



UNIL | Université de Lausanne

Unicentre

CH-1015 Lausanne

<http://serval.unil.ch>

Year : 2015

ROTATION MENTALE ET DIFFERENCES SEXUELLES: INFLUENCE DES AXES DIRECTIONNELS EXTRAITS DE L'ENVIRONNEMENT

DEVAUD CEDRIC

DEVAUD CEDRIC, 2015, ROTATION MENTALE ET DIFFERENCES SEXUELLES: INFLUENCE
DES AXES DIRECTIONNELS EXTRAITS DE L'ENVIRONNEMENT

Originally published at : Thesis, University of Lausanne

Posted at the University of Lausanne Open Archive <http://serval.unil.ch>

Document URN : urn:nbn:ch:serval-BIB_627E78B2F1EE3

Droits d'auteur

L'Université de Lausanne attire expressément l'attention des utilisateurs sur le fait que tous les documents publiés dans l'Archive SERVAL sont protégés par le droit d'auteur, conformément à la loi fédérale sur le droit d'auteur et les droits voisins (LDA). A ce titre, il est indispensable d'obtenir le consentement préalable de l'auteur et/ou de l'éditeur avant toute utilisation d'une oeuvre ou d'une partie d'une oeuvre ne relevant pas d'une utilisation à des fins personnelles au sens de la LDA (art. 19, al. 1 lettre a). A défaut, tout contrevenant s'expose aux sanctions prévues par cette loi. Nous déclinons toute responsabilité en la matière.

Copyright

The University of Lausanne expressly draws the attention of users to the fact that all documents published in the SERVAL Archive are protected by copyright in accordance with federal law on copyright and similar rights (LDA). Accordingly it is indispensable to obtain prior consent from the author and/or publisher before any use of a work or part of a work for purposes other than personal use within the meaning of LDA (art. 19, para. 1 letter a). Failure to do so will expose offenders to the sanctions laid down by this law. We accept no liability in this respect.

Faculté des Sciences Sociales et Politiques
Institut de Psychologie
Laboratoire de Recherche Expérimentale sur le Comportement (LERB)

ROTATION MENTALE ET DIFFERENCES SEXUELLES:
INFLUENCE DES AXES DIRECTIONNELS
EXTRAITS DE L'ENVIRONNEMENT

THESE DE DOCTORAT

présentée à la

Faculté des SSP
de l'Université de Lausanne

pour l'obtention du grade de

Docteur en Psychologie

par

CEDRIC DEVAUD

Directrice de thèse
Professeure Catherine Brandner

Lausanne

2015

Faculté des Sciences Sociales et Politiques
Institut de Psychologie
Laboratoire de Recherche Expérimentale sur le Comportement (LERB)

ROTATION MENTALE ET DIFFERENCES SEXUELLES:
INFLUENCE DES AXES DIRECTIONNELS
EXTRAITS DE L'ENVIRONNEMENT

THESE DE DOCTORAT

présentée à la

Faculté des SSP
de l'Université de Lausanne

pour l'obtention du grade de

Docteur en Psychologie

Par

CEDRIC DEVAUD

Directrice de thèse
Professeure Catherine Brandner

Lausanne

2015



UNIL | Université de Lausanne

Faculté des sciences
sociales et politiques

IMPRIMATUR

Le Conseil de la Faculté des sciences sociales et politiques de l'Université de Lausanne, sur proposition d'un jury formé des professeurs

- Catherine BRANDNER, directrice de thèse, Professeure à l'Université de Lausanne
- Pierre LAVANEX, Professeur à l'Université de Lausanne
- Michel DENIS, Professeur à l'Université Paris Sud
- Roland MAURER, Maître d'enseignement et de recherche à l'Université de Genève

autorise, sans se prononcer sur les opinions du candidat, l'impression de la thèse de Monsieur Cédric DEVAUD, intitulée :

**«Rotation mentale et différences sexuelles: influence des axes
directionnels extraits de l'environnement»**

Lausanne, le 12 août 2015

Le Doyen de la Faculté

Professeur
Jean-Philippe Leresche

Résumé

Les tâches nécessitant des manipulations et des transformations de figures géométriques et de formes, comme les tâches de rotation mentale, donnent lieu à des différences de performance entre hommes et femmes qui restent intrigantes. Plusieurs hypothèses ont été proposées pour expliquer ces différences. La plus récurrente porte sur les différences de stratégie globale vs locale utilisées pour traiter l'information. Bien que cette conjecture soit intéressante, elle reste difficile à opérationnaliser car elle englobe tous les mécanismes cognitifs (acquisition, conservation et récupération de l'information). Ce travail prend la forme d'un retour aux sources dans la mesure où il se base sur des recherches anciennes qui ont montré que les hommes perçoivent significativement mieux que les femmes la verticale et l'horizontale. Il teste l'hypothèse selon laquelle les hommes, comparativement aux femmes, présentent une plus forte indépendance au champ perceptif visuel et sont donc plus susceptibles d'utiliser la verticalité et l'horizontalité pour résoudre une tâche de rotation mentale. Une première série d'expériences s'est penchée sur la perception spatiale pour évaluer son impact sur la résolution d'une tâche impliquant la rotation mentale. Les résultats ont montré que seuls les hommes se référaient à la verticalité et à l'horizontalité pour résoudre la tâche. Une seconde série d'expériences ont investigué l'effet de la présence, ou absence, d'axes directionnels directement liés à une tâche de rotation mentale. Elles ont été menées également en environnement réel afin d'évaluer comment le déplacement actif ou passif, correspondant à un changement de perspective en lieu et place d'une rotation mentale, module la performance des hommes et des femmes. Les résultats n'ont pas mis en évidence de différence sexuelle. Notre hypothèse est vérifiée puisque c'est uniquement lorsque la tâche ne présente pas d'axes orthogonaux évidents mais implicites que seuls les hommes, plus indépendants au champ perceptif visuel que les femmes, utilisent la perception de la verticalité et de l'horizontalité pour améliorer leur compétence en rotation mentale.

Abstract

Tasks that require manipulation and transformation of geometric shapes and forms, like tasks of mental rotation and give rise to differences in performance between men and women, remain intriguing. Several hypotheses have been proposed to explain these differences. The most recurring hypothesis addresses differences in global versus local strategies for processing information. While this conjecture is interesting, it remains difficult to study because it encompasses all the cognitive mechanisms (acquisition, retention and output). This work returns to the sources, which are based on earlier research that shows that men are significantly better than women at perceiving verticality and horizontality. It tests the hypothesis according to which men, as compared to women, exhibit a greater independence on the perceptive visual field, and therefore are more susceptible to utilizing the verticality and the horizontality to solve a mental rotation task. A first set of experiments examined spatial perception in order to assess its impact on the resolution of a task involving mental rotation. The results showed that only men referred to the verticality and the horizontality to solve the task. A second series of experiments investigated the effect of a presence, or absence of directional axes directed tied to the task of mental rotation. They were also conducted in a real world environment to evaluate how the active or passive displacement, corresponding to a change in perspective instead of a mental rotation, modulates the performance of men and women. The results did not show sex differences. Our hypothesis is verified: it is only when the task presents no obvious, but implicit orthogonal axes that men, who exhibit a greater independence on the perceptive visual field than women, use the perception of verticality and horizontality to improve their competence in mental rotation.

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier ma directrice de thèse, la Professeure Catherine Brandner sans qui rien de tout cela n'aurait pu aboutir. Toujours disponible en cas de besoin, elle a su trouver la patience pour m'accompagner durant ces années. Plus qu'une directrice de thèse, elle a su être un guide en trouvant toujours les mots pour m'encourager mais également pour m'aiguiller sur ce long chemin. Je la remercie du fond du cœur d'avoir finalement accepté ce manuscrit imparfait après une infinité de corrections. Au-delà de l'aspect académique, j'ai eu la chance de connaître ses innombrables qualités humaines dont je voudrais rendre hommage.

Sans ma femme Esther, je n'aurais également jamais trouvé la force pour terminer ce travail. Elle a su supporter mes sauts d'humeur et surtout elle a constamment été à mes côtés pour m'encourager et pour croire en moi. Un clin d'œil spécial pour mon fils Aharon qui, par ses sourires et sa bonne humeur, a régulièrement contribué à «recharger mes batteries». Il me faut également rajouter d'autres clins d'œil à Matan et à Méïr nés entre la première version et cette version finale.

Merci également aux membres du jury pour leur patience lors de cette longue phase de correction.

Table des matières

I.	INTRODUCTION	1
II.	FONDEMENTS THEORIQUES	5
II.1	Le concept de rotation mentale	7
II.2	Perception spatiale et rotation mentale	16
II.3	Rotation mentale, perception spatiale et différences sexuelles	18
II.4	Objectifs et hypothèses	23
III.	APPROCHE EXPÉRIMENTALE	25
	INTRODUCTION GÉNÉRALE	27

PARTIE 1: DISCRIMINATION DE ROTATIONS DE STIMULI GÉOMÉTRIQUES: EFFET DE L'ALIGNEMENT DE L'HORIZONTALE ET DE LA VERTICALE

1.	Introduction	29
2.	Expérience 1	32
2.1.	Méthodes	33
2.2.	Procédure expérimentale	34
2.3.	Résultats	35
2.4.	Discussion	40
3.	Expérience 2	41
3.1.	Méthodes	41
3.2.	Procédure expérimentale	42
3.3.	Résultats	42
3.4.	Discussion	43
4.	Expérience 3	45
4.1.	Méthodes	45
4.2.	Procédure expérimentale	46
4.3.	Résultats	46
4.4.	Discussion	49
5.	Discussion générale	50

**PARTIE 2: RECONNAISSANCE DE LA LOCALISATION DE PAIRES D'OBJETS APRÈS ROTATION:
EFFET DE LA PRÉSENCE D'UN PLAN ORTHOGONAL AVEC OU SANS CHANGEMENT DE
PERSPECTIVE**

A. SANS CHANGEMENT DE PERSPECTIVE

1. Introduction	55
2. Méthodes	58
3. Procédure expérimentale	60
4. Résultats	61
4.1 Présence du damier et du cadre de l'ordinateur	61
4.2 Présence uniquement du cadre de l'ordinateur	63
4.3 Absence du cadre de référence (damier et ordinateur)	65
4.4 Effet du cadre de référence sur le sexe	67
5. Discussion générale	69

B. AVEC CHANGEMENT DE PERSPECTIVE

1. Introduction	73
2. Méthodes	76
3. Procédure expérimentale	78
4. Résultats	80
4.1 Déplacement actif du participant et présence du damier	80
4.2 Déplacement actif du participant et absence du damier	81
4.3 Déplacement passif (présence ou absence du damier)	83
4.4 Effet du déplacement du participant	85
5. Synthèse des résultats	89
6. Discussion générale	91

IV. DISCUSSION GENERALE	95
-------------------------	----

V. CONCLUSION	101
---------------	-----

VI. REFERENCES	105
----------------	-----

I. INTRODUCTION

Lorsque nous parcourons la littérature scientifique sur les différences sexuelles en psychologie cognitive, nous voyons apparaître très souvent le terme de rotation mentale. La plupart des études montrent en effet que les différences sexuelles sont les plus importantes dans les tâches de rotation mentale. Cependant le terme de rotation mentale paraît peu clair et il est difficile de savoir quels sont les processus réellement impliqués dans ce phénomène et ce qui varie entre les hommes et les femmes. Il nous paraît important dans ce travail de revenir à une définition précise de ce concept en vue de mieux comprendre les différences sexuelles habituellement observées. La plupart des études dans ce domaine proposent l'hypothèse d'une différence de traitement de l'information entre les hommes et les femmes. Les hommes traiteraient l'information de manière plus globale que les femmes qui auraient un traitement plus détaillé. Cette hypothèse explicative reste peu précise et nous pensons qu'il serait intéressant d'aborder les différences sexuelles en rotation mentale en utilisant d'autres théories explicatives sur les différences sexuelles issues du domaine de la perception spatiale, comme l'ont suggéré certaines anciennes recherches menées sur le sujet. Dans ce travail, nous voulons analyser l'impact éventuel de la perception spatiale sur le processus de rotation mentale. Les stratégies mises en évidence dans les tâches de perception spatiale, comme les notions de dépendance et d'indépendance au champ perceptif visuel, nous semblent plus précises que celles mises en avant dans les tâches de rotation mentale (traitement global vs local de l'information) et pourraient mieux nous éclairer pour comprendre les différences sexuelles observées en rotation mentale.

Pour ce faire, nous avons développé toute une série d'expériences originales en variant principalement la position des stimuli cibles tout comme la présence ou l'absence d'un cadre de référence composé d'axes directionnels. Ces expériences utilisent des procédures expérimentales simplifiées avec des stimuli ou des images bidimensionnelles. La première partie de ce travail est composée de trois expériences. Elles consistent en une tâche de discrimination entre des stimuli mémorisés et des stimuli leurres, correspondant à la rotation des stimuli cibles autour d'un axe vertical ou horizontal suggéré mais non visible par les participants. Nous voulons tester l'influence de la perception de la verticalité et de l'horizontalité sur une tâche de rotation mentale. Dans la seconde partie de ce travail, six autres expériences sont conduites avec une tâche combinant rotation mentale et mémoire de la position de huit paires d'images identiques réparties autour d'un point de fixation. Ces paires d'images subissent ou non une rotation orthogonale et les participants doivent identifier si deux localisations mises en évidence correspondent à une paire d'images identiques ou non. Nous manipulons la présence ou l'absence du cadre de référence représenté par un damier composé de lignes orthogonales. Nous voulons vérifier si la présence d'un tel cadre de référence a une influence sur les différences sexuelles

généralement observées en rotation mentale. En d'autres termes, nous voulons vérifier si la présence au sein du dispositif expérimental d'un cadre de référence améliore la performance des participants. Ces dernières expériences sont menées également en environnement réel avec déplacement actif ou passif des participants, c'est-à-dire avec un changement de perspective en lieu et place de la rotation mentale, et ceci pour vérifier comment cela module les différences sexuelles. En effet, lorsque nous nous déplaçons, nous utilisons différents systèmes sensoriels (comme par exemple le système vestibulaire ou proprioceptif) pour mettre à jour les informations spatiales de l'environnement. L'utilisation de ces systèmes peut jouer un rôle dans la compréhension des différences sexuelles dans ces tâches de cognition spatiale.

Nous analyserons l'ensemble des résultats d'un point de vue comportemental (reconnaissance correcte et temps de réponse correcte) ainsi qu'avec la théorie de la détection du signal (indice d' et c -biais) pour évaluer les profils décisionnels des participants. L'ensemble des résultats seront groupés et analysés selon les théories en rotation mentale et celles en perception spatiale pour voir le lien existant entre ces deux processus afin de mieux comprendre les différences sexuelles.

II. FONDEMENTS THEORIQUES

1. Le concept de rotation mentale

Lorsque nous observons une image en deux dimensions d'un objet du quotidien, nous sommes capables de le reconnaître quelle que soit son orientation (Shepard & Metzler, 1971). Par exemple, nous sommes capables de reconnaître d'un simple coup d'œil une voiture illustrée sur un journal que lit notre voisin. Cette capacité dépendrait de notre habileté à changer mentalement l'orientation d'un stimulus afin de le faire correspondre à l'orientation canonique dudit objet. En d'autres termes, lorsque nous voyons un objet dans une position inhabituelle (voiture à l'envers), nous sommes capables de modifier mentalement la position spatiale dudit objet observé pour le faire correspondre à la position que nous connaissons habituellement de cet objet (voiture reposant sur ses quatre roues). Ce changement d'orientation correspond à ce que l'on appelle la «rotation mentale» (Corballis, Nagourney, Shetzer, & Stefanatos, 1997; Shepard, 1984). Ce même processus est utilisé dans certains jeux vidéo comme «Tétris» où le joueur doit positionner des formes géométriques de sorte à les emboîter rapidement et correctement entre elles. La rotation mentale n'est pas un processus cognitif unitaire mais regroupe plusieurs compétences cognitives, comme par exemple les transformations et réorganisations géométriques, les processus mnésiques ou encore les processus de décision (Johnson, 1990; Kaufman, 2006; Voyer, Voyer, & Bryden., 1995). De nombreuses recherches se sont penchées sur le concept de rotation mentale. Les expériences de Shepard et Metzler (1971) ont utilisé des paires d'objets tridimensionnels, qui ne possédaient pas d'orientation canonique (assemblage de cubes). Pour chaque paire, l'image de gauche subit une rotation soit dans le plan, soit en profondeur, ou correspond à une image miroir du stimulus témoin. Pour le participant, la tâche consiste à déterminer le plus rapidement possible si les deux images sont identiques, ou si l'image de gauche a subi une transformation géométrique (Figure 1).

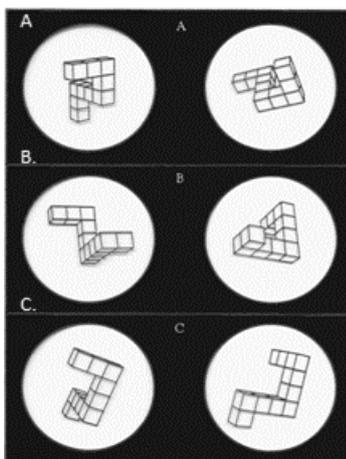


Figure 1:

A. Objets identiques qui diffèrent par rotation dans le plan de la page

B. Objets identiques qui diffèrent par rotation en profondeur

C. Image miroir de l'objet

La tâche consiste à déterminer le plus rapidement possible si l'objet cible (à gauche) est identique à celui de droite ou s'il s'agit d'une image miroir (C)

(Shepard, R.N. Metzler, J. (1971). Mental rotation of three dimensional objects. *Science*, 171, 701-703).

La plupart des études contemporaines utilisent l'adaptation papier crayon de la tâche de rotation mentale de Shepard et Metzler (1971) popularisée par Vandenberg et Kuse (1978). Dans cette tâche, l'image témoin est placée à gauche et doit être comparée à cinq images tests placées sur une ligne. Il existe toujours deux bonnes réponses par ligne. Le test comporte vingt lignes (cinq lignes par page). Pour la moitié des items, les figures erronées sont des rotations de l'image en miroir du modèle, tandis que l'autre moitié est constituée de rotations d'une ou de deux autres structures (Figure 2). La tâche du participant consiste à indiquer les deux images correspondant au modèle.

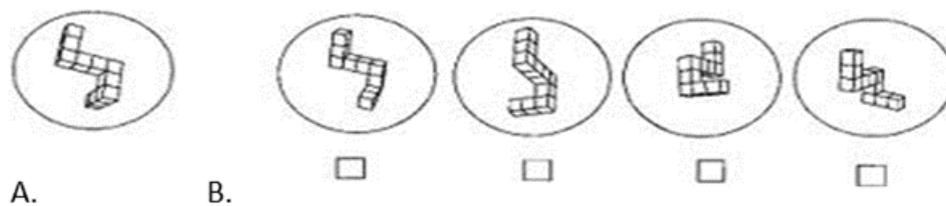


Figure 2. A. A gauche, l'image cible. B. A droite, les stimuli à comparer. Les participants doivent indiquer à l'aide d'une croix les deux stimuli qui sont semblables au modèle présenté à gauche. (Vandenberg, S.G., Kuse, A.R.. (1978). Mental Rotations, A Group Test of Three-Dimensional Spatial Visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 599-604)

Ces études ont montré que le temps de réponse correcte augmente proportionnellement à la disparité angulaire entre l'objet témoin et l'échantillon. Les résultats obtenus sont à l'origine de l'hypothèse selon laquelle la tâche s'effectue par la formation d'une image mentale tridimensionnelle de l'un des objets, laquelle est ensuite tournée (rotation mentale) jusqu'à ce qu'elle coïncide avec l'objet témoin. Cependant, ce résultat n'est observé que lorsque la rotation a lieu dans le plan formé par les axes x et y, et non pas selon le plan en profondeur formé par les axes x et z ou y et z. Le témoignage oral des participants, après avoir effectué l'expérience, confirme l'utilisation d'une stratégie consistant à effectuer une rotation mentale de l'un des deux objets afin de le faire correspondre avec l'autre pour ensuite les comparer. En d'autres termes, selon Shepard et Metzler (1971), le processus mental en jeu lors de la rotation mentale est un processus analogue au «processus physique», c'est-à-dire que le participant effectue mentalement la rotation de la même manière qu'il effectuerait la rotation dans le monde réel. Un processus analogue pourrait donc être à l'origine de l'augmentation du temps de réponse avec la disparité angulaire du stimulus à comparer. Lorsque le participant doit comparer les deux images, il effectue mentalement la rotation de l'image présentée pour la comparer avec l'image cible. Si la différence angulaire entre les deux images est petite, il parvient à comparer rapidement et efficacement ces deux images. Cependant, lorsque la disparité angulaire est importante, la difficulté augmente et le participant doit passer par des orientations intermédiaires lorsqu'il effectue mentalement la rotation (Cooper & Shepard, 1973) ce qui lui prend plus de temps

(Shepard & Metzler, 1971). Toujours selon cette hypothèse, le participant doit pouvoir conserver l'information structurelle des orientations intermédiaires sans quoi il ne pourra plus comparer les deux images entre elles. Lorsque la disparité angulaire est importante, il doit donc conserver l'information structurelle des deux images tout au long des différentes orientations intermédiaires jusqu'à atteindre l'orientation similaire de l'image à comparer. La représentation serait de type non verbal et correspondrait à une représentation d'images et de transformations géométriques mentales (e.g. imagerie mentale). Plus spécifiquement, le traitement de l'information dépendrait d'un mode de traitement analogique de la représentation imagée (Kosslyn, 1980; Shepard & Cooper, 1982).

Une hypothèse concurrente propose un mode de traitement compatible avec les modèles de processus séquentiel de l'information (Fodor, 1975; Pylyshyn, 1973, 1984). Celui-ci décompose les structures symboliques et les étapes de la transformation pour les recomposer et dépendraient de l'application de règles ou d'opérations sur leurs éléments (Dean, Scherzer, & Chabaud, 1986; Marmor, 1975). Selon ce second modèle, tel un ordinateur, le participant traiterait les images mentales en les décomposant en propositions mathématiques (Pylyshyn, 1973). Partant de leur observation d'une relation linéaire entre le temps de réponse et la disparité angulaire, Shepard et Metzler (1971) réfutent cette hypothèse avec l'argumentation suivante: si le participant décompose puis recompose mentalement les images en propositions mathématiques de base, le temps de réponse pour déterminer si l'image présentée est identique ou non au modèle serait indépendant de la disparité angulaire. Ils proposent d'interpréter la relation linéaire observée entre le temps de réponse et la disparité angulaire comme un élément de preuve que le participant maintient et manipule les images mentales en tant qu'entités topographiques et topologiques globales (Shepard et Metzler, 1971). Ce débat a fourni des éléments permettant de faire émerger des théories analogiques (Block, 1983) stipulant que l'image mentale serait stockée en représentation imagée, c'est-à-dire que l'objet réel serait représenté mentalement en une image mentale ressemblante à l'objet physique. Des études ont confirmé cette hypothèse en montrant que les individus sont plus lents à orienter mentalement des représentations de leurs membres tels que des mains dans des directions incompatibles avec la rotation des articulations du corps humain (Parsons, 2003) et que des patients dont un bras est blessé et douloureux sont plus lents à tourner mentalement un dessin de la main du côté du bras blessé (Schwoebel, Friedman, Duda, & Coslett, 2001). Certaines recherches ont montré que ces résultats sont dus à une interférence entre les zones du cerveau qui traitent les représentations visuelles et celles qui gèrent les représentations motrices (Kosslyn, 1996). Une étude a conforté cette hypothèse, dans une série d'imageries cérébrales, en montrant

des objets tels que la lettre "F" qui étaient maintenus et manipulés mentalement en tant qu'images globales dans le cortex visuel (Kosslyn, 1994).

Les recherches de Shepard et Metzler (1971) s'appuient sur l'augmentation des temps de réponse proportionnellement à la différence angulaire de rotation, ainsi que sur le passage par des orientations intermédiaires lors du processus de rotation mentale pour comparer deux objets dans des orientations différentes. Tout ceci suppose une correspondance entre la rotation réelle des objets physiques et le processus de représentation mentale de ces objets lors de la comparaison entre les deux objets (Cooper & Shepard, 1973; Shepard & Metzler, 1971). Une question reste cependant non résolue: celle du contenu de la représentation mentale, en particulier dans le cas de figures complexes comme celles utilisées par Shepard et Metzler (1971). Just et Carpenter (1985) sont parmi les rares auteurs à s'être penchés sur une approche de traitement de l'information afin de distinguer les processus sous-jacents soutenant cette capacité. Leurs recherches ont cherché à évaluer si, lors de la rotation mentale, la représentation était une représentation complète de l'objet entier avec tous ses détails ou si la représentation était un sous-ensemble simplifié de l'objet entier, comme des parties de l'objet ou un aperçu très général, tel un schéma. Selon cette hypothèse, le participant peut effectuer une rotation d'une représentation générale de l'objet en utilisant des vecteurs correspondants aux axes principaux de chaque segment de l'objet (Just & Carpenter, 1976). L'utilisation de ces axes permet ainsi de sélectionner l'information principale de l'objet sans besoin de se représenter les détails dudit objet (Marr & Nishihara, 1978). Cette stratégie permet une représentation simplifiée de l'objet réel facilitant le processus de rotation. Ainsi, la manipulation de l'objet utilisé en rotation mentale devrait permettre de déterminer quelle représentation mentale est effectuée (l'objet en entier, des parties de l'objet, ou un schéma général en utilisant des axes principaux). Selon cette hypothèse, si la représentation mentale de l'objet consiste en une représentation où figurent uniquement les axes principaux de l'objet, alors la rotation elle-même ne devrait pas être affectée par la complexité de l'objet à faire tourner.

Une étude, mesurant les mouvements oculaires des participants, a comparé les objets complexes de Shepard et Metzler (1971) avec des figures linéaires simples en deux dimensions et sans signification (Carpenter & Just, 1978). Cette étude a montré que le temps supplémentaire mis pour effectuer la rotation des figures complexes par rapport aux figures simples, était lié à la phase de l'encodage de l'objet précédant la rotation. L'extraction des axes principaux de l'objet utile pour la représentation mentale prend plus de temps lorsque l'objet à comparer est complexe par rapport à un objet simple. Selon cette hypothèse, l'augmentation du temps de réponse est liée à la complexité de la figure, laquelle affecte la difficulté d'extraction de la représentation de l'objet qui subit la rotation mais pas le

processus de rotation en lui-même. Cela suggère également que la rotation uniquement d'une partie de l'objet complexe peut être effectuée dans les mêmes temps que pour la rotation d'un objet simple (Carpenter & Just, 1978). D'autres études ont confirmé que c'est la phase d'encodage de l'objet qui affecte le temps de réponse du participant et non pas la complexité de l'objet (composé de nombreuses caractéristiques structurelles) lorsque cette complexité n'affecte pas la discrimination (Yuille & Steiger, 1982). Suite à cette phase d'encodage, où le participant discrimine l'objet présenté afin d'effectuer la rotation mentale, le participant doit pouvoir efficacement manipuler mentalement l'information retenue pour ensuite la comparer à l'autre objet présenté. Shepard et Metzler (1971) n'ont pas vérifié si tous les participants parvenaient de la même façon à retenir et manipuler cette information spatiale. Des études subséquentes ont comblé ce manque et montré qu'il existait deux catégories principales de participants: les *low-spatial* et les *high-spatial* (Carpenter & Just, 1986; Just & Carpenter, 1985; Lohman, 1988; Mumaw & Pellegrino, 1984). Les participants sont catégorisés dans ces deux groupes suivant les résultats obtenus dans différents tests psychométriques en visualisation spatiale, capacité permettant l'encodage, la transformation et la reconnaissance des informations spatiales (Michael, Zimmerman, & Guilford, 1950) et employée lors du processus de rotation mentale (Carroll, 1993). Trois tests sont usuellement employés comme les principaux marqueurs pour classer les individus dans la catégorie *low* ou *high spatial* (e.g. Kyllonen, Lohman, & Woltz, 1984; Lansman, 1984, Lansman, Donaldson, Hunt, & Yantis, 1982; Michael et al., 1950; Michael, Zimmerman, & Guilford, 1951). Ces tests sont le test *Paper Folding*, le *Surface Development* et le *Form Board Test* (Ekstrom, French, Harman, & Dermen, 1976). Dans le test *Paper Folding*, il est demandé au participant d'imaginer qu'une feuille de papier a été pliée selon un modèle illustré et un trou a été fait dans la position indiquée par un cercle. Cinq autres figures, correspondant à la feuille de papier dépliée, sont présentées. La tâche consiste à décider laquelle des cinq figures correspond à la feuille de papier pliée avec le trou. Dans le test *Surface Development*, il est demandé au participant d'imaginer comment un morceau de feuille pourrait être plié pour former un objet tridimensionnel et de déterminer ensuite la correspondance entre les nombres sur les côtés de la feuille dépliée et les lettres figurant sur les côtés du polygone obtenu. Le test *Form Board Test* demande au participant de décider quelles sont les différentes pièces présentées qu'il faut combiner pour produire un polygone complet. Les participants *low-spatial* seraient moins capables de maintenir une image complexe après l'avoir transformée que les participants *high-spatial* (Carpenter, Just, Keller, Eddy, & Thulborn, 1999; Just & Carpenter, 1985).

Lors d'une expérience demandant de comparer des cubes (Cube-Comparisons task, French, Ekstrom, & Price, 1963), Just et Carpenter (1985) ont informé le participant que sur

chacune des six faces d'un cube est écrit soit une lettre, soit un chiffre et qu'il ne pouvait y avoir deux fois la même lettre ou deux fois le même chiffre. La tâche consistait à déterminer si deux cubes présentés sous des orientations différentes étaient les mêmes ou non. Les résultats ont montré que les individus *high-spatial* parvenaient mieux à résoudre la tâche que les individus *low-spatial*. Les participants *low-spatial* perdent plus souvent l'information concernant la lettre sur l'une des faces du cube lorsque que le cube a subi une rotation et que la face n'est plus visible (Carpenter & Just, 1986; Just & Carpenter, 1985). De même avec les images de la tâche de rotation mentale de Shepard et Metzler (1971), les individus *low-spatial* doivent effectuer plus de tentatives de rotations pour parvenir à répondre, ce qui suggère une perte de l'information sur la figure qu'ils doivent maintenir et transformer mentalement. Cette différence dans la capacité à visualiser et transformer mentalement des images a été liée à une différence dans la mémoire de travail qui consiste, dans ce cas, à manipuler une information spatiale stockée (Carpenter et al., 1999; Just & Carpenter, 1985). Ainsi, les individus catégorisés comme *high-spatial* ont plus de ressources pour stocker et manipuler l'information spatiale maintenue que les individus catégorisés comme *low-spatial*. Des auteurs ont interprété cette mémoire de travail comme un système spécialisé permettant de maintenir une information active pour résoudre la tâche (Baddeley, 1986; Engle, Kane, & Tuholski, 1999; Miyake & Shah, 1999). Ils distinguent les tâches nécessitant l'emploi de la mémoire à court terme, qui requiert uniquement le maintien d'une information, des tâches nécessitant l'emploi de la mémoire de travail, qui requiert le stockage d'une information et un processus en sus sur cette information (comme par exemple la transformation géométrique d'une information spatiale mémorisée). D'autres études ont montré que la différence entre ces catégories de participants est liée à la quantité d'information sélectionnée et retenue. Les participants *high-spatial* construiraient une représentation schématique et globale de l'objet incluant les informations métriques sur leur forme mais sans retenir les détails visuels, alors que les participants *low-spatial* effectueraient une représentation plus détaillée de l'objet incluant aussi bien l'information métrique de la forme que des indices visuels distincts et détaillés (Khosshabeh & Hegarty, 2010, Kozhevnikov, Hegarty, & Mayer, 2002; Kozhevnikov, Kosslyn, & Shepard, 2005). Les participants *high-spatial* seraient plus efficaces dans une tâche de rotation mentale puisqu'ils traiteraient l'information d'un point de vue plus global et holistique sans traitement détaillé de l'information en comparaison aux participants *low-spatial*. En d'autres termes, les moins bonnes performances observées chez les participants *low-spatial* seraient une conséquence de la quantité d'informations non pertinentes (e.g. indices visuels précis de l'objet) utilisée lors de la tâche de rotation mentale, alors que le processus de rotation des individus *high-spatial* serait plus global et donc plus efficace.

Puisque les participants *low-spatial* et *high-spatial* diffèrent dans leur compétence à retenir et manipuler l'information spatiale, Just et Carpenter (1985) ont émis l'hypothèse que ces participants utilisent des types de représentations différentes pour résoudre une même tâche de rotation mentale (Figure 3). Dans l'expérience de comparaison de cubes (Cube-Comparisons task, French et al., 1963), Just et Carpenter (1985) ont permis de mettre en évidence quatre types de manipulation mentale pouvant être utilisées pour résoudre une tâche de rotation mentale que nous allons brièvement présenter (Carpenter & Just, 1986; Just & Carpenter, 1978, Just & Carpenter, 1985; Lohman, 1988; Mumaw & Pellegrino, 1984).

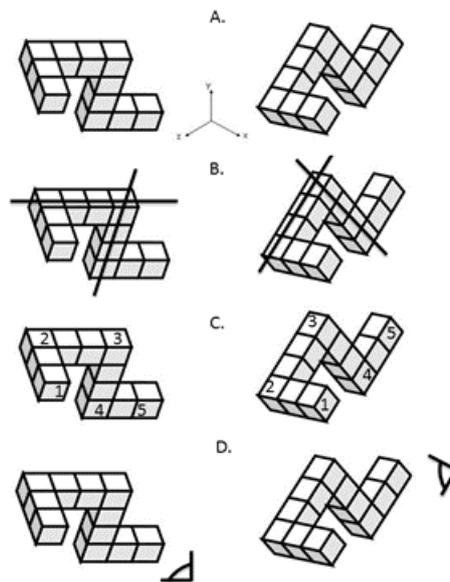


Figure 3. A. Premier type de représentation utilisé pour résoudre la tâche de rotation mentale se basant sur les axes standards (x, y et z). B. Second type de représentation se basant sur des axes extraits selon les propriétés des objets (e.g. les arêtes des cubes). C. Troisième type de représentation se basant sur le rapport entre différents éléments de l'objet (e.g. les angles et le nombre de carrés entre chaque angle). D. Quatrième type de représentation se basant sur le changement de point de vue de l'observateur. (Just, M. A., Carpenter, P. A. (1985). Cognitive coordinate systems: Accounts of mental rotation and individual differences in spatial ability. *Psychological Review*, 92, 137-172.)

La première consiste à opérer des rotations en fonction de l'axe x (axe horizontal), de l'axe y (axe vertical) et de l'axe z (axe profondeur). La seconde stratégie consiste à utiliser des axes arbitraires et dépendants de la tâche à effectuer. Le participant choisit des axes différents des axes traditionnels (axes x, y ou z) mais saillants au sein de l'objet qui subit la rotation, comme les axes principaux de l'objet (par exemple ses axes de symétrie). Un troisième type de manipulation mentale consiste à utiliser un système de coordonnées locales en décrivant des parties de l'objet et à comparer si cette description est la même que l'objet cible. Par exemple, le participant peut vérifier si entre les deux objets, la position des cubes aux angles composant la figure à comparer se trouvent aux mêmes endroits que pour la figure cible. Cette manipulation mentale ne consiste pas à utiliser des axes de rotation pour comparer l'objet présenté par rapport à l'objet cible. Un dernier type de manipulation

mentale ne consiste pas à utiliser des axes de rotation pour opérer une rotation mentale mais à modifier le point de vue de l'observateur (s'imaginer dans la position de l'un des deux objets afin de vérifier si le second est semblable ou non). Les participants catégorisés comme *high-spatial* seraient plus susceptibles d'utiliser des axes comme systèmes de coordonnées (type de manipulation 1 et 2) lorsqu'ils doivent effectuer des rotations mentales alors que les participants catégorisés *low-spatial* seraient plus susceptibles d'utiliser d'autres stratégies (type de manipulation 3 et 4) pour résoudre la tâche de rotation mentale (Just & Carpenter, 1985). La dernière représentation utilisée pour résoudre la tâche montre une préférence dans la modification du point de vue de l'observateur. Ce résultat indique que si les participants ont la possibilité de modifier leur position spatiale, ils se déplaceraient autour de l'objet à comparer jusqu'à pouvoir retrouver la position similaire à celle de l'objet source. Les résultats d'études subséquentes ont montré que le recours aux références géométriques fournies soit par l'objet (par exemple les axes principaux de l'objet) soit par l'environnement (par exemple les axes définis par les murs de la pièce où se déroule l'expérience) jouent un rôle fondamental pour la rotation mentale (Just & Carpenter, 1985; Pani, 1993; Pani & Dupree, 1994; Parsons, 1995). En d'autres termes, lorsque le participant doit effectuer une rotation mentale, et qu'il existe des références fournies par l'environnement autour des objets à manipuler mentalement, le participant peut les utiliser afin d'améliorer ses performances en rotation mentale. Ainsi par exemple, lorsqu'un objet à comparer est aligné selon l'axe d'un mur de la salle où a lieu l'expérience, la rotation mentale sera facilitée. En effet, dans cet exemple, l'axe principal de l'objet est parallèle à l'axe défini par le mur et le participant utilise cet indice environnemental (le mur définissant un axe parallèle à l'axe de l'objet) pour effectuer la rotation mentale. Des études ont montré que l'axe vertical de l'environnement (axe de gravitation) est la référence environnementale privilégiée par les participants (e.g. Asakura & Inui, 2011) et ceci indépendamment de l'axe vertical propre au participant, par exemple si sa tête est penchée de 60° ou 90° (e.g. Corballis, Zbrodoff, & Roldan, 1976; Rock & Heimer; 1957). Ces observations suggèrent qu'il est plus facile pour le participant d'effectuer une rotation mentale lorsque les axes principaux de l'objet qui subit la rotation sont parallèles aux axes de l'environnement (x, y ou z), et plus particulièrement à l'axe vertical (la gravitation). Cette dernière proposition est soutenue par d'autres recherches ayant montré que la position d'un objet est définie par la gravitation, l'axe vertical, plutôt que par d'autres axes disponibles (e.g. Pani & Dupree, 1994; Waszak, Wascher, Keller, & Koch, 2005).

Synthèse:

Les résultats de l'étude sur la rotation mentale de Shepard et Metzler (1971) ont montré une corrélation linéaire entre les temps de réponse du participant et la disparité angulaire de la rotation: plus l'angle de rotation est grand, plus les temps de réponse du participant sont lents. Ils ont déduit de ces résultats, et en fonction des rapports verbaux des participants, que cette tâche reposait sur un processus d'analogie entre les images représentées mentalement et la réalité. Contrairement au mode de traitement séquentiel de l'information, le participant effectuerait mentalement la rotation de l'image présentée pour la comparer avec l'image cible en passant par des transformations géométriques intermédiaires. Les résultats obtenus sont à l'origine de l'hypothèse selon laquelle la tâche s'effectue par la formation d'une image mentale tridimensionnelle de l'un des objets, laquelle est ensuite tournée (rotation mentale) jusqu'à ce qu'elle coïncide avec l'objet témoin. Ce résultat est à l'origine de l'hypothèse selon laquelle la tâche s'effectue par la formation d'une image mentale tridimensionnelle de l'un des objets, qui est ensuite tournée (rotation mentale) jusqu'à ce qu'elle coïncide avec l'objet témoin.

Just et Carpenter (1985) se sont penchés sur les stratégies utilisées pour se représenter un objet qui doit subir la rotation afin de le comparer ensuite à un second objet. Leurs recherches ont fourni des pistes importantes concernant les informations utilisées pour effectuer des rotations mentales, questions qui n'ont pas été abordées par les travaux de Shepard et Metzler (1971). L'hypothèse est que la rotation d'une représentation générale de l'objet correspond au produit de l'extraction de vecteurs (ou d'axes principaux) structurant l'objet. Cette stratégie permet d'être aussi performant pour la rotation mentale d'objets simples en 2D que pour des objets plus complexes en 3D. Ces travaux ont en outre montré que cette capacité dépend de la capacité à encoder, retenir et manipuler mentalement cette information et de classer les individus en deux catégories distinctes: *high-spatial* et *low-spatial*.

L'hypothèse de Just et Carpenter (1985) est que les participants *high-spatial* ont recours à l'utilisation des axes de référence, soit au sein de l'objet soit au sein de l'environnement, alors que les participants *low-spatial* auraient tendance à utiliser une stratégie descriptive ou basée sur un changement de point de vue du sujet. Ces deux types de stratégies se distinguent par le coût de l'information qui doit être conservé en mémoire (mémoire de travail) pour effectuer une tâche de rotation mentale.

L'hypothèse originale de Just et Carpenter (1985) est la possibilité de résoudre une tâche de rotation mentale par la réduction de l'information à traiter en se basant sur

l'extraction des axes de référence des objets à comparer, ou encore les axes de référence de l'environnement. Il est ainsi possible de rattacher l'étude de la rotation mentale au champ de l'étude de la perception spatiale correspondant à l'évaluation de la position des objets dans l'espace relativement à l'environnement. Ainsi, selon les hypothèses de Just et Carpenter (1985), lorsqu'un participant résout une tâche de rotation mentale, il effectue la tâche en utilisant des stratégies comparables à celles utilisées pour résoudre une tâche de perception spatiale.

2. Perception spatiale et rotation mentale

Une des tâches classiques pour évaluer les compétences de perception spatiale est celle développée par Piaget et Inhelder (1947) qui consiste à tester la façon dont les participants perçoivent l'horizontale et la verticale. Dans cette tâche, appelée «*tâche du niveau d'eau*», le participant observe une bouteille d'eau remplie à moitié. La tâche consiste à définir le niveau d'eau d'une bouteille lorsque celle-ci est penchée (Figure 4A). Une autre tâche classique de perception spatiale est celle du «*rod and frame*» (Witkin & Asch, 1948). Cette expérience présente au participant un carré aux lignes lumineuses et une baguette qui peut tourner sur un axe au centre du carré (28° à gauche ou à droite). La tâche consiste à aligner la baguette selon la verticale sans tenir compte du carré aux lignes lumineuses inclinées (Figure 4B).

