

Université de Montréal

L'invariance au point de vue dans la représentation de l'organisation spatiale des
composantes de formes complexes

par
Mercédès Aubin

Département de psychologie
Faculté d'arts et sciences

Janvier, 2010

Mémoire présenté à la faculté d'arts et sciences
En vue de l'obtention du grade de maîtrise (M.Sc.)
En Psychologie

© Mercédès Aubin, 2010

Université de Montréal
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

L'invariance au point de vue dans la représentation de l'organisation spatiale des
composantes de formes complexes

Présenté par :

Mercédès Aubin

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Frédéric Gosselin
président-rapporteur

Martin Arguin
directeur de recherche

Pierre Jolicoeur
membre du jury

Résumé

Trois expériences ont été menées dans le but de déterminer quels codes sous-tendant la représentation de l'organisation spatiale des composantes des formes complexes contribuent aux discriminations d'objets complexes. Les trois expériences ont utilisé une tâche d'appariement simultané d'objets complexes. Aux essais négatifs, les objets pouvaient avoir des différences catégorielles de configuration, des différences métriques de configuration, des différences métriques de configuration et du rôle des parties ou des différences du rôle des parties seulement. La distance angulaire 2D ou 3D entre les stimuli pouvait varier. À l'expérience 1, les stimuli étaient présentés avec stéréoscopie et avaient une surface avec un gradient de texture de haut contraste. L'expérience 2 constitue une réplique de l'expérience 1 hormis pour l'utilisation de stimuli dont le contraste était réduit. Le but de cette manipulation était de vérifier si les résultats de l'expérience 1 sont répliqués avec une tâche dont le niveau de difficulté est plus élevé. Les stimuli de la troisième expérience avaient une surface gris mat et étaient présentés sans stéréoscopie. Les trois expériences ont montré que des codes catégoriel et pertinent aux rôles des parties contribuent à la discrimination d'objets complexes. Toutefois, ces codes sont dépendants aux orientations 2D et 3D, et ce, peu importe la richesse de l'information de profondeur présente dans les stimuli. De plus, nos résultats démontrent une plus grande sensibilité aux différences catégorielles de configuration qu'aux différences métriques. Enfin, un code métrique contribue également aux discriminations. Toutefois, la contribution de ce code disparaît lorsque la quantité d'information de profondeur est réduite.

Mots clé : Formes complexes, Différences de configuration, Invariance à l'orientation, Information de profondeur

Abstract

Tree experiments were conducted to determine which codes underlie the representation of the spatial organisation of the components of complex shapes. The tree experiments used a simultaneous matching task of complex objects. For the negative trials, the objects could have categorical differences of configuration, metric differences of configuration, metric difference along with differences in the role of parts, and differences in the role of parts only. The 2D or 3D angular distance between the stimuli could vary. In experiment 1, the stimuli were presented with stereopsis and had a surface with high contrast texture. Experiment 2 replicates the condition of experiment 1, except that the contrast of the stimuli was reduced. The goal of this manipulation was to verify if the results of experiment 1 were replicated if task difficulty is increased. In experiment 3, the stimuli were presented without stereopsis and without texture. The tree experiments showed that a categorical code, and a code relevant to the role of the parts contribute to the discrimination of complex objects and that these codes are dependent to 2D and 3D orientation, independently of depth cues. The results also show a greater sensitivity to categorical than to metric configuration differences. Finally, a metric code also contributes to complex shapes discrimination. However, the contribution of this code disappears when the quantity of depth cues is reduced.

Key words: Complex shape, Configuration difference, Orientation invariance, Depth cues

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
Table des matières.....	iii
Table des tableaux.....	vi
Table des figures.....	ix
Liste des abréviations.....	xii
Remerciements.....	xiii
Introduction.....	1
Contexte théorique.....	1
Objectifs.....	7
Hypothèses.....	8
Expérience 1.....	13
Méthode.....	13
Participants.....	13
Matériel.....	14
Stimuli.....	14
Procédure.....	18
Résultats.....	19
Analyses préliminaires.....	19
Plan des analyses principales.....	220
Analyse descriptives des temps de réponse, rotations 3D.....	20
Analyses principales des temps de réponse, rotations 3D.....	22
Analyse des temps de réponse aux essais pareils, rotations 3D.....	23
Analyses descriptives des taux d'erreurs, rotations 3D.....	23
Analyses principales des taux d'erreurs, rotations 3D.....	25
Analyse des taux d'erreurs aux essais pareils, rotations 3D.....	26
Analyses descriptives des temps de réponse, rotations 2D.....	26

