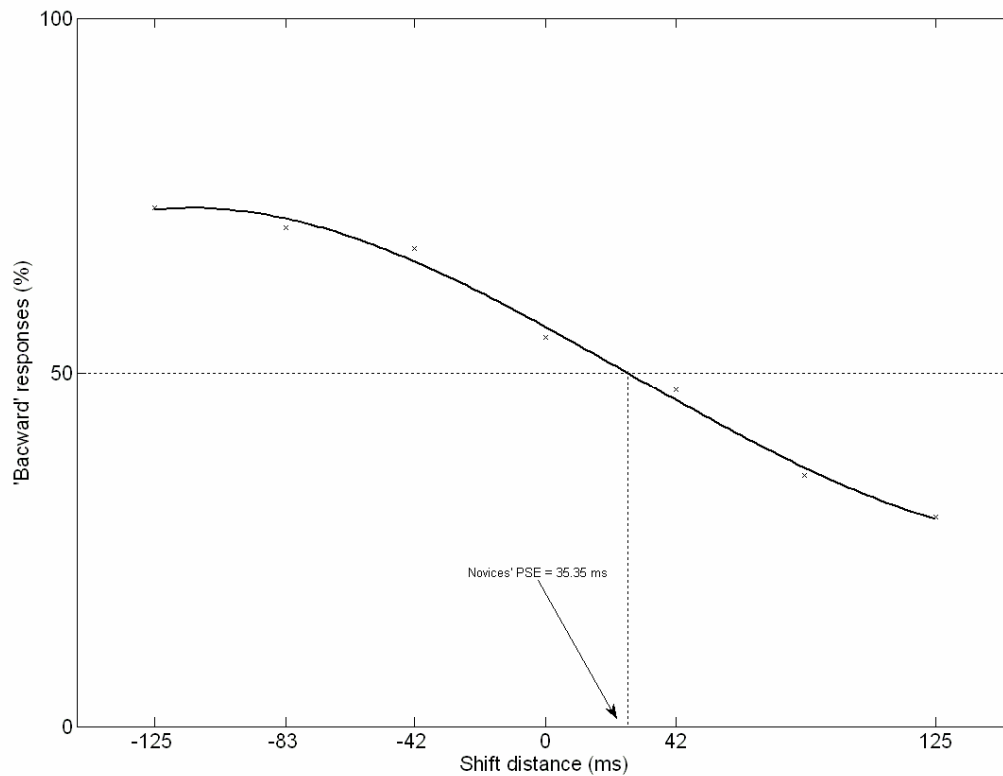


Figure 5. Percentage of backward responses in the small-shift condition, by shift direction and shift distance in Experiment 2.

Analysis of RM Magnitude. One of the participants was not included in this analysis because the curve obtained for this participant did not cross the 50% line. Mean PSE (35.35 ms, SD = 44.86) was significantly greater than zero [$t(13) = 2.96, p < .05$]. The novices' PSE was positive, which indicates greater difficulty identifying forward shifts, and a displacement (in memory) of the scene's position in the direction of motion.

Discussion of Experiment 2

The purpose of this experiment was to test the effect of two experimental factors, ISI and shift size. The results for the long-ISI condition showed that when the ISI was 250 ms, no FD was found. By contrast, when the shift size was reduced (small-shift condition) while keeping the same ISI as in Experiment 1, an FD was obtained. The participants' mean PSE was positive. Thus, we were able to obtain a significant FD in Experiment 2 when small shifts were used with a 125-ms ISI.

The goal of Experiment 3 was to determine whether increasing ISI in the small-shift condition could raise the magnitude of the FD effect. In Experiment 3, small shifts were used (as in Experiment 2) but the ISI duration was doubled to 250 ms. Our hypothesis was that increasing the ISI (from 125 to 250 ms) would increase the magnitude of the RM effect, especially on the very smallest shifts.

Experiment 3

The purpose of this experiment was to test the hypothesis that increasing ISI on small shifts would increase the magnitude of FD as compared to that observed in the small-shift condition of Experiment 2. The most favorable conditions for obtaining an FD among novices on this type of scene are an ISI of 250 ms (Freyd & Johnson, 1987) and very short shifts (Experiment 2). In Experiment 3, the novices performed the same RM task as in Experiment 2, except that the ISI was 250 ms on all shift sizes. To stay as close as possible to Experiment 2, participants in Experiment 3 saw all shift sizes.

Method

Participants. The participants were 36 novices who had not been in Experiment 1 or 2 (mean age: 19 years, standard deviation: 2). All participants had normal or corrected-to-normal eyesight and were unaware of the experimental goals.

Etude 2 : Representational Momentum in Aviation

Materials. The materials were the same as in Experiment 2 except for the fact that the ISI on small shifts was no longer 125 ms but 250 ms. In this third experiment, 13 variations of each of the 18 basic scenes were generated (0 ms, ± 42 ms, ± 83 ms, ± 125 ms, ± 250 ms, ± 375 ms, and ± 500 ms), making for a total of 234 videos.

Procedure. The instructions and task were the same as in Experiment 1. For the familiarization phase, 26 trials were presented in random order. Then the 208-trial experimental phase began. All videos were presented in a different random order for each participant.

Results

Figure 6 shows the results obtained in Experiment 3.