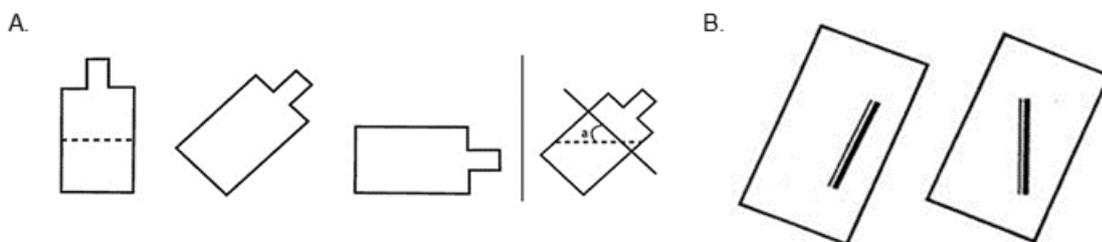


Figure 4. Tâches de perception spatiale: A. Tâche du «niveau d'eau» où il est demandé au participant de définir le niveau d'eau lorsque la bouteille est penchée (Piaget, J. Inhelder, B. (1967). *The Child's Conception of Space. Systems of Reference and Horizontal-Vertical Coordinates*. pp. 375-418. New York: W.W. Norton and Co.). B. Tâche du «rod and frame» où il est demandé au participant d'aligner une baguette selon la verticale sans tenir compte du cadre de référence qui est incliné (Witkin, H.A., Asch, S. E. (1948). *Studies in space orientation: III & IV. Perception of the upright in the absence of a visual field. Journal of Experimental Psychology*, 38, 603-614 & 762-782).

Pour résoudre ces tâches de perception, le participant peut utiliser des indices visuels, comme par exemple le cadre autour de la droite à aligner (le carré lumineux pour l'expérience de Witkin et Asch, 1948 ou les contours de la bouteille pour l'expérience de Piaget et Inhelder, 1947). Cette stratégie est alors dépendante du champ perceptif visuel représenté par ces cadres de référence. Une autre possibilité pour résoudre ce type de tâche consiste à ce que le participant utilise son corps comme référence pour l'alignement des droites en faisant abstraction des cadres autour des droites. Cette stratégie, utilisant les

indices posturaux du participant, est alors indépendante du champ perceptif. Bien que beaucoup de ces deux stratégies puissent être utilisées, il a été montré que les participants peuvent être distribués en deux catégories: ceux privilégiant surtout les indices visuels dépendants du champ perceptif, et ceux privilégiant surtout les indices posturaux indépendants du champ perceptif. Les participants rattachés à la première catégorie sont appelés «dépendants du champ» alors que les seconds sont appelés «indépendants du champ» (Witkin, et al., 1954). Les études ont montré que dans les tâches d'ajustement à la verticale, les participants indépendants du champ arrivent mieux à faire abstraction d'éventuels distracteurs au sein de l'environnement et à aligner la droite selon une verticale par comparaison avec les participants dépendants du champ (Amblard & Crémieux, 1976; Crémieux & Mesure, 1994; Crémieux, Isableu, Mesure et Ohlmann, 1997; Isableu, Ohlmann, Crémieux, & Amblard, 1997; Marucchi & Gagey, 1987). D'autres études ont montré un lien entre ces dépendances et indépendances du champ et les capacités de structuration et déstructuration (Witkin et al., 1954). Les participants qui utilisent plutôt le système de référence visuelle (champ dépendant) montrent plus de difficulté lorsqu'il s'agit d'isoler et de percevoir séparément un élément dans un ensemble structuré. Par exemple dans des tests de figures emboîtées («embedded figure tests: EFT», Witkin, Oltman, Raskin, & Karp, 1971), le participant doit trouver des figures simples emboîtées dans des figures plus complexes. En d'autres termes, il s'agirait de distinguer la forme du fond qui est habituellement perçue en premier lieu (voir la théorie Gestalt, von Ehrenfels, 1890). Dans une autre étude de perception spatiale, des participants doivent évaluer la position et l'orientation angulaire de traits dessinés sur une feuille (Collaer & Nelson, 2002, Figure 5). Cette tâche est une adaptation de la tâche de Benton, Varney, et Hamsher. (1978) où les participants doivent estimer la relation angulaire entre différents segments de droites en les faisant correspondre avec une série de lignes présentées en demi-arc de cercle. Les résultats montrent que les participants obtiennent de meilleures performances quand les traits sont alignés avec le cadre de la feuille de papier. La feuille de papier offre alors des axes de référence permettant d'estimer l'inclinaison des traits dessinés. Lorsque le participant doit effectuer une rotation mentale pour faire correspondre des traits dessinés, il peut utiliser un cadre de référence extérieur aux traits (le pourtour de la feuille). Cette stratégie rappelle celle exposée par Just et Carpenter (1985) et l'utilisation de l'orientation canonique (axes vertical et horizontal) dans la résolution d'une tâche de rotation mentale. D'ailleurs, une corrélation modérée a été montrée entre la performance en rotation mentale et cette tâche de perception spatiale où il faut évaluer la position et l'orientation angulaire de traits (Cherney & Collaer, 2005).

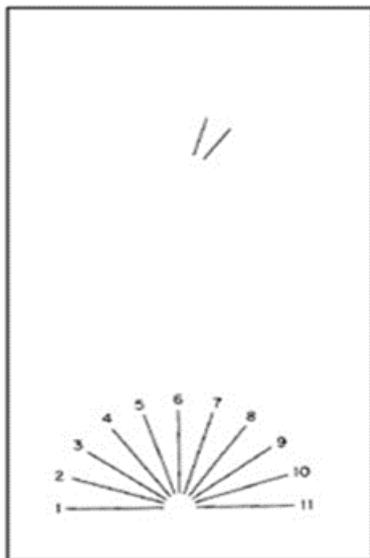


Figure 5. Dans cette tâche, le participant doit évaluer la position et l'orientation angulaire de traits dessinés sur une feuille. Lorsque ces traits sont alignés avec le cadre de la feuille de papier, les résultats sont meilleurs (Collaer, M.I., Nelson, I.D. (2002). Large visuospatial sex difference in line judgment: Possible role of attentional factors, *Brain and Cognition*, 49, 1-12)

Synthèse:

Dans les tâches de perception spatiale, deux catégories de participants ont été mis en évidence: les individus dépendant du champ perceptif et les individus indépendants du champ perceptif (Witkin et al. 1954). Les premiers utilisent préférentiellement des indices visuels pour résoudre ce type de tâche alors que les seconds privilégient les indices posturaux. D'autres études ont montré plus spécifiquement comment les éléments perceptifs de l'environnement offrant des références axiales sont susceptibles de faciliter la résolution de tâches de rotation mentales (Collaer & Nelson, 2002). Ces éléments semblent indiquer que la dépendance au champ perceptif doit aussi être considérée lorsque l'on cherche à expliquer les mécanismes impliqués dans les tâches de rotation mentale.

Ces quelques éléments théoriques mettent en lumière la possibilité de classer les individus en fonction des stratégies développées pour résoudre des tâches visuo-spatiales. Ces recherches ont aussi mis en évidence des différences robustes entre les hommes et les femmes suggérant que le sexe pourrait jouer un rôle important dans la compréhension des stratégies cognitives utilisées pour résoudre ces tâches.

3. Rotation mentale, perception spatiale et différences sexuelles

Tout comme dans les tâches de rotation mentale, les tâches de perception spatiale mentionnées précédemment ont révélé des différences sexuelles marquées. Par exemple, la tâche de l'alignement du niveau d'eau (Piaget & Inhelder, 1947) indique que les hommes parviennent mieux à déterminer le niveau d'eau à l'horizontal que les femmes. Dans la tâche du «rod and frame», qui consiste à placer la baguette à la verticale dans un cadre incliné (pour une revue, Howard, 1982; Witkin et Ash, 1948), les hommes obtiennent également de

meilleurs résultats que les femmes. La classification proposée par Witkin et al. (1954) a été utilisée pour interpréter ces différences observées entre les sexes (Linn & Petersen, 1985; Tremblay, Elliott, & Starkes, 2004; Tremblay & Elliot, 2007; Viaud-Delmon, Ivanenko, Berthoz, & Jouvent, 1998; Witkin et al., 1954). Selon cette hypothèse, les femmes seraient plus promptes à utiliser les informations visuelles dépendantes du champ alors que les hommes se serviraient plus d'informations gravitationnelles indépendantes du champ (Darlington & Smith, 1998; Kennedy, Hettinger, Harm, Ordy, & Dunlap, 1996; Viaud-Delmon et al., 1998). Ainsi, la plus grande difficulté des femmes à aligner la baguette sur la verticale dans la tâche du «rod and frame» reposerait sur leur sensibilité à l'orientation inclinée du cadre autour de la baguette. Comparativement, les hommes arriveraient mieux à aligner la baguette car ils seraient plus enclin à faire abstraction du cadre incliné distracteur (Bogo, Winget, & Gleser, 1970; Gross, 1959; Hyde, Geiringer, & Yen, 1975; Linn & Petersen, 1985; Witkin et al., 1954). L'environnement construit fournit des références comparables, généralement alignées selon des axes gravitationnels, susceptibles de faciliter notre orientation dans l'espace ou la position d'objets dans cet environnement. De plus, la position des objets de notre environnement semble être apprise selon les règles des lois physiques (McIntyre, Zago, Berthoz, & Lacquaniti, 2001), en utilisant des références intrinsèques à l'environnement, comme les axes de gravitation (Simoncelli & Olshausen, 2001; Schwarzkopf & Kourtzi, 2008 et voir aussi Howard, 1982 pour une revue). Si nous observons un objet dans une position inhabituelle (comme par exemple l'inclinaison du cadre autour de la baguette dans la tâche du «rod and frame»), il se crée un biais cognitif quant à notre jugement de ce qui est réellement incliné; nous faisons l'hypothèse d'une inclinaison de notre corps car il est beaucoup plus fréquent d'avoir le corps incliné que d'observer un cadre de référence environnemental penché. La baguette apparaît ainsi penchée selon un angle qui correspond à la perception de l'inclinaison du corps induit par le cadre (Howard, 1982; Witkin & Asch, 1948). Les différences sexuelles observées dans les tâches de perception spatiales semblent indiquer que les hommes sont plus sensibles aux références fournies par la gravitation, et sont moins susceptibles d'inférer une inclinaison de leur corps contrairement aux femmes. En d'autres termes, les références tant verticales qu'horizontales semblent jouer un rôle plus important que d'autres types de références.

Les tâches de rotation mentale et de navigation spatiale fournissent d'autres éléments pour tenter d'expliquer les différences sexuelles observées dans la cognition spatiale. Par exemple, les tâches dans lesquelles les participants doivent trouver un chemin vers une destination particulière favorisent en général les hommes (e.g. Galea & Kimura, 1993; Gerber & Kwan, 1994; Holding & Holding, 1989; Moffat, Hampson, & Hatzipantelis, 1998; Sandstrom, Kaufman, & Huettel, 1998) alors que les tâches de mémorisation de la

localisation d'objets favorisent les femmes (e.g. Silverman & Eals, 1992). Différentes études ont dissocié les informations fournies par l'environnement en deux groupes distincts: l'un relatif aux distances et directions entre des points (géométrie euclidienne) et l'autre, plus vague, relatif aux objets et à leur localisation (Darken & Peterson, 2002; Evans, 1980; Golledge, 1987; Hart & Moore, 1973; Russell & Ward, 1982; Sadeghian, Kantardzic, Lozitskiy, & Sheta, 2006; Siegel & White, 1975). Ces travaux ont conduit à formuler l'hypothèse que les différences sexuelles observées dans des tâches de localisation et d'orientation spatiale proviennent du type d'informations sélectionnées et utilisées pour guider le comportement plutôt que d'une différence de capacité cognitive. Plus spécifiquement, le comportement spatial des hommes serait basé sur un traitement global des informations (relatives aux distances et aux directions) (voir Galea et Kimura, 1993; Lawton, 1994, 1996) alors que celui des femmes serait basé sur un traitement local des objets de l'environnement (Dabbs, Chang, Strong, & Milun, 1998; Denis, 1997; Harrell, Bowlby, & Hall-Hoffarth, 2000; Lawton, 2001; Miller & Santoni, 1986; Montello, Lovelace, Golledge, & Self, 1999; Schmitz, 1997; Ward, Newcombe, & Overton, 1986). Cette différence de traitement de l'information semble également expliquer les différences sexuelles observées dans les tâches de rotation mentale où les différences sexuelles sont les plus marquées en faveur des hommes (Lippa, Collaer, & Peters, 2010; Lohman, 1986; Maylor et al., 2007; Peters, 2005; Voyer et al., 1995). Des études montrent que les hommes et les femmes n'utilisent pas les mêmes stratégies cognitives pour résoudre une même tâche de rotation mentale (Geiser, Lehmann, & Eid, 2006; Guay, McDaniel, & Angelo, 1978; Jordan, Wustenberg, Heinze, Peters, & Jancke, 2002; Thomsen et al. 2000). Les hommes privilégieraient le traitement global de l'information en traitant les stimuli tridimensionnels comme un tout alors que les femmes traiteraient ces mêmes stimuli de façon plus détaillée ou par parties (Blough & Slavin, 1987; Cochran & Wheatley, 1989; Heil & Jansen-Osmann, 2008; Kail, Carter, & Pellegrino, 1979; Rilea, 2008), ce qui nécessiterait une demande de ressources cognitives plus importantes (Frith & Dolan, 1996) et pourrait être à l'origine d'une moins bonne performance des femmes pour ce genre de tâches. En effet, l'emploi d'une stratégie locale prend plus de temps et conduit à une performance appauvrie lorsque le participant doit répondre rapidement (e.g. Heil & Jansen-Osmann, 2008). En d'autres termes, et selon ces résultats, les différences sexuelles pourraient être liées à la quantité d'informations à encoder et à mémoriser. Cette hypothèse a donné lieu à diverses recherches visant à évaluer une possible différence sexuelle dans les compétences mnésiques. Ces études ont argumenté que la meilleure performance des hommes pour les tâches spatiales en général, et en rotation mentale en particulier, pouvaient être liées à une plus grande mémoire de travail visuo-spatiale (voir Coluccia & Louse, 2004, pour une revue de littérature). Cette mémoire consiste à traiter les nombreuses informations que nous

stockons en les manipulant lors de différents processus cognitifs, comme la rotation mentale (Eysenck, 2001). D'autres études ont fait l'hypothèse qu'un avantage significatif en faveur des femmes existerait pour la mémoire épisodique générale (p.ex. Andreano & Cahill, 2009; Herlitz, Nilson, & Bäckman, 1997; Herlitz & Rehnman, 2008). Cette dernière correspond au rappel conscient des expériences personnelles en terme de contenu (quoi) et de localisation (où) ainsi qu'en terme d'événements temporels (quand) (Herlitz & Rehnman, 2008; Tulving, 2001). Il a été montré que les capacités mnésiques varient en fonction du genre et du type de matériel mémorisé. Les femmes mémoriseraient mieux les mots, les objets, les visages et la position d'objets comparativement aux hommes alors que ces derniers mémorisaient mieux les routes et les trajets, avec ou sans informations environnementales (Herlitz & Rehnman, 2008). L'avantage des femmes est partiellement expliqué par une compétence verbale supérieure à celle des hommes (Herlitz et al., 1997, Herlitz, Airaksiner, & Nordström, 1999). Par exemple, dans les tâches demandant de mémoriser la position de divers objets et ensuite de déterminer lors d'une nouvelle présentation si des objets ont changé de position ou non (Figure 6), les femmes obtiennent de meilleurs résultats que les hommes (Eals & Silverman, 1994; Silverman & Eals, 1992). Cependant, cet avantage est perdu lorsque les objets apparaissent à des positions précédemment inoccupées (James & Kimura, 1997).



Figure 6. Exemple d'une série d'images présentées dans la tâche de Silverman et Eals (1992) où le participant a un temps limité pour mémoriser l'ensemble des images présentées. Par la suite, une nouvelle planche d'images est présentée au participant qui doit définir si des images ont changé de position ou si elles ne sont plus présentées (Silverman, I. Choi, J., Peters, M. (2007). The Hunter-Gatherer Theory of Sex Differences in Spatial Abilities: Data from 40 Countries. *Arch Sex Behav*, 36, 261-268)

D'un point de vue théorique, il a été proposé de diviser les représentations spatiales en deux catégories: les représentations catégorielles et les représentations en systèmes de coordonnées (Kosslyn, 1987, Kosslyn & Ochsner, 1994). Les premières définissent des relations non métriques invariables entre les objets ou entre les objets et l'observateur (par exemple l'objet A est au-dessus/ au-dessous/ à côté/ de l'objet B) et les secondes

définissent les relations métriques entre les objets ou entre un objet et l'observateur (par exemple l'objet A est à 1 cm de l'objet B ou de l'observateur). L'avantage des femmes observé pour les tâches de mémorisation de la position d'objets serait lié à l'utilisation préférentielle de représentations catégorielles alors que les hommes privilégieraient les représentations métriques (Hellige & Michimata, 1989; Kosslyn et al., 1989; Laeng & Peters., 1995). De ce fait, les femmes traiteraient ensemble l'identité des images avec leur position spatiale alors que les hommes traiteraient séparément l'identité de l'objet et sa position spatiale (Barnfield, 1999; Kimura, 1999). Cet avantage chez les femmes est également observé dans des recherches portant sur la mémorisation de l'identification d'objets (Lévy, Astur, & Frick, 2005; McGivern et al., 1998).

Synthèse:

Les tâches de perception spatiale comme les tâches de rotation mentale favorisent les hommes. Les résultats de la recherche mettent en évidence deux facteurs principaux pouvant être à l'origine de cette différence entre les sexes:

- d'une dépendance au champ visuel plus marquée chez les femmes comparativement aux hommes dans les tâches de perception spatiale, ce qui aurait pour effet par exemple de diminuer leur capacité à aligner une baguette sur la verticale (Witkin et al., 1954)
- d'un traitement plus global (holistique) de l'information chez les hommes comparativement aux femmes qui utiliseraient un traitement local (analytique) dans les tâches de rotation mentale

Ces observations sont à l'origine de l'hypothèse générale que les différences entre les sexes dans les tâches visuo-spatiales reposent sur des différences de stratégies cognitives.

Ce parcours non *exhaustif* à travers la littérature indique la difficulté à évaluer clairement les facteurs susceptibles d'être à l'origine des différences observées dans les capacités spatiales entre les hommes et les femmes. Toutefois, ils révèlent aussi que ces différences ne sont pas dues à des différences intellectuelles mais plutôt le fruit de différences dans le traitement de l'information visuo-spatiale disponible ayant pour effet de moduler les stratégies, ou le style cognitif, utilisées pour résoudre des tâches spatiales.

4. Objectifs et hypothèses

Ce travail a été élaboré à partir des concepts présentés dans la partie théorique. Il se base sur l'hypothèse générale que, pour les tâches visuo-spatiales, les hommes privilégient un traitement global de l'information alors que les femmes privilégient une approche locale impliquant un traitement analytique de l'information. Cette différence ne pouvant être testée directement, ce traitement différentiel de l'information s'appuie sur l'hypothèse que, comparativement aux hommes, les femmes présentent une plus forte dépendance au champ perceptif visuel. Cette dernière hypothèse a été opérationnalisée à l'aide de tâches de perception spatiale et les résultats suggèrent que les hommes ont plus de facilité que les femmes à percevoir la verticalité et ceci malgré la présence de distracteurs. En d'autres termes, ce travail cherche à utiliser l'hypothèse de la dépendance au champ visuel afin d'éclairer l'hypothèse du traitement global et local de l'information. A notre connaissance, il n'existe aucune étude ayant cherché à tester systématiquement l'effet de la présence de références tant verticale qu'horizontale sur la capacité à résoudre des tâches de rotation mentale.

L'objectif est de clarifier comment les aspects perceptifs du contexte expérimental sont susceptibles de moduler les stratégies cognitives utilisées pour résoudre des tâches impliquant la rotation mentale. Ce travail cherche à vérifier si, dans un contexte expérimental, plutôt que d'impliquer des mécanismes de représentation mentale complexe, des tâches de rotation mentale ne peuvent pas être résolues à partir de simples comparaisons perceptives avec des références stables comme des axes directionnels fournis par l'environnement. Comme tant les tâches de rotation mentale que les tâches de perception spatiale se caractérisent par des différences sexuelles robustes supposées dépendre de stratégies ou de style cognitifs différents, l'examen systématique de la performance des hommes et des femmes nous semble fondamentale pour expliquer comment la perception spatiale est susceptible de moduler la capacité de rotation mentale. Plus spécifiquement, nous faisons l'hypothèse générale que les hommes, comparativement aux femmes, seront plus enclins à utiliser les références invariantes de l'environnement expérimental, comme les verticales et horizontales, les relations métriques entre les objets ou entre un objet et l'observateur afin de résoudre des tâches de rotation mentale. Les femmes, quant à elles, seront plus centrées sur les éléments catégoriels de la tâche (des relations non métriques invariables entre les objets ou entre les objets et l'observateur) et donc plus dépendantes du champ visuel.

III. APPROCHE EXPERIMENTALE

Introduction générale

La capacité à se représenter mentalement des objets est définie comme une expérience similaire à la perception mais se déroulant en l'absence d'une manipulation physique desdits objets (e.g. Kosslyn, Murphy, Bernesderfer, & Feinstein, 1977). La rotation mentale, l'un des aspects de l'imagerie mentale, est supposée impliquer des transformations et des réorganisations géométriques afin de pouvoir comparer cette représentation mentale avec un objet physique pour décider s'il s'agit ou non du même objet, indépendamment du point de vue de l'observateur (Corballis, 1997; Shepard, 1984). L'étude de cette capacité a eu un fort impact sur la littérature dévolue à l'étude des capacités visuo-spatiales. La grande majorité des études a utilisé des tâches du type de Shepard et Metzler (1971) ou de Vandenberg et Kuse (1978) où pour rappel, une ou deux images non familières en trois dimensions, composées d'assemblage de cubes, doivent être identifiées comme semblables à une image cible après avoir subi une rotation d'une certaine amplitude. Ces recherches ont donné lieu à de nombreux débats comme par exemple le rôle des composantes visuelles et spatiales (e.g. Farah, Peronnet, Gonon, & Girard, 1988) ou l'influence de la composante motrice (e.g. Kosslyn, DiGirolamo, Thompson, & Alpert, 1998). Le débat qui nous intéresse ici est celui des différences sexuelles observées dans les tâches visuo-spatiales et plus particulièrement dans les tâches de rotation mentale. En effet, de nombreuses recherches ont montré des différences sexuelles robustes en faveur des hommes (e.g. Galea & Kimura, 1993; Gerber & Kwan, 1994; Holding & Holding, 1989; Moffat et al., 1998; Sandstrom et al., 1998) sans pour autant fournir des explications concluantes concernant leur fondement. Par exemple, l'investigation des stimuli utilisés pour les tâches de rotation mentale indique que les différences sexuelles sont modulées par le nombre de dimensions (Bethell-Fox & Shepard, 1988; Cooper, 1975, 1976; Cooper & Podgorny, 1976; Hochberg & Gellman, 1977; Shepard et Cooper, 1982; Yuille & Steiger, 1982) et la possibilité ou non de les verbaliser (e.g. Heila & Jansen-Osmanna, 2008; Jolicoeur, 1985; Koriat & Norman, 1985; Tarr & Pinker, 1989). D'autres facteurs comme la confiance ou le fait de deviner la réponse ont également été invoqués afin d'expliquer la raison pour laquelle les temps de réponse des femmes étaient plus lents que ceux des hommes (e.g. Cooke-Simpson & Voyer, 2007; Delgado & Prieto, 1996). Il a encore été suggéré que les femmes pourraient préférentiellement s'appuyer sur une stratégie verbale de description des stimuli, ce qui, lors d'une tâche de rotation mentale, serait moins efficace puisqu'elles utilisent des ressources cognitives pour la verbalisation au lieu d'effectuer la rotation mentale demandée (Frith & Dolan, 1996). La considération de tâches de perception spatiale semble indiquer quant à elle que les hommes obtiendraient de meilleurs résultats que les femmes grâce à leur plus

grande capacité à ignorer les effets de distracteurs, comme par exemple le cadre de référence incliné qui entoure la baguette à aligner dans la tâche du "rod and frame" (Witkin & Asch, 1948; Witkin et al., 1954). L'hypothèse généralement proposée pour expliquer ces disparités entre les sexes consiste à invoquer une différence sexuelle dans la stratégie cognitive utilisée pour résoudre les tâches visuo-spatiales. Selon cette hypothèse, les hommes privilégieraient un traitement global de l'information (en traitant les stimuli tridimensionnels comme un tout) alors que les femmes traiteraient ces mêmes stimuli de manière plus détaillée ou par parties successives (Blough & Slavin, 1987; Cochran & Wheatley, 1989; Heil & Jansen-Osmann, 2008; Kail et al, 1979; Rilea, 2008), ce qui demanderait plus de ressources cognitives et se traduirait par des temps de réponse plus lents (Frith & Dolan, 1996). Bien qu'intéressante, cette hypothèse est difficile à opérationnaliser puisqu'elle implique le traitement de l'information. Il faut donc utiliser les capacités qui sous-tendent ces stratégies comme les études de Just et Carpenter (1986) que nous avons présentées dans l'introduction générale. Pour la partie expérimentale de ce travail, nous avons conservé à l'esprit la variable perceptive et l'influence qu'elle pourrait avoir sur des mécanismes cognitifs plus élaborés comme la mémoire et les mécanismes de décision. L'objectif de ce travail est de clarifier comment certains de ces aspects perceptifs (contexte expérimental) sont susceptibles de moduler les différences observées entre les femmes et les hommes dans les tâches de rotation mentale. La première partie de ce travail, qui regroupe trois expériences, étudie l'influence des axes de références naturels (orientation canonique) sur les tâches de rotation mentale. Les expériences présentées dans cette partie visent à évaluer comment les éléments géométriques (axes de références verticaux et horizontaux) fournis par l'environnement et les stimuli utilisés pour la tâche peuvent influencer la capacité à reconnaître des objets, et ceci, malgré les transformations géométriques engendrées par une rotation. La seconde partie de ce travail, qui regroupe trois expériences, étudie l'influence de cadres de référence disponibles dans l'environnement sur les tâches de rotation mentale, comme par exemple le cadre de référence fourni par l'écran de l'ordinateur. Les expériences présentées dans cette partie visent à évaluer si les participants, et en particulier les hommes, utilisent ces cadres de référence invariables et disponibles dans l'environnement expérimental dans la tâche de rotation mentale. Enfin, la dernière partie de ce travail, regroupant également trois expériences, étudie l'influence de la référence égocentrée et l'utilisation des cadres de référence fournis par l'environnement. La procédure expérimentale pour ces trois expériences est la même que pour la seconde partie si ce n'est que les participants se déplacent autour du dispositif expérimental. Dans cette situation de déplacement, la référence établie entre le participant et l'objet (référence égocentrée) est perturbée; ceci dans le but de vérifier si les participants utiliseront alors les cadres de référence disponibles dans l'environnement.

Partie 1: Discrimination de rotations de stimuli géométriques: effet de l'alignement de l'horizontale et de la verticale

1. Introduction

Un très grand nombre d'études en psychologie expérimentale ont cherché à expliquer les mécanismes de base impliqués dans des compétences spatiales (Nybord, 1983; Smith & Chatterjee, 2008; Tommasi, Chiandetti, Pecchia, Sovrano & Vallortigara, 2012). Lorsque les tâches requièrent la manipulation et la transformation de figures géométriques et de formes comme par exemple dans les tâches de rotation mentale, les résultats indiquent des différences sexuelles consistantes qui restent encore aujourd'hui intrigantes (pour une revue, voir Coluccia & Louse, 2004; Linn & Petersen, 1985; Voyer, Postma, Brake & Imperato-McGinley, 2007; Voyer et al., 1995). Une hypothèse générale récurrente suggère que ces différences sexuelles seraient le résultat de différences dans les stratégies utilisées pour traiter l'information. Cependant, comme ces différences de stratégie sont directement liées aux fonctions cognitives sous-jacentes, nous allons commencer par décrire les diverses fonctions cognitives supposées influencer la performance dans les tâches de rotation mentale.

Les tâches de rotation mentale basées sur la comparaison, où les participants doivent décider si une paire d'objets est identique ou non, montrent des différences sexuelles consistantes en faveur des hommes. Les résultats de ce genre de tests servent de base à l'hypothèse selon laquelle les hommes emploient une approche de type holistique ou globale. Dans les tâches de rotation mentale, les hommes ont tendance à traiter le stimulus comme un tout et à effectuer la rotation de la totalité d'un stimulus qu'ils comparent au stimulus cible. Au contraire, les femmes emploient une approche locale selon laquelle elles effectuent la rotation des caractéristiques individuelles du stimulus afin de le comparer partie par partie au stimulus cible (e.g. Heil & Jansen-Osmann, 2008; Kail et al., 1979; Rilea, 2008). Les études, où le nombre de stimuli que le participant doit comparer au stimulus cible varie, fournissent des données supplémentaires concernant les différences de stratégie employées par les hommes et les femmes. Ces études suggèrent que les hommes se basent plus sur une stratégie "de saut". Par exemple, une fois que les hommes ont identifié le stimulus correspondant au stimulus cible, ils passent au problème suivant sans vérifier les autres propositions, qui vraisemblablement ne correspondent pas au stimulus cible. Ainsi les hommes effectuent le test plus rapidement et ont ainsi une plus grande probabilité de répondre à un plus grand nombre de questions que les femmes. A l'inverse, celles-ci ont

tendance à comparer chaque stimulus présenté au stimulus cible, même après avoir identifié une correspondance correcte. Ainsi, elles n'effectuent pas le test aussi rapidement que les hommes et elles répondent donc à moins de questions que les hommes, comme l'indiquent les expériences où le temps est limité (e.g. Glück & Fabrizii, 2010; Hirnstein, Bayer & Hausmann, 2009). Toujours chez les femmes et comparativement aux hommes, à cette vitesse plus lente pour répondre s'additionne une moins bonne confiance attribuée aux réponses données ainsi qu'une tendance plus grande à deviner les réponses (e.g. Blough & Slavin, 1987; Cooke-Simpson & Voyer, 2007; Delgado & Prieto, 1996; Goldstein, Haldane, & Mitchell, 1990). Cette différence dans la confiance entre les hommes et les femmes est également observée dans des questionnaires permettant l'évaluation des compétences d'orientation ainsi que dans de comportement exploratoire (Brandner, 2007; Coluccia & Louse, 2004; Schmitz, 1997).

La différence de performance entre hommes et femmes dans les tâches de rotation mentale peut être aussi influencée par une différence d'utilisation des cadres de référence (global versus local) comme l'ont montré les études investiguant les capacités d'orientation et de navigation spatiale. Par exemple, l'utilisation d'une stratégie euclidienne améliore les capacités des hommes (e.g. Astur, Tropp, Sava, Constable, & Markus, 2004; Moffat et al., 1998; Sandstrom et al., 1998) alors qu'une stratégie positionnelle (basée sur des points de repères) améliore les capacités des femmes (e.g. Astur et al., 2004; Levy et al., 2005; Saucier et al., 2002). L'étude des liens entre ces différentes variables a montré une corrélation positive significative entre les scores obtenus dans des tâches de rotation mentale et l'utilisation d'information euclidienne alors qu'aucune corrélation significative n'a pu être observée avec la capacité à utiliser l'information provenant des points de repère (Astur et al., 2004; Saucier et al., 2002). La performance dans les tâches de rotation mentale peut être influencée par des différences en perception spatiale. Si les hommes emploient une stratégie globale basée sur l'information euclidienne, alors la différence sexuelle pourrait être le résultat de différences dans la perception de l'axe vertical et de l'axe horizontal des figures. Il a été montré que, comparativement aux hommes, les femmes obtiennent de moins bonnes performances pour juger le niveau de l'eau dans une bouteille inclinée, ainsi que pour juger la position verticale d'une baguette dans un cadre incliné (e.g. Linn & Petersen, 1985; Robert & Ohlmann, 1994). L'influence perceptive de ces axes directionnels a aussi été montré dans une tâche papier crayon demandant d'évaluer les attributs spatiaux d'une ligne (tâche de Benton, Hamsher, Varney, & Spreen, 1983) où les erreurs ont été plus fréquentes lorsque les lignes sont obliques plutôt qu'horizontales ou verticales, et ceci particulièrement chez les femmes. De plus, les résultats de cette étude semblent indiquer que la différence

entre les sexes est due à une plus grande utilisation des références géométriques offertes par la feuille de papier sur laquelle les lignes sont présentées (Collaer & Nelson, 2002).

Enfin, les différences sexuelles observées dans les tâches de rotation mentale peuvent être influencées par des différences mnésiques. Si les femmes s'appuient sur une stratégie locale, dans laquelle les caractéristiques individuelles, ou les parties des objets, sont tournées et comparées séparément, alors la différence entre les sexes pourraient résulter de la différence de quantité d'information nécessaire à coder et à maintenir en mémoire (i.e. charge mnésique) lors de l'utilisation de stratégie locale versus globale. Des études soutiennent qu'une meilleure performance spatiale chez les hommes (comparativement aux femmes) est due à une plus grande mémoire de travail visuo-spatiale (pour une revue, Coluccia & Louse, 2004). Cependant, d'autres études indiquent que la supériorité de mémoire de travail visuo-spatiale peut être aussi bien en faveur des hommes qu'en faveur des femmes (e.g. Duff & Hampson, 2001; Vecchi & Girelli, 1998). La tâche de mémoire spatiale présentée au participant joue un rôle important pour observer ou non des différences sexuelles: selon Thorndyke et Hayes-Roth (1982), et Rossano et Moak (1998), une procédure expérimentale menée dans un environnement réel comme par exemple une tâche de pointage où il est demandé au participant de pointer vers différents objets répartis dans l'environnement, nécessite moins de charge mnésique qu'une procédure expérimentale impliquant une simulation, comme demander au participant de s'imaginer dans une position différente pour ensuite identifier différents objets répartis autour de lui. La charge mnésique augmente avec le nombre d'éléments présents et devant être maintenus simultanément en mémoire (Marcus, Cooper, & Sweller, 1996). Dans un environnement réel lorsque le participant doit effectuer des pointages (pointer vers différents points de repère), les objets vers lesquels le participant doit pointer, sont dans une direction spécifique par rapport au participant. Dans une tâche de simulation, les participants sont placés devant une table, face à un mur, et on leur demande de s'imaginer dans une position différente avec leur visage dirigé vers une direction spécifique. Dans cette dernière tâche, les femmes montrent de moins bonne performance que les hommes alors que dans la tâche de pointage en environnement réel, il y a une absence de différences sexuelles (Rossano & Moak, 1998). Il semblerait que lorsque la charge mnésique est limitée, les différences sexuelles disparaissent (Brown, Lahar, & Mosley, 1998). Des études ont montré des résultats dans ce sens dans des tâches d'orientation spatiale lorsqu'une carte géographique est disponible, alors que cette différence sexuelle apparaît, en faveur des hommes, lorsque la carte géographique n'est plus disponible (Ward et al, 1986). Lorsque la carte géographique est disponible, le participant n'a pas besoin de stocker une quantité importante d'informations en

mémoire alors que sans carte géographique disponible, le stockage d'informations est plus important augmentant de ce fait la charge mnésique (Ward et al. ,1986).

D'autres études ont montré par contre un avantage de mémoire épisodique générale chez les femmes (e.g. Andreano & Cahill, 2009; Herlitz et al., 1997; Herlitz & Rehman, 2008). Cet effet cependant varie relativement au type de matériel à mémoriser. Par exemple, les femmes montrent de meilleures performances que les hommes à se souvenir de mots, d'objets, de visages ou encore de la localisation d'objets alors que les hommes montrent de meilleures performances que les femmes à se souvenir de routes et ceci en présence ou en absence d'information environnementale (Herlitz & Rehman, 2008).

Bien que les résultats de ces études spatiales renforcent l'hypothèse générale selon laquelle les différences entre les sexes dans les tâches spatiales sont le reflet des stratégies utilisées pour traiter l'information, elles ne sont pas équivalentes et donc ne mesurent probablement pas les mêmes capacités de la même manière. Ainsi, il est difficile d'obtenir une image claire de ce qui diffère réellement entre les hommes et les femmes. Une étape clé consisterait à clarifier la façon dont les fonctions cognitives affectent le traitement de l'information, et donc influencent les stratégies. Une manière d'aborder le problème est de distinguer les processus cognitifs supposés être fondamentaux pour les capacités spatiales (e.g. Usher & McClelland, 2001; Van Zandt, 2000; Yonelinas & Parks, 2007) et de les tester systématiquement.

2. Expérience 1

Cette expérience vise à évaluer l'effet des références offertes par l'environnement expérimental sur la rotation mentale. La tâche utilisée pour cette expérience utilise des configurations de stimuli géométriques dont l'un des axes virtuel est aligné soit sur la verticale soit sur l'horizontale. La tâche demande aux participants de reconnaître des configurations cibles, préalablement mémorisés, lorsque les axes de références canoniques (vertical et horizontal) desdites configurations sont basculés dans le sens horaire CW et anti-horaire CCW (stimuli leurres). Comme les axes de références ne sont pas directement représentés mais peuvent être extraits par l'alignement des formes géométriques qui constituent les configurations, il est donc possible de résoudre la tâche à l'aide d'au moins deux types de stratégie. L'une des stratégies consiste à comparer mentalement la configuration perçue à la configuration mémorisée afin de décider si la configuration présentée est une cible ou un leurre; la seconde consiste à ne considérer que les axes directionnels virtuels de ces configurations pour procéder à des comparaisons. La capacité de discrimination et les temps de réaction corrects ainsi que la confiance attribuée aux

réponses ont été analysées pour chacun des deux sexes. De plus, la théorie de la détection du signal (TDS) a été utilisée pour dissocier l'index de sensibilité (d' -prime) impliquée dans les processus de discrimination et le critère de réponse (c -biais) impliqué dans les processus de décision (Green & Swets, 1966). Finalement, des analyses discriminantes ont été calculées pour déterminer le set de variables nous permettant le meilleur niveau de discrimination entre les deux sexes.

2.1 Méthodes

Participants

Trente volontaires (15 hommes et 15 femmes) tous droitiers recrutés sur le campus de l'Université de Lausanne (Suisse), âgés de 18 à 30 ans ont participé à cette expérience. Les étudiants sont tous en 1^{ère} année de psychologie (tout comme pour les prochaines expériences de cette thèse) et sont considérés comme naïfs quant aux sujets abordés dans ce travail. Chaque participant a rempli un formulaire de consentement après avoir reçu toutes les informations relatives à l'expérience. Cette expérience remplit également les conditions éthiques de l'Université de Lausanne et sont transmises aux participants.

Stimuli

Un stimulus (2D) est créé en combinant trois formes géométriques (un carré, un cercle et un hexagone) de couleur noire d'environ 13 mm² chacun (figure 1A).

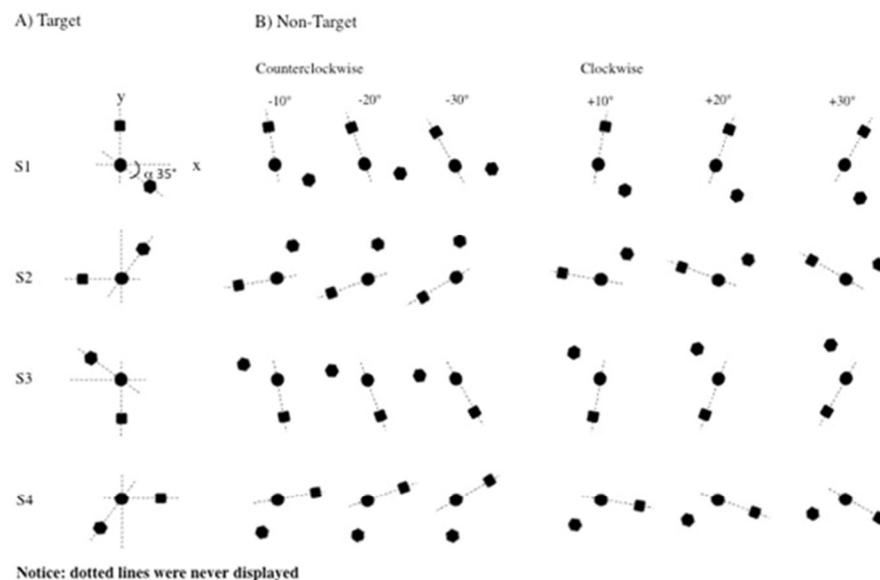


Figure 1. A. Les quatre stimuli cibles (S1, S2, S3, S4). B. Les vingt-quatre stimuli leures avec rotation dans le sens horaire (CW) et anti-horaire (CCW) (Brandner, C., Devaud, C. (2013). Are Differences Between Men and Women in Rotated Pattern Recognition Due to the Use of Different Cognitive Strategies? *Europe's Journal of Psychology*, 9, 3, 607-622)

Ces formes ont été créées à l'aide du logiciel E-prime (version 1 / 2, Psychology Software Tools, Inc) et présenté sur un ordinateur IBM Pentium 100 Mhz, équipé de 16 MB de RAM, avec un écran de 43 cm diagonale (14 pouces). Ces formes géométriques ont été fournies par le Prof Brandner et utilisées dans des précédentes expériences sans avoir montré de problèmes de discrimination. Le carré et le cercle ont été alignés sur l'axe Y alors que l'hexagone est placé à 35° en dessous de l'axe X. Trois stimuli cibles (S) additionnels ont été créés par trois rotations trigonométriques de 90° de l'axe Y. Ces quatre stimuli (S1, S2, S3, S4) ont été utilisés comme stimuli cibles alignés selon l'axe de référence canonique vertical (S1 et S3) et l'axe de référence canonique horizontal (S2 et S4) (Figure 1A). Vingt-quatre stimuli leurres additionnels ont été créés par des rotations horaires (CW) et anti-horaires (CCW) des axes de référence canoniques de chacun des stimuli cible de 10°, 20° et 30° respectivement (Figure 1B).

2.2 Procédure expérimentale

Les instructions ont été transmises aux participants sous forme écrite sur l'écran de l'ordinateur suivie de 16 essais d'entraînement utilisant quatre stimuli cibles similaires mais avec des figures géométriques différentes afin de familiariser le participant avec la tâche. Cet entraînement a été directement suivi d'une phase de mémorisation des quatre stimuli cibles, présentés successivement, durant 5000 ms, selon l'ordre suivant: S1, S2, S3 et S4. Chaque présentation des stimuli cibles a été suivie par la présentation, durant 3000 ms, d'un écran blanc (Figure 2). Cette phase de mémorisation a été immédiatement suivie par une phase de discrimination où la tâche des participants consistait à discriminer aussi rapidement et précisément que possible les stimuli cibles des stimuli leurres (ayant subi une rotation) selon un paradigme de réponse à choix forcé "oui" ou "non" (oui=stimulus cible; non=stimulus leurre).

Les participants ont dû répondre à 112 présentations (16 stimuli cibles et 96 stimuli leurres) et la présentation des stimuli cibles et des stimuli leurres a été randomisée. Chaque présentation des stimuli à discriminer est restée visible jusqu'à ce que les participants donnent leur réponse. La réponse a été suivie par un écran blanc, présenté durant 1000 ms, puis par un écran demandant aux participants d'évaluer (en cliquant avec la main droite la souris) le degré de confiance (de 0% "je ne sais pas" à 100% "absolument certain") attribué à leur réponse. Après que les participants ont évalué leur degré de confiance, un autre écran blanc apparaît pendant 1000 ms, suivi immédiatement par la présentation du stimulus suivant. Les participants n'ont reçu aucun feedback sur leur performance pendant la tâche.

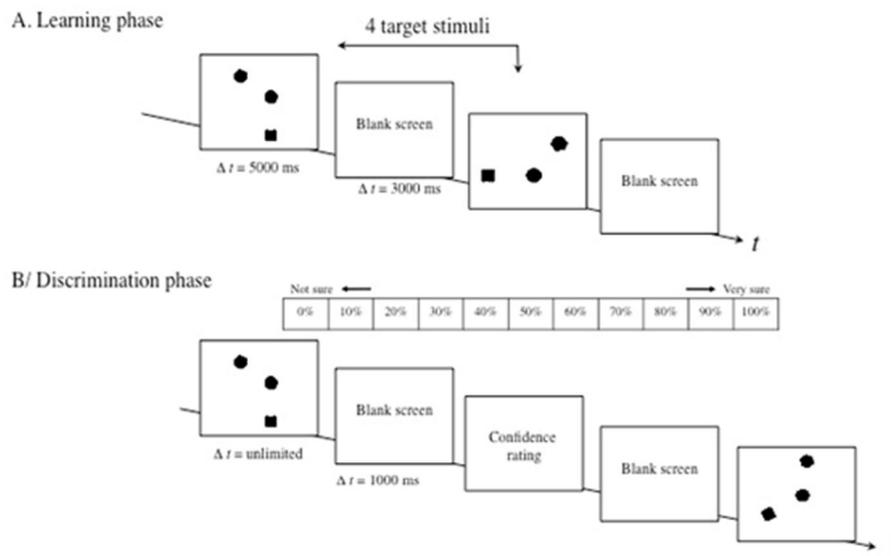


Figure 2. A. Phase de mémorisation des quatre stimuli cibles apparaissant successivement. B. Phase de discrimination des stimuli cibles et stimuli leurres avec évaluation du degré de confiance après chaque réponse (Brandner, C., Devaud, C. (2013). Are Differences Between Men and Women in Rotated Pattern Recognition Due to the Use of Different Cognitive Strategies? *Europe's Journal of Psychology*, 9, 3, 607-622)

2.3 Résultats

Performance globale

Une ANOVA univariée sur la moyenne de reconnaissance correcte révèle un effet significatif de sexe ($F(1, 28) = 4.62, p = .04; \epsilon = .14$). Comparativement aux femmes, les hommes discriminent significativement plus correctement les stimuli cibles et les stimuli leurres (femmes: $M = 0.74, ES = 0.04$; hommes: $M = 0.89, ES = 0.03$). A l'inverse, il n'y a pas de différences sexuelles dans la moyenne des temps de réponse correcte ($F(1, 28) = 1.98, p = .17$; femmes: $M = 2861, ES = 263$; hommes: $M = 2340, ES = 260$) ni dans la moyenne du niveau de confiance attribué aux réponses données ($F(1, 28) = 2.69, p = .11$; femmes: $M = 0.76, ES = 0.01$; hommes: $M = 0.85, ES = 0.01$) (Figure 3A).

Une ANOVA multivariée sur l'indice d-prime et c-biais a été calculée sur l'ensemble du set de stimuli (Figure 3B). Les résultats montrent un d-prime significativement plus élevé chez les hommes en comparaison aux femmes ($F(1, 28) = 8.42, p = .007, \epsilon = .23$; hommes: $M = 0.28, ES = 0.13$; femmes: $M = 0.13, ES = 0.15$) alors qu'aucune différence sexuelle n'est observée sur l'indice c-biais ($F(1, 28) = .75, p = .39$; hommes: $M = 0.19, ES = 0.134$; femmes: $M = 0.33, ES = 1.47$).

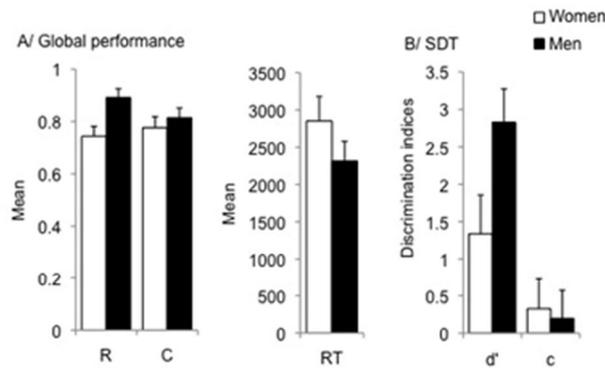


Figure 3. A. Moyenne (\pm erreur standard) de la reconnaissance correcte (R), du taux de confiance (C) et du temps de réponse correct (RT) pendant la phase de discrimination chez les hommes et les femmes. B. d-prime et c-biais, valeurs des paramètres (moy \pm erreur standard) mesurant la sensibilité visuelle et le critère de réponse calculé sur l'entier des stimuli (cibles et leurres) (Brandner, C., Devaud, C. (2013). Are Differences Between Men and Women in Rotated Pattern Recognition Due to the Use of Different Cognitive Strategies? *Europe's Journal of Psychology*, 9, 3, 607-622)

Stimuli cibles (S1, S2, S3, S4)

La tâche utilisée varie des tâches de rotation mentale traditionnelles dans la mesure où elle requiert aussi bien la mémoire de référence (phase de mémorisation) que la mémoire de travail (phase de discrimination). Ainsi, les réponses des participants ont été analysées en fonction des stimuli cibles et des stimuli leurres respectivement. Les analyses ont été conduites sur la moyenne de reconnaissance correcte des stimuli cibles, du taux de confiance et des temps de réponse correcte pour chacun des stimuli cibles S1, S2, S3 et S4.

Table 1 : Reconnaissance correcte (R), Taux de confiance (CR), Temps de réponse correct (RT) chez les hommes et femmes pour chaque stimulus cible (S1-S4)

Target	Mean			Standard error		
	R	CR	RT	R	CR	RT
Women (n = 15)						
S1	0.60	0.77	3545.72	0.10	0.05	472.84
S2	0.72	0.79	3016.69	0.09	0.05	248.30
S3	0.53	0.77	2672.64	0.12	0.04	387.413
S4	0.63	0.77	3317.99	0.10	0.04	536.34
Men (n = 15)						
S1	0.88	0.81	2203.40	0.05	0.04	277.45
S2	0.88	0.85	2621.37	0.07	0.04	339.10
S3	0.92	0.81	2139.75	0.05	0.04	292.70
S4	0.88	0.80	2393.03	0.07	0.04	223.03

(Brandner, C., Devaud, C. (2013). Are Differences Between Men and Women in Rotated Pattern Recognition Due to the Use of Different Cognitive Strategies? *Europe's Journal of Psychology*, 9, 3, 607-622)

Des ANOVAs à mesures répétées ont été calculées avec le facteur inter sujet "sexe" sur la moyenne de chacune des variables dépendantes. La moyenne de reconnaissance correcte ne diffère pas de manière significative entre les stimuli cibles ($F(3, 84) = .50, p = .69$). Cependant, la reconnaissance correcte des stimuli cibles est significativement meilleure chez les hommes comparativement aux femmes ($F(1, 28) = 9.17, p = .01, \epsilon = .25$)

et aucune interaction significative entre le "sexe" et le "stimulus cible" n'a été détecté ($F(3, 84) = .97, p = .41$) (Table 1). La même analyse sur la moyenne du taux de confiance moyen (stimulus cible: $F(3, 84) = 1.94, p = .13$; sexe: $F(1, 28) = .46, p = .50$; stimulus cible x sexe: $F(3, 84) = .28, p = .84$) et sur la moyenne des temps de réponse correcte (stimulus cible: $F(3, 60) = .58, p = .63$; sexe: $F(1, 20) = 2.78, p = .11$; stimulus cible x sexe: $F(3, 60) = 1.16, p = .34$) n'a révélé aucun effet significatif (Table 1).

Stimuli leurres

Une ANOVA à mesures répétées (orientation du stimulus S1-S4 x direction de rotation CW, CCW x amplitude de rotation 10°-30° x sexe) a été calculée sur la moyenne de reconnaissance correcte et les résultats n'ont révélé aucun effet principal significatif (sexe: $F(1, 28) = 2.96, p = .10$; orientation du stimulus: $F(3, 84) = .94, p = .42$; direction de rotation: $F(1, 28) = .01, p = .93$; amplitude de rotation: $F(2, 56) = .92, p = .40$). Cependant, cette analyse a révélé une interaction significative entre le sexe et la direction de rotation ($F(1, 28) = 5.95, p = .02, \epsilon = .18$) ainsi qu'une interaction significative entre le sexe, l'orientation du stimulus et la direction de rotation ($F(3, 84) = 4.40, p = .01, \epsilon = .14$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que les hommes ont une meilleure reconnaissance correcte que les femmes des stimuli leurres tournés dans le sens horaire ($F(1, 28) = 4.87, p = .04, \epsilon = .15$; femmes: $M = 0.74, ES = 0.05$; hommes: $M = 0.91, ES = 0.05$) alors qu'aucune différence sexuelle significative n'a été détecté lorsque le sens de rotation est anti-horaire ($F(1, 28) = 1.31, p = .26$; femmes: $M = 0.78, ES = .05$; hommes: $M = .87, ES = .05$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que la discrimination des femmes est significativement moins bonne lorsqu'il s'agit de discriminer les stimuli leurres des stimuli cibles, S1 et S2 ayant subi une rotation horaire (S1: $F(1, 28) = 5.50, p = .03, \epsilon = .16$; femmes: $M = 0.78, ES = 0.07$; hommes: $M = 0.94, ES = 0.03$; S2: $F(1, 28) = 5.90, p = .022, \epsilon = .17$; femmes: $M = 0.63, ES = 0.10$; hommes: $M = 0.90, ES = 0.04$) et lorsque les stimuli leurres issus du stimulus cible S4 sont tournés dans le sens anti-horaire ($F(1, 28) = 4.52, p = .04, \epsilon = .14$; femmes: $M = 0.67, ES = 0.10$; hommes: $M = 0.90, ES = 0.05$). Les mêmes analyses sur la moyenne du taux de confiance attribué aux réponses ne montrent aucun effet significatif de sexe ($F(1, 28) = 3.03, p = .09$), d'orientation du stimulus ($F(3, 84) = 1.18, p = .32$), ni de la direction de rotation ($F(1, 28) = 3.13, p = .09$). Les résultats ont par contre révélé un effet significatif de l'amplitude de rotation ($F(2, 56) = 4.98, p = .01, \epsilon = .15$). Les comparaisons subséquentes ont montré une confiance plus faible des participants dans la discrimination des stimuli leurres ayant subi une rotation de 10° par comparaison avec une rotation de 20° et 30° (10° vs 20°: $p = .012$; 10° vs 30°: $p = .041$, Table 2). Ces analyses n'ont révélé aucune interaction significative entre le sexe, l'orientation du stimulus et la direction de rotation.

Table 2: Taux de confiance pour chaque amplitude de rotation

Amplitude	Mean		Standard error	
	Women (n = 15)	Men (n = 15)	Women	Men
10°	0.74	0.84	0.04	0.04
20°	0.77	0.86	0.04	0.04
30°	0.76	0.86	0.04	0.04

(Brandner, C., Devaud, C. (2013). Are Differences Between Men and Women in Rotated Pattern Recognition Due to the Use of Different Cognitive Strategies? *Europe's Journal of Psychology*, 9, 3, 607-622)

L'analyse conduite sur la moyenne des temps de réponse correcte n'a révélé aucun effet principal significatif de sexe ($F(1, 21) = .41, p = .53$), de l'orientation du stimulus ($F(3, 63) = .91, p = .44$), de l'amplitude de rotation ($F(2, 42) = 1.40, p = .26$) et de la direction de rotation ($F(1, 21) = .80, p = .38$) ni aucune interaction significative entre ces différents facteurs. Une MANOVA sur les indices d-prime et c-biais (TDS), calculée sur les stimuli leures ayant subi une rotation horaire et anti-horaire respectivement, a révélé un effet significatif de sexe pour l'indice d-prime et ceci quel que soit le sens de rotation (horaire: $F(1, 28) = 12.00, p = .002, \epsilon = .30$; femmes: $M = 1.14, ES = 0.40$; hommes: $M = 2.82, ES = 0.28$; anti-horaire: $F(1, 28) = 6.19, p = .02, \epsilon = .18$; femmes: $M = 1.43, ES = 0.33$; hommes: $M = 2.62, ES = 0.34$). Aucun effet significatif de sexe n'a été observé pour l'indice c-biais dans la condition de rotation horaire ($F(1, 28) = .03, p = .87$; femmes: $M = 0.22, ES = 0.13$; hommes: $M = 0.19, ES = 0.08$) alors que la différence entre les sexes s'est révélée proche de la significativité dans la condition de rotation anti-horaire ($F(1, 28) = 3.88, p = .06, \epsilon = .12$; femmes: $M = 0.37, ES = 0.11$; hommes: $M = 0.10, ES = 0.08$, Figure 4A).

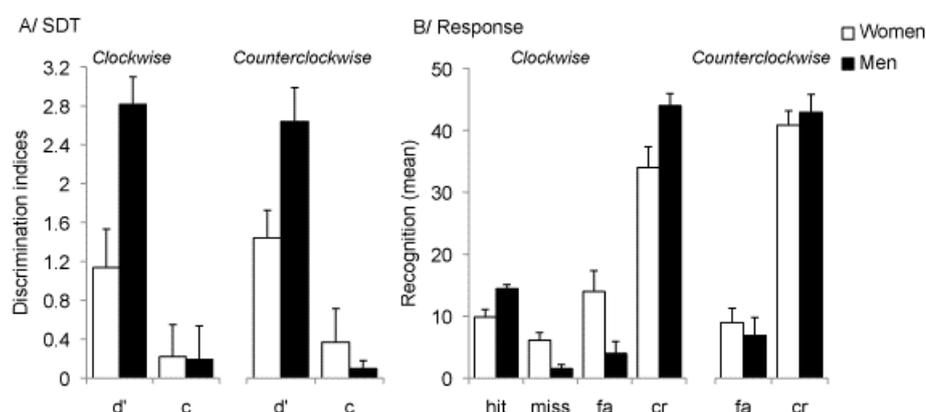


Figure 4. A. valeurs de d-prime et c-biais (moy ± erreur standard) mesurant la sensibilité visuelle d-prime et le critère de réponse c-biais pour les hommes et les femmes. B. Moyenne (± erreur standard) des réponses (hit: réponses correctes, fa: fausses alarmes, miss: omission, cr: rejet correct) d-prime et c-biais, valeurs des paramètres (moy ± erreur standard) dans les deux directions (Brandner, C., Devaud, C. (2013). Are Differences Between Men and Women in Rotated Pattern Recognition Due to the Use of Different Cognitive Strategies? *Europe's Journal of Psychology*, 9, 3, 607-622)

Des analyses subséquentes par paires ont révélé une amélioration significative des paramètres TDS chez les femmes dans la condition de rotation anti-horaire (d-prime/c-biais

CW vs CCW, $t(14) = -2.30$, $p = .04$), ce qui est dû à une diminution du taux de fausses alarmes (Figure 4B) alors qu'aucune différence significative n'a été observé chez les hommes (d-prime/c-biais CW vs CCW $t(14) = 1.56$, $p = .14$, Figure 4B).

Discrimination inter-sexe

Finalement, les données de cette première expérience ont été soumises à une analyse discriminante afin d'identifier les variables permettant de différencier au mieux l'appartenance des individus aux groupes hommes et femmes. L'analyse effectuée sur l'ensemble des stimuli cibles et leurres (rotations horaires (+10°, +20°, +30°) et anti-horaires incluses (-10°, -20°, -30°), les indices d-prime et c-biais, le taux de reconnaissance correcte, le taux de confiance, et le temps de réponse correcte (variables prédictives). Les résultats de cette analyse montrent une différence significative du taux de reconnaissance correcte ($F[1, 28] = 4.64$, $p = .04$) et une différence qui tend vers la significativité des moyennes de l'indice d-prime ($F[1, 28] = 8.42$, $p = .08$) alors qu'aucune différence significative n'a été observé sur le reste des variables prédictives (c-bias: $F[1, 28] = .75$, $p = .39$; taux de confiance: $F[1, 28] = 2.70$, $p = .11$; temps de réponse correcte: $F[1, 28] = 1.98$, $p = .18$). Malgré le petit échantillon, l'égalité de la matrice de variance-covariance est respectée (test Box's M: $M = 24.97$, $F(15,3156.63) = 1.34$, $p = .17$), cependant l'association entre les groupes et tous les prédicateurs n'est pas significative ($\chi^2: 9.82$, $p = .08$) et n'explique que 32% de la variance entre les groupes hommes et les femmes. Ce résultat peut être dû à la forte corrélation observée entre le d-prime (et les scores de la première fonction discriminante 0.80) comparativement aux scores des variables restantes. L'algorithme de la fonction indique que 67% des cas semblent être correctement classés (Figure 5A).

La même analyse effectuée sur les stimuli leurres avec rotation horaire montre des résultats similaires: (d-prime: $F[1, 28] = 12.04$, $p = .002$; reconnaissance ($F[1, 28] = 9.17$, $p = .005$; c-bias: $F[1, 28] = .30$, $p = .87$; taux de confiance: $F[1, 28] = 3.48$, $p = .07$; temps de réponse correcte: $F[1, 28] = .94$, $p = .34$). La fonction discriminante entre les groupes et tous les prédicateurs est presque significative ($\chi^2: 10.92$, $p = .05$) mais n'explique que 34% de la variance entre hommes et femmes alors que 73% des cas sont correctement classés (Figure 5B).

Finalement, la fonction discriminante appliquée sur les stimuli leurres en rotation anti-horaire a montré une association significative entre les groupes et tous les prédicateurs ($\chi^2: 12.95$, $p = .02$) et un pourcentage de variance expliquée entre les groupes s'élevant à 42%. Ce résultat est dû au changement dans la structure des matrices de variance-covariance des groupes qui diminue la valeur de la corrélation observée entre le d-prime et les scores de la première fonction discriminante (0.58) alors que celle entre le c-bias et cette même fonction

augmente (-0.46) tandis que le taux de cas correctement classés est maintenu à 73% (Figure 5C).

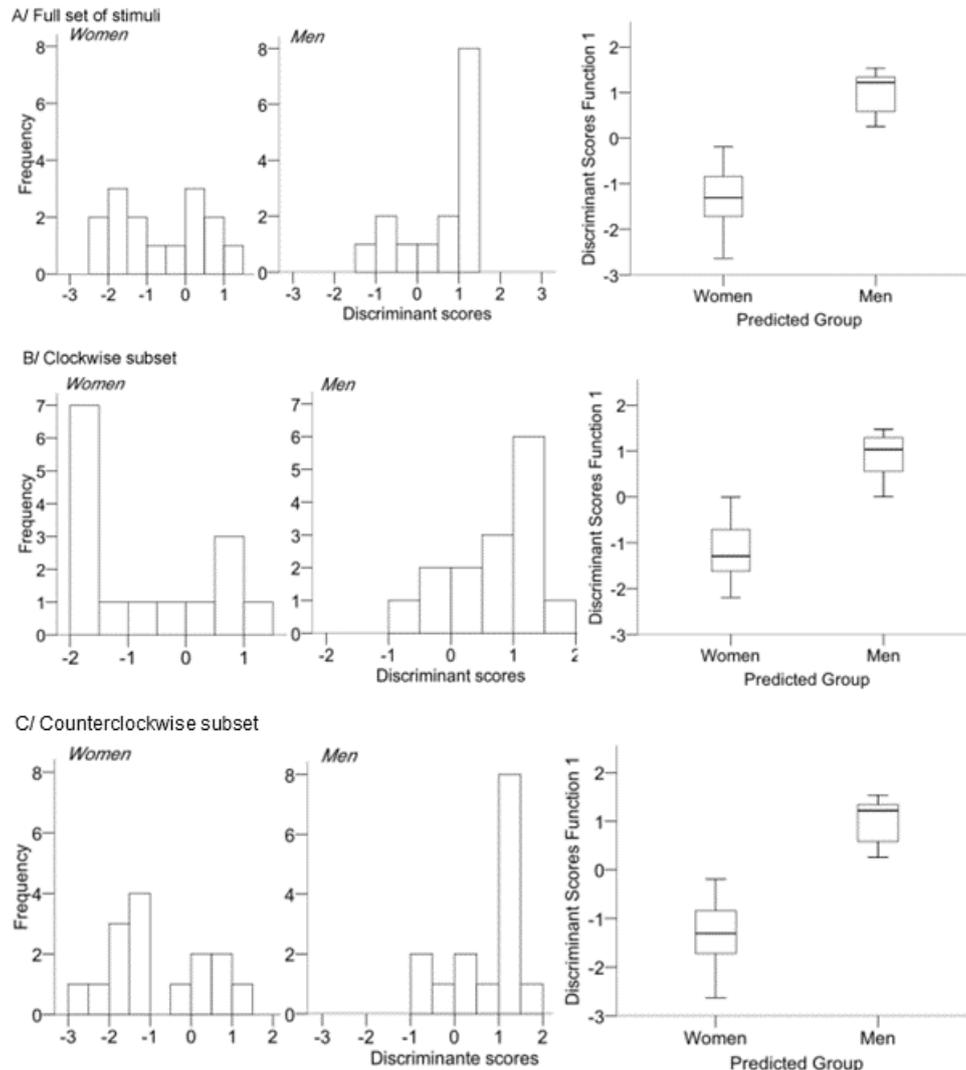


Figure 5. Histogrammes illustrant la distribution des scores de fonction discriminante et les boîtes à moustache montrant les différences entre les hommes et les femmes pour: A. l'ensemble des stimuli (cibles et leurres); B. les stimuli leurres en rotation horaire CW et C. anti-horaire CCW (Brandner, C., Devaud, C. (2013). Are Differences Between Men and Women in Rotated Pattern Recognition Due to the Use of Different Cognitive Strategies? *Europe's Journal of Psychology*, 9, 3, 607-622)

2.4 Discussion

Un résultat important montré dans cette expérience est la différence sexuelle observée dans la discrimination des stimuli cibles: les hommes discriminent significativement mieux que les femmes les stimuli présentés comme stimuli cibles. Bien qu'il soit possible de résoudre cette tâche en effectuant une rotation mentale du stimulus cible et/ou des stimuli leurres, il est également possible que les participants résolvent la tâche simplement en se

souvenant de l'alignement des stimuli cibles sur les axes de références canoniques (axe vertical et horizontal). Par exemple, tous les quatre stimuli cibles ont le cercle central et le carré aligné soit sur l'axe vertical (i.e. à 0° pour le stimulus cible S1 et à 180° pour le stimulus cible S3), soit sur l'axe horizontal (i.e. à 270° pour S2 et 90° pour S4). Cet alignement des stimuli cibles peut être particulièrement saillant pour les participants s'ils comparent les axes de l'alignement des stimuli cibles avec le cadre de l'écran de l'ordinateur qui est visible à chaque présentation (Collaer & Nelson, 2002). Ainsi, pour résoudre cette tâche, les participants ont besoin seulement de reconnaître que le stimulus cible a le carré et le cercle alignés avec l'axe vertical ou horizontal et si le stimulus présenté ne présente pas un tel alignement, le stimulus est un stimulus leurre. Nous avons voulu dans l'expérience suivante vérifier cette hypothèse.

3. Expérience 2

Dans cette seconde expérience, nous avons créé un stimulus cible différent de l'expérience 1 qui n'est plus aligné selon un axe vertical ou horizontal. Il n'est plus composé de figures géométrique afin d'éviter toute autre référence directionnelle. Nous avons choisi une forme arrondie qui ressemble à un boomerang. Nous voulons vérifier si ce stimulus cible (qui n'est plus alignée selon un axe de référence canonique comme la verticale ou l'horizontale) est également mieux discriminé par les hommes. Nous faisons l'hypothèse que non, puisque notre première expérience semble indiquer que les hommes utilisent des axes de référence canoniques pour améliorer leur performance de discrimination du stimulus cible qui ne seraient plus alignés avec le stimulus cible de notre seconde expérience.

3.1. Méthodes

Participants

Ce sont les mêmes participants que pour l'expérience 1. Ils répondent aux stimuli après avoir terminé l'expérience 1.

Stimuli

Dans cette deuxième expérience, nous utilisons un stimulus cible différent, en forme de boomerang, pour tester cette éventualité (Figure 6A). Les côtés de ce stimulus ne sont pas alignés selon la verticale ou l'horizontale. Les stimuli leurres correspondent à des rotations horaires (CW) et anti-horaires (CCW) avec deux amplitudes de rotations différentes (5° et 10°) (Figure 6B).

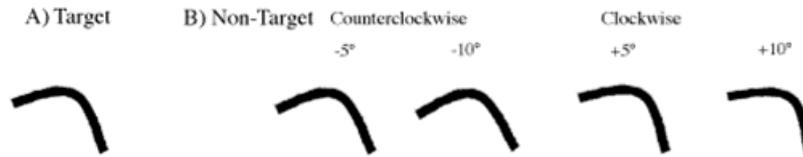


Figure 6. A. Stimulus cible en forme de boomerang. B. les quatre stimuli leurres variant d'une amplitude de 5° ou 10° dans le sens horaire CW et anti-horaire CCW (Brandner, C., Devaud, C. (2013). Are Differences Between Men and Women in Rotated Pattern Recognition Due to the Use of Different Cognitive Strategies? *Europe's Journal of Psychology*, 9, 3, 607-622)

3.2. Procédure expérimentale

Immédiatement après la présentation des quatre stimuli cibles (S1-S4) et de leur stimuli leurres, le stimulus cible boomerang est présenté aux participants suivi des stimuli leurres selon la même procédure que celle de l'expérience 1 (Figure 2). Chaque participant répond à 24 présentations (8 stimuli cibles [8 apparitions répétées du boomerang] et 16 stimuli leurres [4 apparitions répétées de chaque stimulus leurre]), le tout présenté de façon randomisée.

3.3. Résultats

Performance globale

Une ANOVA univariée calculée sur la moyenne de reconnaissance correcte n'a révélé aucun effet de sexe ($F(1, 28) = .06, p = .80$; femmes: $M = 0.81, ES = 0.05$; hommes: $M = 0.79, ES = 0.07$). Il n'y a pas de différences sexuelles dans la moyenne du niveau de confiance attribuée aux réponses données ($F(1, 28) = .05, p = .83$; femmes: $M = 0.72, ES = 0.03$; hommes: $M = 0.70, ES = 0.05$), ni dans la moyenne des temps de réponse correcte ($F(1, 28) = .07, p = .79$; femmes: $M = 2462, ES = 292$; hommes: $M = 2574, ES = 292$) (Figure 7A).

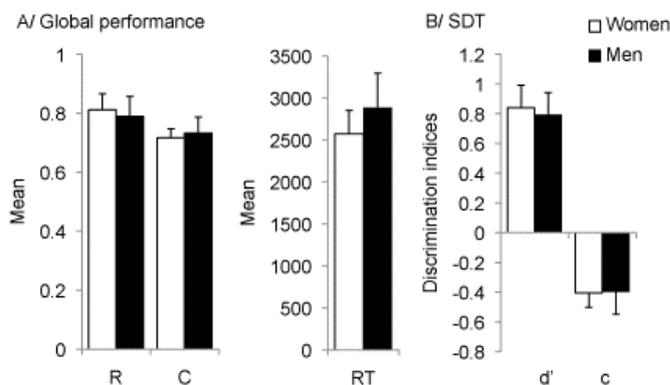


Figure 7. A. Moyenne (\pm erreur standard) de la reconnaissance correcte (R), de la confiance (C), et du temps de réponse correcte (RT). B. Scores de d-prime et c-biais (moyenne \pm erreur standard) mesurant la sensibilité visuelle et le critère de réponse calculé sur l'ensemble des stimuli (Brandner, C., Devaud, C. (2013). Are Differences Between Men and Women in Rotated Pattern Recognition Due to the Use of Different Cognitive Strategies? *Europe's Journal of Psychology*, 9, 3, 607-622)

Une ANOVA multivariée sur l'indice d-prime et c-biais a été calculée sur l'ensemble du set des stimuli (cible et leurres). Les résultats n'ont montré aucune différence sexuelle (Figure 7B) sur l'indice d-prime ($F(1, 28) = .05, p = .83$) et sur l'indice c-biais ($F(1, 28) = .002, p = .97$).

Stimuli leurres

Une ANOVA à mesures répétées (direction de rotation CW, CCW x amplitude de rotation 5°, 10° x sexe) a été calculée sur la moyenne de reconnaissance correcte. Les résultats de cette analyse n'ont pas révélé d'effet principal significatif de sexe ($F(1, 28) = .0001, p = .99$), ni d'effet principal de la direction de rotation ($F(1, 28) = 1.64, p = .21$), ou encore d'interactions significatives entre le sexe et la direction de rotation ($F(1, 28) = .01, p = .92$) et entre le sexe et l'amplitude de rotation ($F(1, 28) = .34, p = .56$). Cette analyse a révélé un effet principal de l'amplitude de rotation ($F(1, 28) = 25.70, p = .0001, \epsilon = .48$; 5°: $M = 0.36, ES = 0.04$; 10°: $M = 0.65, ES = 0.04$) ainsi qu'un effet significatif d'interaction entre la direction de rotation et l'amplitude de rotation. Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que la reconnaissance correcte était plus élevée lorsque la rotation était dans le sens horaire et l'amplitude de 10° par comparaison aux rotations anti-horaires de 10° (5°, CW vs CCW: $p = .21$; 5°, CW: $M = 0.39, ES = 0.07$; 5°, CCW: $M = 0.33, ES = 0.07$; 10°, CW vs CCW: $p = .001$; 10°, CW: $M = 0.76, ES = 0.06$; 10°, CCW: $M = 0.54, ES = 0.08$). Les mêmes analyses sur la moyenne du taux de confiance sur les réponses données et sur la moyenne des temps de réponse correcte n'ont montré aucun effet significatif (taux de confiance: sexe: $F(1, 28) = .06, p = .81$; direction de rotation: $F(1, 28) = .0001, p = .99$; amplitude de rotation: $F(1, 28) = 1.43, p = .24$; temps de réponse correcte: sexe: $F(1, 28) = .99, p = .39$; direction de rotation: $F(1, 28) = .05, p = .83$; amplitude de rotation: $F(1, 28) = .01, p = .91$).

3.4. Discussion

Les différences observées entre les hommes et les femmes dans l'expérience 1 et l'absence de différences sexuelles dans la reconnaissance correcte du stimulus cible dans l'expérience 2 suggèrent que ces différences dépendent de la perception et de l'utilisation des directions horizontale ou verticale offerte par les axes autour desquels les stimuli sont organisés. De nombreux résultats de la littérature indiquent que les axes directionnels fournis par l'environnement permettent de reconnaître, classer ou comparer divers objets d'une part, mais aussi de mémoriser la position spatiale desdits objets les uns relativement aux autres (e.g. Attneave & Curlee, 1977; Braine, 1978; Cooper & Shepard, 1973; Corballis, Nagourney, Shetzer, & Stefanatoy, 1978; Franklin & Tversky, 1990; Hinton & Parsons, 1981, 1988; Hock & Trombly, 1978; Levine, Jankovic, & Palij, 1982; Lynch, 1960; Mani & Johnson-

Laird, 1982; Rock, 1973; Yin, 1969). Les études ont montré qu'il est plus facile de retrouver (e.g. Ogilvie & Taylor, 1958) ou de discriminer des objets (e.g. Alluisi, 1961; Lashley, 1938; Sutherland, 1957, 1969) quand ces objets sont orientés verticalement ou horizontalement alors que leur basculement oblique rend la tâche plus difficile (e.g. Appelle, 1972; Bryant, 1969; Olson, 1970; Olson & Bialystok, 1983; Rudel & Teuber, 1963). Le même phénomène a été observé dans les tâches de rotation mentale où les participants répondent plus rapidement et précisément lorsque les axes de rotation du stimulus sont alignés selon les axes canoniques de l'environnement que lorsque les axes sont obliques (e.g. Friedman, Pilon, Gabrys, 1988; Parsons, 1987; Shiffrar & Shepard, 1991). Ces résultats sont en phase avec nos résultats obtenus dans l'expérience 1 et 2, bien que nous avons ajouté la variable sexe ce qui nous a permis de montrer une utilisation préférentielle des hommes de ces axes de référence canoniques. Les différences entre les sexes sont plus volontiers considérées dans les différentes études comme liées à la difficulté de la tâche, laquelle correspond au nombre de dimensions des stimuli (Bryden, George, & Inch, 1990; Cooper, 1975; Cooper & Podgorny, 1976; Pylyshyn, 1979; Jolicoeur, Regehr, Smith & Smith, 1985; Shepard & Metzler, 1971; Yuille & Steiger, 1982) ou à la familiarité desdits stimuli (Cohen & Polich, 1989; Corballis & McLaren, 1982, 1984; Koriat & Norman, 1985; Waber, Carlson & Mann, 1982; Wijers, Otten, Feenstra, Mulder, & Mulder, 1989). Par exemple, le temps de réponse plus élevé chez les femmes dans une tâche de rotation mentale utilisant l'assemblage de cubes de Shepard et Metzler (1970) est attribué à la difficulté de la tâche (Collins & Kimura, 1997; Peters, Laeng, Latham, & Jackson, 1995) alors que l'absence de différence entre les sexes dans des tâches utilisant des lettres (Campos & Cofan, 1986; Waber et al., 1982) est attribuée au degré de familiarité avec le matériel employé (Koriat & Norman, 1985). D'une manière générale, le temps de réponse des hommes est considéré comme relativement invariable quelles que soient les conditions expérimentales alors que, chez les femmes, cette variable est considérée comme sensible à la difficulté des stimuli (Heil et Jansen-Osmann, 2008; Jansen-Osmann & Heil, 2007). Il nous paraît intéressant d'explorer cette hypothèse portant sur la composition des stimuli à discriminer. Il est en effet possible que la différence sexuelle observée dans l'expérience 1 soit liée à l'utilisation de figures géométriques, préférentiellement discriminée par les hommes (Lummis & Stevenson, 1990) alors que les images usuelles du quotidien seraient discriminées préférentiellement par les femmes (Lévy, Astur, & Frick, 2005; McGivern et al., 1998). Nous allons dans l'expérience suivante créer des stimuli composés cette fois-ci par des images de tous les jours et non plus des figures géométriques. Nous voulons vérifier si les femmes vont mieux discriminer que les hommes ces stimuli cibles lorsqu'ils sont composés d'images de tous les jours.

4. Expérience 3

L'expérience 3 est une expérience pilote. Elle tente de combiner les différentes variables employées dans l'expérience 1 et 2, en utilisant des objets usuels ayant la particularité soit de fournir des axes directionnels ou non, ainsi que la position qu'occupent lesdits objets au sein d'une composition.

4.1. Méthodes

Participants

Un nouvel échantillon de trente participants volontaires (15 hommes et 15 femmes) tous droitiers, recrutés sur le campus de l'Université de Lausanne (Suisse), âgés de 18 à 30 ans ont participé à cette expérience. Chaque participant a rempli un formulaire de consentement après avoir reçu toutes les informations relatives à l'expérience.

Stimuli

Cette expérience pilote utilise le stimulus boomerang (expérience 2) ainsi que deux compositions additionnelles combinant deux jeux de trois images d'objets du quotidien, réalisés à l'aide du logiciel E-prime (version 1 / 2, Psychology Software Tools, Inc) et présentés sur un ordinateur IBM Pentium 100 Mhz, équipé de 16 MB de RAM, avec un écran de 43 cm diagonale (14 pouces). Ces images sont fournies par la Prof Brandner. Elles ont été utilisées dans des expériences précédentes et n'ont pas montré de problème de discrimination (Figure 8).

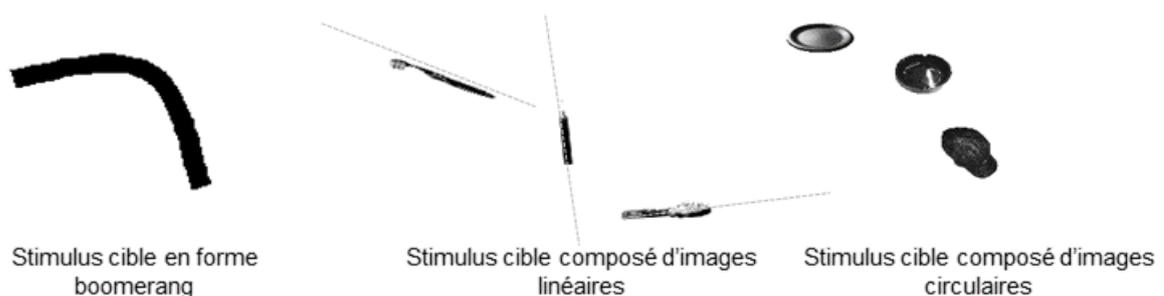


Figure 8. Le stimulus cible en forme de boomerang ne présente aucune direction particulière et n'est pas composé d'images. Le stimulus cible composé d'images en forme linéaire (brosse à dents, bougie et brosse à cheveux) indiquent des directions obliques (dessinées ici en pointillés mais non visibles par les participants) alors que le stimulus cible composé d'images en forme circulaire (assiette, cendrier, casquette) n'indique pas des directions particulières. Les participants doivent discriminer ces stimulus cibles des stimuli leurres correspondant à la rotation horaire ou anti-horaire de 5° ou 10° des stimuli cibles.

Le premier stimulus se compose d'objets offrant des axes directionnels selon une orientation canonique verticale ou horizontale (brosse à dents, bougie, brosse à cheveux) alors que le second se compose d'objets n'offrant pas d'axe directionnel puisqu'ils sont circulaires (assiette, cendrier, casquette). Chacun des objets occupe un espace d'environ 1.5

cm de longueur ou de diamètre. Afin que la perception de ces stimuli ne soit pas biaisée par le recours à une référence verticale ou horizontale fournie par l'environnement, les compositions s'organisent sur des axes virtuels obliques. Les stimuli leurres correspondent à des rotations horaires (CW) et anti-horaires (CCW) avec deux amplitudes de rotation différentes (5° et 10°) (Figure 8).

4.2 Procédure expérimentale

Les stimuli cibles (boomerang et objets) sont présentés aux participants, suivis des stimuli leurres selon la même procédure que celle de l'expérience 1 (une phase de mémorisation des stimuli cibles de 5000 ms secondes suivie d'une phase de discrimination). Chaque participant répond à 120 présentations (8 répétitions de 3 stimuli cibles et des 12 stimuli leurres), le tout présenté de façon randomisée.

4.3 Résultats

Performance globale

Des ANOVAs univariées conduites sur la moyenne de reconnaissance correcte, la moyenne des temps de réponse correcte et la moyenne du niveau de confiance attribué aux réponses données par les participants n'ont pas révélé d'effet significatif de sexe (reconnaissance: $F(1, 28) = 0.60, p = .44$; temps de réponse: $F(1, 28) = 2.62, p = .12$; niveau de confiance: $F(1, 28) = 0.06, p = .94$).

De même, une ANOVA multivariée sur les indices d-prime et c-biais, calculés sur l'ensemble des stimuli, n'a pas révélé d'effet significatif de sexe (d-prime: $F(1, 28) = .14, p = .71$; hommes: $M = 0.86, ES = 0.10$; femmes: $M = 0.81, ES = 0.10$; c-biais: ($F(1, 28) = .58, p = .45$; hommes: $M = -0.26, ES = 0.11$; femmes: $M = -0.38, ES = 0.11$).

Stimuli cibles

Des ANOVAs à mesures répétées ont été calculées avec le facteur intersujet "sexe" sur la moyenne de chacune des variables dépendantes. La moyenne de reconnaissance correcte ne diffère pas de manière significative entre les stimuli cibles, bien qu'il y ait une tendance à la significativité ($F(2, 56) = 3.04, p = .06, \epsilon = .10$), et l'analyse n'a révélé aucune différence significative entre les hommes et les femmes ($F(1, 28) = 0.24, p = .63$), ni aucune interaction significative entre le sexe et la moyenne de reconnaissance correcte ($F(2, 56) = 1.55, p = .22$). La même analyse sur la moyenne des temps de réponse correcte a révélé que cette variable ne diffère pas de manière significative entre les sexes ($F(1, 27) = 0.53, p = .47$) alors que cette variable diffère de manière significative entre les stimuli cibles ($F(2, 54) = 6.47, p = .01, \epsilon = .19$): le stimulus cible composé d'images de forme linéaire ($M = 2740, ES =$

187) ou composé d'images de forme circulaire ($M = 2665$, $ES = 188$) sont plus lentement discriminés que le stimulus en forme de boomerang ($M = 2152$, $ES = 189$, $p = .01$), sans différence dans le temps de réponse correcte entre les deux stimuli composés d'images ($p = .62$). Il y a également une interaction significative entre le sexe et le temps de réponse ($F(2, 54) = 3.72$, $p = .04$, $\epsilon = .12$). Les analyses subséquentes ont montré que les femmes discriminent significativement plus rapidement que les hommes le stimulus cible composé d'images de forme circulaire ($p = .04$; femmes: $M = 2272$, $ES = 261$; hommes: $M = 3058$, $ES = 270$) alors qu'aucune différence significative entre les sexes n'est observée lorsque le stimulus est composé d'images de forme linéaire ($p = .99$; femmes: $M = 2739$, $ES = 260$; hommes: $M = 2742$, $ES = 269$) ou lorsqu'il s'agit de la forme de boomerang ($p = .79$; femmes: $M = 2203$, $ES = 263$; hommes: $M = 2102$, $ES = 272$). La même analyse conduite sur le taux de confiance moyen a montré qu'il diffère de manière significative entre les stimuli cibles ($F(2, 56) = 5.22$, $p = .009$, $\epsilon = .16$) sans effet de sexe ($F(1, 28) = 0.16$, $p = .69$) et sans effet d'interaction entre le sexe et les stimuli cibles ($F(2, 56) = 0.22$, $p = .80$). Les analyses subséquentes ont montré que le taux de confiance moyen est significativement plus faible lorsque le stimulus cible est en forme de boomerang (femmes: $M = 0.72$, $ES = .04$; hommes: $M = .70$, $ES = .04$) comparativement au stimulus cible composé d'images de forme circulaire ($p = .005$; femmes: $M = 0.80$, $ES = .04$; hommes: $M = .76$, $ES = .04$) alors qu'il ne diffère pas significativement de celui attribué au stimulus cible composé d'images de forme linéaire ($p = .11$; femmes: $M = 0.75$, $ES = .04$; hommes: $M = .74$, $ES = .04$). Il n'y a pas non plus de différence significative dans le taux de confiance moyen entre le stimulus composé d'images de forme circulaire et celui composé d'images de forme linéaire ($p = .10$) (Figure 9).