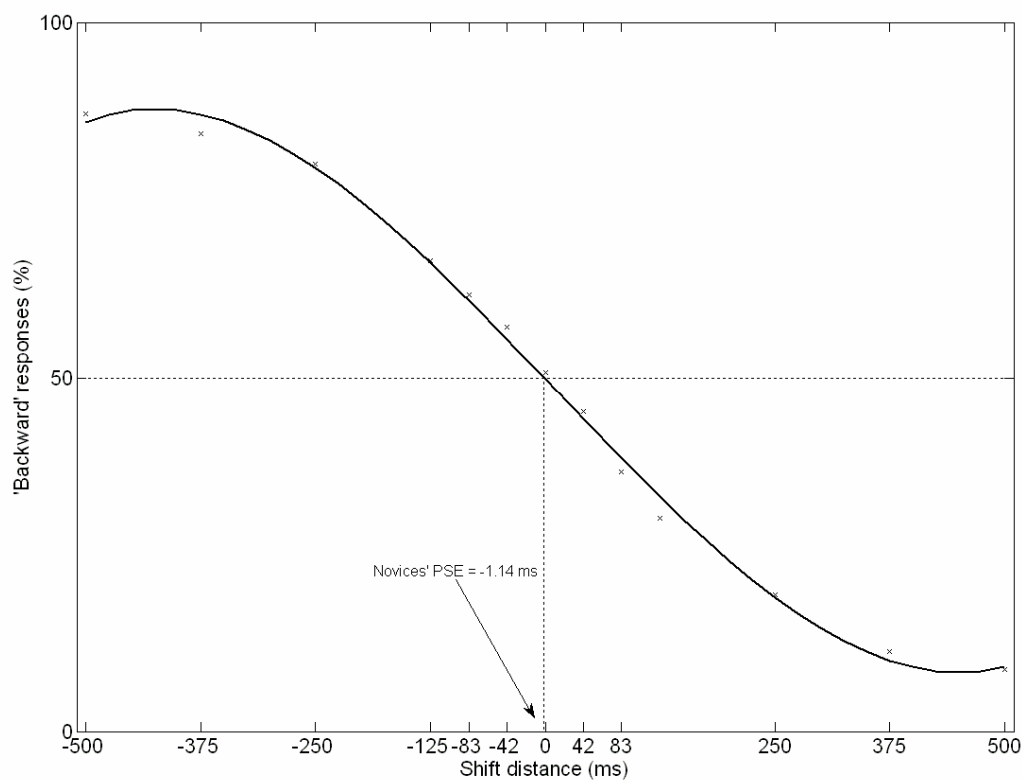


Figure 6. Percentage of backward responses, by shift direction, and shift distance in Experiment 3.

Analysis of RM Magnitude. Mean PSE (-1.14 ms, SD = 55.81) did not differ significantly from zero [$t(35) < 1$, $p = .9$].

Discussion of Experiment 3

The purpose of this experiment was to find out whether lengthening ISI on small shifts could increase FD magnitude among novices. The main result was that the increase (from 125 ms to 250 ms) caused the FD to disappear. This counter-intuitive finding will be discussed in the general discussion.

General Discussion

In this study, simulations based on synthesized images of aircraft landing scenes, seen from the viewpoint of the pilot, were used in an RM task. We tested expert pilots from the French Air Force, who were very familiar with this type of scene, and novices who had never seen such scenes. The results obtained pointed out two phenomena: (1) Expertise effects were observed on this RM task. (2) The novices did not exhibit an RM effect in several experimental conditions, but did so in one very peculiar condition.

Expertise Effects on This RM Task

The first objective of this study was to determine whether and to what extent FD brings domain-specific knowledge to bear. In a previous study (Blättler et al., in press), we demonstrated an expertise effect in the domain of automobile driving on an RM task. Here, we wanted to see if we could extend these results to another domain, with more highly contrasted levels of expertise. For the realistic dynamic scenes we used, an expertise effect was indeed observed: in Experiment 1 only expert participants exhibited an FD. This effect was found on all three indexes. Firstly, mean PSE was positive for experts but not for novices, which indeed reflects an anticipation bias solely among experts. Secondly, when the scene resumed at exactly the same point as before the cut, the piloting experts answered "backward shift" significantly more often than the novices did. Thirdly, when the video resumed with a

forward shift, the experts again responded "backward shift" significantly more often than the novices did, especially on the smallest forward shifts.

The FD observed here can be considered to reflect very good adaptation by the visual system of experts. In this line, Hayhoe (2009) showed that memory may play a part in controlling visually guided behavior. Observers are thought to learn the dynamic properties of the world in order to direct their gaze where it is needed. In dynamic environments such as driving, they would learn the complex properties of the moving environment. For this author, evidence of such learning is the fact that saccades are often directed toward a location in a scene in advance of an expected event. For example, in Land and McLeod's study of cricket (2000), batsmen anticipated the ball's bouncing point so that the eye arrived at that point 100-200 ms before the ball did. The ability to predict where the ball will bounce would rely upon previous experience of the ball's trajectory. The saccades were always preceded by a fixation on the ball as it left the bowler's hand, suggesting that the bouncing-point predictions were based on both current sensory data and prior experience of the ball's motion. The authors concluded that observers store internal models of the dynamic properties of the world that can be used to position gaze in anticipation of a predicted event. The participants' anticipatory saccades and pursuit movements revealed that acquisition of visual information is planned for a predicted state of the world. Such predictions had to be based on a stored memory representation. And the accuracy of the predictions revealed the quality of the information in the stored memory or internal model. Spatial and temporal accuracy of eye saccades and fine-tuning of these movements following a change in the moving object's dynamic properties would indicate that subjects have an accurate internal model of the object's spatiotemporal path, and that they rapidly update this model when errors occur. As Hayhoe (2009) stressed, the development of internal models occurs over long periods, as a result of extensive practice. The data we collected seem to point in this direction. It takes years of experience before an expert pilot becomes capable of anticipating the spatiotemporal evolution of landing scenes in order to fill in the visual gap in what is perceived. Such anticipation processes are likely to help pilots manage the control strategies they use. These results clearly support the hypothesis that RM at least partially relies on specific knowledge stored in long-term memory.

RM Among Novice Participants

The novices exhibited no RM effect in several experimental conditions. In Experiment 1, none of the three indexes we used revealed an FD among novices. Their PSE did not differ from zero, and their response curves were very symmetrical around the zero

point, indicating the absence of an RM effect. This result is quite surprising, since nearly all experiments conducted so far in this domain have found an FD (for a review, see Hubbard, 2005). For example, in a study by Courtney and Hubbard (2008), an RM effect was observed in every situation tested, no matter what instructions were given to subjects, even instructions purposely designed to counteract the effect. But there is one important difference between our study and most other studies in this field. In "classic" experiments, the participants have already encountered visual scenes of varying degrees of similarity to the ones presented in experiments. All of us have seen many objects or animals in motion since birth, and we all began to experience dynamic situations at a very young age (moving in a stroller, riding in a car, etc.). So it would be truly very exceptional if the dynamic visual scenes shown in experiments could not be likened to some kind of already-experienced scene. It follows that the absence of an FD in our study could be due to the total lack of a known situation that could serve as a reference. Aircraft landing scenes are indeed very different from the scenes presented in traditional perception experiments.

A few rare experiments have shown that FD can be eliminated when distractors are presented during the retention interval (Kerzel, 2003). Distractors seem to stop the mental extrapolation of the target. The presence of such distractors may disrupt the flow of attention allocated to the moving target and thereby cause FD to decrease. With this finding in mind, we tested the hypothesis that with a longer ISI, more time could be allotted to the mental extrapolation of the dynamic scene, and that this additional time might allow an FD effect to show up, even among novices. So in one of the conditions of Experiment 2, ISI duration was doubled (from 125 to 250 ms) and the same shift sizes were used. The results were very similar to those obtained in Experiment 1. For novices in these experimental conditions, we were not able to demonstrate an FD. This brought us to our second question concerning the shift sizes used. We hypothesized that the anticipatory time span might be too short for an FD to appear in novices on the shift sizes used. So in the second condition of Experiment 2, smaller shifts were presented (42 ms, 83 ms and 125 ms) with an ISI of 125 ms, as in Experiment 1. In this condition, an FD was indeed observed. The PSE of the novices was significantly different from zero (35.35 ms on average). Their maximum uncertainty point would therefore be between 0 ms and 42 ms. In Experiment 3, we tested the hypothesis that increasing the ISI from 125 to 250 ms would increase the magnitude of FD when the shifts were small. But once again, no FD was found in this condition. Thus, we were only able to provide evidence of an FD in one very specific condition: a very small shift (42 ms) and a short ISI (125 ms). Among the novices -- who were true novices when it came to the types of

dynamic scenes presented here -- the FD observed here was very tenuous and labile, since it disappeared when the visual interruption time was too great.