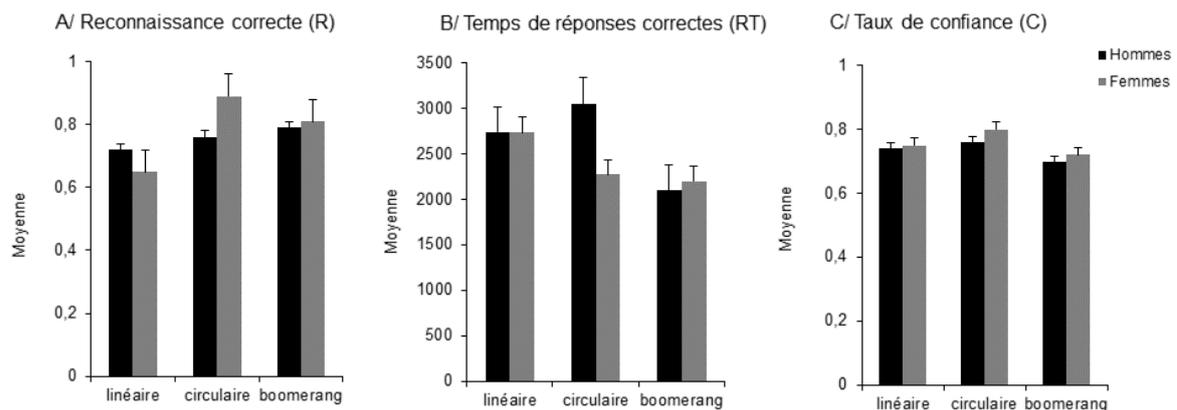


Figure 9. A. Moyenne (\pm erreur standard) de la reconnaissance correcte (R) des stimuli cibles: les participants reconnaissent moins bien les stimuli cibles lorsque ceux-ci sont composés d'images en forme linéaire (tendance à la significativité). B. Moyenne (\pm erreur standard) du temps de réponse correct (RT) des stimuli cibles: les femmes reconnaissent significativement plus rapidement que les hommes le stimulus cible de forme circulaire et reconnaissent significativement plus lentement le stimulus cible de forme linéaire que les deux autres stimuli cibles. Les hommes reconnaissent significativement plus rapidement le stimulus cible en forme de boomerang que les deux autres stimuli cibles. C. Moyenne (\pm erreur standard) du taux de confiance moyen (C) des stimuli cibles: il est significativement plus faible lorsque le stimulus cible est en forme de boomerang en comparaison au stimulus cible composé d'images de forme circulaire sans différence avec le stimulus cible composé d'images de forme linéaire.

Stimuli leurres

Une ANOVA à mesures répétées (direction de rotation CW, CCW x amplitude de rotation 5°-10° x sexe) a été calculée sur la moyenne de reconnaissance correcte. Les résultats ont révélé que la reconnaissance varie de manière significative relativement au stimulus utilisé ($F(2, 56) = 3.86, p = .03, \epsilon = .12$) et relativement à l'amplitude de rotation ($F(1, 28) = 36.85, p = .001, \epsilon = .57$) sans autre effet significatif (stimulus x sexe: $F(2, 56) = 1.51, p = .23$; direction de rotation: $F(1, 28) = 0.11, p = .75$; direction de rotation x sexe: $F(1, 28) = 0.11, p = .74$; amplitude x sexe: $F(1, 28) = 0.01, p = .91$; sexe: $F(1, 28) = 0.63, p = .44$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que ce sont les stimuli leurres composés d'images de forme linéaire qui sont les mieux reconnus (femmes: $M = 0.61, ES = .04$; hommes: $M = 0.62, ES = .06$) par comparaison aux stimuli leurres composés d'images de forme circulaire ($p = .02$, femmes: $M = 0.42, ES = .07$; hommes: $M = 0.56, ES = .07$) ou en forme de boomerang ($p = .01$, femmes: $M = 0.51, ES = .05$; hommes: $M = 0.51, ES = .05$), sans différence significative entre ces deux stimuli (Figure 10). L'analyse de l'effet de l'amplitude a montré que le taux de reconnaissance correcte moyen est plus faible pour les stimuli leurres ayant subi une rotation de 5° comparativement à une rotation de 10° ($M = 0.44, ES = .04$) que lorsque la rotation est d'amplitude de 10° ($p = .001, M = 0.64, ES = .04$).

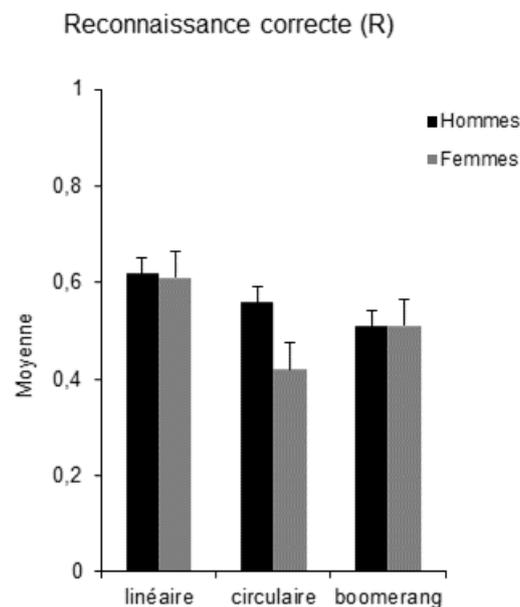


Figure 10. Moyenne (\pm erreur standard) de la reconnaissance correcte (R) des stimuli leurres correspondant à la rotation des stimuli cibles présentés lors de la phase de mémorisation. Les stimuli leurres composés d'images de forme linéaire sont significativement mieux discriminés que les autres stimuli leurres.

La même analyse conduite sur la moyenne des temps de réponse correcte n'a montré aucun effet significatif (stimulus: $F(2, 56) = 3.86, p = .03$; stimulus x sexe: $F(2, 56) = 1.51, p = .23$, direction: $F(1, 28) = 0.11, p = .75$; direction x sexe: $F(1, 28) = 0.11, p = .74$;

amplitude: $F(1, 28) = 36.85, p = .001$; amplitude x sexe: $F(1, 28) = 0.01, p = .91$; sexe: $F(1, 28) = 0.63, p = .44$).

Finalement, la même analyse conduite sur la moyenne du taux de confiance attribué aux réponses n'a révélé qu'un effet significatif pour l'amplitude de rotation ($F(1, 28) = 9.44, p = .01, \epsilon = .25$; stimulus: $F(2, 56) = 2.32, p = .11$; stimulus x sexe: $F(2, 56) = 0.28, p = .75$; direction de rotation: $F(1, 28) = 0.002, p = .97$; direction de rotation x sexe: $F(1, 28) = 1.85, p = .19$; amplitude x sexe: $F(1, 28) = 1.08, p = .31$; sexe: $F(1, 28) = 0.001, p = .99$) et les comparaisons subséquentes par paires ont montré que les participants ont significativement plus confiance en leur réponse lorsque l'amplitude de rotation est de 10° ($M = 0.79, ES = .02$) comparativement à une rotation d'une amplitude de 5° ($M = 0.75, ES = .02$).

Une MANOVA sur les indices d-prime et c-biais, calculée sur les stimuli leurres ayant subi une rotation horaire et anti-horaire respectivement, n'a révélé aucun effet significatif de sexe pour l'indice d-prime (linéaire: $F(1, 28) = .65, p = .43$; femmes: $M = 0.70, ES = 0.17$; hommes: $M = .89, ES = 0.17$; circulaire: $F(1, 28) = .002, p = .97$; femmes: $M = 0.89, ES = 0.17$; hommes: $M = 0.90, ES = 0.17$; boomerang: $F(1, 28) = .05, p = .83$; femmes: $M = 0.84, ES = 0.15$; hommes: $M = 0.79, ES = 0.15$) ou pour l'indice c-biais (linéaire: $F(1, 28) = .08, p = .78$; femmes: $M = -0.09, ES = 0.15$; hommes: $M = -0.15, ES = 0.15$; circulaire: $F(1, 28) = 3.13, p = .10$; femmes: $M = -0.64, ES = 0.16$; hommes: $M = -0.25, ES = 0.16$; boomerang: $F(1, 28) = .002, p = .97$; femmes: $M = -0.41, ES = 0.13$; hommes: $M = -0.40, ES = 0.13$).

4.4. Discussion

Tout d'abord, nous ne notons pas de différence sexuelle dans la reconnaissance correcte des stimuli cibles. Les femmes ne distinguent pas mieux ces stimuli cibles même s'ils sont composés d'images de tous les jours. Ce changement de composition des stimuli cibles, en passant de figures géométriques (expérience 1) à des images de tous les jours, n'a pas montré de différence sexuelle dans la reconnaissance correcte. Ces stimuli cibles ne sont pas non plus alignés selon un axe vertical ou horizontal ce qui peut également expliquer l'absence de différence sexuelle en faveur des hommes. Cependant, les femmes discriminent significativement plus rapidement que les hommes le stimulus cible composé d'images de forme circulaire. Ce sont des images qui semblent être plus difficiles à discriminer que les images de forme linéaire et peut-être cela expliquerait la plus rapide discrimination des femmes montrant moins de difficulté pour discriminer des images de tous les jours. Cependant, lorsque les participants doivent discriminer les stimuli leurres, ce sont les stimuli de forme linéaire qui sont le plus facilement discriminés. Il est possible que ce soient leurs axes directionnels qui permettent une meilleure discrimination aussi bien pour

les hommes que pour les femmes. Ils permettraient de plus facilement remarquer une modification angulaire que pour des stimuli de forme circulaire.

5. Discussion générale

Ces premières expériences ont été élaborées afin:

- i) d'explorer les différences entre les sexes dans la mémoire de reconnaissance, le temps de réaction, et le niveau de confiance attribué aux réponses des participants dans le but de synthétiser et de mieux comprendre les différences entre les sexes dans les tâches de rotation mentale,
- ii) d'explorer comment les caractéristiques des stimuli utilisés pourraient moduler l'utilisation de stratégie cognitive pensées comme responsables des différences observées entre les sexes.

Lorsque la tâche de rotation mentale a utilisé des stimuli géométriques discrets (expérience 1), les hommes ont significativement mieux reconnu des stimuli préalablement mémorisés (stimuli cibles) que les femmes. Bien que dans cette tâche le temps de réponse n'était pas limité, la performance moyenne de reconnaissance plus élevée chez les hommes est cohérente avec ce qui est généralement observé dans les tâches de rotation mentale (Coluccia & Louse, 2004 pour une revue; Lawton & Morrin, 1999; Linn & Petersen 1985 ; Voyer et al , 1995). Contrairement à ce qui est rapporté dans la littérature cependant, aucune différence entre hommes et femmes n'a été observée dans le temps de réponse correcte d'une part et dans le taux de confiance attribué aux réponses d'autre part (Cooke-Simpson & Voyer, 2007; Delgado, & Prieto, 1996; Goldstein et al., 1990; Peters et al., 2005; Voyer, 1997; Voyer, Rodgers, & McCormick, 2004).

Ces derniers résultats permettent d'écarter certaines hypothèses souvent évoquées pour expliquer les différences entre hommes et femmes dans les tâches de rotation mentale. Premièrement, l'idée selon laquelle les femmes exécutent ce type de tâche de façon plus attentionnée (en vérifiant chacune des possibilités offertes) que les hommes n'est pas confirmée par les résultats de ces expériences (Goldstein, et al., 1990). Les femmes comme les hommes ont présenté des taux de confiance en leur réponse et un critère utilisé (c-bias) pour répondre qui sont équivalents. Il est important de mentionner que ces deux variables diffèrent: le taux de confiance a été mesuré pour chaque décision de réponse après que les participants ont appuyé sur la touche "oui" ou "non" pour signifier que le stimulus correspondait à une cible ou à un leurre, alors que le critère de réponse, calculé pour chaque réponse, inclut les processus de sélection d'une réponse parmi plusieurs alternatives.

Ensuite, ces résultats ne confirment pas l'hypothèse selon laquelle les femmes, en général, prennent plus de temps à répondre que les hommes, mais aussi à celle voulant que les femmes devinent plus souvent la réponse que les hommes, bien que cette deuxième hypothèse ait été posée dans des conditions où le temps de réponse est limité (Cooke-Simpson & Voyer, 2007). Si cette hypothèse est valide, deviner devrait biaiser les réponses et ainsi altérer différenciellement le critère de réponse (c-bias) des femmes comparativement à celui des hommes, alors que les analyses n'ont montré aucune différence de c-biais entre hommes et femmes. Les résultats obtenus dans cette tâche semblent plutôt indiquer que ce qui diffère entre les hommes et les femmes est sur l'index de sensibilité. Cette proposition peut-être soutenue par d'autres études qui indiquent que, en général, la performance des hommes est meilleure que celle des femmes pour des tâches de perception spatiale comme le "Rod and Frame" ou les tâches d'évaluation du niveau d'eau qui requièrent de la part des participants, la capacité à localiser la gravité malgré la présence de distracteurs perceptifs (e.g. Rilea, Roskos-Ewoldsen, & Boles, 2004; Rilea, 2008; Tremblay, Elliott, & Starkes, 2004; pour une meta-analyse voir Voyer et al., 1995).

Les hommes ont montré une plus grande capacité à reconnaître les stimuli cibles géométriques observés durant la phase de mémorisation que les femmes, alors qu'aucune différence entre les sexes n'a été observée dans la capacité à reconnaître les stimuli leurres (jamais observés auparavant) présentés durant la phase de discrimination. Ce résultat est inattendu dans la mesure où plusieurs études ont étayé les meilleurs résultats des hommes dans les tâches spatiales par une plus grande mémoire de travail visuo-spatiale (voir Coluccia & Louse, 2004, pour une revue de littérature) alors que, chez les femmes, un avantage significatif semble exister pour les capacités de mémoire épisodique en général (Andreano & Cahill, 2009; Herlitz et al., 1997; Herlitz & Rehnman, 2008). Cette mémoire semble correspondre à la capacité de se souvenir ou de se rappeler les informations qui ont déjà été présentées alors que la mémoire de travail requiert le stockage et le traitement simultané de l'information. En fonction de ces définitions, la reconnaissance des stimuli cibles devrait impliquer la mémoire épisodique et favoriser les femmes, alors que la reconnaissance des stimuli leurres devrait impliquer la mémoire de travail et favoriser les hommes.

Les investigations subséquentes des données incluant les autres variables de cette étude ont révélé des différences plus subtiles entre les sexes. Les différences de reconnaissance ont semblé varier en fonction de la direction de rotation des stimuli leurres mais uniquement pour les stimuli composés de formes géométriques discrètes. Premièrement, la performance des femmes a été moins bonne pour les stimuli leurres (expérience 1) correspondant à une rotation horaire des stimuli cibles 1 et 2 et pour ceux

correspondant à une rotation anti-horaire du stimulus cible 4. Ce résultat ne peut pas être expliqué par la composition des stimuli cibles de la tâche car aucune différence entre les sexes n'a été observée dans la reconnaissance des stimuli cibles; elle n'est donc pas attribuable à des caractéristiques particulières de ces stimuli ou à un effet d'ordre desdits stimuli (les cibles 1 et 2 ont été présentées en premier et la cible 4 en dernier). Deuxièmement, quand le stimulus boomerang (expérience 2) a été utilisé, les participants ont montré un meilleur taux de reconnaissance pour les rotations horaires que pour les rotations anti-horaires et finalement, quand des stimuli composés d'objets linéaires et circulaires ont été utilisés (expérience 3), aucun effet du sens de rotation n'a été observé.

L'effet de la direction de rotation reste difficile à expliquer. Une étude de Just et Carpenter, (1985) fournit un cadre théorique pour étudier cette question. Selon ces auteurs, l'une des stratégies serait basée sur la rotation des représentations mentales autour d'axes canoniques tandis qu'une seconde se fonderait sur des représentations mentales codant les relations spatiales entre les objets. Toujours selon cette proposition, la représentation mentale de la première stratégie n'est pas invariante relativement à l'orientation et la position de l'objet, elle implique donc l'utilisation de la rotation mentale pour résoudre la tâche. La deuxième stratégie, en revanche, aurait l'avantage d'être invariante par rapport à l'orientation et la position de l'objet, et permettrait ainsi la comparaison ou la reconnaissance sans recours à la rotation mentale. Une étude a effectué des mesures EEG lors de la phase de rotation de stimuli alpha numériques (Liesefeld & Zimmer, 2011). Leur résultat a montré un potentiel évoqué lent dont l'amplitude était sensible à la rotation des stimuli. Les auteurs de l'étude ont montré que l'amplitude de ce lent potentiel évoqué était plus petit lors d'une rotation horaire CW que pour une rotation anti-horaire CCW. Ils ont fait l'hypothèse alors que les participants parvenaient plus facilement à opérer une rotation mentale des stimuli (alpha numériques) dans la direction horaire CW que dans la direction anti-horaire CCW (Liesefeld & Zimmer, 2011).

En nous appuyant sur la théorie de Just et Carpenter, (1985), si les participants ont utilisé une stratégie consistant à opérer une rotation mentale du stimulus présenté en direction des références canoniques (axes virtuels horizontal ou vertical) des stimuli mémorisés (cibles), le plus court chemin pour discriminer un stimulus leurre correspondant à la bascule d'un stimulus cible dans la direction horaire, entraînerait une rotation du stimulus leurre dans la direction antihoraire. Inversement, la même opération pour discriminer un stimulus leurre, correspondant à la bascule d'un stimulus cible dans la direction anti-horaire, entraînerait une rotation dans la direction horaire. Si cette hypothèse est correcte, elle explique pourquoi les stimuli leures correspondant à une rotation horaire des stimuli cibles sont plus difficiles à reconnaître que ceux correspondant à une rotation anti-horaire. Les

résultats obtenus en utilisant la théorie de la détection du signal étayent cette hypothèse mais uniquement pour les femmes. En effet, leur index de sensibilité (d' -prime) est plus élevé pour les rotations anti-horaires des stimuli leurres; cet effet est dû à une diminution des fausses alarmes. La production de fausses alarmes est due à une tendance à ne pas discriminer entre les stimuli cibles et leurres. L'hypothèse serait que, pour les femmes, la rotation dans le sens horaire est plus difficile que la rotation dans le sens anti-horaire. Chez les hommes, en revanche, leur capacité à discriminer les stimuli cibles des stimuli leurres (d' -prime) n'a pas été altérée par la direction de la rotation. Cette différence entre hommes et femmes pourrait alors s'expliquer par une différence de stratégie cognitive relativement à l'hypothèse formulée ci-dessus. Ainsi, les femmes s'appuieraient sur la première stratégie consistant à opérer une rotation du stimulus leurre présenté vers les références canoniques du stimulus cible mémorisé jusqu'à ce que les deux angles coïncident. Est-ce que ceci signifie que les hommes s'appuient sur la seconde stratégie (i.e. fondée sur des représentations mentales codant les relations spatiales entre les objets)? La réponse est probablement négative car si les hommes étaient biaisés par cette stratégie, les différences entre les sexes devraient être maintenues quels que soient les stimuli utilisés; or elles ne sont plus présentes dans l'expérience 2 (boomerang) et dans l'expérience 3 (objets linéaires, objets circulaires).

Comme les tâches de rotation mentale appartiennent au domaine visuo-spatial, il est intéressant de replacer la performance des hommes dans un contexte élargi. Comme nous l'avons déjà exposé dans l'introduction théorique, les différences sexuelles observées dans des tâches de localisation et d'orientation spatiales proviendraient de l'utilisation d'un traitement global des informations relatives aux distances et aux directions chez les hommes, alors que celui des femmes serait basé sur un traitement local des objets de l'environnement (Dabbs et al., 1998; Denis, 1997; Galea & Kimura, 1993; Harrell et al., 2000; Lawton, 1994, 2001; Lawton & Charleston, 1996; Miller & Santoni, 1986; Montello et al., 1999; Schmitz, 1997; Ward et al., 1986). Cette hypothèse rejoint celle proposée par plusieurs auteurs pour expliquer les différences sexuelles dans les tâches de rotation mentale. Cette dernière pose que les hommes s'appuient sur une stratégie cognitive holistique et globale consistant à faire tourner le stimulus dans son ensemble afin de le comparer à la cible. Les femmes, quant à elles, s'appuieraient sur une stratégie locale, au coup par coup, où les caractéristiques individuelles du stimulus sont tournées et comparées séparément à la cible (e.g. Heil & Jansen - Osmann, 2008; Kail et al., 1979; Rilea, 2008). Dans les expériences présentées ici, les stimuli sont affichés sur un écran d'ordinateur qui offre des références directionnelles horizontale et verticale (les côtés de l'écran). Si l'hypothèse selon laquelle les hommes s'appuient plus volontiers sur les distances et

directions ou sur une stratégie dite holistique, ils pourraient résoudre la tâche de l'expérience 1 uniquement en estimant si l'axe canonique du stimulus présenté à l'écran est aligné (cible) ou non (leurre) avec la verticale ou l'horizontale de l'écran de l'ordinateur. Cette suggestion est soutenue par les résultats des expériences 2 et 3 où cette stratégie ne peut plus être utilisée, étant donné vu que les stimuli cibles ne sont plus alignés avec les références verticale et horizontale de l'écran de l'ordinateur. Elle est aussi soutenue par une étude montrant que quand les références géométriques du cadre de la page (sur laquelle se situent des stimuli directionnels à discriminer) sont éliminées, les différences de performance entre les hommes et les femmes disparaissent (Collear & Nelson, 2002). Des éclairages subséquents sur cette question pourraient aider à évaluer l'hypothèse de l'utilisation différentielle de stratégies holistiques (opérer une rotation mentale du stimulus dans son entier) et au coup par coup (décomposer le stimulus en unités pour ensuite opérer une rotation individuelle de chacune de ces parties) par les hommes et les femmes et qui serait responsable des différences entre les sexes dans les tâches de rotation mentale (e.g., Heil & Jansen-Osmann, 2008).

En conclusion, des recherches antérieures proposent différentes hypothèses pour expliquer les différences sexuelles dans les tâches de rotation mentale. Les plus mentionnées restent la division entre les stratégies locales et globales ainsi que celle attribuant une mémoire de travail plus importante aux hommes comparativement aux femmes, en dépit du fait qu'elle semble en contradiction avec les stratégies. En effet, si les femmes résolvent une tâche de rotation mentale par la rotation des caractéristiques individuelles du stimulus prises séparément, cette stratégie devrait impliquer le traitement simultané d'un plus grand nombre d'informations relativement à une stratégie globale. Les tâches présentées ici ainsi que plusieurs éléments de la littérature semblent pencher vers une explication plus simple pour expliquer la présence ou l'absence de différences entre les sexes dans les tâches de rotation mentale: la capacité à percevoir et à transformer le problème en une simple opération de discrimination visuelle. Ces premiers résultats fournissent une base sur laquelle s'appuyer pour explorer comment les informations directionnelles fournies par les tâches elles-mêmes et l'environnement expérimental sont traitées par les hommes et les femmes. Dans la suite de ce travail, nous avons créé un dispositif expérimental en modifiant des indices environnementaux directionnels pour tester leur effet sur la variable sexe.

Partie 2: Reconnaissance de la localisation de paires d'objets après rotation: effet de la présence d'un plan orthogonal avec ou sans changement de perspective

A. Sans changement de perspective

1. Introduction

La première partie de ce travail semble indiquer que les hommes utilisent une stratégie perceptive en se basant sur des axes de référence orthogonaux, comme la verticale et l'horizontale pour résoudre une tâche de rotation mentale. Ces différents axes peuvent être également fournis par la procédure expérimentale des expériences ou encore l'environnement expérimental (l'utilisation d'un ordinateur avec un écran rectangulaire) et il est possible que les participants les utilisent pour résoudre la tâche de rotation mentale.

L'utilisation des propriétés de l'environnement est une stratégie qui a été mise en évidence dans des tâches d'orientation spatiale. Des études ont montré que les propriétés de l'environnement, comme par exemple la position de bâtiments autour du participant ou encore les murs de la pièce où a lieu l'expérience, pouvaient aider les participants à améliorer leur performance dans les tâches d'orientation spatiale (Cheng, Shettleworth, Huttenlocher, & Rieser, 2007; Nardini, Jones, Bedford & Braddick, 2008). Ces recherches ont distingué deux types de propriétés environnementales: les indices géométriques et les indices caractéristiques (ou informations discrètes) rattachés aux objets et fournis par l'environnement. Le premier type d'indices (géométriques) est défini par la forme géométrique de différentes informations visuelles extraites de l'environnement comme par exemple la forme de la pièce où se déroule l'expérience (Gallistel, 1990). Le second type d'indices (informations discrètes rattachées aux objets) n'est pas géométrique mais représente d'autres informations perceptives comme par exemple des couleurs ou des odeurs ou tout autre type d'informations caractéristiques aux objets et pouvant être utilisées par les participants. Des études ont montré des différences sexuelles dans l'utilisation de ces indices environnementaux. Elles ont montré que les hommes utiliseraient préférentiellement les indices géométriques que caractéristiques lorsque ces deux types d'informations sont disponibles alors que les femmes utiliseraient plutôt ce deuxième type d'indice en orientation spatiale (Sandstrom et al., 1998). Lorsqu'il n'y a que l'un des deux types d'informations disponibles (géométrique ou caractéristique), des études ont montré que les hommes parvenaient aussi bien à utiliser les informations géométriques que caractéristiques, alors que les femmes continueraient à privilégier uniquement les conditions expérimentales où seules les informations caractéristiques étaient disponibles (Kelly, McNamara, Bodenheimer,

& Reiser, 2009). Les différences observées entre les hommes et les femmes dans les tâches de navigation et d'orientation spatiale semblent essentiellement relever de l'information utilisée pour résoudre la tâche. Ces différences sexuelles semblent alors être le fait de l'utilisation différentielle de stratégie cognitive utilisée pour résoudre une tâche cognitive.

Des études ont également montré que des stratégies cognitives différentielles modulaient les différences sexuelles dans des tâches de mémoire spatiale de la localisation d'objets, où d'habitude les femmes montrent de meilleurs résultats que les hommes (Eals & Silverman, 1994; Silverman et Eals, 1992). Ces études décrivent trois cadres de référence généralement admis pour encoder la position spatiale des objets: i) un cadre de référence géométrique, ii) un cadre de référence basé sur des indices et iii) un cadre de référence dit égocentrique (Allen & Haun, 2004; Cheng, 1986; Huttenlocher, Hedges, & Duncan, 1991; Mou & McNamara, 2002; Wedell, Fitting, & Allen, 2007). Les deux premiers cadres (géométrique et basé sur des indices) sont similaires à ceux décrits précédemment dans les tâches d'orientation spatiale. Ils sont décrits comme allocentriques, c'est-à-dire que la localisation de l'objet est encodée en utilisant une relation configurationnelle parmi différentes caractéristiques externes à l'objet (O'Keefe & Nadel, 1978; Tolman, 1948). Le cadre de référence allocentrique basé sur des indices utilise les propriétés de l'environnement lors de l'encodage, alors que le cadre de référence allocentrique non basé sur des indices environnementaux utilise un cadre de référence géométrique indépendant des indices environnementaux comme les axes de références canoniques (vertical et horizontal) dont nous avons montré leur importance dans la partie 1 de ce travail. Le troisième cadre de référence (égocentrique) permet l'encodage de la position des objets en terme de direction (axes d'orientation: droite, gauche, haut, bas, devant, derrière) et de distance (informations métriques) par rapport à la position du participant (Gallistel, 1990). Des études ont demandé à des participants d'indiquer des localisations de points préalablement mémorisées et réparties sur un support circulaire autour duquel étaient présents des indices environnementaux. Les résultats ont montré que les participants utilisaient ces indices environnementaux uniquement lorsqu'il y avait une rotation du dispositif expérimental (Fitting et Allen, 2007; Fitting, Wedell, & Allen, 2008). L'utilisation de ces indices environnementaux est nécessaire car la rotation du dispositif implique de l'incertitude pour retrouver les localisations de points préalablement mémorisées. En d'autres termes et en utilisant un exemple de notre quotidien, lorsque quelqu'un traverse un parking ou une ville, sa perspective est constamment modifiée. L'individu va chercher à se référer aux différents indices disponibles et invariants au sein de l'environnement pour améliorer sa performance, que ce soit pour la localisation d'objet (retrouver sa voiture par exemple) ou que ce soit pour se repérer dans l'espace (se situer dans une ville). La disponibilité et le

nombre d'indices environnementaux sont alors importants lorsqu'il y a un déplacement du participant ou du dispositif expérimental. Lorsqu'il n'y a aucun déplacement du participant, le nombre d'indices environnementaux a moins d'influence sur la mémoire spatiale de la localisation d'objets (Fitting, Wedell, & Allen, 2009).

A notre connaissance, les études qui s'intéressent à l'influence de ces références fournies par l'environnement ont été menées essentiellement sur des tâches d'orientation spatiale ou de mémorisation de la localisation d'objets et non sur des tâches impliquant spécifiquement la rotation mentale. Des études ont établi cependant un lien théorique entre les représentations mentales et les systèmes de référence dans les tâches de rotation mentale (e.g. Just & Carpenter, 1985; Rock, 1973). Elles indiquent que notre capacité à créer des représentations mentales dépend de la capacité à créer un plan interne (un système de référence) sur lequel les objets représentés mentalement peuvent être projetés et ensuite manipulés par le processus de rotation mentale. Pour établir ce système de référence, il est possible d'utiliser les positions des objets les uns par rapport aux autres, en extrayant des axes formés par les objets entre eux (référence allocentrique). Il est également possible d'établir ce système de référence en créant des axes entre les différents objets et nous-mêmes (référence égocentrique). Enfin, il est possible d'utiliser les axes gravitationnels et invariables (comme la verticale et l'horizontale) pour identifier les objets de l'environnement (Just & Carpenter, 1985; Marr, 1982; Rock, 1973). L'utilisation de ces différents systèmes semble varier selon l'apprentissage, le type de tâche demandée, la stratégie cognitive employée mais aussi selon le sexe (Just et Carpenter, 1985; Rock, 1973). Par exemple, lorsque la tâche de rotation mentale à effectuer nécessite des déplacements impliquant des stratégies basées sur des références euclidiennes (c'est-à-dire liées à des repères orthonormés intégrant les notions de distance et d'angle), les hommes présentent en général de meilleurs résultats que les femmes (Galea & Kimura, 1999; Montello et al., 1999). Par contre, lorsque la tâche à effectuer nécessite des déplacements impliquant des stratégies basées sur des «points de repères» (*landmarks*), ce sont les femmes qui présentent en général de meilleurs résultats que les hommes (Astur et al., 2004; Lawton, 1994; 2001; Levy et al., 2005; Moffat et al., 1998; O'Laughlin & Brubaker, 1998; Sandstrom et al. 1998; Saucier et al. 2002). Cette préférence pour des points de repère lors de déplacements chez les femmes pourrait être liée à leur meilleure performance dans des tâches de mémorisation de la localisation d'objets lorsqu'elles ne se déplacent pas (e.g. Barkley & Gabriel, 2007; Mou, McNamara, Valiquett, & Rump, 2004; Waller & Hodgson, 2006). Cette hypothèse est basée sur des recherches antérieures montrant que les femmes obtiennent de meilleurs résultats que les hommes pour se souvenir de la position et de l'identité des objets qui ont été préalablement mémorisés sur une feuille de papier (Eals &

Silverman, 1994; Levy et al., 2005; McBurney, Gaulin, Devineni, & Adams, 1997; Silverman & Eals, 1992) mais également pour repérer l'ajout de nouveaux objets au dispositif expérimental (Eals & Silverman, 1994; James & Kimura, 1997; Silverman & Eals, 1992). Ces résultats sont aussi utilisés pour étayer l'hypothèse selon laquelle les femmes utiliseraient une stratégie basée sur un traitement local de l'information, que ce soit lors de tâches de navigation (points de repère) ou lors de tâches de mémoire spatiale (mémoire des objets présentés sur une table circulaire ou sur un ordinateur). Chez les hommes, leurs meilleures performances dans la tâche classique de rotation mentale (Vandenberg & Kuse, 1978) sont souvent expliquées à l'aide de l'hypothèse selon laquelle ils utiliseraient une stratégie basée sur des références euclidiennes (e.g. Alexander, Packard, Peterson, 2002; Jordan, Wustenberg, Heinze, Peters, & Jancke, 2004; Koriat & Norman, 1985; Peters, Reimers, & Manning, 2006).

Dans la suite de notre travail, une tâche a été développée afin de pouvoir tester respectivement l'utilisation des informations géométriques fournies par l'environnement et l'utilisation d'informations discrètes, rattachées aux objets. Elle s'inspire d'un jeu de mémoire populaire (*Memory Game*, McBurney et al., 1997) qui consiste en un jeu de cartes, posées face contre terre, où le joueur doit retourner deux cartes afin de constituer une paire. Ce jeu offre l'avantage de mobiliser deux types de capacité mnésique: celle rattachée aux caractéristiques discrètes de chaque carte et celle rattachée à leur localisation. Ici, la tâche a été modifiée afin de pouvoir combiner une tâche de rotation mentale avec une tâche de mémoire spatiale des objets (Bantan Lavenex et al., 2011) et pour pouvoir l'implémenter sur ordinateur. Trois expériences sont créées. Dans la première expérience, un damier sous forme de traits verticaux et horizontaux, est présent autour des images diffusées sur un ordinateur. Dans la seconde expérience, nous avons supprimé la présence de damier et seules les images apparaissent. Dans la troisième, en plus de l'absence du damier, nous avons cherché à cacher le cadre rectangulaire de l'écran de l'ordinateur (en apposant un drap circulaire noir sur l'écran). Nous faisons l'hypothèse que, contrairement à la première partie de ce travail dans lequel les axes directionnels n'étaient pas visibles, la présence des axes directionnels (sous forme de damier ou du cadre rectangulaire de l'écran de l'ordinateur) peuvent être utilisés par les participants, aussi bien les hommes que les femmes, pour améliorer leur performance.

2. Méthodes

Participants

Pour chacune des trois expériences, 30 participants, tous droitiers, sont recrutés (15 hommes et 15 femmes; dont l'âge varie entre 18 et 30 ans: pour l'expérience avec le damier

et le cadre de l'ordinateur: moyenne d'âge $M = 23.34$, $ET = 3.99$; pour l'expérience avec uniquement le cadre de l'ordinateur: moyenne d'âge $M = 21.73$, $ET = 3.34$; pour l'expérience sans damier ni cadre de l'ordinateur: moyenne d'âge $M = 22.53$, $ET = 3.12$). Les participants ont rempli un formulaire de consentement après avoir reçu toutes les informations relatives à l'expérience. Cette expérience remplit également les conditions éthiques de l'Université de Lausanne et sont transmises aux participants.

Stimuli

Les stimuli bidimensionnels correspondent à des images: une lampe, un petit ours, un parapluie, et des lunettes de vue d'environ 14 mm² chacun (Figure 11). Ils sont sélectionnés à partir d'une série d'images fournies par la Prof Brandner et elles ont déjà été utilisées dans des expériences antérieures. Ce sont des images de la vie quotidienne, connues et donc déjà stockées dans notre mémoire, facilement discriminables, identifiables rapidement et de manière non ambiguë. Ces images sont situées au sein d'un damier composé d'un plateau carré (9 cm x 9 cm) comportant 9 cases (3 x 3) chacune de dimension de 3 cm x 3 cm. La case centrale comporte une croix de fixation et les huit cases restantes sont occupées par les 4 paires d'images disposées aléatoirement. La présence du damier n'apparaît que dans la première expérience, alors que dans l'expérience 2, le damier n'apparaît pas et seul le cadre de l'ordinateur est présent alors que dans l'expérience 3, tous les cadres de référence (damier et cadre de l'ordinateur) ont été retirés (Figure 11). Dans cette dernière expérience, le cadre de l'ordinateur a été caché à l'aide d'un grand drap circulaire avec un trou circulaire permettant au participant de voir l'écran de l'ordinateur. Nous utilisons le programme E-prime (version 1 / 2, Psychology Software Tools, Inc) avec un ordinateur IBM Pentium 100 Mhz, équipé de 16 MB de RAM, avec un écran de 43 cm diagonale (14 pouces).

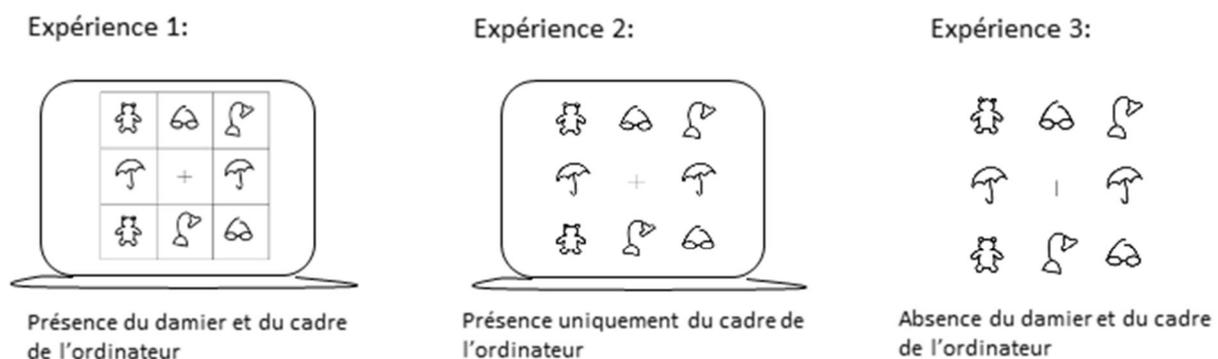


Figure 11. Présentation des quatre paires d'images réparties autour d'une croix de fixation. Trois expériences différentes sont créées en variant la présence du cadre de référence représenté par un damier dessiné (expérience 1 et 2) autour des images et par la présence ou non du cadre de référence (expérience 3).

3. Procédure expérimentale

Les instructions sont transmises aux participants sous forme écrite sur l'écran de l'ordinateur. Elles sont suivies par une phase d'entraînement dont la procédure est totalement identique à l'expérience et dont le but est de familiariser les participants à l'expérience. Cette phase d'entraînement est composée de deux blocs: le premier avec 6 présentations sans rotation et le deuxième avec 6 présentations avec rotation (3 présentations avec une rotation de 90° dans le sens horaire CW et 3 présentations avec une rotation de 90° dans le sens anti-horaire CCW). Une fois que le participant a bien compris le principe de l'expérience, celle-ci peut commencer. La tâche consiste en une phase de mémorisation durant laquelle les 4 paires d'images apparaissent à l'écran et les participants doivent les mémoriser. Ils disposent d'un maximum de 10 000 ms pour cette mémorisation. Ils peuvent également passer à l'étape suivante avant ce délai maximum à l'aide de la touche espace du clavier. Cette phase de mémorisation est suivie d'un écran indiquant s'il y a rotation ou non du dispositif. S'il y a une rotation, une flèche indique le sens de la rotation: soit dans le sens horaire (CW) soit dans le sens anti-horaire (CCW). Cet écran apparaît pendant 2000 ms. L'écran suivant consiste uniquement à la présence du point de fixation qui apparaît pendant 1500 ms. L'écran suivant apparaît pendant un maximum de 5000 ms et correspond à deux carrés noirs, qui symbolisent la position de deux images mémorisées précédemment. La tâche des participants est de décider s'il s'agit ou non d'une paire d'images identiques à l'aide des touches du clavier («M» pour oui, «N» pour non). Une fois que les participants ont donné leur réponse, les images correspondant aux emplacements désignés par les rectangles noirs présentés durant la phase de reconnaissance apparaissent à l'écran (feedback) pendant 1500 ms (voir figure 12).

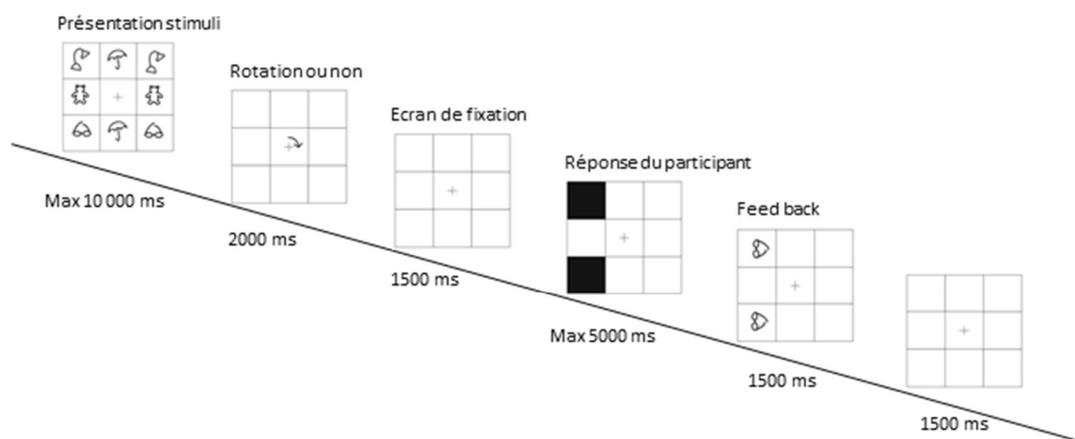


Figure 12. Procédure expérimentale des trois expériences de la partie 2. Les participants mémorisent quatre paires d'images et sont ensuite informés de la présence ou non d'une rotation. Ils doivent décider si deux positions mises en évidence en noir correspondent ou non à une paire d'images identiques. Un feedback est ensuite présenté aux participants.

L'expérience est partagée en six blocs: le premier, troisième, quatrième et dernier bloc est composé uniquement de rotations: 90° dans le sens horaire et 90° anti-horaire (présentation aléatoire). Le deuxième et cinquième bloc n'est pas composé de rotation du design. Les participants ont dû répondre à 144 présentations au total.

4. Résultats

4.1 Présence du damier et du cadre de l'ordinateur (Expérience 1)

Une ANOVA à mesures répétées (direction de rotation 0°, CW, CCW x sexe) est calculée sur la moyenne de reconnaissance correcte et les résultats ont révélé un effet principal significatif de la direction de rotation ($F(1, 56) = 23.89, p = .001; \epsilon = .46$) sans effet principal de sexe ($p = .32$) et sans effet d'interaction entre la direction de rotation et le sexe ($p = .51$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que les participants ont une meilleure reconnaissance correcte lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation. De plus, les participants ont montré une meilleure reconnaissance correcte lorsque la rotation est dans la direction horaire CW en comparaison à une rotation dans la direction anti-horaire CCW (Figure 13; 0° vs CW: $p = .001$; 0°: $M = 0.84, ES = 0.01$; CW: $M = 0.76, ES = 0.02$; 0° vs CCW: $p = .001$; CCW: $M = 0.73, ES = 0.02$; CW vs CCW: $p = .033$).

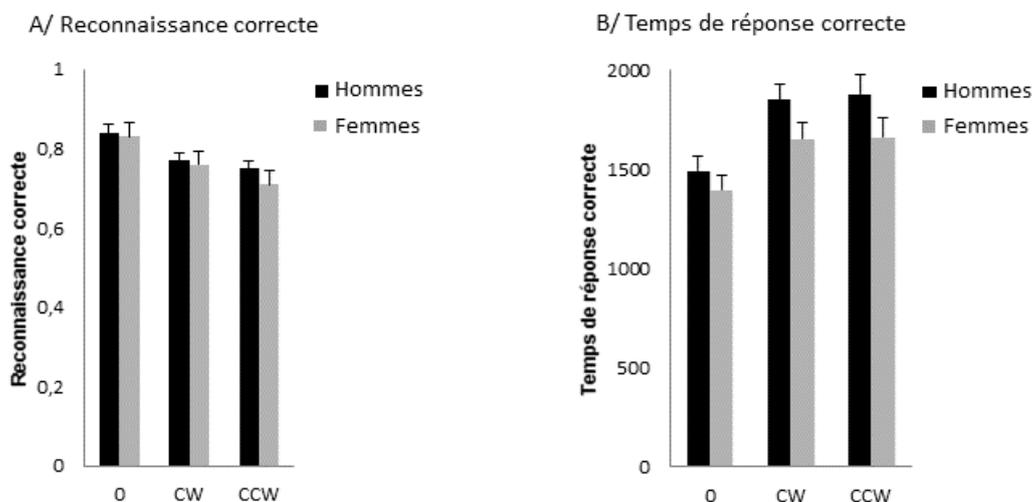


Figure 13. A/ Les participants répondent significativement mieux lorsqu'il n'y a pas de rotation que lorsqu'il y a une rotation et la reconnaissance correcte est également significativement meilleure lorsque la rotation est horaire (CW) en comparaison à une rotation anti-horaire (CCW). B/ Les participants répondent significativement plus rapidement lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation, sans différence significative entre la rotation horaire et anti-horaire..

Les mêmes analyses sur la moyenne des temps de réponse correcte ont montré également un effet de la direction de rotation ($F(2, 56) = 39.61, p = .001; \epsilon = .59$) sans effet principal de sexe ($p = .13$) et sans effet d'interaction entre la direction de rotation et le sexe ($p = .28$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que les participants répondent plus rapidement lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation, sans différence significative entre la rotation dans la direction horaire CW et la rotation dans

la direction anti-horaire CCW (Figure 13; 0° vs CW: $p = .001$; 0° : $M = 1446$, $ES = 50$; CW: $M = 1754$, $ES = 58$; 0° vs CCW: $p = .001$; 0° : $M = 1446$, $ES = 50$; CCW: $M = 1773$, $ES = 68$; CW vs CCW: $p = .42$).

Une MANOVA sur les indices d-prime et c-biais (TDS), calculée sur les stimuli leurres ayant subi une rotation horaire CW et anti-horaire CCW respectivement, a révélé que le sexe n'affecte pas significativement les indices d-prime et c-biais (indice d, pas de rotation: $F(1, 28) = 0.62$, $p = .44$; indice c, pas de rotation: $F(1, 28) = 0.26$, $p = .61$; indice d, horaire CW: $F(1, 28) = 0.32$, $p = .58$; indice c, horaire CW: $F(1, 28) = 0.11$, $p = .74$; indice d, anti-horaire CCW: $F(1, 28) = 2.96$, $p = .09$; indice c, anti-horaire CCW: $F(1, 28) = 0.19$, $p = .66$, indice d, toute direction: $F(1, 28) = 1.85$, $p = .19$; indice c, toute direction: $F(1, 28) = 0.41$, $p = .53$). Une ANOVA à mesures répétées pour chacun des indices d-prime et c-biais (direction de rotation: 0° , CW, CCW; indice x sexe) est calculée et a révélé pour l'indice d-prime un effet principal de la direction de rotation ($F(2, 56) = 17.64$, $p = .001$, $\varepsilon = .39$) sans effet principal de sexe ($p = .22$) ni d'interaction entre le sexe et la direction de rotation ($p = .51$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré un meilleur indice d-prime lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à une rotation. De plus, l'indice d-prime est également meilleur lorsque la rotation est dans la direction horaire CW par rapport à une rotation dans la direction anti-horaire CCW (Figure 14; 0° vs CW: $p = .002$; 0° : $M = 1.74$, $ES = 0.105$; CW: $M = 1.35$, $ES = 0.105$; 0° vs CCW: $p = .001$; 0° : $M = 1.74$, $ES = 0.105$; CCW: $M = 1.11$, $ES = 0.101$; CW vs CCW: $p = .008$).

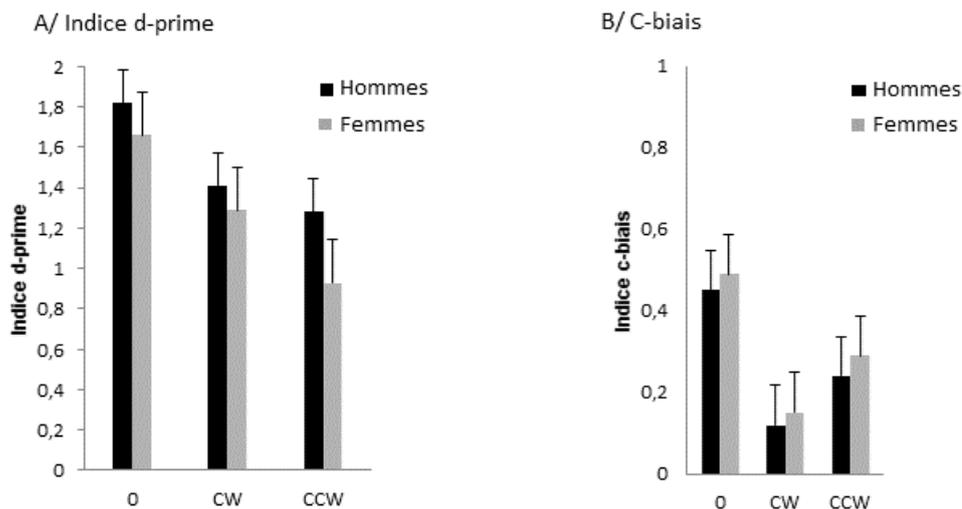


Figure 14. A/ Les résultats montrent un meilleur indice d-prime lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à une rotation. L'indice d-prime est également meilleur lorsque la rotation est dans la direction horaire CW par rapport à une rotation dans la direction anti-horaire CCW. B/ Les résultats montrent un indice c-biais plus élevé quand il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation. Cet indice c-biais est significativement plus grand lorsque la rotation est dans la direction anti-horaire CCW par rapport à une rotation dans la direction horaire CW.

Les résultats sur l'indice c-biais ont montré également un effet principal de la direction de rotation ($F(2, 56) = 14.60$, $p = .001$, $\varepsilon = .34$) sans effet principal de sexe ($p = .51$) ni

d'interaction entre le sexe et la direction de rotation ($p = .98$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré un indice c-biais plus élevé quand il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation. Cet indice c-biais est significativement plus grand lorsque la rotation est dans la direction anti-horaire CCW par rapport à une rotation dans la direction horaire CW (Figure 14, 0° vs CW: $p = .002$; 0° : $M = 0.47$, $ES = 0.05$; CW: $M = 0.14$, $ES = 0.04$; 0° vs CCW: $p = .004$; 0° : $M = 0.47$, $ES = 0.05$; CCW: $M = 0.265$, $ES = 0.05$; CW vs CCW: $p = .02$).

4.2 Présence uniquement du cadre de l'ordinateur (Expérience 2)

Une ANOVA à mesures répétées (direction de rotation: 0° , CW, CCW x sexe) a été calculée sur la moyenne de reconnaissance correcte et les résultats ont révélé un effet de la direction de rotation ($F(1, 56) = 12.60$, $p = .001$; $\epsilon = .31$) sans effet principal de sexe ($p = .49$) et sans effet d'interaction entre la direction de rotation et le sexe ($p = .46$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que les participants ont une meilleure reconnaissance correcte lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation sans différence significative entre ces deux directions de rotation (Figure 15; 0° vs CW: $p = .001$; 0° : $M = 0.83$, $ES = 0.01$; CW: $M = 0.75$, $ES = 0.03$; 0° vs CCW: $p = .001$; CCW: $M = 0.75$, $ES = 0.02$; CW vs CCW: $p = .89$). Les mêmes analyses sur la moyenne des temps de réponse correcte ont montré également un effet de la direction de rotation ($F(2, 56) = 18.98$, $p = .001$; $\epsilon = .40$) sans effet principal de sexe ($p = .29$) et sans effet d'interaction entre la direction de rotation et le sexe ($p = .83$).

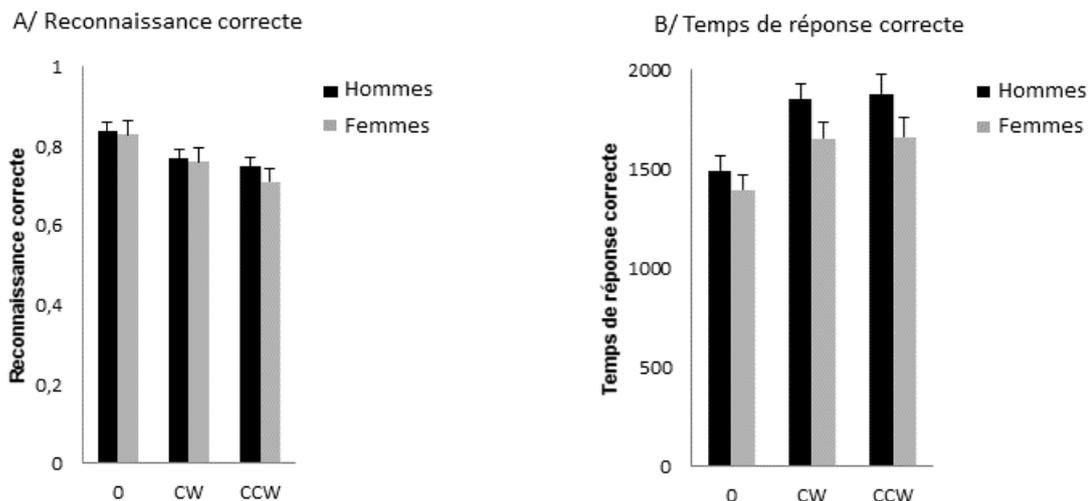


Figure 15. A/ Les participants répondent significativement mieux lorsqu'il n'y a pas de rotation que lorsqu'il y a une rotation et la reconnaissance correcte est également significativement meilleure lorsque la rotation est horaire (CW) en comparaison à une rotation anti-horaire (CCW). B/ Les participants répondent significativement plus rapidement lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation, sans différence significative entre la rotation horaire et anti-horaire.

Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que les participants répondent plus rapidement lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation, sans différence significative entre la rotation dans la direction horaire CW et la rotation dans

la direction anti-horaire CCW (Figure 15; 0° vs CW: $p = .001$; 0° : $M = 1464$, $ES = 61$; CW: $M = 1786$, $ES = 86$; 0° vs CCW: $p = .001$; CCW: $M = 1738$, $ES = 85$; CW vs CCW: $p = .12$).

Une MANOVA sur les indices d-prime et c-biais (TDS), calculée sur les stimuli leurres ayant subi une rotation horaire CW et anti-horaire CCW respectivement, a révélé que le sexe n'affecte pas significativement les indices d-prime et c-biais (indice d, 0° : $F(1, 28) = 0.62$, $p = .44$; indice c, 0° : $F(1, 28) = 0.26$, $p = .61$; indice d, horaire CW: $F(1, 28) = 0.32$, $p = .58$; indice c, horaire CW: $F(1, 28) = 0.11$, $p = .74$; indice d, anti-horaire CCW: $F(1, 28) = 2.96$, $p = .09$; indice c, anti-horaire CCW: $F(1, 28) = 0.19$, $p = .66$, indice d, toute direction: $F(1, 28) = 1.85$, $p = .19$; indice c, toute direction: $F(1, 28) = 0.41$, $p = .53$). Une ANOVA à mesures répétées pour chacun des indices d-prime et c-biais (direction de rotation: 0° , CW, CCW x sexe) est calculée et a révélé pour l'indice d-prime un effet principal de la direction de rotation ($F(2, 56) = 10.63$, $p = .001$, $\varepsilon = .28$) sans effet principal de sexe ($p = .38$) ni d'interaction entre le sexe et la direction de rotation ($p = .54$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré un meilleur indice d-prime lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à une rotation sans différence significative entre les deux directions de rotation (Figure 16; 0° vs CW: $p = .001$; 0° : $M = 1.71$, $ES = 0.11$; CW: $M = 1.26$, $ES = 0.15$; 0° vs CCW: $p = .001$; 0° : $M = 1.71$, $ES = 0.11$; CCW: $M = 1.16$, $ES = 0.15$; CW vs CCW: $p = .39$). Les résultats sur l'indice c-biais ont montré également un effet principal de la direction de rotation ($F(2, 56) = 18.92$, $p = .001$, $\varepsilon = .40$) sans effet principal de sexe ($p = .38$) ni d'interaction entre le sexe et la direction de rotation ($p = .93$).

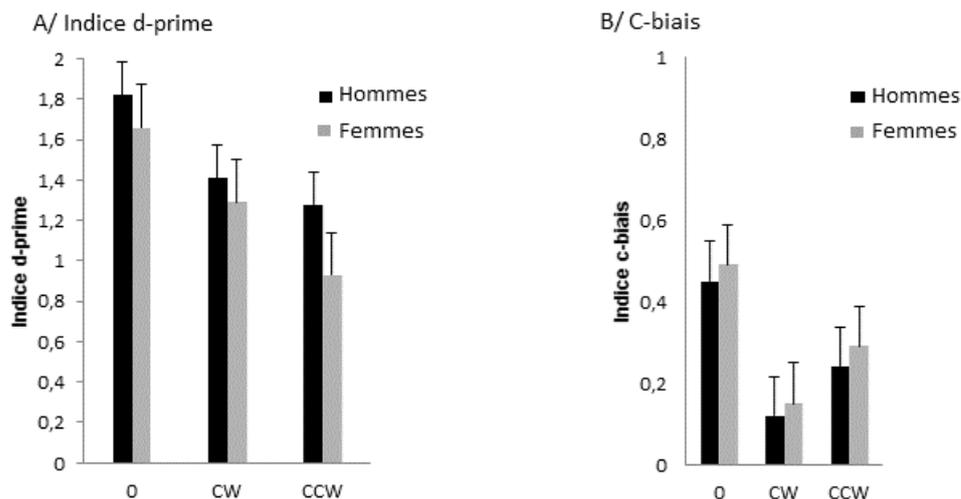


Figure 16. A/ L'indice d-prime est significativement plus grand lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation, sans différence entre la direction horaire CW et la direction anti-horaire CCW. B/ L'indice c est significativement plus grand dans la condition sans rotation en comparaison à la condition rotation et cet indice est significativement plus grand dans la condition de rotation anti-horaire CCW en comparaison à la rotation horaire CW.

Les comparaisons subséquentes par paires ont montré un indice c-biais plus élevé quand il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation. Cet indice c-biais est

significativement plus grand lorsque la rotation est dans la direction anti-horaire CCW par rapport à une rotation dans la direction horaire CW (Figure 16; 0° vs CW: $p = .001$; 0° : $M = 0.48$, $ES = 0.05$; CW: $M = 0.12$, $ES = 0.04$; 0° vs CCW: $p = .001$; CCW: $M = 0.21$, $ES = 0.04$; CW vs CCW: $p = .14$).

4.3 Absence du cadre de référence (damier et cadre de l'ordinateur) (Expérience 3)

Une ANOVA à mesures répétées (direction de rotation: 0° , CW, CCW x sexe) est calculée sur la moyenne de reconnaissance correcte et les résultats ont révélé un effet de la direction de rotation ($F(1, 56) = 25.51$, $p = .001$; $\epsilon = .48$) sans effet principal de sexe ($p = .69$) et sans effet d'interaction entre la direction de rotation et le sexe ($p = .13$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que les participants ont une meilleure reconnaissance correcte lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation sans différence significative entre ces deux directions de rotation (Figure 17; 0° vs CW: $p = .001$; 0° : $M = 0.87$, $ES = 0.02$; CW: $M = 0.78$, $ES = 0.02$; 0° vs CCW: $p = .001$; CCW: $M = 0.77$, $ES = 0.01$; CW vs CCW: $p = .27$). Les mêmes analyses sur la moyenne des temps de réponse correcte ont montré également un effet de la direction de rotation ($F(2, 56) = 16.33$, $p = .001$; $\epsilon = .37$) sans effet principal de sexe ($p = .65$) et sans effet d'interaction entre la direction de rotation et le sexe ($p = .32$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que les participants répondent plus rapidement lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation, sans différence significative entre la rotation dans la direction horaire CW et la rotation dans la direction anti-horaire CCW (Figure 17; 0° vs CW: $p = .001$; 0° : $M = 1672$, $ES = 56$; CW: $M = 1858$, $ES = 64$; 0° vs CCW: $p = .001$; CCW: $M = 1868$, $ES = 69$; CW vs CCW $p = .70$).

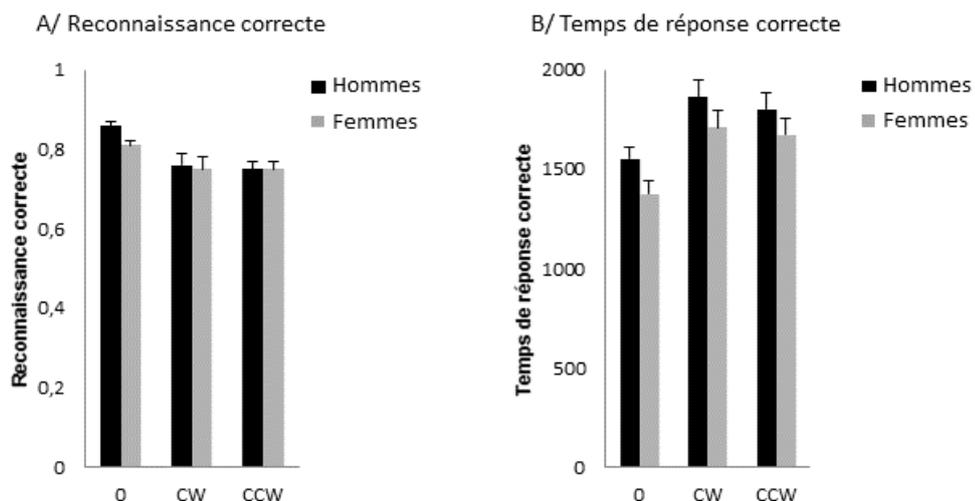


Figure 17. A/ Les participants répondent significativement mieux lorsqu'il n'y a pas de rotation que lorsqu'il y a une rotation et sans différence significative entre la rotation est horaire (CW) et la rotation anti-horaire (CCW). B/ Les participants répondent significativement plus rapidement lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation, sans différence significative entre la rotation horaire et anti-horaire.

Une MANOVA sur les indices d-prime et c-biais (TDS), calculée sur les stimuli leurrex ayant subi une rotation horaire CW et anti-horaire CCW respectivement, a révélé que le sexe n'affecte pas significativement les indices d-prime et c-biais (indice d, 0°: $F(1, 28) = 0.05, p = .83$; indice c, 0°: $F(1, 28) = 0.62, p = .44$; indice d, rotation CW: $F(1, 28) = 2.79, p = .11$; indice c, rotation CW: $F(1, 28) = 0.09, p = .77$; indice d, rotation CCW: $F(1, 28) = 1.53, p = .23$; indice c, rotation CCW: $F(1, 28) = 0.16, p = .69$, indice d, toute condition: $F(1, 28) = 0.10, p = .76$; indice c, toute condition: $F(1, 28) = 0.01, p = .99$). Une ANOVA à mesures répétées pour chacun des indices d-prime et c-biais (direction de rotation: 0°, CW, CCW x sexe) est calculée et a révélé pour l'indice d-prime un effet principal de la direction de rotation ($F(2, 56) = 22.69, p = .001, \varepsilon = .45$) et une interaction entre la direction de rotation et le sexe ($F(2, 56) = 5.54, p = .006, \varepsilon = .17$) sans effet principal de sexe ($p = .83$). Les comparaisons subséquentes par paires ont révélé un meilleur indice d-prime pour tous les participants lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation. Cependant, seules les femmes ont montré un meilleur indice d-prime lorsque la rotation est dans la direction horaire CW par rapport à une rotation dans la direction anti-horaire CCW alors que chez les hommes, l'indice d-prime ne varie pas selon la direction de rotation et il n'y a pas de différence sexuelle selon le type de rotation (Figure 18; femmes: 0° vs CW: $p = .035$; 0°: $M = 2.06, ES = 0.18$; CW: $M = 1.72, ES = 0.17$; femmes: 0° vs CCW: $p = .001$; 0°: $M = 2.06, ES = 0.18$; CCW: $M = 1.17, ES = 0.18$; femmes: CW vs CCW: $p = .001$; hommes: 0° vs CW: $p = .001$; 0°: $M = 2.00, ES = 0.18$; CW: $M = 1.32, ES = 0.17$; hommes: 0° vs CCW: $p = .002$; 0°: $M = 2.00, ES = 0.18$; CCW: $M = 1.49, ES = 0.18$; hommes: CW vs CCW: $p = .29$).

Indices de la TDS

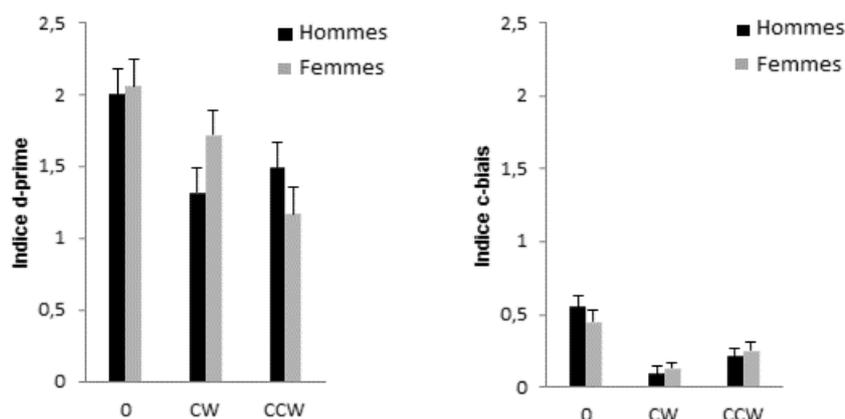


Figure 18. l'indice d-prime est significativement meilleur lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition de rotation (horaire et anti-horaire). Les hommes ne montrent pas un meilleur indice d-prime selon la direction de rotation alors que chez les femmes, l'indice d-prime est meilleur lorsque la direction de rotation est horaire CW en comparaison à une rotation dans la direction anti-horaire CCW. L'indice c-biais est significativement plus élevé lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation, sans différence significative entre la direction horaire CW et anti-horaire CCW.

Les résultats sur l'indice c-biais ont montré également un effet principal de la direction de rotation ($F(2, 56) = 18.77, p = .001, \varepsilon = .40$) sans effet principal de sexe ($p = .95$) ni d'interaction entre le sexe et la direction de rotation ($p = .44$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré un indice c-biais plus élevé quand il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation. Cet indice c-biais est significativement plus grand lorsque la rotation est dans la direction anti-horaire CCW par rapport à une rotation dans la direction horaire CW (Figure 18; 0° vs CW: $p = .001$; 0° : $M = 0.50, ES = 0.06$; CW: $M = 0.12, ES = 0.06$; 0° vs CCW: $p = .001$; CCW: $M = 0.231, ES = 0.06$; CW vs CCW: $p = .04$).

4.4 Effet du cadre de référence sur le sexe

Pour évaluer l'effet du cadre de référence (présence du damier et du cadre de l'ordinateur), nous avons groupé les résultats des trois dernières expériences. Une ANOVA à mesures répétées (direction de rotation: 0° , CW, CCW; cadre de référence: présence du damier et du cadre de l'ordinateur, présence que du cadre de l'ordinateur, absence de cadre de référence x sexe) a été calculée sur la moyenne de reconnaissance correcte et les résultats ont révélé un effet de la direction de rotation ($F(1, 56) = 48.82, p = .001; \varepsilon = .64$), sans effet principal du cadre de référence ($p = .34$) ni d'effet de sexe ($p = .46$). Il n'y a pas d'interaction significative du cadre avec le sexe ($p = .61$) ni d'interaction significative entre la direction de rotation et le sexe ($p = .17$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré une meilleure reconnaissance correcte des participants lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation et sans différence significative entre la rotation dans la direction horaire CW et la rotation dans la direction anti-horaire CCW (Figure 19; 0° vs CW: $p = .001$; 0° : $M = 0.85, ES = 0.01$; CW: $M = 0.77, ES = 0.01$; 0° vs CCW: $p = .001$; CCW: $M = 0.75, ES = 0.01$; CW vs CCW: $p = .10$). Les mêmes analyses sur la moyenne des temps de réponse correcte ont montré un effet de la direction de rotation ($F(1, 56) = 54.87, p = .001; \varepsilon = .66$), sans effet principal du cadre de référence ($p = .18$) ni d'effet de sexe ($p = .10$). Il n'y a pas d'interaction significative du cadre avec le sexe ($p = .75$) ni d'interaction significative entre la direction de rotation et le sexe ($p = .80$). Les comparaisons subséquentes par paires ont révélé une reconnaissance significativement plus rapide des participants lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation et sans différence significative entre la rotation dans la direction horaire CW et la rotation dans la direction anti-horaire CCW (Figure 19, 0° vs CW: $p = .001$; 0° : $M = 1528, ES = 33$; CW: $M = 1799, ES = 43$; 0° vs CCW: $p = .001$; CCW: $M = 1793, ES = 45$; CW vs CCW: $p = .70$).

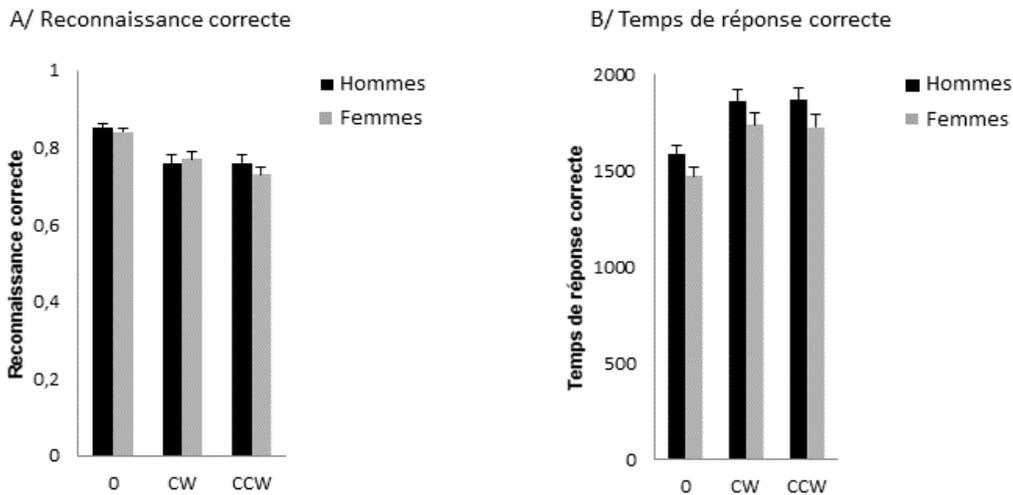


Figure 19. A/ Les participants répondent significativement mieux lorsqu'il n'y a pas de rotation que lorsqu'il y a une rotation sans différence significative entre la direction de rotation horaire CW et la direction de rotation anti-horaire CCW. B/ Les participants répondent significativement plus rapidement lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation, sans différence significative entre la rotation horaire CW et anti-horaire CCW.

Une ANOVA à mesures répétées pour chacun des indices d-prime et c-biais (direction de rotation: 0°, CW, CCW; cadre de référence: présence du damier et du cadre de l'ordinateur, présence que du cadre de l'ordinateur, absence de cadre de référence x sexe) est calculée et a révélé pour l'indice d-prime un effet principal de la direction de rotation ($F(2, 56) = 37.19, p = .001, \varepsilon = .57$) sans effet principal du cadre de référence ($p = .20$) ni d'effet de sexe ($p = .10$). Il n'y a pas d'interaction significative du cadre avec le sexe ($p = .29$) ni d'interaction significative entre la direction de rotation et le sexe ($p = .10$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré un meilleur indice d-prime pour tous les participants lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation. Cet indice d-prime est également plus élevé lorsque la rotation est dans la direction horaire CW par rapport à une rotation dans la direction anti-horaire CCW (Figure 20; 0° vs CW: $p = .001$; 0°: $M = 1.83, ES = 0.08$; CW: $M = 1.38, ES = 0.07$; 0° vs CCW: $p = .001$; CCW: $M = 1.20, ES = 0.07$; CW vs CCW: $p = .010$). Les résultats sur l'indice c-biais ont montré également un effet principal de la direction de rotation ($F(2, 56) = 65.24, p = .001, \varepsilon = .70$) sans effet principal du cadre de référence ($p = .90$) ni d'effet de sexe ($p = .52$). Il n'y a pas d'interaction significative du cadre avec le sexe ($p = .81$) ni d'interaction significative entre la direction de rotation et le sexe ($p = .65$). Les comparaisons subséquentes par paires ont indiqué un meilleur indice c-biais pour tous les participants lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation. Cet indice c-biais est également plus élevé lorsque la rotation est dans la direction anti-horaire CCW par rapport à une rotation dans la direction horaire CW (Figure 20; 0° vs CW: $p = .001$; 0°: $M = 0.49, ES = 0.03$; CW: $M = 0.12, ES = 0.02$; 0° vs CCW: $p = .001$; CCW: $M = 0.235, ES = 0.03$; CW vs CCW: $p = .001$).

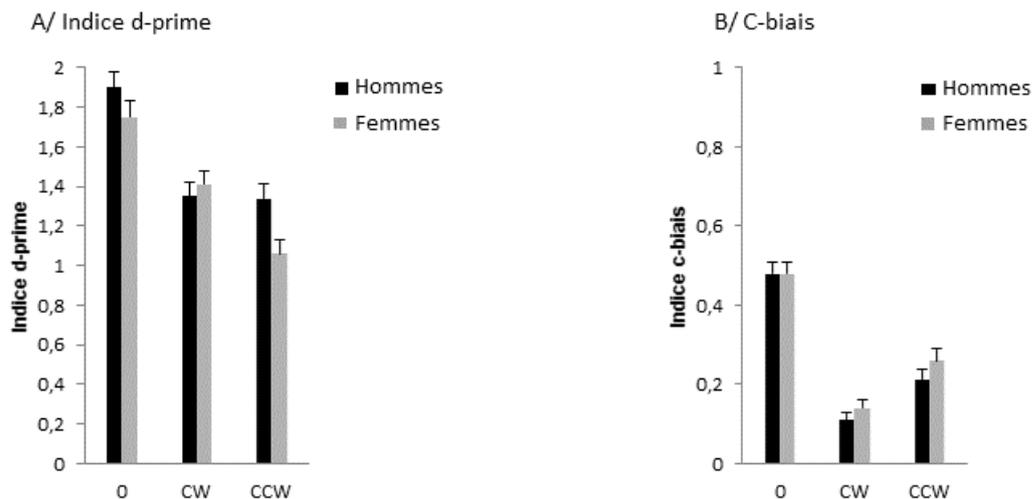


Figure 20. A/ L'indice d-prime est significativement plus grand lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation et cet indice est également significativement plus grand lorsque la rotation est horaire CW par rapport à la rotation anti-horaire CCW. B/ L'indice c est significativement plus grand dans la condition sans rotation en comparaison à la condition rotation et cet indice est significativement plus grand dans la condition de rotation anti-horaire CCW en comparaison à la rotation horaire CW.

5. Discussion générale

Les résultats de ces trois expériences n'indiquent pas de différences sexuelles significatives en lien avec la présence ou non des différents indices environnementaux (damier ou cadre de l'ordinateur). Ces indices environnementaux sont représentés par des axes orthogonaux (lignes noires du damier ou pourtour de l'écran de l'ordinateur) et ne semblent pas être utilisés préférentiellement par les participants. Une autre étude a testé l'influence des cadres de référence sur les différences sexuelles (Benton et al., 1983). Cette étude papier crayon a montré que les hommes utilisaient préférentiellement des cadres de référence (en particulier le cadre de la feuille de papier où avait lieu l'expérience) par rapport aux femmes. Dans leur tâche, les participants devaient évaluer les attributs spatiaux d'une ligne. Les erreurs étaient plus fréquentes lorsque les lignes étaient obliques plutôt qu'horizontales ou verticales et avec une différence significativement plus importante chez les femmes. Dans cette expérience, les résultats ont indiqué que la différence entre les sexes est due à une plus grande utilisation des références géométriques offertes par la feuille de papier sur laquelle les lignes sont présentées (Collaer & Nelson, 2002). Nous avons également observé l'influence chez les hommes des cadres de référence verticale et horizontale dans la première partie de ce travail. Dans celle-ci, les hommes pouvaient vérifier l'alignement des stimuli présentés afin de décider s'ils correspondaient ou non aux stimuli de référence (alignés selon l'horizontale ou la verticale). A la différence de ces trois dernières expériences, il n'y avait pas d'axes directionnels visibles et il fallait donc avoir une bonne perception de la verticalité et de l'horizontalité pour utiliser cette stratégie. C'est la raison pour laquelle les hommes, qui présentent de meilleurs résultats dans les tâches de

perception spatiale pour déterminer la verticale et l'horizontale, ont obtenu une meilleure performance que les femmes dans la reconnaissance des stimuli cibles alignés selon ces deux axes canoniques orthogonaux. C'est peut être également la raison pour laquelle, dans l'étude de Collaer et Nelson (2002) les hommes obtiennent de meilleurs résultats lorsque les lignes sont alignés selon la verticale et l'horizontale, indépendamment du cadre de la feuille. Pour le savoir, il aurait été intéressant de reproduire leur étude sur une feuille sans cadre de référence. Dans nos trois dernières expériences cependant, les axes directionnels étaient visibles et auraient pu être utilisés aussi bien par les hommes que les femmes, ce qui ne semble pas avoir été le cas. Les participants semblent alors utiliser d'autres informations que cette information visuelle fixe, représentée par des axes directionnels orthogonaux (damier et écran de l'ordinateur). Puisque les participants restent assis devant leur écran d'ordinateur pour effectuer la tâche, il est possible qu'ils utilisent des informations sensorielles, comme la position stable de leur corps, pour effectuer la tâche demandée ce qui montrerait une certaine indépendance au champ perceptif visuel. Pour vérifier cette hypothèse, nous poursuivrons ce travail en répliquant notre tâche mais en environnement réel, impliquant un déplacement actif ou passif des participants autour du dispositif expérimental.

Nos autres résultats ont indiqué que les participants discriminaient mieux et plus rapidement les paires d'images identiques lorsqu'il n'y a pas de rotation en comparaison à la condition de rotation. La discrimination est donc meilleure quand il n'y a pas de modification de la position des objets (condition sans rotation) dans notre tâche de rotation mentale. Ce résultat est consistant avec d'autres études (Banta Lavenex et al, 2011; Burgess, Spiers, & Paleologou, 2004; Simons & Wang, 1998; Wang & Simons, 1999). La condition sans rotation est une condition plus simple que lorsqu'il y a rotation du dispositif et implique alors de meilleures performances des participants. L'angle de rotation a également son importance car des études montrent qu'une variation angulaire de 90° est la plus difficile lors de tâches de reconnaissance des images sous un point de vue différent (Christou & Bühlhoff, 2003). Nous n'avons pas trouvé de différence sexuelle, ce qui contraste avec une étude antérieure (Brugess et al. 2004). Dans cette dernière, on demandait à des participants de mémoriser des objets placés sur une table puis après une série de manipulations dont deux d'entre elles étaient similaires aux nôtres (aucun déplacement du dispositif, ni du participant ou uniquement déplacement du dispositif), les participants devaient retrouver la position des objets. Les résultats indiquent une meilleure performance des femmes par rapport aux hommes. Selon les auteurs, cet avantage serait relié à l'avantage des femmes en mémoire spatiale de la localisation d'objets (Eals & Silverman, 1994; Levy et al., 2005; McBurney et al., 1997; Silverman & Eals, 1992). Dans notre expérience, nous aurions pu nous attendre à observer un avantage chez les femmes lors de l'expérience sans présence de cadre de

référence (ni damier, ni cadre de l'ordinateur), et dans la condition "sans rotation" puisqu'il s'agit dans ce cas à une tâche qui ressemble à la tâche classique de mémoire spatiale de la localisation d'objets. Cependant, même dans cette condition, nous n'obtenons pas de différence sexuelle à l'avantage des femmes. Cette absence de différence sexuelle doit certainement être expliquée par la méthodologie utilisée. Dans nos expériences, les participants ne doivent pas simplement reconnaître la position spatiale des différents objets comme dans les tâches classiques de la mémorisation de la localisation spatiale d'objets, mais ils doivent retrouver la position spatiale de *paires* d'objets. Ils doivent ici créer un lien mental entre les objets et le traitement n'est donc pas un traitement ponctuel comme peut l'être celui nécessaire dans la tâche de la mémorisation de la localisation d'objets. Nos expériences utilisent alors d'une part la compétence de la rotation mentale d'un lien formé entre deux objets mais également celle nécessaire pour la localisation d'objets; ce qui pourrait entraîner une absence de différences sexuelles puisque les hommes montrent généralement de meilleures performances en rotation mentale (Lippa, Collaer, & Peters, 2010; Lohman, 1986; Maylor et al., 2007; Peters, 2005; Voyer, et al., 1995) tandis que les femmes montrent de meilleures performances en mémoire spatiale de la localisation d'objet (Eals & Silverman, 1994; Silverman & Eals, 1992).

Dans notre étude, la sensibilité visuelle représentée par l'indice d-prime montre une différence en fonction de la direction de rotation. Les participants montrent une plus grande sensibilité à la tâche lorsqu'il n'y a pas de rotation en comparaison à la condition rotation, ce qui est en lien avec les résultats sur les performances et les temps de réponse correcte. De plus, la sensibilité visuelle est plus importante lorsque la rotation est dans la direction horaire CW, en comparaison à une rotation dans la direction anti-horaire CCW. Cette plus grande sensibilité dans la direction de rotation horaire CW chez les femmes peut être mise en lien avec une meilleure performance en général des participants dans une tâche de rotation mentale de stimuli alphanumériques lorsque la direction de rotation est dans le sens horaire CW (Koriat & Norman, 1985; Liesfeld & Zimmer, 2011; Robertson & Palmer, 1983). En ce qui concerne l'indice du c-biais, mesure qui permet de représenter le tempérament du participant dans sa réponse, les résultats obtenus sont indépendants de la présence ou de l'absence du système de référence. Le c-biais est significativement plus grand lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à la condition rotation. De plus, ce même indice est plus grand pour la rotation dans la direction anti-horaire CCW par rapport à la rotation dans la direction horaire CW. Ainsi, les participants présentent un tempérament dit «plus risqué» lorsque la rotation a lieu dans la direction horaire CW en comparaison à une rotation dans la direction anti-horaire CCW. En d'autres termes, pour obtenir cette plus grande sensibilité visuelle pour la rotation dans la direction horaire CW, les participants montrent un tempérament «plus

risqué» (répondent plus souvent oui que non malgré le risque d'erreurs). Nous ne trouvons cependant pas de différence sexuelle dans ces processus de décisions indiquant que pour cette tâche, le profil décisionnel des participants est le même selon le sexe.

Dans la suite de ce travail, nous avons voulu inclure une condition supplémentaire aux trois dernières expériences réalisées: le déplacement actif et passif du participant autour du dispositif en lieu et place de la rotation mentale. En effet, plusieurs recherches ont étudié la différence entre la condition où seul le dispositif varie de position par rapport à un déplacement unique des participants (e.g. Banta Lavenex et al. 2011; Simons & Wang, 1998; Simons, Wang, & Roddenberry, 2002; Wang & Simons, 1999; Zhao, Zhou, Mou, Hayward, & Owen, 2007). La plupart de ces études ont trouvé que lors d'un déplacement unique des participants (et non du dispositif), les performances en mémoire spatiale étaient améliorées en comparaison à un déplacement unique du dispositif (Simons et al., 2002; Zhao et al., 2007). Les études ont expliqué ces différences par le fait que les participants peuvent utiliser lors de leur déplacement actif, de nouvelles informations, comme le système vestibulaire, proprioceptif ainsi que les afférences motrices permettant une mise à jour spatiale efficace pour la mémorisation de la position de différents objets. Dans la suite de ce travail, nous voulons vérifier comment le déplacement actif et passif module les différences sexuelles. Nous faisons l'hypothèse que si le participant se déplace et ne peut plus utiliser sa position fixe comme référence, il sera plus susceptible d'utiliser les informations visuelles disponibles au sein du dispositif expérimental, comme les axes directionnels représentés par le damier.