Perhaps this finding can be interpreted simply in terms of low-level processes taking place at the retinal level that do not depend on knowledge acquired with experience. In line with this, Berry, Brivanlou, Jordan, and Meister (1999) showed that anticipation of moving stimuli begins in the retina. These authors recalled the results of recent experiments on motion perception conducted by Nijhawan (1994, 1997). In these studies, subjects were shown a moving bar sweeping at a constant velocity, with a second bar flashing briefly in alignment with the moving bar. When asked what they perceived at the time of the flash, observers reliably reported seeing the flashing bar trailing behind the moving bar. This effect has been confirmed repeatedly (Baldo & Klein, 1995; Purushothaman, Patel, Bedell, & Ogmen, 1998; Whitney & Murukami, 1998), and various high-level processes have been used to explain it (e.g., a time lag due to the attention shift). To determine whether processing in the retina contributes to the flash bar effect, Berry et al. (1999) recorded the spike trains of ganglion cells in the isolated retina of tiger salamanders or rabbits, and then analyzed the neural image of a moving bar at the retinal output. The results showed that the moving bar elicited a moving wave of spike activity in the retinal cell population. Rather than lagging behind the visual image, the population activity travelled near the moving bar's landing edge. This response was observed for a wide range of speeds and was interpreted as a compensation for the visual response latency (30-100 ms). In sum, the authors showed that the extrapolation of a moving object's trajectory begins in the retina. By analogy, we are tempted to hypothesize that for the novices in our experiments, who had no experience of the dynamic visual scenes presented, retinal anticipation may partially or totally account for the observed FD, which was very weak, very small (a few tens of milliseconds), and very labile since it disappeared when the ISI was long (250 ms). For small forward shifts (here, 42 ms) followed by a brief perceptual interruption (125 ms), novices may store a memory trace of the position extrapolated by the retinal cells. But when the interruption is longer (250 ms) the memory trace is erased, so an RM effect cannot then be demonstrated.

In conclusion, the results of the experiments reported here suggest the potential collaboration of two types of anticipatory processes. For experts, the development of high-level semantic and strategic knowledge would allow them to extrapolate visual scene continuity. Novices, on the other hand, who are unfamiliar with the scenes presented, would rely mainly on sensory information arriving at the retina when the cut occurs. Memory traces stored by novices with no prior experience of the dynamic visual scenes would vanish very

rapidly, whereas those of experts who are highly familiar with the scenes would support greater and more durable anticipation. This raises the question of the relative weights of the different anticipation processes at play, from retinal anticipatory processes on up to higher-level anticipatory processes based on semantic and strategic knowledge acquired with expertise.

References

- Baldo, M. V., & Klein, S. A. (1995). Extrapolation or attention shift? *Nature*, 378(6557), 565-566.
- Berry, M. J., 2nd, Brivanlou, I. H., Jordan, T. A., & Meister, M. (1999). Anticipation of moving stimuli by the retina. *Nature*, 398(6725), 334-338.
- Bertamini, M. (1993). Memory for position and dynamic representations. *Memory & Cognition*, 21(4), 449-457.
- Blättler, C., Ferrari, V., Didierjean, A., Marmèche, E. (in press). Can expertise Modulate Representational Momentum,. *Visual Cognition*.
- Clarke, D.D., Ward, P.J., & Jones, J. (1998). Overtaking road-accidents: Differences in manoeuvre as a function of driver age. *Accident Analysis and Prevention*, 30, 455-467.
- Courtney, J. R., & Hubbard, T. L. (2008). Spatial memory and explicit knowledge: an effect of instruction on representational momentum. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(12), 1778-1784.
- DeLucia, P. R., & Maldia, M. M. (2006). Visual memory for moving scenes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(2), 340-360.
- Didierjean, A., & Marmeche, E. (2005). Anticipatory representation of visual basketball scenes by novice and expert players. *Visual Cognition*, 12, 265-283.
- Ferrari, V., Didierjean, A., & Marmeche, E. (2006). Dynamic perception in chess. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 59(2), 397-410.
- Finke, R. A., Freyd, J. J., & Shyi, G. C. (1986). Implied velocity and acceleration induce transformations of visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115(2), 175-188.
- Freyd, J. J. (1983). The mental representation of movement when static stimuli are viewed. *Perception & Psychophysics*, 33(6), 575-581.

Etude 2 : Representational Momentum in Aviation

- Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1984). Representational Momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10(1), 126-132.
- Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1985). A velocity effect of representational momentum. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 23(6), 443-446.
- Freyd, J. J., & Johnson, J. Q. (1987). Probing the time course of representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(2), 259-268.
- Freyd, J. J., Pantzer, T. M., & Cheng, J. L. (1988). Representing statics as forces in equilibrium. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117(4), 395-407.
- Gobet, F., & Simon, H. A. (1996). Templates in chess memory: a mechanism for recalling several boards. *Cognitive Psychology*, 31(1), 1-40.
- Gray, R. (2005). Perceptual processes used by drivers during overtaking in a driving simulator. *Human Factors*, 47, 394-417.
- Gray, R. & Regan, D. (1999) Do monocular time-to-collision estimates necessarily involve perceived distance? *Perception*, 28, 1257-1264.
- Halpern, A. R., & Kelly, M. H. (1993). Memory biases in left versus right implied motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(2), 471-484.
- Hayes, A. E., Sacher, G., Thornton, I. M., Sereno, M. E., & Freyd, J. J. (1996). *Representational momentum in depth using stereopsis [ARVO Abstract 2120]*. Paper presented at the Investigative Ophthalmology & Visual Science.
- Hayhoe, M. M. (2009). Visual memory in motor planning and action. In J. R. Brockmole (Ed.), *The visual world in memory*. Hove: Psychology Press.
- Hubbard, T. L. (1990). Cognitive representation of linear motion: possible direction and gravity effects in judged displacement. *Memory & Cognition*, 18(3), 299-309.
- Hubbard, T. L. (1995). Cognitive representation of motion: evidence for friction and gravity analogues. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(1), 241-254.
- Hubbard, T. L. (1996). Displacement in depth: representational momentum and boundary extension. *Psychological Research*, 59(1), 33-47.
- Hubbard, T. L. (1997). Target Size and Displacement Along the Axis of Implied Gravitational Attraction: Effects of Implied Weight and Evidence of Representational Gravity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23, 1484-1493.