Partie 2: Reconnaissance de la localisation de paires d'objets après rotation: effet de la présence d'un plan orthogonal avec ou sans changement de perspective

B. Avec changement de perspective

1 Introduction

Il est essentiel pour les êtres humains de représenter en mémoire la localisation des objets de l'environnement. Ceci nous permet lorsque nous nous levons la nuit, chez nous par exemple, de pouvoir retrouver notre chemin dans l'obscurité. De nombreuses études ont analysé ce processus d'encodage des objets de l'environnement lors de nos déplacements (Paillard, 1991). L'apprentissage de la localisation des objets de l'environnement s'opère par le biais de la perception, ou par le biais du langage (e.g. Clark, 1973; Jackendoff, 1987; Talmy, 1983). Lorsque nous sommes dans une ville que nous ne connaissons pas, nous apprenons l'emplacement des différents points de repère selon notre propre observation et notre propre expérience. C'est un exemple d'apprentissage par la perception. Cependant, lorsque nous utilisons un guide pour apprendre les différents points de repère de la ville, nous utilisons un apprentissage par le langage. Ces deux modes d'apprentissage partagent différents processus cognitifs communs, comme le processus de description des points de repère de la ville, ou encore le processus de visualisation de ces points de repère par exemple. La localisation des objets de notre environnement ne peut pas être spécifiée sans l'utilisation d'un cadre de référence mental sur lequel ces différents objets sont projetés (Shelton & McNamara, 2001). Ce cadre de référence utilisé pour encoder les positions spatiales est dépendant de la position de l'observateur et du dispositif expérimental. Il existe deux catégories de cadres de référence (Kosslyn & Ochsner, 1994; Levinson, 1996; O'Keefe & Nadel, 1978; Paillard, 1991; Pani & Dupree, 1994; Piaget & Inhelder, 1967; et pour une revue voir Avraamides & Kelly, 2008). Il y a la référence égocentrique qui est un système de référence dans lequel la localisation est spécifiée selon le point de vue de l'observateur (par exemple: la rétine, la tête, ou encore les coordonnées du corps de l'observateur). Il existe également le système de référence environnemental (ou allocentrique), qui est un cadre de référence selon lequel la localisation des objets est spécifiée selon la position de ces objets ou selon les caractéristiques de la structure de l'environnement (comme par exemple les murs de la salle d'expérience, ou encore les points de repère géographiques). Plusieurs études suggèrent que la mémorisation à long terme de la localisation des objets de l'environnement est organisée en terme de cadre de référence allocentrique, c'est-à-dire dépendante des différentes positions des objets les uns par rapport aux autres (e.g., Easton

& Sholl, 1995; Hintzman, O'Dell, & Arndt, 1981; Mou & McNamara, 2002; Shelton & McNamara, 2001; Sholl & Nolin, 1997; Werner & Schmidt, 1999). Cet encodage des objets de l'environnement ne semble pas dépendant du cadre de référence égocentrique lorsque le participant se déplace (Hintzman et al., 1981; Mou & McNamara, 2002; Shelton & McNamara, 2001). Cependant, lorsque la position du participant est fixe, la mémoire spatiale semble indépendante des indices disponibles au sein de l'environnement du participant; le cadre de référence utilisé est alors indépendant de la position des objets entre eux. Le cadre de référence est intrinsèque et il est constitué selon le point de vue de l'observateur (Huttenlocher et al., 1991; Wedell et al., 2007). Quand des participants doivent apprendre la disposition de différents objets dans un environnement nouveau et non familier, ils utilisent les cadres de référence aussi bien égocentriques qu'allocentriques (Mou & McNamara, 2002). D'autres études ont montré que lorsque les participants se déplacent dans un environnement familier, ils conservent les traces de leur déplacement et de leur orientation selon le même cadre de référence intrinsèque utilisé pour se représenter la disposition spatiale de l'environnement (Mou et al., 2004).

L'influence de l'environnement, et plus particulièrement le rapport entre les différents objets de l'environnement et entre les objets à mémoriser, joue alors un rôle dans des tâches de reconnaissance d'objets après un déplacement (Acredolo, Pick, & Olsen, 1975; Bryant & Tversky, 1999; Franklin & Tversky, 1990; Herman & Siegel, 1978; Jacobs, Thomas, Laurance, & Nadel, 1998; Mallot & Gillner, 2000; Presson, 1987; Tlauka & Wilson, 1994; Sholl & Nolin, 1997; Waller, Loomis, Gollege, & Beall, 2000; Werner et Schmidt, 1999). Des recherches observent de meilleures performances dans des tâches de navigation quand la référence définie par le corps est alignée avec l'environnement (McNamara, Rump, & Werner, 2003; Simons & Wang, 1998; Wang & Simons; 1999). Des études montrent également que dans des tâches de pointage, les participants sont meilleurs pour pointer en direction de la position d'objets lorsque pendant la mémorisation, l'axe défini par le participant avec l'objet à mémoriser est parallèle soit aux murs de la pièce où a lieu l'expérience, soit à la position de divers bâtiments autour du dispositif expérimental qui se déroule en environnement réel (McNamara et al., 2003; Mou & McNamara, 2002; Shelton & McNamara, 2001; Werner & Schmidt, 1999). De plus, lorsque des individus doivent se familiariser avec un nouvel environnement, ils sélectionnent différents indices autour d'eux en se basant sur la structure de l'environnement pour faciliter cet apprentissage (e.g. McNamara & Shelon, 2002; Mou & McNamara, 2002; Tversky, 1981). Cependant, lorsqu'aucun indice visuel n'est disponible au sein de l'environnement, l'individu peut utiliser son corps comme référence (référence égocentrée) pour repérer les objets à mémoriser (Shelton & McNamara, 2001). Il peut également créer des liens entre les objets présents

(référence allocentrée), en inventant ainsi une référence intrinsèque au dispositif expérimental (Burgess et al. 2004). Des études ont montré la préférence des hommes pour se référer aux positions des objets entre eux, alors que les femmes auraient plus tendance à se référer aux objets par rapport à leur propre corps (Dabbs, et al., 1998; Linn & Petersen, 1985; Sandstrom, et al., 1998; Voyer et al., 1995).

Les études sur la navigation spatiale suggèrent également que le déplacement de l'observateur joue un rôle important dans le maintien et dans la mise à jour de la représentation spatiale des objets. Ainsi, tout comme les insectes ou les rongeurs par exemple, qui sont capables de retourner directement à leurs nids en utilisant leur corps comme point de référence pour intégrer les informations de leur environnement, nous sommes capables d'utiliser également notre propre corps pour mettre à jour les informations spatiales de notre environnement (e.g. Gallistel, 1990; Wehner & Srinivasan, 1981). Le déplacement actif dans notre environnement semble alors faciliter la reconnaissance de la position spatiale d'objets. Des études montrent que même sans voir, nous sommes capables de pointer vers une cible après un déplacement (e.g. Landau, Spelke, & Gleitman, 1984; Loomis et al., 1993). Notre cerveau est capable de mettre à jour automatiquement la représentation mentale de la position des objets au sein de notre environnement lorsque les systèmes vestibulaires, kinesthésiques, et/ou les afférences motrices sont sollicités (e.g. Farrell & Thomson, 1998; Klatzky, Loomis, Beall, Chance, & Golledge, 1998; Loomis, Da Silva, Philbeck, & Fukusima, 1996; May & Klatzky, 2000; Rieser, 1989; Sholl & Nolin, 1997; Wraga, Creem-Regehr, & Proffitt, 2004). Des études indiquent que les performances des participants sont même meilleures pour pointer vers des cibles après un déplacement, en comparaison à un changement de point de vue unique et sans mouvement (Farrell & Robertson, 1998; Rieser, 1989). L'exploration active implique cinq composantes: 1- la commande motrice efférente qui détermine le chemin de locomotion; 2- les informations proprioceptive et vestibulaire; 3- l'allocation de l'attention pour la navigation liée aux caractéristiques de l'environnement; 4- les décisions cognitives du participant pour choisir la direction de déplacement et la route à prendre; 5- la manipulation mentale de l'information spatiale (Wilson, Foreman, & Stanton, 1997). Concernant le déplacement passif, des études montrent que la perception spatiale est plus susceptible d'être perturbée au niveau de l'évaluation des profondeurs ou de la direction des objets (Koenderink, VanDoorn, & Lappin, 2000; Loomis, Da Silva, Fujita, & Fukusima, 1992; Norman, Crabtree, Clayton, & Norman, 2005) car le participant n'utilise pas les mêmes systèmes d'informations que lorsqu'il se déplace activement (comme par exemple le système proprioceptif, moteur et vestibulaire). Le déplacement actif permet un apprentissage plus précis de l'environnement et la mise à jour spatiale est automatique avec le mouvement physique du participant. Cependant, il n'a

encore été clairement établi ce qui est primordial dans cette mise à jour. Il est possible que ce soit la combinaison des composantes visuelles, motrices, proprioceptives et/ou vestibulaires qui soit importante et non pas une composante particulière. Les recherches montrent d'ailleurs des résultats contrastés: alors que certaines observent que la composante motrice est primordiale lors de la reconnaissance d'objets, par exemple dans une recherche avec une tâche où il est demandé aux participants d'observer une série de cinq objets répartis sur une table rotative (qui peut subir des rotations) et de détecter les différents changements de positions de ces objets après rotation de la table ou déplacement du participant (Wang & Simons, 1999), d'autres recherches montrent que l'information vestibulaire est suffisante à cette reconnaissance, par exemple dans une recherche où l'environnement virtuel est utilisé et les participants doivent trouver un objet défini dans une chambre virtuelle soit en déplaçant la chambre avec un joystick, soit en se déplaçant soi-même (Wraga et al. 2004).

Dans la suite de notre travail, nous avons reproduit les expériences précédentes avec le damier mais en environnement réel et avec le déplacement du participant (actif et passif) autour du dispositif expérimental. Nous voulons tester l'utilisation des informations géométriques fournies par l'environnement et l'utilisation d'informations discrètes, rattachées aux objets lorsque le participant est en mouvement autour du dispositif. Nous faisons l'hypothèse que lors d'un déplacement actif des participants, puisque les participants ne peuvent plus utiliser leur position fixe comme référence, ils vont utiliser les informations visuelles disponibles comme le cadre de référence présenté sous forme de damier.

2. Méthodes

Participants

Pour chacune de ces trois expériences, 30 participants, tous droitiers, sont recrutés (15 hommes et 15 femmes; dont l'âge varie entre 18 et 30 ans: expérience 4 (présence du damier et déplacement actif du participant): moyenne d'âge $M = 24.12$, $ET = 4.78$; expérience 5 (absence du damier et déplacement actif du participant): moyenne d'âge $M = 22.23$, $ET = 3.24$; expérience 6 (présence et absence du damier et déplacement passif du participant): moyenne d'âge $M = 22.43$, $ET = 2.84$). Les participants ont rempli un formulaire de consentement après avoir reçu toutes les informations relatives à l'expérience. Cette expérience remplit également les conditions éthiques de l'Université de Lausanne et sont transmises aux participants.

Stimuli

Les stimuli utilisés sont les mêmes que ceux utilisés dans les expériences précédentes. Ils sont bidimensionnels et correspondent aux images suivantes: une lampe, un petit ours, un parapluie, et des lunettes de vue (Figure 11). Ils sont sélectionnés à partir d'une série d'images fournies par la Prof Brandner et elles ont déjà été utilisées dans des expériences antérieures. Ce sont des images de la vie quotidienne, connues et donc déjà stockées dans notre mémoire, facilement discriminables, identifiables rapidement et de manière non ambiguë. Ces images sont situées au sein d'un damier composé d'un plateau carré comportant 9 cases (3 x 3). La case centrale comporte une croix de fixation et les huit cases restantes sont occupées par les 4 paires d'images disposées de façon aléatoire. Dans l'expérience 4, tous les essais sont présentés avec la présence du damier lorsque le participant doit se déplacer autour du dispositif.

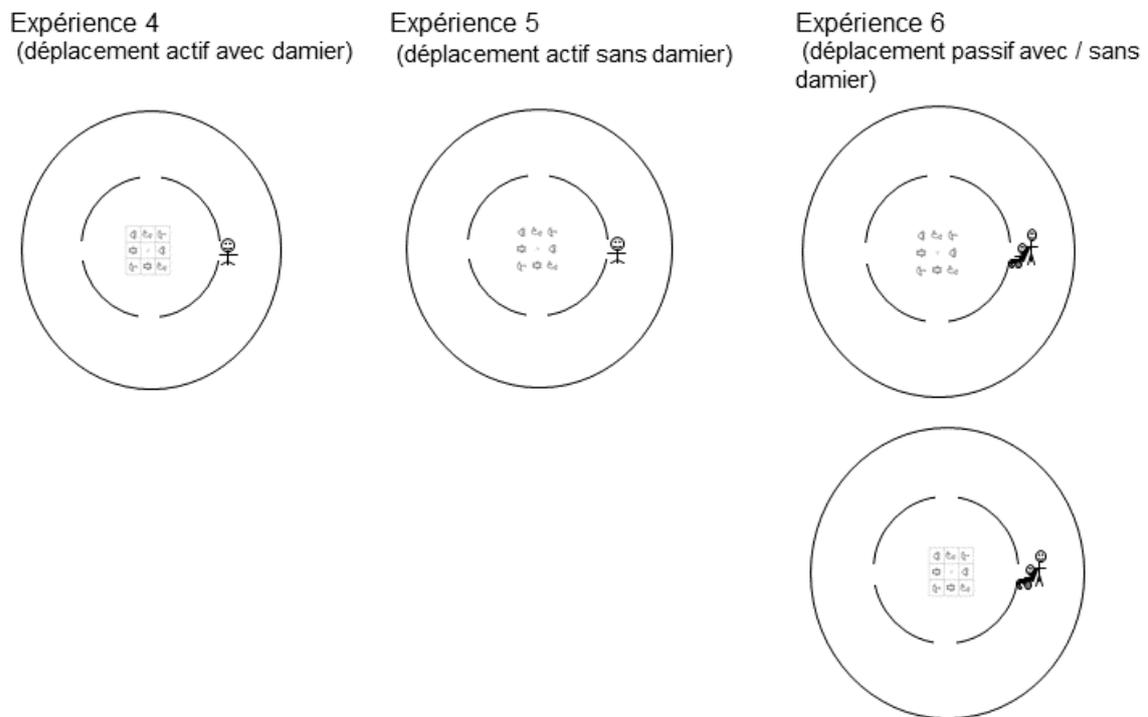


Figure 21. Expériences de la partie 3: l'expérience 4 correspond au déplacement du participant avec présence du damier au sein du dispositif alors que dans l'expérience 5, le damier n'apparaît plus au sein du dispositif. L'expérience 6 correspond au déplacement passif du participant (qui est déplacé sur une chaise roulante) avec des essais où il y a la présence du damier et d'autres essais sans présence du damier (nombre de présentations identiques et randomisées).

Dans l'expérience 5, tous les essais sont présentés sans présence du damier lorsque le participant se déplace autour du dispositif. Dans la dernière expérience, le participant est déplacé (déplacement passif) avec une moitié de présentations, avec la présence du damier, et une moitié de présentations sans présence du damier, le tout présenté aléatoirement (Figure 21).

3. Procédure expérimentale

Les trois prochaines expériences se sont déroulées dans la grande salle du laboratoire sur l'étude expérimentale du comportement de l'Université de Lausanne (LERB). Afin de contrôler les informations géométriques de l'environnement et de prévenir toute possibilité de référence externe au dispositif, cette salle comporte deux rideaux concentriques (460 cm et 350 cm de diamètre respectivement) permettant de former un couloir circulaire de 110 cm de largeur. Le rideau intérieur comporte quatre ouvertures permettant d'observer l'arène centrale après avoir effectué un déplacement circulaire dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Un projecteur (marque Sony VPL EX100 XGA, 1024x768) fixé au plafond à une hauteur de 225 cm est utilisé pour projeter les stimuli sur une table circulaire (100 cm de diamètre, hauteur 70 cm) placée au centre des rideaux, recouverte d'une feuille cartonnée blanche (100 cm x 145 cm), occupant entièrement la surface de la table. La projection du plateau, au centre de la feuille cartonnée, occupe une surface de 21.20 cm x 21.20 cm du plateau projeté. Comme pour les autres expériences, le dispositif se compose du damier d'un plateau carré comportant 9 cases (3 x 3). La case centrale comporte une croix de fixation et huit cases restantes sont occupées par les mêmes paires d'images que précédemment et distribuées aléatoirement.

Boîtier de réponse



Figure 22. Boîtier de réponse utilisé pour l'expérience: le participant appuie sur la touche OUI lorsque le participant pense que la paire d'images est identique et sur la touche NON lorsque le participant pense que la paire d'images n'est pas identique. La touche NEXT au centre du clavier permet de faire apparaître l'écran de réponse lorsque le participant a terminé son déplacement.

Puisque dans cette dernière partie, il y a un déplacement (actif ou passif) du participant, les réponses sont enregistrées à l'aide d'un boîtier de réponse portable (*Logitech*, Figure 22) relié à distance avec un ordinateur portable Dell Pentium 1.73 GHZ, équipé de 504 MB de RAM. Les réponses et les temps de réaction sont enregistrés à l'aide du logiciel E-prime (version 2, Psychology Software Tools, Inc.). Les stimuli sont créés à l'aide du logiciel Adobe

Illustrator CS5, version 11. Toutes les analyses statistiques sont menées avec la version PASWStatistics 18.0 de SPSS.

Chaque participant est testé individuellement. Avant de commencer l'expérience, chaque participant remplit une feuille de consentement le laissant libre de quitter à tout moment l'expérience. Les instructions concernant l'expérience sont transmises sous forme écrite et diffusée sur la table à une distance de 3 m 50 du participant. La tâche consiste également en une phase de mémorisation durant laquelle les 4 paires d'images apparaissent à l'écran et le participant doit les mémoriser. Il dispose d'un maximum de 10 000 ms, bien qu'il ne soit pas obligé de mémoriser pendant 10 000 ms. Il peut en effet passer plus rapidement à l'étape suivante à l'aide de la touche NEXT du clavier s'il le souhaite. Cette phase de mémorisation est suivie d'une phase de reconnaissance, composée d'un écran de fixation qui dure 3000 ms. Cet écran peut être accompagné d'une flèche s'il y a une rotation à effectuer, la flèche indiquant le sens de rotation qui peut être soit dans la direction horaire (CW), soit dans la direction anti-horaire (CCW). Le participant se déplace alors dans la direction de rotation indiquée entre les deux rideaux circulaires (ou alors il reste sur place si aucune rotation n'est indiquée). L'écran suivant consiste uniquement en la présence du point de fixation. Une fois le participant positionné, il appuie ensuite sur la touche NEXT du boîtier réponse (correspondant à la touche 5 du boîtier) pour voir apparaître l'écran suivant. L'étape suivante est l'écran de fixation qui apparaît pendant maximum 5000 ms et qui correspond à deux rectangles noirs, qui symbolisent la position de deux stimuli mémorisés. La tâche du participant est d'estimer s'il s'agit ou non d'une paire d'images identiques à l'aide du boîtier réponse en appuyant sur la touche OUI (correspondant à la touche 6 du boîtier de réponse) ou en appuyant sur la touche NON (correspondant à la touche 4 du boîtier de réponse). Une fois que le participant donne sa réponse, les images correspondant aux emplacements désignés par les rectangles noirs présentés durant la phase de reconnaissance apparaissent à l'écran (feed back). Le participant effectue une phase d'entraînement dont la procédure est identique à l'expérience pour le familiariser à l'expérience. Une fois que le participant a bien compris l'expérience, celle-ci peut débuter. Trois différentes expériences sont menées: dans l'expérience 4, le participant se déplace autour du dispositif et il y a la présence du damier autour des images. Dans l'expérience 5, le participant se déplace autour du dispositif mais il n'y a pas la présence du damier. Pour chacune de ces deux expériences, le total de présentations est de 108 (36 x rotations dans la direction horaire, 36 x rotations dans la direction anti-horaire, 36 x sans rotation). Dans l'expérience 6, le participant est déplacé à l'aide d'une chaise roulante (marque: Kuschall Switzerland, Invacare dont la taille du siège est de 42 x 42 cm et la hauteur est de 47 cm) autour du dispositif où pour une moitié de présentations, il y a la présence du damier et pour l'autre moitié, le damier n'apparaît pas (le

tout présenté aléatoirement). Pour cette dernière expérience, il y a 72 présentations aléatoires (12 rotations dans la direction horaire avec présence du damier; 12 rotations dans la direction anti-horaire avec présence du damier; 12 présentations sans rotation avec présence du damier, 12 rotations dans la direction horaire sans présence du damier, 12 rotations dans la direction anti-horaire sans présence du damier et 12 présentations sans rotation sans présence du damier).

4. Résultats

4.1 Déplacement actif du participant et présence du damier (Expérience 4)

Une ANOVA à mesures répétées (direction de rotation 0°, CW, CCW x sexe) est calculée sur la moyenne de reconnaissance correcte et les résultats n'ont révélé aucun effet significatif (direction de rotation: $F(2, 56) = 2.21, p = .12$; sexe: $F(1, 28) = 0.0001, p = .99$; direction de rotation x sexe: $F(2, 56) = 0.82, p = .44$). Les mêmes analyses sur la moyenne des temps de réponse correcte n'ont révélé eux aussi aucun effet (direction de rotation: $F(2, 56) = 1.31, p = .28$; sexe: $F(1, 28) = 0.53, p = .47$; direction de rotation x sexe: $F(2, 56) = 0.21, p = .87$).

Une MANOVA sur les indices d-prime et c-biais (TDS), calculée sur les trois conditions de rotation (sans rotation, direction horaire CW, direction anti-horaire CCW), a révélé que le sexe n'affecte pas significativement les indices d-prime et c-biais (indice d, pas de rotation: $F(1, 28) = 0.15, p = .70$; indice c, pas de rotation: $F(1, 28) = 1.57, p = .22$; indice d, direction de rotation horaire CW: $F(1, 28) = 0.04, p = .84$; indice c, direction de rotation horaire CW: $F(1, 28) = 0.18, p = .68$; indice d, direction de rotation anti-horaire CCW: $F(1, 28) = 0.02, p = .90$; indice c, direction de rotation anti-horaire CCW: $F(1, 28) = 4.15, p = .05$).

Une ANOVA à mesures répétées pour chacun des indices d-prime et c-biais (direction de rotation: 0°, CW, CCW; indice x sexe) est calculée et n'a révélé pour l'indice d-prime aucun effet significatif (direction de rotation: $F(2, 56) = 2.25, p = .12$; sexe: $F(1, 28) = 0.01, p = .92$; direction de rotation x sexe: $F(2, 56) = 0.15, p = .86$), ce qui n'est pas le cas pour l'indice c-biais où un effet significatif est montré pour l'interaction direction de rotation x sexe ($F(2, 56) = 6.88, p = .003, \varepsilon = .20$) avec un effet principal de la direction de rotation ($F(2, 56) = 10.26, p = .001, \varepsilon = .27$) sans effet principal de sexe ($F(1, 28) = 0.02, p = .90$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que les hommes ont un indice c-biais significativement plus grand lorsqu'il n'y a pas de rotation en comparaison à une rotation dans la direction horaire CW ($p = .001$) et en comparaison à une rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .001$), avec également une différence significative entre la rotation dans la direction horaire CW et la rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .02$). (pas de rotation: $M = 0.47, ES = 0.09$; rotation dans la direction horaire CW: $M = 0.27, ES = 0.09$,

rotation dans la direction anti-horaire CCW: $M = 0.00$, $ES = 0.09$). En ce qui concerne les femmes, les résultats ne montrent pas de différence significative selon les différentes conditions de la rotation (pas de rotation: $M = 0.31$, $ES = 0.09$; rotation dans la direction horaire CW: $M = 0.22$, $ES = 0.09$; rotation dans la direction anti-horaire CCW: $M = 0.25$, $ES = 0.09$; pas de rotation vs rotation dans la direction horaire CW: $p = .26$; pas de rotation vs rotation dans la direction anti-horaire CCW: $p = .56$; rotation dans la direction horaire CW vs rotation dans la direction anti-horaire CCW, $p = .61$) (Figure 23).

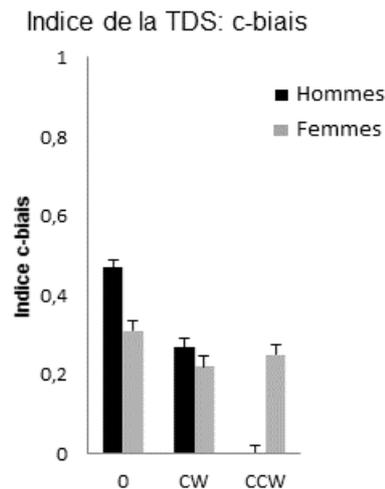


Figure 23. les analyses ont montré que les hommes ont un indice c-biais significativement plus grand lorsqu'il n'y a pas de rotation en comparaison à une rotation dans la direction horaire CW ($p = .001$) et en comparaison à une rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .001$), avec également une différence significative entre la rotation dans la direction horaire CW et la rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .02$). Pour les femmes, les résultats ne montrent pas de différence significative selon les différentes conditions de la rotation.

4.2 Déplacement actif du participant et absence du damier (Expérience 5)

Une ANOVA à mesures répétées (direction de rotation 0° , CW, CCW x sexe) est calculée sur la moyenne de reconnaissance correcte et les résultats ont révélé un effet significatif de la direction de rotation ($F(2, 56) = 3.59$, $p = .04$, $\varepsilon = .19$) sans effet principal de sexe ($F(1, 28) = 1.87$, $p = .18$) ni d'effet d'interaction entre la direction de rotation et le sexe ($F(2, 56) = 0.02$, $p = .98$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que les participants ont significativement moins de bonnes réponses lorsqu'il y a une rotation dans la direction anti-horaire CCW en comparaison avec une rotation dans la direction horaire CW ($p = .02$) sans différence significative avec la condition pas de rotation ($p = .05$) et sans différence significative entre la condition sans rotation et la condition de rotation dans la direction horaire CW ($p = .40$) (rotation dans la direction CCW: $M = 0.70$, $ES = 0.02$; sans rotation: $M = 0.75$, $ES = 0.02$; rotation dans la direction CW: $M = 0.74$, $ES = 0.02$) (Figure 24).

Les mêmes analyses sur la moyenne des temps de réponse correcte n'ont montré aucun effet significatif (direction de rotation: $F(2, 56) = 0.12, p = .88$; direction de rotation x sexe: $F(2, 56) = 0.37, p = .67$; sexe: $F(1, 28) = 0.32, p = .58$).

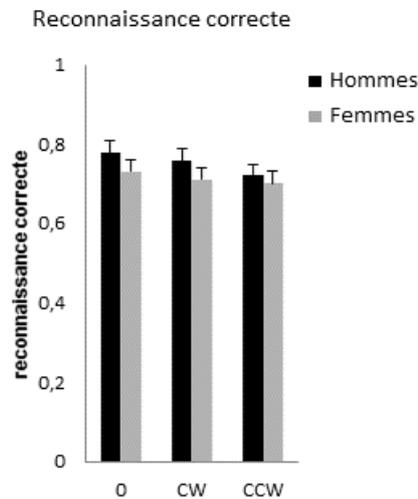


Figure 24. Les participants ont significativement moins de bonnes réponses lorsqu'il y a une rotation dans la direction anti-horaire CCW en comparaison avec une rotation dans la direction horaire CW ($p = .02$) sans différence significative avec la condition pas de rotation ($p = .05$) et sans différence significative entre la condition sans rotation et la condition de rotation dans la direction horaire CW ($p = .40$)

Une MANOVA sur les indices d-prime et c-biais (TDS), calculée sur les trois conditions de rotation (sans rotation, direction horaire CW, direction anti-horaire CCW), a révélé que le sexe n'affecte pas significativement les indices d-prime et c-biais pour les différentes directions de rotation (indice d, sans rotation: $F(1, 28) = 2.13, p = .16$; indice c, sans rotation: $F(1, 28) = 0.43, p = .52$; indice d, rotation direction horaire CW: $F(1, 28) = 1.55, p = .22$; indice c, rotation direction horaire CW: $F(1, 28) = 0.001, p = .98$; indice d, rotation direction anti-horaire CCW: $F(1, 28) = 2.22, p = .15$; indice c, rotation direction anti-horaire CCW: $F(1, 28) = 0.001, p = .99$).

Une ANOVA à mesures répétées pour chacun des indices d-prime et c-biais (direction de rotation: 0° , CW, CCW; indice x sexe) est calculée et n'a révélé pour l'indice d-prime aucun effet significatif (direction de rotation: $F(2, 56) = 1.32, p = .27$; sexe: $F(1, 28) = 2.92, p = .10$; direction de rotation x sexe: $F(2, 56) = 0.08, p = .91$), ce qui n'est pas le cas pour l'indice c-biais où il y a un effet significatif pour la direction de rotation ($F(2, 56) = 6.38, p = .007, \epsilon = .19$) sans différence significative de l'interaction entre la direction de rotation et le sexe ($F(2, 56) = 0.25, p = .72$) ni d'effet principal de sexe ($F(1, 28) = 0.08, p = .78, p = .38$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que les participants ont un indice c-biais significativement plus petit quand il n'y a pas de rotation par rapport à la rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .001$) et sans différence significative entre la condition sans rotation et la condition rotation dans la direction horaire CW ($p = .06$), et sans différence significative entre ces deux directions de rotation ($p = .22$) (pas de rotation: $M = -0.40, ES =$

0.08; rotation dans la direction CW: $M = -0.23$, $ES = 0.09$; rotation dans la direction CCW: $M = -0.11$, $ES = 0.06$) (Figure 25).

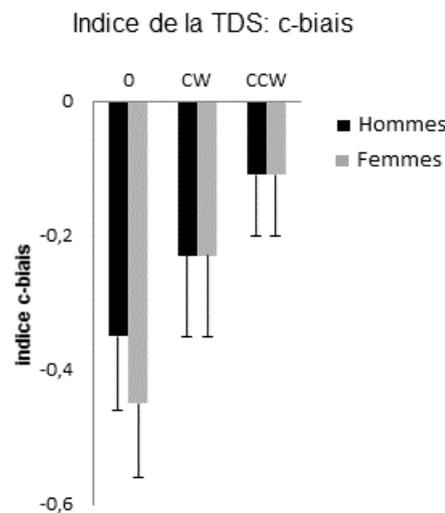


Figure 25. Les participants ont un indice c-biais significativement plus petit quand il n'y a pas de rotation par rapport à la rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .001$) et sans différence significative entre la condition sans rotation et la condition rotation dans la direction horaire CW ($p = .06$) et sans différence significative entre ces deux directions de rotation ($p = .22$).

4.3 Déplacement passif du participant et présence ou absence du damier (Expérience 6)

Une ANOVA à mesures répétées avec l'introduction de la variable du damier (direction de rotation 0° , CW, CCW, damier: présence, absence x sexe) est calculée sur la moyenne de reconnaissance correcte et les résultats ont révélé un effet de la direction de rotation ($F(2, 56) = 5.46$, $p = .007$, $\varepsilon = .16$) sans effet du damier ($F(1, 28) = 3.003$, $p = .10$), sans effet de sexe ($F(1, 28) = 0.55$, $p = .46$), sans effet d'interaction entre le damier et le sexe ($F(1, 28) = 0.23$, $p = .64$), sans effet d'interaction entre la direction de rotation et le sexe ($F(2, 56) = 0.096$, $p = .91$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que les participants ont significativement plus de bonnes réponses lorsqu'il y a une rotation dans la direction horaire CW en comparaison à une rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .01$) ou en comparaison à l'absence de rotation ($p = .01$), sans différence entre la condition sans rotation et la rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .72$) (rotation dans la direction CW: $M = 0.85$, $ES = 0.02$; sans rotation: $M = 0.79$, $ES = 0.02$; rotation dans la direction CCW: $M = 0.80$, $ES = 0.02$) (Figure 26).

Les mêmes analyses sur la moyenne des temps de réponse correcte ont montré un effet significatif du damier ($F(1, 28) = 7.03$, $p = .01$, $\varepsilon = .20$) sans effet de la direction de rotation ($F(2, 56) = 1.00$, $p = .37$), sans effet principal de sexe ($F(1, 28) = 2.74$, $p = .11$), sans effet d'interaction entre la direction de rotation et de sexe ($F(2, 28) = 1.22$, $p = .30$), sans effet

d'interaction entre le damier et le sexe ($F(1, 28) = 0.31, p = .58$) et sans effet d'interaction entre le damier et la direction de rotation ($F(2, 56) = 1.72, p = .19$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que les participants répondent significativement plus rapidement lorsqu'il y a la présence du damier en comparaison à l'absence du damier (présence du damier: $M = 1786$ [ms], $ES = 68$ [ms]; absence du damier: $M = 1880$ [ms], $ES = 83$ [ms], $p = .001$). (Figure 26).

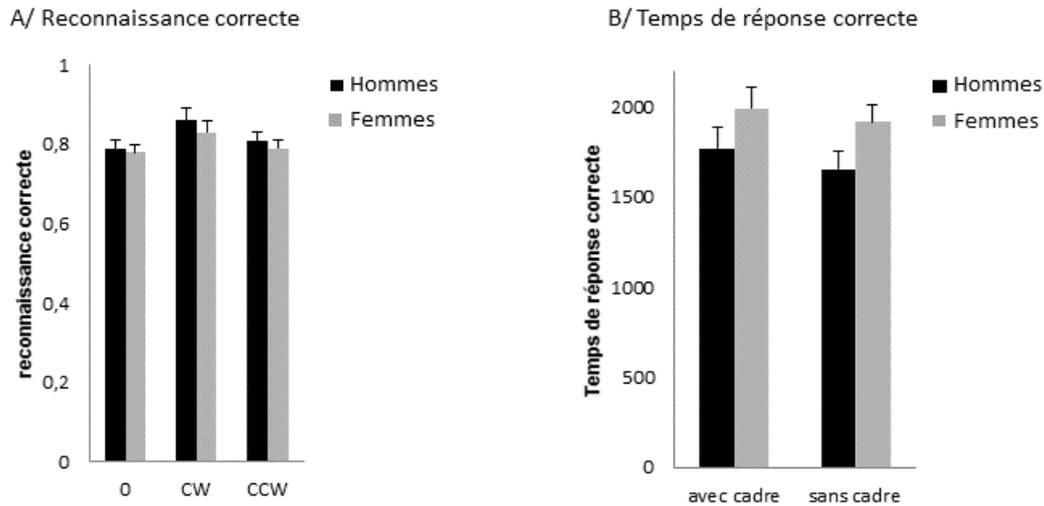


Figure 26. A/ Les participants ont significativement plus de bonnes réponses lorsqu'il y a une rotation dans la direction horaire CW en comparaison à une rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .01$) ou en comparaison à l'absence de rotation ($p = .01$), sans différence entre la condition sans rotation et la rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .72$). B/ Les participants répondent significativement plus rapidement lorsqu'il y a la présence du damier en comparaison à l'absence du damier ($p = .01$)

Une MANOVA sur les indices d-prime et c-biais (TDS), calculée sur les trois conditions de rotation (sans rotation, direction horaire CW, direction anti-horaire CCW), a révélé que le sexe n'affecte pas significativement les indices d-prime et c-biais pour les différentes directions de rotation (indice d, pas de rotation, sans damier: $F(1, 28) = 0.41, p = .53$; indice c, pas de rotation, sans damier: $F(1, 28) = 0.37, p = .55$; indice d, avec rotation, sans damier: $F(1, 28) = 1.86, p = .18$; indice c, avec rotation, sans damier: $F(1, 28) = 0.17, p = .69$; indice d, rotation dans la direction horaire CW, sans damier: $F(1, 28) = 0.94, p = .34$; indice c, rotation dans la direction horaire CW, sans damier: $F(1, 28) = 0.094, p = .76$; indice d, rotation dans la direction anti-horaire CCW, sans damier: $F(1, 28) = 1.99, p = .17$; indice c, rotation dans la direction anti-horaire CCW, sans damier: $F(1, 28) = 0.002, p = .96$; indice d, pas de rotation, avec damier: $F(1, 28) = 0.21, p = .65$; indice c, pas de rotation, avec damier: $F(1, 28) = 0.11, p = .75$; indice d, avec rotation, avec damier: $F(1, 28) = 0.017, p = .90$; indice c, avec rotation, avec damier: $F(1, 28) = 1.20, p = .28$; indice d, rotation dans la direction horaire CW, avec damier: $F(1, 28) = 0.54, p = .47$; indice c, rotation dans la direction horaire CW, avec damier: $F(1, 28) = 0.16, p = .69$; indice d, rotation dans la direction anti-horaire CCW, avec damier: $F(1, 28) = 0.41, p = .53$; indice c, rotation dans la direction anti-horaire CCW, avec damier: $F(1, 28) = 2.46, p = .13$).

Une ANOVA à mesures répétées pour chacun des indices d-prime et c-biais (direction de rotation: 0°, CW, CCW; indice x sexe) est calculée et a révélé pour l'indice d-prime un effet significatif de la direction de rotation ($F(2, 58) = 7.85, p = .001, \varepsilon = .21$) sans effet significatif de sexe ($F(1, 29) = 0.47, p = .50$), sans effet d'interaction entre le sexe et la direction de rotation ($F(2, 56) = 0.26, p = .77$), sans effet du damier ($F(1, 29) = 0.05, p = .83$), ni d'effet d'interaction entre le sexe et le damier ($F(1, 29) = 3.54, p = .07$). Les comparaisons subséquentes par paires ont montré que les participants ont un indice d-prime significativement plus élevé lorsque la rotation a lieu dans la direction horaire CW par rapport à la rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .001$) et par rapport à la condition sans rotation ($p = .003$), sans différence entre la condition sans rotation et la rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .86$) (rotation dans la direction horaire CW: $M = 1.75, ES = 0.09$; pas de rotation: $M = 1.32, ES = 0.09$; rotation dans la direction anti-horaire CCW: $M = 1.35, ES = 0.09$) (Figure 27). La suite des résultats ne montrent aucun effet significatif pour l'indice c-biais (direction de rotation: $F(2, 58) = 2.23, p = .13$; direction de rotation x sexe: $F(2, 58) = 0.05, p = .92$; damier: $F(1, 29) = 1.07, p = .31$; damier x sexe: $F(1, 29) = 0.02, p = .90$; sexe: $F(1, 29) = 0.49, p = .49$).

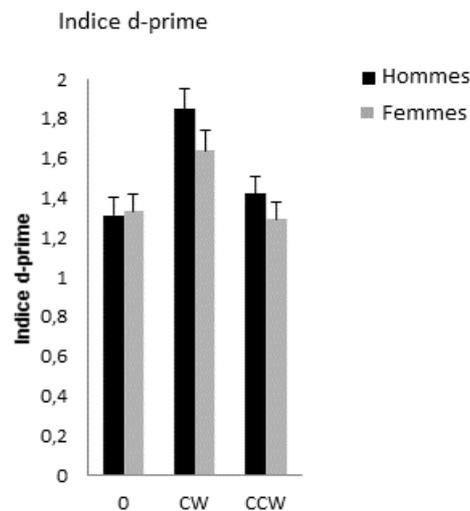


Figure 27. Les participants ont un indice d-prime significativement plus élevé lorsque la rotation a lieu dans la direction horaire CW par rapport à la rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .001$) et par rapport à la condition sans rotation ($p = .003$), sans différence entre la condition sans rotation et la rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .86$).

4.4 Effet du déplacement du participant (actif, passif, immobile): Expériences 1 à 6

Nous avons regroupé les données des dernières expériences (expériences 1 à 6) dans le but d'évaluer l'influence du déplacement du participant sur les résultats obtenus (participant immobile; en déplaçant actif ou en déplacement passif).

Une ANOVA à mesures répétées est ainsi calculée (position du participant: immobile, déplacement actif, déplacement passif; direction de rotation: 0°, CW, CCW; damier: présence, absence) est calculée sur la moyenne de reconnaissance correcte et les résultats

ont révélé un effet du déplacement ($F(2, 56) = 5.48, p = .007, \varepsilon = .16$), un effet du damier ($F(1, 28) = 7.42, p = .01, \varepsilon = .21$), un effet de la direction rotation ($F(2, 56) = 10.39, p = .001, \varepsilon = .27$), sans effet de sexe ($F(1, 28) = 2.80, p = .11$), ni d'effet d'interaction entre le sexe et le déplacement du participant ($F(2, 56) = .02, p = .98$), ni entre l'interaction entre le sexe et la direction de rotation ($F(2, 56) = 0.15, p = .85$), ni entre le damier et le sexe ($F(1, 28) = 1.25, p = .27$). Les comparaisons subséquentes par paires sur l'effet du déplacement du participant ont montré que les participants ont une meilleure reconnaissance correcte lorsqu'ils se déplacent passivement en comparaison à un déplacement actif ($p = .004$) et en comparaison à une position statique devant l'ordinateur ($p = .04$) sans différence significative entre le déplacement actif ou la position statique ($p = .19$) (déplacement passif: $M = 0.81, ES = 0.01$; déplacement actif: $M = 0.76, ES = 0.01$; position statique: $M = 0.78, ES = 0.01$). Les comparaisons subséquentes par paires sur l'effet du damier ont montré que les participants ont une meilleure reconnaissance correcte lorsque le damier est présent (damier) en comparaison à l'absence de ce damier et ceci aussi bien pour les hommes que les femmes (présence du damier: $M = 0.79, ES = 0.01$; absence du damier: $M = 0.76, ES = 0.01, p = .01$).

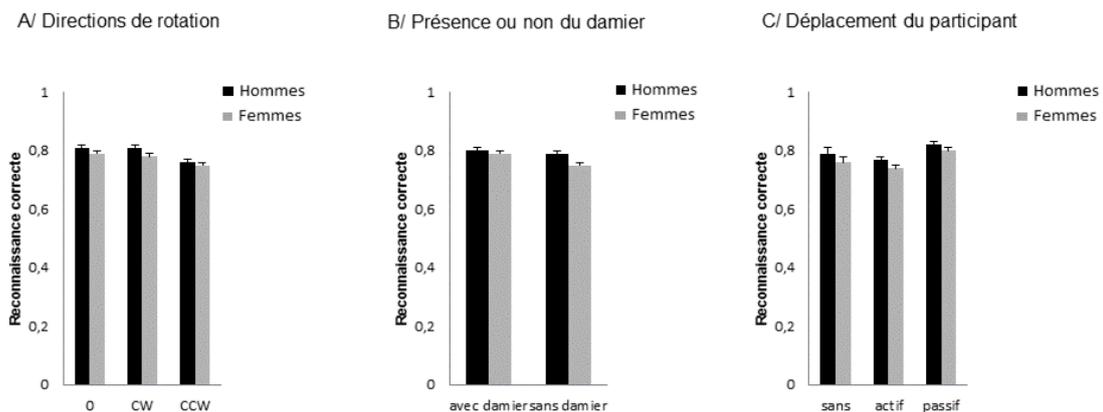


Figure 28. A/ Les participants ont une moins bonne reconnaissance correcte lorsque la rotation est dans la direction anti-horaire CCW en comparaison à la rotation dans la direction horaire CW ($p = .001$) et en comparaison à une absence de rotation ($p = .001$) sans différence entre la direction de rotation horaire CW et l'absence de rotation ($p = .72$). B/ Les participants ont une meilleure reconnaissance correcte lorsque le damier est présent (damier) en comparaison à l'absence de ce damier ($p = .01$). C/ Les participants ont une meilleure reconnaissance correcte lorsqu'ils se déplacent passivement en comparaison à un déplacement actif ($p = .004$) et en comparaison à une position statique devant l'ordinateur ($p = .04$) sans différence significative entre le déplacement actif ou la position statique ($p = .19$).

Les comparaisons subséquentes par paires sur l'effet de la direction de rotation ont montré que les participants ont une moins bonne reconnaissance correcte lorsque la rotation est dans la direction anti-horaire CCW en comparaison à la rotation dans la direction horaire CW ($p = .001$) et en comparaison à une absence de rotation ($p = .001$), sans différence entre la direction de rotation horaire CW et l'absence de rotation ($p = .72$) (rotation dans la direction anti-horaire CCW: $M = 0.75, ES = 0.01$; rotation dans la direction horaire CW: $M = 0.79, ES = 0.01$; absence de rotation: $M = 0.80, ES = 0.01$) (Figure 28).

Les mêmes analyses sur la moyenne des temps de réponse correcte ont montré un effet significatif de la direction de rotation ($F(2, 56) = 8.10, p = .001, \varepsilon = .22$), sans effet du déplacement du participant ($F(2, 56) = 1.02, p = .36$), sans effet du damier ($F(1, 28) = 0.42, p = .52$), sans effet de sexe ($F(1, 28) = 0.07, p = .80$), sans effet d'interaction entre le sexe et le déplacement du participant ($F(2, 56) = 3.21, p = .10$), sans effet d'interaction entre le sexe et la direction de rotation ($F(2, 56) = 1.60, p = .21$), et sans effet d'interaction entre le sexe et le damier ($F(1, 28) = 0.26, p = .61$). Les comparaisons subséquentes par paires sur l'effet de la direction de rotation ont montré que les participants sont significativement plus rapides lorsqu'il n'y a pas de rotation en comparaison avec la rotation dans la direction horaire CW ($p = .02$) et à la rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .001$), sans différence entre ces deux directions de rotation ($p = .13$) (pas de rotation: $M = 1718$ (ms), $ES = 34$ (ms); rotation dans la direction horaire CW: $M = 1779$ (ms), $ES = 31$ (ms); rotation dans la direction anti-horaire CCW: $M = 1812$ (ms), $ES = 31$ (ms)) (Figure 29).

Une ANOVA à mesures répétées pour chacun des indices d-prime et c-biais (position du participant: immobile, actif, passif; direction de rotation: 0° , CW, CCW; damier: présence, absence; x sexe) est calculée et a révélé pour l'indice d-prime un effet significatif de la direction de rotation ($F(2, 56) = 9.20, p = .001, \varepsilon = .25$), un effet de sexe ($F(1, 28) = 5.54, p = .03$), sans effet du déplacement du participant ($F(2, 56) = 0.98, p = .38$), sans effet du damier ($F(1, 28) = 2.43, p = .13$), sans effet d'interaction entre le déplacement du participant et le sexe ($F(2, 56) = 0.11, p = .90$), sans effet d'interaction entre la direction de rotation et le sexe ($F(2, 56) = 0.10, p = .98$), sans effet d'interaction entre le damier et le sexe ($F(1, 28) = 2.58, p = .12$). Les comparaisons subséquentes par paires sur l'effet de la direction de rotation ont montré que le d-prime des participants est significativement plus petit lorsque la rotation est dans la direction anti-horaire CCW, en comparaison à une rotation dans la direction horaire CW ($p = .001$) et en comparaison à une absence de rotation ($p = .004$) sans différence significative entre la direction CW et l'absence de rotation ($p = .92$) (rotation dans la direction anti-horaire CCW: $M = 1.16, ES = 0.04$; pas de rotation: $M = 1.36, ES = 0.05$; rotation dans la direction horaire CW: $M = 1.37, ES = 0.05$). Les comparaisons subséquentes par paires sur l'effet de sexe ont montré que l'indice d-prime des hommes est significativement plus grand que celui des femmes (hommes: $M = 1.38, ES = 0.05$; femmes: $M = 1.22, ES = 0.05$). (Figure 29).

La suite des analyses a montré pour l'indice c-biais un effet significatif du déplacement du participant ($F(2, 56) = 26.02, p = .001, \varepsilon = .48$), un effet significatif de la direction de rotation ($F(2, 56) = 18.46, p = .001, \varepsilon = .40$), ainsi qu'un effet significatif du damier ($F(1, 28) = 18.70, p = .001, \varepsilon = .40$) sans effet de sexe ($F(1, 28) = 0.04, p = .84$). Il n'y

a pas d'effet d'interaction entre le déplacement du participant et le sexe ($F(2, 56) = 0.27, p = .75$), pas d'effet d'interaction entre la direction de rotation et le sexe ($F(2, 56) = 0.50, p = .60$), pas d'interaction entre le damier et le sexe ($F(1, 28) = 0.10, p = .76$).

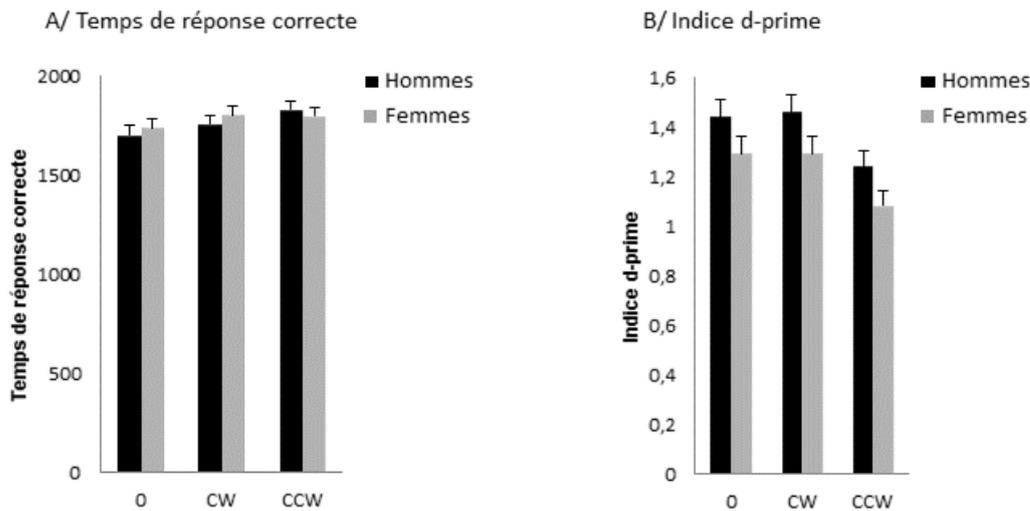


Figure 29. A/ Les participants sont significativement plus rapides lorsqu'il n'y a pas de rotation en comparaison avec la rotation dans la direction horaire CW ($p = .02$) et à la rotation dans la direction anti-horaire CCW ($p = .001$) sans différence entre ces deux directions de rotation ($p = .13$). B/ Le d-prime des participants est significativement plus petit lorsque la rotation est dans la direction anti-horaire CCW en comparaison à une rotation dans la direction horaire CW ($p = .001$) et en comparaison à une absence de rotation ($p = .004$) sans différence significative entre la direction CW et l'absence de rotation ($p = .92$).

Les comparaisons subséquentes par paires sur l'effet de la direction de rotation ont montré que les participants ont un indice c-biais plus élevé quand il n'y a pas de rotation par rapport à une rotation dans la direction horaire CW ($p = .001$) ou anti-horaire CCW ($p = .001$) sans différence significative entre ces deux directions de rotation ($p = .34$) (pas de rotation: $M = 0.25, ES = 0.02$; rotation dans la direction horaire CW: $M = 0.10, ES = 0.02$; rotation dans la direction CCW: $M = 0.13, ES = 0.02$) (Figure 30). Les comparaisons subséquentes par paires sur l'effet du damier ont montré que lorsque le damier est présent, l'indice c-biais est plus élevé que s'il n'est pas présent ($p = .001$) (présence du damier: $M = 0.24, ES = 0.03$; absence du damier: $M = .08, ES = 0.03$) (Figure 30). Les comparaisons subséquentes par paires sur l'effet du déplacement du participant ont montré que le c-biais des participants est significativement plus bas lorsque le déplacement est actif, en comparaison à un déplacement passif ($p = .001$) et à une position immobile ($p = .001$), sans différence entre ces deux conditions ($p = .06$) (déplacement actif: $M = 0.002, ES = 0.03$; déplacement passif: $M = 0.20, ES = 0.04$; immobile: $M = 0.28, ES = 0.02$) (Figure 30).

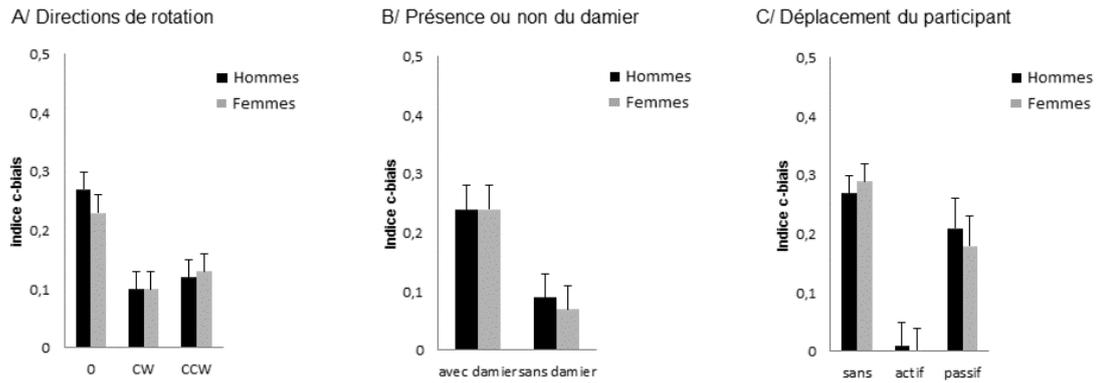


Figure 30. A/ Les participants ont un indice c-biais plus élevé quand il n'y a pas de rotation par rapport à une rotation dans la direction horaire CW ($p = .001$) ou anti-horaire CCW ($p = .001$) sans différence significative entre ces deux directions de rotation ($p = .34$). B/ lorsque le damier est présent, l'indice c-biais est plus élevée que s'il n'est pas présent ($p = .001$). C/ Le c-biais des participants est significativement plus bas lorsque le déplacement est actif en comparaison à un déplacement passif ($p = .001$) et à une position immobile ($p = .001$), sans différence entre ces deux conditions ($p = .06$)

5. Synthèse des résultats

Déplacement actif du participant et présence du damier (expérience 4)

Contrairement aux expériences en position statique (expériences 1, 2 et 3), dans l'expérience en déplacement actif avec présence du damier (expérience 4), nous ne retrouvons plus l'avantage dans la reconnaissance correcte des participants lorsqu'il n'y a pas de déplacement du participant. Dans cette expérience, il n'y a pas de différence de reconnaissance correcte ni de temps de réponse correcte selon les différentes directions de rotation. Les hommes ont cependant un indice c-biais significativement plus petit lorsque la rotation est dans la direction anti-horaire CCW par rapport à la rotation dans la direction horaire CW et par rapport à la condition sans rotation. Le profil de réponse des hommes semble donc varier selon la direction de rotation: ils semblent présenter un tempérament plus risqué (indice c-biais petit) lorsque la rotation est dans la direction anti-horaire CCW, par rapport à la rotation dans la direction horaire CW. A l'inverse, leur profil de réponse est plus «conformiste» (indice c-biais grand) lorsqu'il n'y a pas de rotation par rapport à une rotation dans la direction horaire CW. Ainsi, malgré l'absence de résultats comportementaux, nous voyons des différences intéressantes lorsque nous utilisons l'analyse de la détection du signal. Bien que nous ne retrouvions pas ici l'avantage de la rotation dans la direction horaire CW sur le plan comportemental (reconnaissance et temps de réponse correcte) comme l'a montré l'étude de Liesfeld et Zimmer (2011) ou comme dans notre première expérience, nous observons tout de même un profil de réponse différent dans la réponse donnée pour les hommes.

Déplacement actif du participant et sans présence du damier (expérience 5)

Lorsque nous reproduisons exactement la même expérience mais avec la modification d'un seule variable, qui est l'absence du damier, alors les résultats obtenus sont

différents. La reconnaissance correcte est significativement moins bonne lorsque la rotation est dans la direction anti-horaire CCW en comparaison à la rotation dans la direction horaire CW et en comparaison à l'absence de rotation (sans différence entre ces deux modalités). Il semblerait que les participants ne privilégient pas la rotation dans la direction horaire CW (Liesefeld & Zimmer, 2011) mais semblent montrer surtout de moins bonnes performances lorsque la rotation est dans la direction anti-horaire CCW. Les analyses avec la théorie de la détection du signal montrent cette fois que c'est l'absence de rotation qui montre un indice c -biais significativement plus petit et même très négatif par rapport aux conditions de rotation. Il semblerait qu'en absence de système de référence, les participants doivent montrer un tempérament plus risqué pour résoudre la tâche demandée sans rotation. Le système de référence semble donc donner surtout confiance au participant dans leur réponse, bien que cette confiance ne se répercute pas au niveau de leur performance, puisque c'est lorsque la rotation est dans la direction anti-horaire CCW (qui a pourtant le c -biais le plus élevé) que la performance est la moins bonne.

Déplacement passif du participant et présence ou absence du damier (expérience 6)

Pour cette expérience, les analyses comportementales indiquent que la reconnaissance correcte est significativement meilleure lorsque la rotation est dans la direction horaire CW, en comparaison à la condition sans rotation et en comparaison à la direction anti-horaire CCW. Nous retrouvons ici l'avantage de la rotation dans la direction horaire CW trouvé dans d'autres expériences. Les analyses avec la théorie de la détection du signal montrent d'ailleurs que le d -prime est plus élevé quand la rotation est dans la direction horaire CW, indiquant une plus grande sensibilité des participants pour cette direction de rotation. Les autres résultats indiquent que les temps de réponse sont significativement plus courts en présence du système de référence bien qu'il n'y ait pas de différence au niveau de la reconnaissance correcte. Il semblerait que malgré l'absence d'amélioration de reconnaissance correcte, les participants répondent plus rapidement lorsque le damier est présent, ce qui semble tout de même les aider et faciliter la résolution de la tâche.

Regroupement des différentes expériences (expérience 1 à 6)

Lorsque nous analysons l'ensemble des variables à travers toutes les expériences, nous obtenons un effet général de la direction de rotation: la reconnaissance correcte est significativement plus faible lorsque la rotation est dans la direction anti-horaire CCW. En d'autres termes, la rotation dans la direction horaire CW ou la condition sans rotation montrent une meilleure reconnaissance correcte que la rotation dans la direction anti-horaire CCW, bien que le temps de réponse correcte soit significativement plus petit uniquement dans la condition sans rotation, en comparaison aux rotations dans les deux différentes

directions. Bien que les participants montrent une meilleure reconnaissance correcte lorsque la rotation est dans la direction horaire CW par rapport à la rotation dans la direction anti-horaire, le temps de réponse correcte n'est pas significativement différent, indiquant qu'il ne semble pas plus facile pour autant de répondre lorsque la rotation est dans la direction horaire CW. L'indice d-biais est significativement plus grand lorsque la rotation est dans la direction horaire CW et dans la condition sans rotation, en comparaison à la rotation dans la direction anti-horaire CCW. Comme pour la reconnaissance correcte, les participants montrent une sensibilité plus élevée lorsque la rotation est dans la direction de rotation CW ou lorsqu'il n'y a pas de rotation en comparaison à la rotation dans la direction de rotation anti-horaire CCW. Les participants montrent une meilleure reconnaissance correcte lorsque le damier est présent avec un indice c-biais plus élevé. Malgré l'absence de différences sexuelles, la présence du damier semble favoriser la reconnaissance correcte avec un profil de réponse plus conservateur pour l'ensemble des participants. Enfin, c'est lorsque le déplacement du participant est passif que le taux de reconnaissance correcte est significativement plus élevé, en comparaison à un déplacement actif ou à une position statique (assis sur une chaise) sans différence significative entre ces deux dernières conditions.

6. Discussion générale

Directions de rotation

Contrairement aux expériences où le participant est statique et seul le dispositif modifie sa position, nous ne trouvons plus l'avantage de la condition sans rotation par rapport à la condition rotation dans ces expériences en environnement réel quand le participant effectue un déplacement (actif ou passif). Nos résultats indiquent une préférence générale de tous les participants pour la rotation dans la direction horaire CW, par rapport à la rotation dans la direction anti-horaire CCW. Ce résultat est en phase avec les études qui ont montré la préférence du sens de rotation dans la direction horaire CW par rapport à la direction anti-horaire CCW (Liesfeld & Zimmer, 2011; Koriat & Norman, 1985; Robertson & Palmer, 1983). Une des explications apportée pour cet avantage serait le fait que nos montres fonctionnent dans ce sens (Liesfeld & Zimmer., 2011). C'est peut être également la raison pour laquelle, dans l'illusion visuelle *Enigma* (où il faut définir le sens de rotation lorsqu'une danseuse tourne sur elle-même, voir Leviant 1996), les participants présentent un biais perceptif dans le sens CW avec une perception prolongée dans cette direction, en comparaison à la direction anti-horaire CCW (Gori, Hamburger, & Spillmann, 2006). De plus, dans notre culture occidentale, nous lisons de gauche à droite et nous sommes peut-être plus amenés à privilégier cette direction de rotation dans une tâche de reconnaissance d'images. Il serait alors intéressant de reproduire ces expériences dans des cultures où le

sens de lecture est inversé, comme en arabe ou en hébreu, et vérifier si les résultats sont différents. Les meilleures performances pour la direction horaire CW sont reflétées par une meilleure sensibilité visuelle (d-prime) pour cette rotation après que nous ayons regroupé les expériences.

Influence du damier

Lorsqu'il y a la présence du damier, les participants présentent une meilleure reconnaissance correcte que lorsque ce damier n'est pas présent. Cette meilleure reconnaissance correcte n'est cependant pas spécifique aux hommes car nous ne trouvons pas de différence sexuelle lorsque le damier est présent. En d'autres termes, les femmes et les hommes semblent utiliser cette information visuelle supplémentaire présente au sein du dispositif afin d'améliorer leur performance. Les participants semblent alors être influencés par le système de référence lorsqu'ils sont en déplacement; mais lorsqu'ils sont immobiles, ils ne sont pas influencés par ce système de référence. Nous avons fait l'hypothèse que lorsque leur position ne varie pas (assis devant l'ordinateur), les participants n'utilisent pas l'information visuelle disponible sous forme d'axes directionnels (damier), car ils peuvent utiliser leur position comme référence. Cependant, lors d'un déplacement, et donc lorsqu'il n'est plus possible d'utiliser leur position fixe comme référence, les participants vont utiliser cette information visuelle supplémentaire (damier) pour améliorer leur performance.

Déplacement du participant

Concernant l'effet du déplacement du participant, les résultats indiquent que les performances sont meilleures en déplacement passif sans différence entre le déplacement actif et la position statique. Ce résultat est assez surprenant car il semblerait indiquer que l'information vestibulaire (accessible lorsqu'il y a un déplacement passif) soit très utile dans la mise à jour spatiale pour retrouver les paires d'images identiques. D'autres études ont montré qu'il n'y avait jusque-là aucune différence entre le déplacement actif et passif (Wang & Simons, 1999), suggérant que le déplacement actif du participant n'est donc pas central pour améliorer la performance de reconnaissance à partir d'une nouvelle position; l'information vestibulaire, lors d'un déplacement passif, est donc suffisante dans une tâche de reconnaissance d'objets (Wruga et al. 2004). Des explications évolutionnistes ont indiqué que l'avantage du déplacement actif sur une performance statique habituellement obtenu peut être expliqué par le fait que depuis toujours, l'être humain est un organisme en déplacement au sein de son environnement qui est pratiquement toujours stable et fixe. Ainsi, une mise à jour de l'environnement par le déplacement du participant semble plus efficace (Farrell & Robertson, 1998; Simons & Wang, 1998; Wruga et al., 2004). Cependant, nos résultats en temps de réponse ne sont pas en phase avec ces observations, puisque les temps de réponse sont significativement plus rapides lorsque le participant est immobile en

comparaison au déplacement (sans différence entre un déplacement actif ou passif). Ceci indique qu'il est plus facile pour les participants de répondre lorsqu'ils restent assis ou sur place et que seul le dispositif modifie sa position.

Nos résultats du point de vue de la performance indiquent aussi que le déplacement passif permet d'obtenir de meilleurs résultats que le déplacement actif ou statique. Peut-être que de nos jours, nos nombreux déplacements passifs par différents moyens de transport (voiture, train, avion) semblent avoir une influence sur notre compétence de mise à jour spatiale, mais il reste encore à la vérifier. Il faut encore préciser qu'en règle générale, les études, montrant un avantage du déplacement du participant sur la reconnaissance d'objets, ont utilisé des déplacements angulaires plus petits que le nôtre. D'ailleurs certaines recherches montrent une absence de bénéfice sur les performances lorsque le déplacement du participant est de 90° (Zhao et al. 2007), ce qui correspond à notre amplitude rotationnelle. Nous pourrions alors supposer également que lorsqu'un déplacement du participant d'une grande amplitude est requise, les informations vestibulaires deviennent nécessaires et suffisantes par rapport aux informations qui seraient également d'ordre visuel, motrices et proprioceptives, informations qui pourraient peut-être perturber la mise à jour spatiale lorsque le déplacement est trop important (plus de 50°). Nous ne trouvons pas de différence sexuelle sur cette variable, ce qui a également été montré dans une étude qui a testé l'impossibilité d'utiliser les références allocentrées (lien de la position d'un objet par rapport à un autre) et égocentrées (lien entre la position d'un objet et le corps du participant) sur la performance (Banta Lavenex et al., 2011).

Globalement, les résultats obtenus sont éparses mais ils nous ont permis de voir comme d'autres recherches, que les participants favorisent la rotation dans la direction horaire CW. Nous avons pu voir également que lorsque le damier est présent au sein du dispositif, les participants montrent significativement une meilleure reconnaissance correcte. Ils semblent donc bien utiliser l'information visuelle disponible au sein de l'environnement comme la présence d'un cadre de référence représenté par le damier. L'absence de différence sexuelle semble indiquer que lorsqu'il y a la présence évidente d'un cadre de référence sous forme d'axes directionnels, son utilisation est identique chez les hommes et chez les femmes, du moins lorsqu'ils ne peuvent plus utiliser leur corps comme référence (déplacement).

IV. DISCUSSION GENERALE

Dans la première partie de notre travail, nos principaux résultats ont montré que les hommes discriminent significativement mieux que les femmes des stimuli cibles alignés selon la verticale et l'horizontale. Lorsque les stimuli cibles ne sont plus alignés selon un axe vertical ou horizontal, les différences sexuelles disparaissent. Nous avons montré que cette différence sexuelle n'est pas liée au temps de réponse ni à la confiance attribuée à la réponse. Nous pouvons écarter les hypothèses selon lesquelles les femmes répondent de façon plus appliquée à ce genre de tests, puisqu'il n'y a pas de différence dans le critère de réponse et dans la confiance attribuée. De plus, les femmes n'ont pas tendance à deviner plus les réponses correctes que les hommes (pas de différence dans le c-biais). Dans cette première partie, nous avons également pu mettre en évidence des différences sexuelles dans la discrimination des différentes images utilisées comme stimuli cibles. Lorsque les stimuli cibles sont des images de forme circulaire, les femmes répondent significativement plus rapidement que les hommes. Pris ensemble, les résultats de cette première partie semblent confirmer notre hypothèse selon laquelle les hommes ont tendance à transformer la tâche de rotation mentale en une simple tâche de discrimination visuelle. En d'autres termes, il semble que les hommes utilisent leur meilleure perception de la verticalité et de l'horizontalité pour améliorer leur performance en rotation mentale. Ainsi, lorsque des stimuli leurres varient de quelques degrés dans la direction horaire ou anti-horaire, les hommes n'opèrent pas de rotation mentale pour comparer les stimuli leurres présentés avec les stimuli cibles mémorisés mais auraient simplement tendance à vérifier si le stimulus leurre présenté est aligné ou non selon la verticale ou l'horizontale, comme l'était le stimulus cible préalablement mémorisé. Les femmes par contre ne semblent pas utiliser cette stratégie perceptive et opèrent le processus classique de la rotation mentale. Lorsque les stimuli cibles ne sont plus alignés selon l'axe vertical ou horizontal, les hommes n'utilisent plus cette stratégie ce qui explique l'absence de différence sexuelle. Cette utilisation de la perception de la verticalité et de l'horizontalité chez les hommes reflète une plus grande indépendance du champ perceptif visuel que les femmes. Les femmes seraient plus susceptibles que les hommes de traiter l'information visuelle disponible au sein du dispositif expérimental. Cette hypothèse pourrait expliquer également pourquoi les femmes discriminent mieux les images en forme circulaire que les hommes: ces images sont plus complexes à discriminer que les images en forme linéaire et pourraient expliquer la meilleure discrimination des femmes plus dépendante du champ perceptif visuel. Suite à ces résultats, il serait intéressant de reprendre les études montrant des différences sexuelles en rotation mentale et vérifier dans quelle mesure les hommes seraient capables d'utiliser ces stratégies perceptives, en particulier les notions de verticalité et d'horizontalité pour améliorer leur performance en rotation mentale.

Dans la seconde partie de ce travail, nous avons voulu vérifier dans quelle mesure la présence d'un cadre de référence (damier ou cadre de l'ordinateur) ainsi que le déplacement du participant (actif ou passif) modulaient les différences sexuelles dans une tâche de rotation mentale combinant la mémoire de la localisation d'objets. Les principaux résultats de cette partie ont montré qu'il n'y a pas de différence sexuelle. Contrairement à la première partie de ce travail, le cadre de référence sous forme d'axes orthogonaux (vertical et horizontal) était disponible et donc visible par les participants. Dans la première partie de ce travail, les stimuli cibles étaient alignés selon un axe vertical ou horizontal non visible, permettant de mettre en évidence la meilleure perception de la verticalité et de l'horizontalité des hommes en comparaison aux femmes. Pris ensemble les résultats de cette seconde partie ont montré que la présence d'un cadre de référence sous forme d'axes directionnels orthogonaux améliorerait la performance de tous les participants. Cette information visuelle disponible semble donc également utilisée par les hommes et les femmes. Il est intéressant de rappeler que les résultats, portant uniquement sur la condition où le participant reste fixe et assis devant l'ordinateur, ont montré que la présence du damier n'améliore pas les performances des participants. Nous avons fait l'hypothèse que c'est lorsque le participant modifie sa position et qu'il ne peut plus utiliser son corps comme référence, qu'il semble utiliser cet indice visuel disponible. Il nous paraît intéressant de préciser la notion de dépendance du champ perceptif visuel. Lorsque les femmes sont définies comme plus dépendante du champ perceptif visuel, cela signifie d'habitude une plus grande utilisation d'informations visuelles et non sensorielles (Huteau, 1975). Il se pourrait cependant que les femmes utilisent également des informations sensorielles, comme la position de leur corps en tant que référence (voir les résultats de la seconde partie de ce travail) mais auraient plus de difficultés à utiliser des références invariables de l'environnement comme la verticalité et l'horizontalité (voir les résultats de la première partie de ce travail). Cette hypothèse est également cohérente avec les autres résultats obtenus dans la seconde partie de ce travail: le déplacement (actif ou passif) ou non du participant ne module pas les différences sexuelles indiquant une même utilisation de la part des hommes et des femmes des différents systèmes sensoriels (comme le système vestibulaire, proprioceptif ou les afférences motrices) permettant une mise à jour spatiale efficace pour la mémorisation de la position de différents objets. La différence sexuelle semble être surtout basée sur la perception de la verticalité et de l'horizontalité et pourrait être, de façon plus générale, liée à une différence dans le traitement de base de l'information. Il nous paraît alors intéressant de revenir sur des tâches cognitives simplifiées, avec des figures géométriques ou des images bidimensionnelles dans le but de tester le profil de base du traitement de l'information des participants (voir Feuerstein, Rand, Hoffman & Miller, 1980), comme par exemple la stratégie utilisée pour rassembler, décrire ou détailler les informations visuelles disponibles,

l'exploration visuelle (input) puis la stratégie nécessaire pour utiliser mentalement cette information lorsqu'il faut opérer la rotation, comme la mémoire de travail (processus d'élaboration) ou encore comment effectuer la comparaison avec les réponses proposées, ou comment se produit la prise de décision (output).

D'autres résultats intéressants ont été mis en évidence dans ce travail, comme par exemple l'avantage du déplacement passif des participants en comparaison à un déplacement actif ou à une position statique. Nous avons discuté ce résultat qui nous semble intéressant d'approfondir dans de nouvelles études. Une autre variable intéressante a montré un résultat intéressant, celle sur la direction de rotation des stimuli. La reconnaissance correcte est meilleure lorsque la rotation est dans la direction horaire CW en comparaison à la rotation dans la direction anti-horaire CCW. D'autres études avaient également montré cet avantage dans la direction horaire CW avec des stimuli alphanumériques (Liesefeld & Zimmer, 2011). Ils ont établi plusieurs hypothèses explicatives comme le sens de rotation des aiguilles d'une montre ou encore le sens de la lecture (de gauche à droite dans la culture occidentale). C'est un résultat que nous retrouvons tout au long de ce travail. Très peu d'études ont analysé la différence dans la direction de rotation dans les tâches de rotation mentale et il serait intéressant alors d'approfondir également ce résultat.

V. CONCLUSION

La plupart des hypothèses explicatives sur les différences sexuelles en rotation mentale montrent que les hommes privilégient un traitement global de l'information alors que les femmes privilégient une approche locale impliquant le traitement des détails (Blough et Slavin, 1987; Cochran & Wheatley, 1989; Heil et al., 2008; Kail et al., 1979; Rilea, 2008). Cette hypothèse, bien qu'intéressante, reste difficile à opérationnaliser dans la mesure où elle englobe tous les mécanismes cognitifs allant de l'acquisition à la conservation et à la récupération de l'information. Dans ce travail, nous avons fait le choix de tester une hypothèse plus facilement vérifiable, celle utilisée pour expliquer les différences sexuelles dans les tâches de perception spatiale, ce qui, à notre connaissance, n'a pas été fait jusqu'à présent. Les études en perception spatiale ont montré que les hommes ont plus de facilité que les femmes à percevoir la verticalité et l'horizontalité, malgré la présence de distracteurs (Howard, 1982; Witkin et Ash, 1948). L'hypothèse explicative serait que les femmes montreraient une dépendance plus importante au champ perceptif visuel en comparaison aux hommes (Darlington & Smith, 1998; Kennedy, Hettinger, Harm, Ordy, & Dunlap, 1996; Viaud-Delmon et al., 1998). En d'autres termes, l'objectif de ce travail a été d'évaluer l'influence du champ perceptif visuel dans une tâche de rotation mentale. Nous avons fait l'hypothèse générale que puisque les femmes sont plus dépendantes du champ perceptif visuel, elles seraient moins susceptibles d'utiliser des références invariables de l'environnement, en particulier la verticalité et l'horizontalité pour résoudre une tâche de rotation mentale. Il est alors possible que la perception spatiale module les capacités de rotation mentale et la meilleure perception de la verticalité et de l'horizontalité chez les hommes pourrait expliquer leur meilleure compétence pour résoudre une tâche de rotation mentale. Nous n'avons pas trouvé d'autres études à ce jour qui ont cherché à expliquer les différences sexuelles en rotation mentale en montrant que les hommes utiliseraient préférentiellement des stratégies cognitives en perception spatiale pour résoudre la tâche de rotation mentale.

Pour tester cette hypothèse, nous avons fait le choix de revenir aux sources en puisant dans des recherches anciennes sur la rotation mentale et en particulier la recherche de Just et Carpenter (1985) qui a montré qu'il existait plusieurs possibilités pour effectuer la rotation mentale. Selon ces auteurs, une des possibilités serait l'utilisation des axes de référence invariables de l'environnement comme la verticalité et l'horizontalité. L'utilisation de ces axes directionnels dans une tâche de rotation mentale nous a amenés à penser qu'elle pourrait être une explication plausible des différences sexuelles habituellement observées dans ces tâches. Suite aux observations faites dans les tâches de perception spatiale, où les hommes montrent une meilleure reconnaissance de la verticalité et de l'horizontalité, nous avons fait l'hypothèse que cette stratégie mise en évidence par Just et

Carpenter (1985) serait préférentiellement utilisée par les hommes puisqu'elle est de l'ordre de la perception spatiale.

Nous avons mené plusieurs expériences réparties en deux parties. Dans la première partie de ce travail, les expériences étaient construites sous la forme d'une tâche de discrimination en rotation mentale, sans axe directionnel visible: les stimuli cibles étaient disposés verticalement ou horizontalement. Nos résultats ont confirmé notre hypothèse en montrant que seuls les hommes utilisaient la perception de la verticalité et de l'horizontalité pour améliorer leur performance en rotation mentale. Dans la seconde partie de ce travail, nos expériences, qui combinaient la rotation mentale et la mémoire de la localisation d'objets, étaient construites avec la présence ou l'absence d'axes directionnels visibles, représentés sous forme d'un damier. Nos résultats n'ont pas montré de différence sexuelle, ni lorsque la tâche était conduite sur ordinateur, ni en environnement réel où le déplacement actif ou passif impliquait un changement de perspectif au lieu de la rotation mentale. De ces observations, nous avons conclu que lorsque les axes directionnels sont présents et visibles au sein du dispositif expérimental, les femmes aussi bien que les hommes utilisent cette information pour améliorer leur compétence en vue de résoudre la tâche demandée, suggérant une même dépendance au champ perceptif visuel. En d'autres termes, lorsque la tâche de rotation mentale est construite avec de l'information visuelle sous forme d'axes directionnels, aussi bien les hommes que les femmes utilisent cette information pour améliorer leur compétence. Ce n'est que lorsqu'il n'y a pas d'information visuelle explicite et évidente (mais implicites) sous forme d'axes directionnels que seuls les hommes, par leur style cognitif plus indépendant du champ perceptif visuel, peuvent utiliser une stratégie en perception spatiale, en particulier la perception de la verticalité et de l'horizontalité pour améliorer leur compétence en rotation mentale. C'est uniquement dans ce dernier cas que nous avons mis en évidence les différences sexuelles. Ce travail met alors en évidence l'importance d'utiliser les hypothèses explicatives des différences sexuelles en perception spatiale pour mieux comprendre celles observées en rotation mentale, et en particulier en utilisant les notions de dépendance et d'indépendance au champ perceptif visuel.

VI. REFERENCES

- Acredolo, L.P., Pick, H.L., & Olsen, M.G. (1975). Environmental differentiation and familiarity as determinants of children's memory for spatial location. *Developmental Psychology, 11*, 495–501.
- Alexander, G.M., Packard, M.G., & Peterson, B.S. (2002). Sex and spatial position effects on object location memory following intentional learning of object identities. *Neuropsychologia, 40*(8), 1516-1522.
- Allen, G.L., & Haun, D.B.M. (2004). Proximity and precision in spatial memory. In G. L. Allen (Ed.), *Human spatial memory: Remembering where* (pp. 41-63). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Alluisi, E.A. (1961). Lineal inclination in encoding information symbolically on cathode ray tubes and similar displays. *ASD Technical Report 61-741*, Aeronautical Systems Division, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.
- Amblard, B., & Crémieux, J. (1976) Rôle de l'information visuelle du mouvement dans le maintien de l'équilibre postural chez l'homme. *Agressologie, 17*, 25-36.
- Andreano, J.M., & Cahill, L. (2009). Sex influences on the neurobiology of learning and memory. *Learning & Memory, 16*, 248–266.
- Appelle, S. (1972). Perception and discrimination as a function of stimulus orientation: The oblique effect in man and animals. *Psychological Bulletin, 78*, 266-278.
- Asakura, N., & Inui, T. (2011). Disambiguation of mental rotation by spatial frames of reference. *i-Perception 2*(5), 477–480.
- Astur, R.S., Tropp, J., Sava, S., Constable, R.T., & Markus, E.J. (2004). Sex differences and correlations in a virtual Morris water task, a virtual radial arm maze, and mental rotation. *Behavioural Brain Research, 151*(1-2), 103-115.
- Attneave, F., & Curlee, T.E. (1977). Cartesian organization in the immediate reproduction of spatial patterns. *Bulletin of the Psychonomic Society, 10*, 469-470.
- Avraamides, M. & Kelly, J. (2008). Multiple systems of spatial memory and action. *Cognitive processing, 9*(2), 93-106.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Banta Lavenex, P., Lecci, S., Prêtre, V., Brandner, C., Mazza, C., Pasquier, J., & Lavenex, P. (2011). As the world turns: short-term human spatial memory in egocentric and allocentric coordinates. *Behavioural Brain Research, 219*, 132–141.
- Barkley, C.L., & Gabriel, K.I. (2007). Sex differences in cue perception in a visual scene: investigation of cue type. *Behavioral Neuroscience, 121*, 291–300.
- Barnfield, A.M.C. (1999). Development of sex differences in spatial memory. *Perceptual and Motor Skills, 89*, 339–350.
- Benton, A.L., Varney, N.R., & Hamsher, K.S. (1978). Visuospatial judgment: A clinical test. *Archives of Neurology, 35*, 364–367.
- Benton, A.L., Hamsher, K.D., Varney, N.R., & Spreen, O. (1983). *Contributions to neuropsychological assessment: a clinical manual*. Oxford University Press, New York.
- Bethell-Fox, C.E., & Shepard, R.N. (1988). Mental rotation: Effects of stimulus complexity and familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 14*, 12-23.
- Block, N. (1983). *Mental Pictures and Cognitive Science*. Philosophical Review, 92, 499-539.
- Blough, P.M., & Slavin, L.K. (1987). Reaction time assessments of gender differences in visual-spatial performance. *Perception and Psychophysics, 41*(3), 276-281.
- Bogo, N., Winget, C., & Gleser, G.C. (1970). Ego defenses and perceptual styles. *Perceptual and Motor Skills, 30*, 599–605.
- Braine, L.G. (1978). A new slant on orientation perception. *American Psychologist, 33*, 10-22.
- Brandner, C. (2007). Strategy selection during exploratory behavior: Sex differences. *Judgment and Decision Making, 2*(5), 326-332.

- Brandner, C. (2009). Spatial Memory. Encyclopedia of Neuroscience. M.D. Binder, N.Hirokawa, U.Windhorst (Eds). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 3804-3806.
- Brander, C. Devaud, C. (2013). Are differences between men and women in rotated pattern recognition due to the use of different cognitive strategies? *Europe's Journal of Psychology*, 9(3), 607-622
- Brown, L.N., Lahar, C.J., Mosley, J.L. (1998). Age and gender related differences in strategy use for route information. A map present direction giving paradigm. *Environment and Behavior*, 30 (2), 123–143
- Bryant, P.E. (1969). Perception and memory of the orientation of visually presented lines by children. *Nature*, 224, 1331-1332.
- Bryant, D.J. (1997). Representing space in language and perception. *Mind and Language*, 12, 239-264.
- Bryant, D.J., & Tversky, B. (1999). Mental representations of perspective and spatial relations from diagrams and models. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 25, 137-156.
- Bryden, M.P., George, J., & Inch, R. (1990). Sex differences and the role of figural complexity in determining the rate of mental rotation. *Perceptual and Motor Skills*, 70, 467–477.
- Burgess, N., Maguire, E.A., & O'Keefe, J. (2002). The human hippocampus and spatial and episodic memory. *Neuron*, 35(4), 625-641.
- Burgess, N. Spiers, H.J., & Paleologou, E. (2004) Orientational manoeuvres in the dark: dissociating allocentric and egocentric influences on spatial memory. *Cognition*, 94, 149–166.
- Campos, A., & Cofan, E. (1986). Rotation of images and primary mental abilities: Influence of information and sex. *Perceptual and Motor Skills*, 63, 644-646.
- Capitani, E., Laiacona, M., & Ciceri, E. (1991). Sex differences in spatial memory: A reanalysis of block tapping long-term memory according to the short-term memory level. *Italian Journal of Neurological Sciences*, 12, 461-466.
- Carpenter, P.A., & Eisenberg, P. (1978). Mental rotation and frame of reference in blind and sighted individuals. *Perception and Psychophysics*, 23, 117-124.
- Carpenter, P.A., & Just, M.A. (1986). Spatial ability: An information processing approach to psychometrics. In R. Sternberg (Ed.). *Advances in the psychology of human intelligence* (Vol. 31). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum
- Carpenter, P.A., Just, M.A., Keller, T.A., Eddy, W.F., & Thulborn, K.R. (1999). Time course of fMRI-activation in language and spatial networks during sentence comprehension. *NeuroImage*, 10, 216-224.
- Carroll, J.B. (1993). *Human cognitive abilities: a survey of factor analytic studies*. New York: Cambridge Univ. Press.
- Cheng, K. (1986). A purely geometric module in the rat's spatial representation. *Cognition*, 23, 149-178.
- Cheng, K., Shettleworth, S.J., Huttenlocher, J., & Rieser, J.J. (2007). Bayesian integration of spatial information. *Psychological Bulletin*; 133, 625–637.
- Cherney, I.D., & Collaer, M.I. (2005). Sex differences in judgment: relationship to math preparation and strategy use. *Perceptual and Motor Skills*, 100, 615-627.
- Chipman, K., & Kimura, D. (1998). An investigation of sex differences on incidental memory for verbal and pictorial material. *Learning and individual differences*, 10(4), 259-272.
- Christou, C., & Bülthoff, H.H. (2003). Extrinsic cues aid shape recognition from novel viewpoints. *Journal of Vision*, 3(1), 183–198.
- Clark, H.H. (1973). Space, time, semantics, and the child. In T. E. Moore (Ed.), *Cognitive development and the acquisition of language* (pp. 27– 63). New York: Academic Press

- Cochran, K.F., Wheatley, G.H. (1989). Ability and sex-related differences in cognitive strategies on spatial tasks. *The Journal of General Psychology*, 116, 43-55.
- Cohen, W., & Polich, J. (1989). No hemispheric differences for mental rotation of letters or polygons. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 27, 25-28.
- Collaer, M.L., & Nelson, J.D. (2002). Large visuospatial sex difference in line judgment: possible role of attentional factors. *Brain and Cognition*, 29, 1-12.
- Collins, D.W., & Kimura, D. (1997) A large sex difference on a two-dimensional mental rotation task. *Behavioral Neuroscience*, 111, 845–849.
- Coluccia, E., & Louse, G. (2004). Gender differences in spatial orientation: A review. *Journal of Environmental Psychology*, 24, 329-340.
- Cooke-Simpson, A., & Voyer, D. (2007). Confidence and gender differences on the Mental Rotations Test. *Learning and Individual Differences*, 17, 181-186.
- Cooper, L.A. & Shepard, R.N. (1973). Chronometric Studies of the Rotation of Mental Images. In W.G. Chase (Ed.), *Visual Information Processing* (pp. 75-176). New York: Academic Press. (Reprinted as chapter 4 of Shepard & Cooper et al., 1982)
- Cooper, L.A. (1975). Mental rotation of random two-dimensional shapes. *Cognitive Psychology*, 7, 20-43.
- Cooper, L.A., & Podgorny, P. (1976). Mental transformations and visual comparison processes: Effects of complexity and similarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 2, 503-514.
- Corballis, M.C., Zbrodoff, J., & Roldan, C. (1976). What's up in mental rotation? *Perception & Psychophysics*, 19, 525-530.
- Corballis, M.C., Nagourney, B., Shetzer, L.L., & Stefanatos, G. (1978). Mental rotation under head tilt: Factors influencing the location of the subjective frame of reference. *Perception & Psychophysics*, 24, 263-272.
- Corballis, M.C., & McLaren, R. (1982). Interaction between perceived and imagined rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 215-224.
- Corballis, M.C., & McLaren, R. (1984). Winding one's Ps and Qs: Mental rotation and mirror-image discrimination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 10, 318-327.
- Corballis, M.C. (1997). Mental rotation and the right hemisphere. *Brain and Language*, 57, 100–21.
- Cremieux, J., & Mesure, S. (1994). Differential sensitivity to static visual cues in the control of postural equilibrium in man. *Perceptual and Motor Skills*, 78, 67-74.
- Cremieux, J., Isableu, B., Mesure, S., & Ohlmann T. (1997). Y a-t-il un lien entre la performance posturale et le degré de dépendance perceptive à l'égard du champ visuel? In: Lacour, M., Gagey, P.M., Weber, B. (Eds.), *Posture et environnement*. Sauramps Médical, Montpellier, France, pp. 145-151.
- Cremieux, J., Isableu, B., Ohlmann, T., Azulay, J.P., & Mesure, S. (1997). Is there a link between aging of the perception of verticality and postural control? In: 13th International Symposium Congress of the International Society of Posture and Gait Research on Multisensory control of posture and gait. Paris, France.
- Dabbs, J.M., Chang, E.L., Strong, R.A., & Milun, R. (1998). Spatial ability, navigation strategy, and geographic knowledge among men and women. *Evolution and Human Behavior*, 19(2), 89-98.
- Darken, R.P., Peterson, B. (2002). Spatial orientation, wayfinding and representation. In K. Stanney, (Eds.), *Handbook of virtual environments: Design, implementation and applications*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Darlington, C.L., Smith, P.F. (1998) Further evidence for gender differences in circular vection. *Journal of Vestibular Research. Equilibrium & Orientation*, 8, 151–153.