Etude 2 : Representational Momentum in Aviation

- Hubbard, T. L. (2005). Representational momentum and related displacements in spatial memory: A review of the findings. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*(5), 822-851.
- Hubbard, T. L., & Bharucha, J. J. (1988). Judged displacement in apparent vertical and horizontal motion. *Perception & Psychophysics*, *44*(3), 211-221.
- Jordan, J. S., & Hunsinger, M. (2008). Learned patterns of action-effect anticipation contribute to the spatial displacement of continuously moving stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *34*(1), 113-124.
- Kelly, M. H., & Freyd, J. J. (1987). Explorations of representational momentum. *Cognitive Psychology*, *19*(3), 369-401.
- Kerzel, D. (2003). Attention maintains mental extrapolation of target position: irrelevant distractors eliminate forward displacement after implied motion. *Cognition*, *88*(1), 109-131.
- Land, M. F., & McLeod, P. (2000). From eye movements to actions: how batsmen hit the ball. *Nature Neuroscience*, *3*(12), 1340-1345.
- Munger, M. P., Owens, T. R., & J.E., C. (2005). Are boundary extension and representational momentum related? *Visual Cognition*, *12*(6), 1041-1056.
- Munger, M. P., Solberg, J. L., Horrocks, K. K., & Preston, A. S. (1999). Representational momentum for rotations in depth: effects of shadings and axis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *25*(1), 157-171.
- Nagai, M., & Yagi, A. (2001). The pointedness effect on representational momentum. *Memory & Cognition*, *29*, 91-99.
- Nijhawan, R. (1994). Motion extrapolation in catching. *Nature*, *370*, 256-257.
- Nijhawan, R. (1997). Visual decomposition of colour through motion extrapolation. *Nature*, *386*(6620), 66-69.
- Purushothaman, G., Patel, S. S., Bedell, H. E., & Ogmen, H. (1998). Moving ahead through differential visual latency. *Nature*, *396*(6710), 424.
- Ruppel, S. E., Fleming, C. N., & Hubbard, T. L. (2009). Representational momentum is not (totally) impervious to error feedback. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *63*(1), 49-58.
- Thornton, I. M., & Hayes, A. E. (2004). Anticipating action in complex scenes. *Visual Cognition*, *11*(2/3), 341-370.
- Verfaillie, K., & d'Ydewalle, G. (1991). Representational momentum and event course anticipation in the perception of implied periodical motions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *17*(2), 302-313.

Etude 2 : Representational Momentum in Aviation

Whitney, D., & Murakami, I. (1998). Latency difference, not spatial extrapolation. *Nature Neuroscience*, 1(8), 656-657.

Etude 3 : The Role of Expertise and Action in Motion Extrapolation

Blättler, C., Ferrari, V., Didierjean, A., & Marmèche, E. (en préparation). The Role of Expertise and Action in Motion Extrapolation.

The Role of Expertise and Action in Motion Extrapolation

Colin Blättler

Laboratoire de Psychologie Cognitive, Université de Provence, Marseille, France

Vincent Ferrari

Centre de Recherche de l'Armée de l'air, Salon de Provence, France

André Didierjean

Université de Franche-Comté, Besançon, France

Evelyne Marmèche

CNRS, Laboratoire de Psychologie Cognitive, Marseille, France

July 2010

Running head: Motion Extrapolation: Expertise and Action

Please address correspondence to: Colin Blättler, **L.P.C.** Université de Provence UMR 6146
Pôle 3C, Bâtiment 9 Case D3, Place Victor Hugo, 13331 Marseille Cedex 3, France. Email:
colin.blattler@etu.univ-provence.fr Phone: +33 488 57 69 08. Fax: +33 (0)4 88 57 68 95

Abstract. The tendency of participants to "remember" the stopping point of an event as being farther along in the direction of motion has been studied for about 30 years (Freyd & Finke, 1984). The purpose of the present study was to

test the influence of two dimensions on motion extrapolation: (1) expertise in the domain of automobile driving, and (2) the involvement of participants in the action. Participants viewed real driving scenes from the driver's point of view. They were divided into four groups depending upon their driving experience (totally inexperienced or very experienced) and their involvement in the action. In order to get half of the participants involved in the action, they had to use a steering wheel to follow the path of the viewed car. The results showed that both of these dimensions increased motion extrapolation. The discussion deals with how the association of attentional processes and action-related knowledge affect motion extrapolation.

Introduction

Motion extrapolation refers to the tendency of participants to "remember" the stopping point of an event as being farther along in the direction of movement than it was in reality (Freyd & Finke, 1984). For about 30 years now, this effect has been demonstrated using a wide variety of materials, both with dynamic stimuli (e.g. a moving dot, a rotating rectangle, the continuous motion of a set of dots; for a detailed review, see Hubbard, 2005) and with static stimuli (drawings, photographs of actions; see Freyd, 1983; Freyd, Pantzer, & Cheng, 1988). One of the conclusions drawn in all of these studies is that "frozen" actions are usually perceived in terms of their dynamic dimension. Since the original work by Freyd and Finke (1984), a large body of research on representational momentum (RM) has shown that when the cognitive system is processing a dynamic event, it has the ability to extrapolate the probable evolution of the current scene. Most of this research deals with the role played by the properties of a moving object in the RM effect, and to a lesser extent, with how this effect is modulated by the perceiver's knowledge of the moving target's physical characteristics, such as its shape (Kelly & Freyd, 1987; Nagai & Yagi, 2001), direction (Halpern & Kelly, 1993; Hubbard, 1990; Munger, Solberg, Horrocks, & Preston, 1999), speed (Freyd & Finke, 1985), and acceleration (Finke, Freyd, & Shyi, 1986), all of which can act as cues to where the object is likely to be located in the future.

The study reported here falls in line with this research trend, insofar as it looks at the impact of the participant's level of expertise - here, in automobile driving - and the impact of the

participant's involvement in the action, on RM. Although most studies on the RM effect have used relatively simple dynamic stimuli (a small number of items that are not action-related), a study by Thornton and Hayes (2004) (see also DeLucia & Maldia, 2006; Munger, Owens, & Conway, 2005) extended this effect to complex dynamic situations. The goal of their study was to directly assess the accuracy of visual memory for ego-position during movement in depth within a scene, using a representational momentum paradigm. A virtual desktop environment was used to simulate a drive through a novel scene. The virtual environment contained a straight, single-lane gray road receding in depth over a green, textured-ground plane. The overall impression was that of a viewer in a car approaching a small village, driving through the village, and then continuing along the open road (the videos depicted a synthesized image of a road as seen from inside the car driving at 55, 65, or 72 km/hr). The observer's task was to detect an "unusual" interruption in the sequence. Participants watched road-scene films that were temporarily interrupted by a black screen lasting 250 ms. After the interruption, the film continued and the participants had to judge whether the scene resumed at exactly the same point as it had stopped (normal-resumption condition) or at some other point. When the scene resumed at a different point, it was either after a shift forward (as if the car had quickly accelerated during the cut) or a shift backward (as if the car had backed up during the cut). The results obtained showed that forward shifts were more difficult to reject than backward shifts, and that the point deemed to be the most acceptable resumption point was shifted by about one meter in the car's direction of motion. This study thus showed that RM can also be found in the case of dynamic scenes.