- Dean, A.L., Scherzer, E., & Chabaud, S. (1986). Sequential ordering in children's representations of rotation movements. *Journal of Experimental Child Psychology*, 42, 99-114
- Delgado, A.R., & Prieto, G. (1996). Sex differences in visuospatial ability: Do performance factors play such an important role? *Memory & Cognition*, 24, 504–510.
- Denis, M. (1997). The description of routes: A cognitive approach to the production of spatial discourse. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 16, 409–458.
- Duff, S.J., & Hampson, E. (2001). A sex difference on a novel spatial working memory task in humans. *Brain and Cognition*, 47, 470–493.
- Eals, M., & Silverman (1994). The hunter-gatherer theory of spatial sex differences: proximate factors mediating the female advantage in recall of object arrays. *Ethology and Sociobiology*, 15, 95-105.
- Easton, R.D., & Sholl, M.J. (1995). Object-array structure, frames of reference, and retrieval of spatial knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 483–500.
- Ekstrom, R.B., French, J.W., Harman, H.H., & Derman, D. (1976). Manual for kit of factor referenced cognitive tests. Princeton, NJ: Educational Testing Service.
- Engle, R.W., Kane, M.J., & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence and functions of the prefrontal cortex. In: A. Shah, & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 102–134). New York: Cambridge University Press.
- Evans, G.W., & Pezdek, K. (1980). Cognitive mapping: knowledge of real world distance and location. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 6, 13-24.
- Eysenck, M.W. (2001). *Principles of cognitive psychology* (Rev. ed.) Philadelphia: Psychology Press.
- Farah, M.J., Peronnet, F., Gonon, M.A., & Girard, M.H. (1988). Electrophysiological evidence for a shared representational medium for visual images and visual percepts. *Journal of Experimental Psychology Genetics* 117, 248-257.
- Farrell, M.J., & Thomson, J.A. (1998). Automatic spatial updating during locomotion without vision. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 51A, 637–654.
- Farrell, M.J., & Robertson, I.H. (1998). Mental rotation and the automatic updating of body centered spatial relationships. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 24(1), 227–233.
- Feuerstein, R., Rand, Y., Hoffman, M., & Miller, R. (1980). *Instrumental enrichment*, Baltimore, University Park Press.
- Fitting, S., Wedell, D.H., & Allen, G.L. (2007). Memory for spatial location: Cue effects as a function of field rotation. *Memory & Cognition*, 35(7), 1641-1658.
- Fitting, S., Wedell, D.H., & Allen, G.L. (2008). External cue effects on memory for spatial location within a rotated task field. *Spatial Cognition & Computation*, 8(3), 219 – 251.
- Fitting, S., Wedell, D.H., & Allen, G.L. (2009). Cue effects on memory of location when navigating spatial displays. *Cognitive Science*, 33, 1267-1300.
- Fodor, J.A. (1975). *The Language of Thought*. New York: Thomas Crowell. (Paperback edition: Harvard University Press, 1980.
- Folk, M.D., & Luce, R.D. (1987). Effects of stimulus complexity on mental rotation rate of polygons. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 13(3), 395-404.
- Franklin, N., & Tversky, B. (1990). Searching imagined environments. *Journal of Experimental Psychology: General* 199, 63-76.

- French, J., Ekstrom, R., & Price, L. (1963). Kit of reference tests for cognitive factors Princeton, NJ: Educational Testing Service.
- Friedman, A., Pilon, D.J., & Gabrys, G.G. (1988). Cognitive coordinate systems for mental rotation. Paper presented at the 29th annual meeting of the Psychonomic Society, Chicago.
- Frith, C.D., & Dolan, R. (1996). The role of the prefrontal cortex in higher cognitive functions. *Brain Research: Cognitive Brain Research* 5(1–2), 175–181.
- Galea, L.A.M., & Kimura, D. (1993). Sex differences in route-learning. *Personality and Individual Differences*, 14(1), 53-65.
- Gallistel, C.R. (1990). *The Organization of Learning*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Geiser, C., Lehmann, W., & Eid, M. (2006). Separating “rotators” from “nonrotators” in the Mental Rotations Test: A multigroup latent class analysis. *Multivariate Behavioral Research*; 41, 261–293.
- Gerber, R., & Kwan, T. (1994). A phenomenographical approach to the study of pre-adolescents’ use of maps in a wayfinding exercise in a suburban environment. *Journal of Environmental Psychology*, 14, 265– 280.
- Glück, J., & Fabrizii, C. (2010). Gender differences in the Mental Rotations Test are partly explained by response format. *Journal of Individual Differences*, 31(2), 106-109.
- Goldstein, D., Haldane, D., & Mitchell, C. (1990). Sex differences in visual-spatial ability: The role of performance factors. *Memory & Cognition*, 18(5), 546-550.
- Golledge, R.G. (1987). Environmental cognition. In D. Stokols and I. Altman, (Eds.), *Handbook of environmental psychology*, New York: Wiley, 131-174.
- Gori, S., Hamburger, K., & Spillmann, L. (2006). Reversal of apparent rotation in the Enigmfigure with and without motion adaptation and the effect of T-junctions. *Vision Research*, 46(19), 3267-3273.
- Green, D.M., Swets, J.A. (1966). *Signal detection theory and psychophysics*. New York, Wiley.
- Groberg, D.H., Dustman, R.E., & Beck, E.C. (1969). The effect of body and head tilt in the perception of vertical: comparison of body and head tilt with left and right handed, male and female subjects. *Neuropsychologia*, 7, 89–100.
- Gross, F. (1959). The role of set in perception of the upright. *Journal Personality*, 27, 95–103.
- Guay, R.B, McDaniel, E.D., & Angelo, S. (1978). Analytic factor confounding spatial ability measurement’, in R. B. Guay and E. D. McDaniel (Eds.), *Correlates of Performance on Spatial Aptitude Tests*, Purdue University; USArmy Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, pp. 116–128.
- Harman, K.L., Humphrey, G.K., & Goodale, M.A. (1999). Active manual control of object views facilitates visual recognition. *Current Biology*, 9(22), 1315-1318.
- Harrell, W.A., Bowlby, J.W., & Hall-Hoffarth, D. (2000). Directing wayfinders with maps: The effects of gender, age, route complexity, and familiarity with the environment. *Journal of Social Psychology*, 140, 169–178.
- Hart, R.A., & Moore, G.T. (1973). The development of spatial cognition: a review. In R. M. Downs and D. Stea, (Eds.), *Image and environments*. Chicago, IL: Aldine Publishing Company, 246-288.
- Healy, S.D., Braham, S.R., & Braithwaite, V.A. (1999). Spatial working memory in rats: No differences between the sexes. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 266, 2303–2308.
- Heil, M., & Jansen-Osmann, P. (2008). Sex differences in mental rotation with polygons of different complexity: Do men utilize holistic processes whereas women prefer piecemeal ones? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 683–689.

- Hellige, J.B., & Michimata, C. (1989). Categorization versus distance: hemispheric differences for processing spatial information. *Memory and Cognition*, 17, 770–776.
- Herlitz, A., Nilsson, L.G., & Bäckman, L. (1997). Gender differences in episodic memory. *Memory & Cognition*, 25, 801–811.
- Herlitz, A., Airaksinen, E., & Nordström, E. (1999). Sex differences in episodic memory: The impact of verbal and visuospatial ability. *Neuropsychology*, 13, 590-597.
- Herlitz, A., & Rehnman, J. (2008). Sex differences in episodic memory. *Current Directions in Psychological Science*, 17, 52–56.
- Herman, J.F., & Siegel, A.W. (1978). The development of cognitive mapping of the large-scale environment. *Journal of Experimental Child Psychology*, 26, 389–406.
- Hinton, G., & Parsons, L.M. (1981). Frames of reference and mental imagery. In J. Long & A. Baddeley (Eds.), *Attention and performance IX* (pp. 261-277). Hillsdale, N J: Erlbaum
- Hinton, G., & Parsons, L.M. (1988). Scene-based and viewer-centered representations for comparing shapes. *Cognition*, 30, 1-35.
- Hintzman, D.L., O'Dell, C.S., & Arndt, D.R. (1981). Orientation in cognitive maps. *Cognitive Psychology*, 13, 149-206.
- Hirnstein, M., Bayer, U., & Hausmann, M. (2009). Sex-specific response strategies in mental rotation. *Learning and Individual Differences*, 19(2), 2225-2228.
- Hochberg, J., & Gellman, L. (1977). The effect of landmark features on mental rotation times. *Memory & Cognition*, 5, 23-26.
- Hock, H. S., & Trombly, C. L. (1978). Mental rotation and perceptual uprightness. *Perception & Psychophysics*, 24, 529-533.
- Holding, C.S., & Holding, D.H. (1989). Acquisition of route network knowledge by males and females. *Journal of General Psychology*, 116, 29-41.
- Howard, I.P. (1982). *Human Visual Orientation*. Wiley Chichester.
- Hugdahl, K., Thomsen, T., & Erslund, L. (2006). Sex differences in visuo-spatial processing: An fMRI study of mental rotation. *Neuropsychologia*, 44, 1575-1583.
- Huteau, L. (1975). Unstyle cognitif : la dépendance-indépendance à l'égard du champ. *L'année psychologique*, 75(1), 197-262.
- Huttenlocher, J., Hedges, L.V., & Duncan, S. (1991). Categories and particulars: Prototype effects in estimating spatial location. *Psychological Review*, 98, 352-376.
- Huttenlocher, J., Hedges, L.V., Corrigan, B., & Crawford, L.E. (2004). Spatial categories and the estimation of location. *Cognition*, 93, 75-97.
- Hyde, J.S., Geiringer, E.R., & Yen, W.M. (1975). On the empirical relation between spatial ability and sex differences in other aspects of cognitive performance. *Multivariate Behavioral Research*, 10, 289–309.
- Iachini, T., Sergi, I., Ruggiero, G., & Gnisci, A. (2005). Gender differences in object location memory in a real three-dimensional environment. *Brain Cognition*, 59(1), 52-59.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking from childhood to adolescence*. New York, Basic.
- Isableu B, Ohlmann T, Cremieux J, & Amblard B (1997). Selection of spatial frame of reference and postural control variability. *Experimental Brain Research*, 114, 584-589.
- Isableu, B., Ohlmann, T., Amblard, B., & Crémieux, J., (1997). Effect of the subjects' perceptual styles on sensorimotor postural strategies. In: *Proceedings of the 13th International Symposium Congress of the International Society of Posture and Gait Research on Multisensory Control of Posture and Gait*. Paris, France.
- Jackendoff, R. S. (1987). *Consciousness and the computational mind*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Jacobs, W.J., Thomas, K.G.F., Laurance, H.E., & Nadel, L. (1998). Place learning in virtual space: Topographical relations as one dimension of stimulus control. *Learning and Motivation, 29*, 288–308.
- James, T.W., & Kimura, D. (1997). Sex differences in remembering the location of objects in an array: location-shifts versus location-exchanges. *Evolution and Human Behavior, 18*, 155-163.
- James, T.W., Humphrey, G.K., Gati, J.S., Menon, R.S., & Goodale, M.A. (2002). Differential effects of viewpoint on object-driven activation in dorsal and ventral streams. *Neuron, 35*, 793-801.
- Jansen-Osmann, P., & Heil, M. (2007). Suitable stimuli to obtain (no) gender differences in the speed of cognitive processes involved in mental rotation. *Brain and Cognition, 64*, 217-227.
- Johnson, A.M. (1990). Speed of mental rotation as a function of problem-solving strategies: *Perceptual and Motor Skills, 71*, 3, 803-806.
- Jolicoeur, P., Regehr, S., Smith, L.B., & Smith, G.N. (1985). Mental rotation of representations of two-dimensional and threedimensional objects. *Canadian Journal of Psychology, 39*, 100-129.
- Jordan, K., Wustenberg, T., Heinze, H.J., Peters, M., & Jancke, L. (2002). Women and men exhibit different cortical activation patterns during mental rotation tasks. *Neuropsychologia, 40*, 2397–2408.
- Jordan, K., Wustenberg, T., Heinze, H.J., Peters, M. & Jancke, L. (2004). Women and men exhibit different cortical activation patterns during mental rotation tasks. *Neuropsychologia, 40*(13), 2397-2408.
- Just, M., & Carpenter, P. (1976). Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive Psychology, 8*, 441-480.
- Just, M., & Carpenter, P. (1978). Inference processes during reading: Reflections from eye fixations. In J.W. Senders, D.F. Fisher, & R. A. Monty (Eds.), *Eye movements and the higher psychological*.
- Just, M., & Carpenter, P. (1985). Cognitive coordinate systems: Accounts of mental rotation and individual differences in spatial ability. *Psychological Review, 92*, 137-172.
- Kail, R., Carter, P., & Pellegrino, J.W. (1979). The locus of sex differences in spatial ability. *Perception and Psychophysics, 26*(3), 182-186.
- Kaufman, S.B. (2006). Sex differences in mental rotation and spatial visualization ability: Can they be accounted for by differences in working memory capacity? *Intelligence, 35*, 211- 223.
- Kelly, J.W., McNamara, T.P., Bodenheimer, T.H., & Reiser, J.J. (2009). Individual differences in using geometric and featural cues to maintain spatial orientation: cue quantity and cue ambiguity are more important than cue type. *Psychonomic Bulletin & Review, 16*(1), 176–181.
- Kennedy, R.S., Hettinger, L.J., Harm, D.L., Ordy, J.M., & Dunlap, W.P. (1996). Psychophysical scaling of circular vection (CV) produced by optokinetic (OKN) motion: individual differences and effects of practice. *Journal of Vestibular Research. Equilibrium & Orientation, 6*, 331–341
- Khooshabeh, P., & Hegarty, M. (2010). Representations of Shape during Mental Rotation. AAAI Spring Symposium: Cognitive Shape Processing, 15-20.
- Kimura, D. (1999). *Sex and Cognition*. MIT Press, pp 229.
- Klatzky, R.L., Loomis, J.M., Beall, A.C., Chance, S.S., & Golledge, R.G. (1998). Spatial updating of self-position and orientation during real, imagined, and virtual locomotion. *Psychological Science, 9*, 293–298.
- Koenderink, J.J., VanDoorn, A.J., & Lappin, J.S. (2000). Direct measurement of the curvature of visual space. *Perception, 29*, 69–79.
- Koriat, A., & Norman, J. (1985). Mental rotation and visual familiarity. *Perception & Psychophysics, 37*(5), 429–439.

- Koriat, A., & Norman, J. (1985). Reading rotated words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11(4), 490–508.
- Kosslyn, S.M., Murphy, G.L., Bemesderfer, M.E., & Feinstein, K.J. (1977). Category and continuum in mental comparison. *Journal of Experimental Psychology: General*, 106, 341-375.
- Kosslyn, S.M., Pinker, S., Smith, G.E., & Schwartz, S.P. (1979). On the demystification of mental imagery. *Behavioral & Brain Sciences*, 2, 535-548.
- Kosslyn, S.M. (1980). *Image and Mind*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kosslyn, S.M. (1987). Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: A computational approach. *Psychological Review*, 94, 148-175.
- Kosslyn, S.M., Koenig, O., Barrett, A., Cave, C., Tang, J., & Gabrieli, J.D.E. (1989). Evidence for two types of spatial representations: hemispheric specialization for categorical and coordinate relations. *Journal of Experimental Psychology: Perception and Performance*, 15, 723–735.
- Kosslyn, S.M., & Ochsner, K. (1994). In search of occipital activation during visual mental imagery. *Trends in Neurosciences*, 17, 290–292.
- Kosslyn, S.M. (1996). *Image and Brain: the resolution of the imagery debate*. MIT Press.
- Kosslyn, S.M., DiGirolamo, G.J., Thompson, W.L., & Alpert, N.M. (1998). Mental rotation of objects versus hands: Neural mechanisms revealed by positron emission tomography. *Psychophysiology*, 35, 151–161.
- Kozhevnikov, M., Hegarty, M., & Mayer, R.E. (2002). Revising the visualizer/verbalizer dimension: Evidence for two types of visualizers. *Cognition & Instruction*, 20, 47-77.
- Kozhevnikov, M., Kosslyn, S. & Shepard, J. (2005). Spatial versus object visualizers: A new characterization of visual cognitive style. *Memory & Cognition*, 33, 710 - 726
- Kyllonen, P.C., Lohman, D.F., & Woltz, D.J. (1984). Componential modeling of alternative strategies for performing spatial tasks. *Journal of Educational Psychology*, 76, 1325-1345.
- Laeng, B., & Peters, M. (1995). Cerebral lateralization for the processing of spatial coordinates and categories in left- and right-handers. *Neuropsychologia*, 33, 421–439.
- Landau, B., Spelke, E.S., & Gleitman, H. (1984). Spatial knowledge in a young blind child. *Cognition*, 16, 225-260.
- Lansman, M. (1981). Ability factors and the speed of information processing, In M. Friedman, J.P. Das, & N. O'Connor (Eds.). *Intelligence and learning* (pp. 441-457). New York: Plenum
- Lansman, M., Donaldson, G., Hunt, E., & Yanis, S. (1982). Ability factors and cognitive processes. *Intelligence*, 6, 347-386.
- Lashley, K.S. (1938). The mechanism of vision: 15 Preliminary studies of the rat's capacity for detailed vision. *Journal of General Psychology*, 18, 123-193.
- Lawton, C.A. (1994). Gender differences in wayfinding strategies: relationship to spatial ability and spatial anxiety. *Sex Roles*, 10, 765-779.
- Lawton, C.A., Charleston, S.I., & Zieles, A.S. (1996). Individual and gender-related differences in indoor wayfinding. *Environment and Behavior*, 28, 204–219.
- Lawton, C.A., Charleston, S.I. (1996). Individual and gender related differences in indoor wayfinding. *Environment & Behavior*, 28, 204–304.
- Lawton C, & Morrin, K. (1999). Gender differences in pointing accuracy in computer-simulated 3D mazes. *Sex Roles*, 40, 73–92.
- Lawton, C.A. (2001). Gender and regional differences in spatial referents used in direction giving. *Sex Roles*, 44(5-6), 321-337.
- Lawton, C.A., & Kallai, J. (2002). Gender differences in wayfinding strategies and anxiety about wayfinding: A cross-cultural comparison. *Sex Roles*, 47, 389-401.

- Leviant, I. (1996). Does 'brain-power' make Enigma spin? *Proceedings of the Royal Society London B*, 263, 997–1001
- Levine, M., Jankovic, I., & Palij, M. (1982). Principles of spatial problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General*, 111, 157-175.
- Levinson, S.C. (1996). Frames of reference and Molyneaux's question: Crosslinguistic evidence In P. Bloom, M. A. Peterson, L. Nadel, & M. F. Garrett (Eds.), *Language and space* (pp. 109-169). Cambridge, MA: MIT Press.
- Levinson, S.C. (2003). *Space in Language and Cognition: Explorations in Cognitive Diversity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Levy, L.J., Astur, R.S., & Frick, K.M. (2005). Men and women differ in object memory but not performance of a virtual radial maze. *Behavioral Neuroscience*, 119(4), 853-862.
- Lewin, C., Wolgers, G., & Herlitz, A. (2001). Sex differences favoring women in verbal but not in visuospatial episodic memory. *Neuropsychology*, 15(2), 165-173.
- Liesefeld, H.R., & Zimmer, H.D. (2011). The advantage of mentally rotating clockwise. *Brain and Cognition*, 75, 101–111.
- Linn, M.C., & Petersen, A.C. (1985). Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability: A Meta-Analysis. *Child Development*, 56, 1479-1498.
- Lippa, R.A., Collaer, M.L., & Peters, M. (2010). Sex differences in mental rotation and line angle judgments are positively associated with gender equality and economic development across 53 nations. *Archives of Sexual Behavior*, 39, 990-997.
- Lohman, D.F. (1986). The effect of speed-accuracy tradeoff on sex differences in mental rotation. *Perception & Psychophysics*, 39, 435.
- Lohman, D.F. (1988). Spatial abilities as traits, processes, and knowledge. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* Lawrence Erlbaum Associates, vol. 4, pp. 181-248
- Loomis, J.M., Da Silva, J.A., Fujita, N., & Fukusima, S.S. (1992). Visual space perception and visually guided action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 906–921.
- Loomis, J.M., Klatzky, R.L., Golledge, R.G., Cicinelli, J.G., Pellegrino, J.W., & Fry, P.A. (1993). Nonvisual navigation by blind and sighted: Assessment of path integration ability. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122, 73-91.
- Loomis, J.M., Da Silva, J.A., Philbeck, J.W., & Fukusima, S.S. (1996). Visual perception of location and distance. *Current Directions in Psychological Science*, 5, 72–77.
- Lummis, M. & Stevenson, H.W. (1990) Gender differences in beliefs and achievement: A cross-cultural study. *Developmental Psychology* 26: 254-63.
- Lynch, K. (1960). *The image of the city*. Cambridge, MA: MIT Press
- Mallof, H.A., & Gillner, S. (2000). Route navigating without place recognition: What is recognised in recognition-triggered responses? *Perception*, 29, 43–55.
- Mani, K., & Johnson-Laird, P. (1982). The mental representation of spatial descriptions. *Memory & Cognition*, 10, 181-187.
- Marcus, N., Cooper, M., Sweller, J. (1996). Understanding instructions. *Journal of Educational Psychology*, 88(1), 49–63
- Marmor, G.S. (1975). Development of Kinetic Images: When Does the Child First Represent Movement in Mental Images. *Cognitive Psychology*, 7, 548-559
- Marr, D., & Nishihara, H. (1978). Representation and recognition of the spatial organization of three-dimensional shapes. *Proceedings of the Royal Society of London*, 200, 269-294.
- Marr, D. (1982). *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. San Francisco, CA: W.H. Freeman and Company.
- Marucchi, C., & Gagey, P.M. (1987). Cécité posturale. *Agressologie*, 28(9), 947-949.

- May, M., & Klatzky, R.L. (2000). Path integration while ignoring irrelevant movement. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26, 169–186.
- Maylor, E.A., Reimers, S., Choi, J., Collaer, M.L., Peters, M., & Silverman, I. (2007). Gender and sexual orientation differences in cognition across adulthood: Age is kinder to women than to men regardless of sexual orientation. *Archives of Sexual Behavior*, 36, 235–249.
- McBurney, D.H., Gaulin, S.J.C., Devineni, T., & Adams, C. (1997). Superior spatial memory of women: Stronger evidence for the gathering hypothesis. *Evolution and Human Behavior*, 18(3), 165-174.
- McGivern, R.F., Mutter, K.L., Anderson, J., Wideman, G., Bodnar, M., & Huston, P.J. (1998). Gender differences in incidental learning and visual recognition memory: Support for a sex difference in unconscious environmental awareness. *Personality and Individual Differences*, 25(2), 223-232.
- McIntyre, J., Zago, M., Berthoz, A., & Lacquaniti, F. (2001). Does the brain model Newton's laws? *Nature Neuroscience*, 4, 693–694.
- McNamara, T.P. (2003). How are the locations of objects in the environment represented in memory? In C. Freksa, W. Brauer, C. Habel, & K. Wender (eds.). *Spatial cognition III : Routes and navigation, human memory and learning, spatial representation and spatial reasoning* (pp. 174-191). Berlin : Springer-Verlag.
- McNamara, T.P., Rump, B., & Werner, S. (2003). Egocentric and geocentric frames of reference in memory of large-scale space. *Psychonomic Bulletin and Review*, 10, 589–595.
- Metzler, J. (1973). Cognitive analogues of the rotation of three dimensional objects. Unpublished doctoral dissertation, Stanford University.
- Michael, W.B., Zimmerman, W.S., & Guilford, J.P. (1950). An investigation of two hypotheses regarding the nature of the spatial relations and visualization factors. *Educational and Psychological Measurement*, 10, 187-273.
- Michael, W.B., Zimmerman, W.S., & Guilford, J.P. (1951). An investigation of the nature of spatial relations and visualization factors in two high school samples. *Educational and Psychological Measurement*, 11, 561-577.
- Miller, L.K., & Santoni, V. (1986). Sex differences in spatial abilities: Strategic and experiential correlates. *Acta Psychologica*, 62, 225–235.
- Miyake, A., & Shah, P. (1999). Models of working memory: mechanisms of active maintenance and executive control. New York: Cambridge University Press.
- Moffat, S.D., Hampson, E., & Hatzipantelis, M. (1998). Navigation in a “virtual” maze: Sex differences and correlation with psychometric measures of spatial ability in humans. *Evolution and Human Behavior*, 19(2), 73-87.
- Montello, D.R., Lovelace, K.L., Golledge, R.G., & Self, C.M. (1999). Sex-related differences and similarities in geographic and environmental spatial abilities. *Annals of the Association of American Geographers*, 89(3), 515-534.
- Mou, W., & McNamara, T.P. (2002). Intrinsic frames of reference in spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28, 162–170.
- Mou, W., McNamara, T.P., Valiquette, C.M., & Rump, B. (2004). Allocentric and egocentric updating of spatial memories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30, 142–157.
- Mumaw, R.J., & Pellegrino, J.W. (1984). Individual differences in complex spatial processing. *Journal of Educational Psychology*, 76(5), 920-939.
- Nardini, M., Jones, P., Bedford, R., & Braddick, O. (2008). Development of cue integration in human navigation. *Current Biology*;18, 689–693.
- Norman, J.F., Crabtree, C.E., Clayton, A.M., & Norman, H.F. (2005). The perception of distances and spatial relationships in natural outdoor environments. *Perception*, 34, 1315–1324.

- Nyborg, H. (1983). Spatial ability in men and women: Review and new theory. *Advances in Behaviour Research and Therapy*, 5(2), 289-140.
- Ogilvie, J.C., & Taylor, M.M. (1958). Effect of orientation on the visibility of fine wires. *Journal of the Optical Society of America*, 48, 628-629.
- O'Keefe J, Nadel L (1978) The hippocampus as a cognitive map. Clarendon Press, Oxford
- O'Laughlin, E.M., & Brubaker, B.S. (1998). Use of landmarks in cognitive mapping: Gender differences in self report versus performance. *Personality and Individual Differences*, 24, 595–601.
- Olson, D.R. (1970). Cognitive development: The child's acquisition of diagonality. New York: Academic Press.
- Olson, D.R, & Bialystok, E. (1983). Spatial cognition: The structure and development of mental representations of spatial relations. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Paillard, J. (1991). Motor and representational framing of space In J. Paillard(Ed.), *Brain and Space* (pp. 163-182). Oxford, New York, Tokyo: Oxford University Press
- Pani J.R. (1993). Limits on the comprehension of rotational motion: mental imagery of rotations with oblique components. *Perception*, 22, 785 – 808.
- Pani J.R., & Dupree, D. (1994). Spatial reference systems in the comprehension of rotational motion. *Perception*, 23, 929-946.
- Parsons, L.M. (1987). Visual discrimination of abstract mirror reflected three-dimensional objects at many orientations. *Perception & Psychophysics*, 42, 49-59.
- Parsons, L.M. (1995). Inability to reason about an object's orientation using an axis and angle of rotation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(6), 1259-1277.
- Parsons, L.M. (2003). Superior parietal cortices and varieties of mental rotation. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 515-517.
- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., & Jackson, M. (1995). A redrawn Vandenberg and Kuse Mental Rotations Test: Different versions and factors that affect performance. *Brain and Cognition*, 28(1), 39-58.
- Peters, M. (2005). Sex differences and the factor of time in solving Vandenberg and Kuse mental rotation problems. *Brain and Cognition*, 57, 176–184.
- Peters, M., Reimers, S., & Manning, J.T. (2006). Hand preference for writing and associations with selected demographic and behavioral variables in 255,100 subjects: the BBC internet study. *Brain and Cognition* 62, 177–189.
- Piaget, J., Inhelder, B. (1967). *The child's conception*. New York: Norton.
- Presson, C.C. (1987). The development of landmarks in spatial memory—the role of differential experience. *Journal of Experimental Child Psychology*, 44, 317–334.
- Pylyshyn, Z.W. (1973). What the Mind's Eye Tells the Mind's Brain: A Critique of Mental Imagery. *Psychological Bulletin*, 80, 1-25.
- Pylyshyn, Z.W. (1979). The rate of "mental rotation" of images: A test of a holistic analogue hypothesis. *Memory and Cognition*, 2, 19-28.
- Pylyshyn, Z.W. (1984). *Computation and Cognition: Toward a Foundation for Cognitive Science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rieser, J.J. (1989). Access to knowledge of spatial structure at novel points of observation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 15(6), 1157–1165.
- Rilea, S.L., Roskos-Ewoldsen, B., & Boles, D. (2004). Sex differences in spatial ability: A lateralization of function approach. *Brain and cognition*, 56(3), 332-343.
- Rilea, S.L. (2008). A lateralization of function approach to sex differences in spatial ability: A reexamination. *Brain and Cognition*, 67(2), 168-182.
- Robert, M., & Ohlmann, T. (1994). Water-level representation by men and women as a function of rod-and-frame test proficiency and visual and postural information. *Perception*, 23, 1321-1333.

- Roberts, T.A., & Pennebaker, J.W. (1995). Cognitive and social factors in somatization. In Kirmayer & J.M. Robbins (Eds.) *Advances in experimental social psychology* (vol. 28, pp. 143-176). New York: Academic Press.
- Robertson, L.C., & Palmer, S.E. (1983). Holistic processes in the perception and transformation of disoriented figures. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9(2), 203–214.
- Rock, I., & Heimer, W. (1957). The effect of retinal and phenomenal orientation on the perception of form. *American Journal of Psychology*, 70, 493-511.
- Rock, I. (1973) *Orientation and Form*. New York: Academic Press.
- Rossano, M.J., Moak, J. (1998). Spatial representations acquired from computer models: Cognitive load, orientation specificity and the acquisition of survey knowledge. *British Journal of Psychology*, 89, 481-497.
- Rudel, R., & Teuber, H. (1963). Discrimination of direction of line in children. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 56, 892-898.
- Russell, J.A., & Ward, L.M. (1982). Environmental psychology. *Annual Review of Psychology*, 33, 651-688.
- Sadeghian, P., Kantardzic, M., Lozitskiy, O., & Sheta, W. (2006). The frequent wayfinding-sequence fws; methodology: Finding preferred routes in completing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 64(4), 356-374.
- Salthouse, T.A., Babcock, R.L., Mitchell, D.R.D., Palmon, R., Skovronek, E. (1990). Sources of individual differences in spatial visualization ability. *Intelligence*, 14, 187-230
- Sandstrom, N.J., Kaufman, J.A., & Huettel, S. (1998). Males and females use different distal cues in a virtual environment navigation task. *Cognitive Brain Research*, 6(4), 351-360.
- Saucier, D.M., Green, S.M., Leason, J., MacFadden, A., Bell, S., & Elias, L.J. (2002). Are sex differences in navigation caused by sexually dimorphic strategies or by differences in the ability to use the strategies? *Behavioral Neuroscience*, 116(3), 403-410.
- Schmitz, S. (1997). Gender related strategies in environmental development: effect of anxiety on wayfinding in and representation of a three-dimensional maze. *Journal of Environmental Psychology*, 17, 215–228.
- Schwarzkopf, D.S., & Kourtzi, Z. (2008). Experience shapes the utility of natural statistics for perceptual contour integration. *Current Biology*, 18, 1162–1167.
- Schwoebel, J., Firedman, R., Duda, N., & Coslett, H.B. (2001). Pain and the body schema evidence for peripheral effects on mental representation movement. *Brain*, 124, 2098-2104,
- Seurinck, R., Vingerhoets, G., de Lange, F.P., & Achten, E. (2004). Does egocentric mental rotation elicit sex differences? *NeuroImage*, 23, 1440–1449.
- Shelton, A.L., & McNamara, T.P. (2001). Systems of spatial reference in human memory. *Cognitive Psychology*, 43, 274–310.
- Shepard, R.N., Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(3972), 701-703.
- Shepard, R.N., & Cooper, L.A., (1982). *Mental Images and their Transformations*. Cambridge, MA: MIT Press
- Shepard, R.N. (1984). Ecological constraints on internal representation: resonant kinematics of perceiving, imagining, thinking, and dreaming. *Psychological Review*, 91, 417–47.
- Shepard, R.N. (1994). Perceptual-cognitive universals as reflections of the world. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, 2-28.
- Shiffrar, M. & Shepard, R.N. (1991). Comparison of cube rotations around axes inclined relative to the environment or to the cube. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 44-54.

- Sholl, M.J., & Nolin, T.L. (1997). Orientation specificity in representations of place. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 23, 1494–1507.
- Siegel, A.W., & White, S.H. (1975). The development of spatial representations of large-scale environments. In H. W. Reese, (Eds.), *Advances in child development*, 10, New York: Academic Press, 37-55
- Silverman, I., & Eals, M. (1992). Sex differences in spatial abilities: Evolutionary theory and data. In J.H. Barkow, L. Cosmides, & J. Tooby (Eds.), *The Adapted Mind* (pp.533-549). New York: Oxford.
- Simoncelli, E.P., & Olshausen, B.A. (2001). Natural image statistics and neural representation. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 1193–1216.
- Simons, D.J., & Wang, R.F. (1998). Perceiving real-world viewpoint changes. *Psychological Science*, 9, 315–320.
- Simons, D.J., Wang, R.F., & Roddenberry, D. (2002). Object recognition is mediated by extra retinal information. *Perception and Psychophysics*, 64, 521 -530.
- Smith, S.E., & Chatterjee, A. (2008). Visuospatial attention in children. *Archives of Neurology*, 65(10), 1284-1288.
- Sutherland, N. (1957). Visual discrimination of orientation by octopus. *British Journal of Psychology*, 48, 55-71.
- Sutherland, N. (1969). Shape discrimination in rat, octopus, and goldfish: A comparative study. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 67, 160-176.
- Talmy, L. (1983). How language structures space. In H. L. J. Pick & L. P. Acredolo (Eds.), *Spatial orientation: Theory, research, and applications*. (pp. 225–282). New York: Plenum.
- Tarr, M.J., & Pinker, S. (1989). When does human object recognition use a viewer-centered reference frame? *Psychological Science*, 1, 253-256.
- Thomsen, T., Hugdahl, K., Ersland, L., Barndon, R., Lundervold, A., & Smievoll, A.I. (2000). Functional magnetic resonance imaging (fMRI) study of sex differences in a mental rotation task. *Medical Science Monitor*, 6, 1186–1196.
- Thorndyke, P.W., Hayes-Roth, B. (1982). Differences in spatial knowledge acquired from maps and navigation. *Cognitive Psychology*, 14(4), 560–589.
- Tlauka, M., & Wilson, P.N. (1994). The effect of landmarks on route learning in a computer-simulated environment. *Journal of Environmental Psychology*, 14, 305-313.
- Tolman EC. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55, 189–208.
- Tommasi, L., Chiandetti, C., Pecchia, T., Sovrano, V.A., & Vallortigara, G. (2012). From natural geometry to spatial cognition. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(2), 799-824.
- Tremblay, L., & Elliott, D. (2007) Sex differences in judging self-orientation: the morphological horizon and body pitch. *BMC Neuroscience*, 8, 6.
- Tremblay, L., Elliott, D., & Starkes, J.L. (2004) Gender differences in perception of self-orientation: software or hardware? *Perception*, 33, 329–337.
- Tulving, E. (2001). Episodic memory and common sense: how far apart? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 356, 1505-1511.
- Tversky, B. (1981). Distortions in memory for maps. *Cognitive Psychology*, 13, 407-433.
- Usher, M., & McClelland, J.L. (2001). The time course of perceptual choice: The Leaky, competing accumulator model. *Psychological Review*, 108(3), 550-592.

- Van Zandt, T. (2000). ROC curves and confidence judgments in recognition memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(3), 582-600.
- Vandenberg, S., & Kuse, A.R. (1978). Mental Rotations: A group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 599-604.
- Vecchi, T., & Girelli, L. (1998). Gender differences in visuo-spatial processing: the importance of distinguishing between passive storage and active manipulation. *Acta Psychologica*, 99, 1-16.
- Viaud-Delmon, I., Ivanenko, Y.P., Berthoz, A., & Jouvent, R. (1998). Sex, lies and virtual reality. *Nature Neuroscience*, 1, 15–16.
- Von Ehrenfels, C. (1890). Über Gestaltqualitate. *Vierteljahrsschrift fur wissenschaftliche Philosophie* 14, 249-292.
- Voyer, D., Postma, A., Brake, B., & Imperato-McGinley, J. (2007). Gender differences in object location memory: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(1), 123-38
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M.P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: a metaanalysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117, 250-270.
- Voyer, D. (1997) Scoring procedure, performance factors, and magnitude of sex differences in spatial performance. *American Journal of Psychology*, 110, 259-276.
- Voyer, D., Rodgers, M.A., & McCormick, P.A. (2004). Timing conditions and the magnitude of gender differences of the Mental Rotations Test. *Memory & Cognition*, 32, 72-82.
- Waber, D.P., Carlson, D., & Mann, M. (1982). Developmental and differential aspects of mental rotation in early adolescence. *Child Development*, 53, 1614-1621.
- Waller, D., Loomis, J.M., Gollege, R.G., & Beall, A.C. (2000). Place learning in humans: The role of distance and direction information. *Spatial Cognition and Computation*, 2, 333–354.
- Waller, D., & Hodgson, E. (2006). Transient and enduring spatial representations under disorientation and self-motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32, 867–882.
- Wang, R.F., & Simons, D.J. (1999). Active and passive scene recognition across views. *Cognition*, 70, 191–210.
- Wang, R.F., & Spelke, E. (2000) Updating egocentric representations in human navigation. *Cognition*, 77, 215–250
- Ward, S.L., Newcombe, N., & Overton, W.F. (1986). Turn left at the church, or three miles north. A study of direction giving and sex differences. *Environment and Behavior*, 18(2), 192-213.
- Waszak, F., Wascher, E., Keller, P., Koch, I., Aschersleben, G., Rosenbaum, D., & Prinz, W. (2005). Intention-based and stimulus-based mechanisms in action selection. *Experimental Brain Research*, 162, 346–356.
- Wedell, D. H., Fitting, S., & Allen, G. L. (2007). Shape effects on memory for location. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 681-686.
- Wehner, R., & Srinivasan, M.V. (1981). Searching behavior of desert ants, genus *Cataglyphis* (Formicidae, Hymenoptera). *Journal comparative Physiology A* 142, 315–338.
- Werner, S., & Schmidt, K. (1999). Environmental frames of reference for large-scale spaces. *Spatial Cognition and Computation*, 1, 447–473.
- Wijers, A.A., Otten, L.J., Feenstra, S., Mulder, G., & Mulder, L.J.M. (1989). Brain potentials during selective attention, memory search, and mental rotation. *Psychophysiology*, 26, 452-467.
- Wilson, P., Foreman, N., & Stanton, D. (1997). Virtual reality, disability and rehabilitation. (A Review.). *Disability and Rehabilitation*, 19, 213-220.

- Witkin, H.A., & Asch, S.E. (1948). Studies in space orientation: IV. Further experiments perception of the upright with displaced visual fields. *Journal of Experimental Psychology*, 36, 379-384.
- Witkin, H. A., Lewis, H. B., Hertzman, M., Machover, K., Meissner, P. B., & Wapner, S. (1954). *Personality through perception*. New York: Harper.
- Witkin, H.A., Oltman, P., Raskin, E., & Karp, S. (1971). *A manual for the Embedded Figures Tests* Palo Alto, CA: Consulting Psychologists.
- Wraga, M., Creem-Regehr, S.H., & Proffitt, D.R. (2004). Spatial updating of virtual displays during self- and display-rotation. *Memory & Cognition*, 32(3), 399-415.
- Yin, R.K. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 141–145.
- Yonelinas, A.P., & Parks, C.M. (2007). Receiver operating characteristics (ROCs) in recognition memory: A review. *Psychological Bulletin*, 133(5), 800-832
- Yuille, J.C., & Steiger, J.H. (1982). Nonholistic processing in mental rotation: Some suggestive evidence. *Perception and Psychophysics*, 31(3), 201-209.
- Zhao, M., Zhou, G., Mou, W., Hayward, W.G., Owen, C.B. (2007). Spatial updating during locomotion does not eliminate viewpoint-dependant visual object processing. *Visual Cognition*, 15(4), 402-419.
- Zimmer, H.D. (2008). Visual and spatial working memory: From boxes to networks. *Neuroscience Biobehavioral Reviews*, 32, 1373–1395.