In a previous study (Blättler, Ferrari, Didierjean, Van Elslande, & Marmèche, in press), we extended Thornton and Hayes's (2004) results by testing the impact of domain-specific expertise (in automobile driving) on RM, using real country road scenes (automobile driving filmed with an on-board digital camera). The experimental paradigm was similar to the one used by Thornton and Hayes (2004). The car was always moving at a speed of 60 km/hr. In each video (consisting mainly of straight roads), a black screen lasting 250 ms was inserted after 3 seconds of the video. Following this interruption, the video resumed in one of nine conditions. In the normal-resumption condition, the video started back up exactly where it had been cut. In the forward-shift conditions, the video resumed at a point corresponding to +3 m, +6 m, +9 m, or +12 m past the location where the car was last seen; in the backward-shift conditions, the video resumed -3 m, -6 m, -9 m, or -12 m behind the interruption point. Two groups of participants with different amounts of driving experience were tested: inexperienced

Etude 3 : The Role of Expertise and Action in Motion Extrapolation

drivers who did not have their driver's license, and experienced drivers who had been driving regularly for a number of years. The results indicated that all participants of both driving-expertise levels exhibited an RM effect, but experienced drivers anticipated more than inexperienced ones did. The findings of this experiment showed that knowledge acquired from years of driving modulates the effect of representational momentum on driving-scene judgments.

The present study was aimed at extending these results about the observed difference between novices and experts in the magnitude of the RM effect, to situations in which participants play a more active role. Here, we compared novices and experts who were simple observers not involved in the action, with participants who were more involved in the movement. As suggested by Thornton and Hayes (2004), it is relevant to study memory for ego-position by comparing observers who have active control over a simulated vehicle, with ones who are in a more passive viewing position. This direct manipulation of observer behavior could provide insight into the underlying relationship between vision and action in our spatial world. In this vein, Jordan and Hunsinger (2008) demonstrated that action control can indeed have an impact on perception. These authors compared the estimated vanishing points given by participants trained in advance to control the motion of a stimulus moving horizontally on a screen (using two knobs for increasing or decreasing the speed of the stimulus) to those of participants who had not had the opportunity to control the motion of the stimulus. The trained participants exhibited a larger RM effect. The authors obtained similar results when observers were trained to watch someone else controlling the movement of the target. These findings show that processes associated with RM are mediated by action-related knowledge. In the same line, Wexler, Kosselyn, and Berthoz (1998) showed that the manual rotation of an object facilitates mental rotation of the object when the two rotations are in the same direction. They concluded that mental rotation is related to certain mechanisms of the motor system. More specifically, during an action, some of the mechanisms involved in the dynamic spatial representation of an object may be shared by some of the sensorimotor mechanisms involved in that action. The implication of sensorimotor mechanisms in motion extrapolation was also demonstrated by Wexler and Klam (2001). These authors showed that extrapolation of the motion of a target was greater if the participant manipulated the target's movement rather than passively watching it as it moved.

The purpose of the present study was to answer the following questions about the effects of two dimensions on RM: Does domain-specific knowledge acquired through years of driving experience have an impact on an RM task representing real driving situations? Is this driving-specific knowledge related to involvement in the action? To test this, participants were divided into four groups on the basis of their experience in driving and their involvement in the action. Participants viewed real driving scenes from the driver's point of view. They were either totally inexperienced in driving or very experienced. In order to have some of the participants get involved in the action, half of them had to move a steering wheel to follow the path of the car being viewed. Although the steering wheel movements did not actually affect the scene, the participants were asked to turn the wheel to follow the curves of the road as closely as possible. We made two predictions. First, the RM effect should be more pronounced for experienced drivers than for inexperienced ones. Second, the RM effect should be more pronounced for participants involved in the action than for uninvolved ones.

Method

Participants

Fifty-seven participants took part in the experiment. They were divided into four groups: two groups of inexperienced drivers who did not have their driver's license, and two groups of experienced drivers who had been driving regularly for a number of years (for 10 years at least). The first group included 14 inexperienced drivers who were assigned to the low-involvement condition (average age: 22.1 years, SD: 2.63). The second group contained 14 inexperienced drivers who were assigned to the high-involvement condition (average age: 21.55 years, SD: 4.67). The third group consisted of 16 experienced drivers who were assigned to the low-involvement condition (average age: 47.65 years, SD: 10). The fourth group was made up of 13 experienced drivers who were assigned to the high-involvement condition (average age: 44.3 years, SD: 6.91)⁵.

⁵ Note that in the present experiment (as in many studies on expertise), the age of the participants covaried with expertise. However, while nearly every study on age-related effects on cognition has found a decline or at least stability with aging, in our previous experiment (Blättler et al, in press) our older participants anticipated more than the younger ones. The anticipation advantage acquired with the development of expertise may compensate for the deleterious effects of age generally observed (e.g., Rozencwajg, Lemoine, Rolland-Grot, & Bompard, 2005). In Addition, DeLucia and Mather (2006) showed that age tended to slow down the extrapolation of motion. However, in their study, the older participants (mean age 58) were much older than the experienced drivers in our study. Furthermore, age-linked cognitive declines have mainly been demonstrated in individuals age 50 or older (Kausler, 1991; Salthouse, 1982).

Materials

The driving scenes were filmed with a digital camera (see Figure 1). The video montage was done using Pinnacle Studio Plus Version 10 software. The experiment was run on a Dell Latitude 120L portable computer. Thirty-two scenes were filmed (24 frames/second) corresponding to 16 different scenes of leftward curves and 16 different scenes of rightward curves. The car was always moving at a speed of 60 km/hr. Each scene (occurring in a different place) was used to generate 9 videos that differed only in the size of the shift (-16 m, -12 m, -8 m, -4 m, 0 m, +4 m, +8 m, +12 m, +16 m). In each video, a black screen lasting 250 ms (interstimulus interval or ISI) was inserted after 3 seconds of the video for half of the scenes, and after 3.5 seconds of the video for the other half. Following this interruption, the video resumed in one of nine conditions. In the normal-resumption condition, the video started back up exactly where it had been cut, i.e., the first image after the cut was identical to the last image before the cut (hereafter called the "standard frame"). In the forward-shift conditions, the video resumed at a point corresponding to +4 m, +8 m, +12 m, or +16 m past the location where the car was last seen (+4 m is the distance the car would travel in 250 ms at a speed of 60 km/hr). In the backward-shift conditions, the video resumed -4 m, -8 m, -12 m, or -16 m behind the interruption point. Participants assigned to the low-involvement condition answered with keystrokes. Participants assigned to the high-involvement condition answered with two buttons located behind the steering wheel (i.e., participants answered without removing hands of the steering wheel). After the cut, the video continued either until the participant responded or for 10 seconds, whichever came first.

Procedure

The experiment was run in two phases: a task-familiarization phase, followed by the experimental phase. Before the familiarization phase, the experimenter gave the participants the following instructions:

- * *Low-involvement condition.* "You are going to see driving scenes showing curved roads. After a short while, the video will be stopped briefly. Upon resumption of the

Etude 3 : The Role of Expertise and Action in Motion Extrapolation

video, the location of the car on the road will be different. Either the car will have moved forward (forward shift) or the car will have moved backward (backward shift). Your task will be to indicate whether the car has shifted forward or backward." After reading the instructions, the participant was shown a right-curve scene (in all 9 resumption conditions) and a left-curve scene (in all 9 resumption conditions). These two scenes were not presented in the experimental phase.

- * *High-involvement condition.* "You're going to see driving scenes showing curved roads. You will have to follow the curve with the steering wheel. Please note that you will not see the effect of your steering on the action, but your steering movements will be recorded and compared to the actual trajectory of the car. After a short while, the video will be stopped briefly. Upon resumption of the video, the location of the car on the road will be different. Either the car will have moved forward (forward shift) or the car will have moved backward (backward shift). Your task will be to indicate whether the car has shifted forward or backward." After reading the instructions, the participant was shown a right-curve scene (in all 9 resumption conditions) and a left-curve scene (in all 9 resumption conditions). These two scenes were not presented in the experimental phase. Before each video began, a message was displayed asking the participant to center the wheel. After each response, bogus feedback on trajectory-following performance was given. As the trials progressed, the feedback indicated a gradual improvement in performance. For example, after the participant's first response "Average difference of 14°" was displayed on the screen". After the last response, "Average difference of 6°" was displayed.

After the familiarization phase, the experimental phase began. Thirty scenes each with 9 videos (making for a total of 270 videos) were presented in random order to each participant.

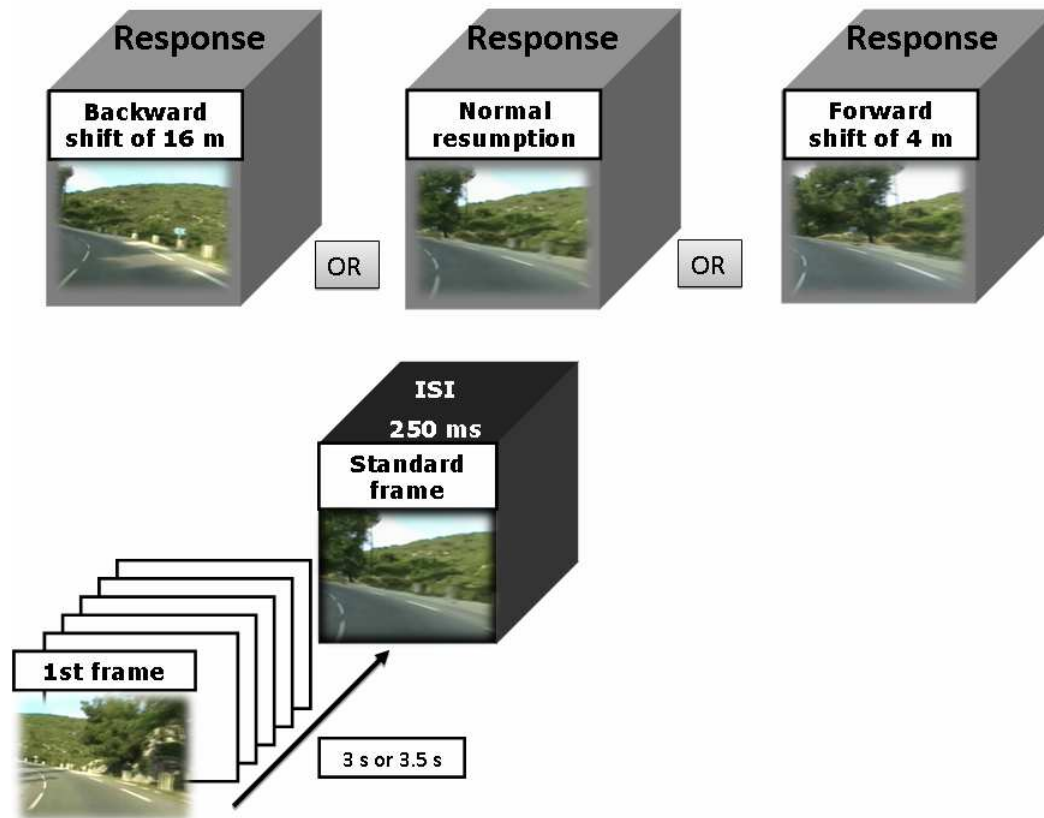


Figure 1. Experimental procedure. Participants watched a video for 3 s or 3.5 s. Then the video was stopped for 250 ms and started back up again after a shift forward (top left: example of a forward shift of 4 meters), in exactly the same position (top middle), or after a shift backward (top right: backward shift of 16 meters).

Results

Analysis of RM Magnitude

To assess the RM magnitude, we computed the point of subjective equality (PSE) for each subject. This point is the theoretical value of the stimulus that the participant considers to be subjectively equal to a standard. It indicates the point of maximal uncertainty. This measure was computed by fitting sigmoid curves (Figure 2) to the responses of each participant. Each PSE was calculated from this curve by taking all responses of that participant into account. A positive PSE indicated an RM effect. PSEs are shown in Table 1.

Etude 3 : The Role of Expertise and Action in Motion Extrapolation

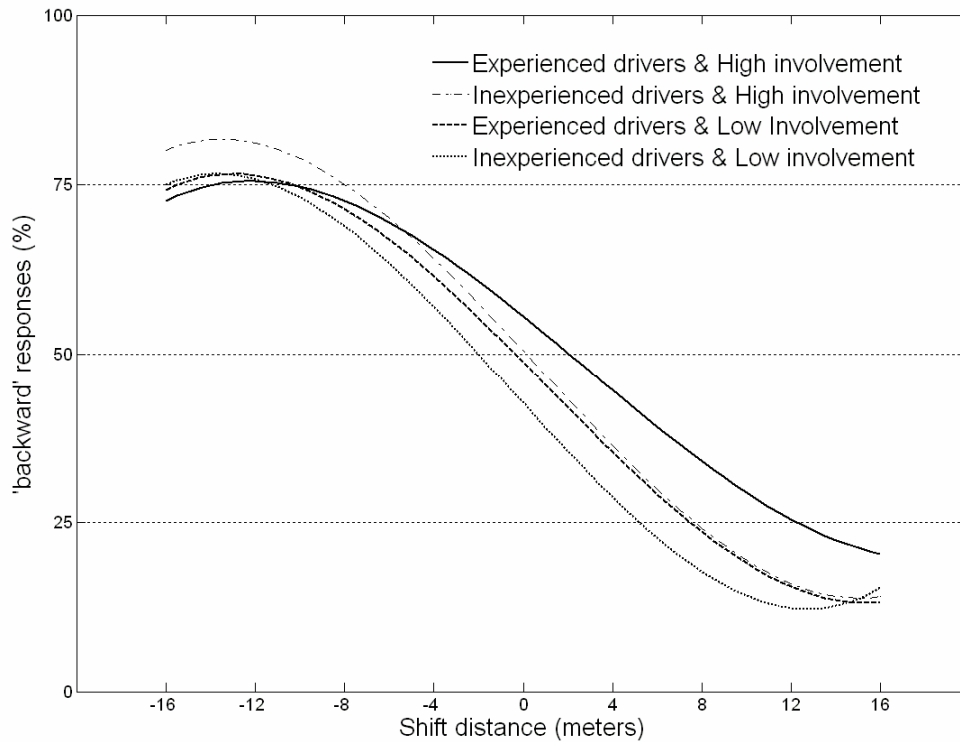


Figure 2 : Percentage of "backward" responses, by expertise level, implication level, shift direction, and shift distance

Table 1. PSEs of each group depending on the involvement in action and driving experience

		Involvement		Mean
		<i>Low</i>	<i>High</i>	
Expertise	<i>Inexperienced</i>	-2.14	-0.16	-1.15
	<i>Experienced</i>	-0.22	3.62	1.7
Mean		-1.18	1.73	

The mean PSE of experienced drivers assigned to the high-involvement condition (mean : 3.62 meters ; SD : 5.88 meters) was significantly greater than zero ($t(12) = 2.21$; $p < .05$). The mean PSEs of experienced drivers assigned to the low-involvement condition (mean : -0.22 meters; SD : 2.99 meters) and of inexperienced drivers assigned to the high-involvement condition (mean : -0.16 meters ; SD : 3.63 meters) were not significantly different from zero ($t(15) < 1$; $p = .7$ et $t(13) < 1$; $p = .8$). The mean PSE of inexperienced drivers assigned to the low-involvement condition was significantly lower than zero ($t(13) = 2.57$; $p < .05$).

Etude 3 : The Role of Expertise and Action in Motion Extrapolation

An ANOVA was conducted on the PSEs, with driving expertise (inexperienced vs. experienced) and extent of involvement (low vs. high) as between-participant factors. The expertise effect was significant [$F(1, 53) = 7.17$; $MSE = 115.47$; $p < .01$], as well as the involvement effect [$F(1, 53) = 7.47$; $MSE = 120.37$; $p < .01$]. The interaction between these two factors was non significant [$F(1, 53) < 1$; $MSE = 12.38$, $p = .3$]. Thus, experienced drivers demonstrated a greater RM effect than inexperienced ones did, and participants who were more involved in the action exhibited a larger RM effect than the less-involved ones.

In summary, when the video resumed in a forward direction, the more the participants are experienced in driving, and the more they are involved in action, the more they have trouble to detect the forward shift. These two factors, expertise and involvement in action seem independent

Discussion

This study had two main objectives: confirm that RM is sensitive to expertise in the domain of automobile driving, and determine whether the RM effect can be modulated by participant involvement in the action. The results showed that for the natural dynamic scenes we used, both dimensions, expertise and involvement in the action, modulate the RM.

These results confirm those obtained by Thornton and Hayes (2004), who used synthesized automobile-driving scenes to demonstrate an RM effect not only in situations where participants were watching a scene containing a moving object or objects, but also in ones where the participants were an integral part of the movement (see also DeLucia & Maldia, 2006). Our results are also consistent with those we obtained in a previous study (Blättler et al., in press) about the effect of driving experience on the magnitude of the RM effect. It seems that the more experienced the driver is, the harder it is for him/her to see actual forward shifts. It is as if the participants -- especially the most experienced drivers -- had already anticipated the next stage of the scene at the moment when the video was interrupted. It could be that the newly presented scene (which in fact corresponded to a forward shift) seemed familiar for this reason. In short, expert knowledge seems to have an impact on anticipation processes in dynamic-scene processing. These results extend earlier findings obtained in the few studies demonstrating RM modulation by domain-specific conceptual knowledge of the

moving object (Vinson & Reed, 2002). They also show, as noted in certain models of expert memory (for a review, see Gobet, Lane, Croker, Cheng, Olivier, & Pine, 2001), that expert perception of scenes differs from that of novices right from the perceptual encoding phase.

In addition, the results we obtained show that when the participants were involved in the action, the RM effect was more pronounced. For experienced participants and novices alike, the RM effect was stronger when they were asked to follow the movement of the vehicle with the steering wheel, even though this action had no impact on the visual scene. We can conclude that some knowledge implied in the involvement in action has an impact on the RM. This corroborates results obtained in other contexts (e.g., Jordan & Hunsinger, 2008; Wexler & Klam, 2001).

RM seems to be an adaptive perception-action linking process induced by neural transmission (Hubbard, 2005, 2006). As shown by Freyd (1983), a photograph of an action (e.g, a person jumping) is perceived as an action. Indeed, participants seem to encode the spatial position of what they see in the state it will be in a few moments later, i.e., they shift it in the direction of the current action. It seems that action schemas present in long-term memory might be elicited when scenes referring to an action are being encoded. Kerzel and Gegenfurtner (2003) obtained results that support this idea. These authors compared the performance of participants on two RM tasks carried out in a dark room. In the first task, participants had to touch the area of the scene where they thought a moving target would vanish. These participants were thus able to use visuo-cognitive and visuo-motor information (retinotopic spatial coordinates and egocentric spatial coordinates, respectively). In another task (same/different paradigm, see Freyd & Finke, 1984), the participants did not have visuo-motor information at their disposal. The results showed that the participants who could rely on both visuo-cognitive and visuo-motor information exhibited a larger RM effect than the ones who had only visuo-cognitive information. In our study, the high-involvement participants may therefore have used both visuo-cognitive and visuo-motor information, while the low-involvement participants probably relied less on visuo-motor information.

One of the most interesting and surprising results of this research is that only one group among the four experimental groups we have compared shows a significant positive RM effect. It is even more surprising to see that novices with low involvement in the driving task show a significantly negative PSE. These results are surprising because in our previous study (Blättler et al, 2010) a significant positive RM effect was observed for all participants.

Etude 3 : The Role of Expertise and Action in Motion Extrapolation

However, these results may be consistent with the Freyd and Johnson's two-component model (1987). The authors assessed the time course of the RM effect after the disappearance of a moving target. Their research uses the paradigm of Freyd and Finke (1984) which presents the induction of rotation of a rectangle. As usual, results show that the amplitude of the RM effect increases with the length of the retention interval. However, instead of reaching some asymptotic value, the memory shift then decreases with retention interval. The authors suggest that two processes may affect the memory distortion effects: a first representational momentum process which acts immediately and a second one attributable to memory averaging effects, which dominates at longer intervals. Memory averaging consists of a combination of different spatial positions of the target before its disappearance that is to say an averaged spatial position. Thus the spatial representation of the target derived from the mean position of the target would lead to a greater memory shift in the direction opposite to the implied motion. So two competing effects would be at play: a positive memory shift attributable to representational momentum, which dominates at short intervals, and a negative shift attributable to memory averaging effects, which dominates at longer intervals. It is the process that would benefit of the strongest activation that would take priority over the other. In our experiments, if some features may impede the RM process, then, it would be the process of memory averaging that would receive the strongest activation (see also Hubbard, 1996). This may raise a number of questions about the material we used in this study. In our previous study only segments of straight roads were used. In the present study, the road sections were curved (to help the participants get involved in action). With straight roads, observers can see far ahead and quickly pick up elements of the scene, whereas with curved roads, this is not so easy. The angle of the curves we used in our study were not wide enough for the participants to see the end of the curve. Accordingly, new information has to be gradually added as the video proceeds. It is possible that too much information at the same time may hinder the RM process. This hypothesis seems a promising way to understand more deeply how RM is part of the representation of real dynamic situations in which a lot of information has to be considered.

Our results confirm that the RM effect can be modulated by the level of expertise of the participants (here, driving experience), and by their involvement in action. Clearly, these results show that subtle relations between perception and action are at play. It seems that the more experienced drivers are and the more involved in the action they are, the larger the RM effect. The Theory of Event Coding (TEC) developed by Hommel, Müssler, Ashersleben, and

Prinz (2001) may be a relevant framework for interpreting our data. This theory postulates "that perceptual and action plans are coded in a common representational medium by feature codes with distal reference. Accordingly, perceived events (perceptions) and to-be-produced events (actions) are equally represented by integrated, task-tuned networks of feature codes — cognitive structures we call event codes". In our minds, however, we still need to determine how to operationalize these "event codes", and to find out how they are linked to the expertise-based acquisition of integrated representation structures, such as strategic perceptual chunks for example (Gobet, & Simon, 1996).

References

- Blättler, C., Ferrari, V., Didierjean, A., Van Elslande, P., & Marmeche, E. (in press). Can Expertise Modulate Representational Momentum. *Visual Cognition*.
- DeLucia, P. R., & Mardia, M. M. (2006). Visual memory for moving scenes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(2), 340-360.
- DeLucia, P.R., & Mather, R.D. (2006). Motion extrapolation of car-following scenes in younger and older drivers. *Human Factors*, 48, 666-674.
- Finke, R. A., Freyd, J. J., & Shyi, G. C. (1986). Implied velocity and acceleration induce transformations of visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115(2), 175-188.
- Freyd, J. J. (1983). The mental representation of movement when static stimuli are viewed. *Perception & Psychophysics*, 33(6), 575-581.
- Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1984). Representational Momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10(1), 126-132.
- Freyd, J. J., & Finke, R. A. (1985). A velocity effect of representational momentum. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 23(6), 443-446.
- Freyd, J. J., & Johnson, J. Q. (1987). Probing the time course of representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(2), 259-268.
- Freyd, J.J., Pantzer, T.M., & Cheng, J.L. (1988). Representing statics as forces in equilibrium. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 395-407.
- Gobet, F., Lane, P. C., Croker, S., Cheng, P. C., Jones, G., Oliver, I., et al. (2001). Chunking mechanisms in human learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(6), 236-243.

Etude 3 : The Role of Expertise and Action in Motion Extrapolation

- Gobet, F., & Simon, H. A. (1996). Templates in chess memory: a mechanism for recalling several boards. *Cognitive Psychology*, 31(1), 1-40.
- Halpern, A. R., & Kelly, M. H. (1993). Memory biases in left versus right implied motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(2), 471-484.
- Hommel, B., Musseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The Theory of Event Coding (TEC): a framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(5), 849-878; discussion 878-937.
- Hubbard, T. L. (1990). Cognitive representation of linear motion: possible direction and gravity effects in judged displacement. *Memory & Cognition*, 18(3), 299-309.
- Hubbard, T.L. (1996). Displacement in depth: representational momentum and boundary extension. *Psychological Research*, 59(1), 33-47.
- Hubbard, T. L. (2005). Representational momentum and related displacements in spatial memory: A review of the findings. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 822-851.
- Hubbard, T. L. (2006). Bridging the Gap: Possible Roles and Contributions of Representational Momentum. *Psicológica*, 27, 1-31.
- Jordan, J.S., & Hunsinger, M. (2008). Learned patterns of action-effect anticipation contribute to the spatial displacement of continuously moving stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(1), 113-124.
- Kausler, D. H. (1991). *Experimental Psychology, Cognition, and Human Aging*. New York: Springer-Verlag.
- Kelly, M. H., & Freyd, J. J. (1987). Explorations of representational momentum. *Cognitive Psychology*, 19(3), 369-401.
- Kerzel, D., & Gegenfurtner, K. R. (2003). Neuronal processing delays are compensated in the sensorimotor branch of the visual system. *Current Biology*, 13(22), 1975-1978.
- Munger, M. P., Owens, T. R., & J.E., C. (2005). Are boundary extension and representational momentum related? *Visual Cognition*, 12(6), 1041-1056.
- Munger, M. P., Solberg, J. L., & Horrocks, K. K. (1999). The relationship between mental rotation and representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(6), 1557-1568.
- Nagai, M., & Yagi, A. (2001). The pointedness effect on representational momentum. *Memory & Cognition*, 29, 91-99.

Etude 3 : The Role of Expertise and Action in Motion Extrapolation

- Rozenchwajg, P., Lemoine, C., Rolland-Grot, M., Bompard, A. (2005). Combined effects of age and job experience on spatial abilities: the case of air-traffic controllers. *Psychologie du Travail et des Organisations*, 11, 47-57.
- Salthouse, T.A. (1982). *Adult cognition: An experimental psychology of human aging*. New York: Springer-Verlag.
- Thornton, I. M., & Hayes, A. E. (2004). Anticipating action in complex scenes. *Visual Cognition*, 11(2/3), 341-370.
- Vinson, N. G., & Reed, C. L. (2002). Sources of Object-Specific Effects in Representational Momentum. *Visual Cognition*, 9(1/2), 41-65.
- Wexler, H. R., & Klam, F. (2001). Movement prediction and movement production. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 48-64.
- Wexler, M., Kosslyn, S. M., & Berthoz, A. (1998). Motor processes in mental rotation. *Cognition*, 68(1), 77-94.