Analyses principales des temps de réponse, rotations 2D.....	29
Analyse des temps de réponse aux essais pareils, rotations 2D.....	30
Analyses descriptives des taux d'erreurs, rotations 2D	30
Analyses principales des taux d'erreurs, rotations 2D	32
Analyse des taux d'erreurs aux essais pareils, rotations 2D.....	33
Discussion	33
Expérience 2.....	37
Méthode	37
Participants.....	37
Matériel, stimuli et procédure	37
Résultats	38
Analyses préliminaires.....	38
Plan des analyses principales	39
Analyses descriptives des temps de réponse, rotations 3D.....	39
Analyse principale des temps de réponse, rotations 3D.....	41
Analyse des temps de réponse aux essais pareils, rotations 3D.....	42
Analyses descriptives des taux d'erreurs, rotations 3D	42
Analyses principales des taux d'erreurs, rotations 3D	44
Analyse des taux d'erreurs aux essais pareils, rotations 3D.....	45
Analyses descriptives des temps de réponse, rotations 2D.....	45
Analyses principales des temps de réponse, rotations 2D.....	47
Analyse des temps de réponse aux essais pareils, rotations 2D.....	48
Analyses descriptives des taux d'erreurs, rotations 2D	48
Analyses principales des taux d'erreurs, rotations 2D	50
Analyse des taux d'erreurs aux essais pareils, rotations 2D.....	51
Comparaison des temps de réponse des expériences 1 et 2, rotations 3D	51
Comparaison des taux d'erreurs entre les expériences 1 et 2, rotations 3D.....	53
Comparaison des temps de réponse entre les expériences 1 et 2, rotations 2D	55
Comparaison des taux d'erreurs entre les expériences 1 et 2, rotations 2D.....	57
Discussion	59

Expérience 3.....	61
Méthode	62
Participants.....	62
Matériel, stimuli et procédure	62
Résultats	63
Analyses préliminaires.....	63
Plan des analyses principales	64
Analyses descriptives des temps de réponse, rotations 3D.....	64
Analyses principales des temps de réponse, rotations 3D.....	66
Analyse des temps de réponse aux essais pareils, rotations 3D.....	67
Analyses descriptives des taux d'erreurs, rotations 3D	67
Analyses principales des taux d'erreurs, rotations 3D.....	69
Analyse des taux d'erreurs aux essais pareils, rotations 3D.....	70
Analyses descriptives des temps de réponse, rotations 2D.....	70
Analyses principales des temps de réponse, rotations 2D.....	72
Analyse des temps de réponse aux essais pareils, rotations 2D.....	73
Analyses descriptives des taux d'erreurs, rotations 2D	73
Analyses principales des taux d'erreurs, rotations 2D.....	75
Analyse des taux d'erreurs aux essais pareils, rotations 3D.....	76
Comparaison des temps de réponse entre les expériences 1 et 3, rotations 3D	76
Comparaison des taux d'erreurs entre les expériences 1 et 3, rotations 3D.....	78
Comparaison des temps de réponse entre les expériences 1 et 3, rotations 2D	79
Comparaison des taux d'erreurs des expériences 1 et 3, rotations 2D.....	51
Comparaison des temps de réponse entre les expériences 2 et 3, rotations 3D	53
Comparaison des taux d'erreurs entre les expériences 2 et 3, rotations 2D.....	55
Comparaison des temps de réponse entre les expériences 2 et 3, rotations 2D	57
Comparaison des taux d'erreurs entre les expériences 2 et 3, rotations 2D.....	89
Discussion.....	91
Discussion Générale.....	93
Applications théoriques.....	93

Études futures et limites de l'étude	100
Conclusion	101
Références.....	102

Table des tableaux

Tableau 1: Les différentes comparaisons effectuées	12
Tableau 2: Pentes des temps de réponse en fonction des changements d'orientation 3D à l'expérience 1.....	22
Tableau 3: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientation 3D de l'expérience 1	23
Tableau 4: Pentes des taux d'erreurs en fonction des changements d'orientation 3D à l'expérience 1.....	25
Tableau 5: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientation 3D de l'expérience 1	26
Tableau 6: Pentes des temps de réponse en fonction des changements d'orientation 2D à l'expérience 1.....	28
Tableau 7: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientation 2D de l'expérience 1	29
Tableau 8: Pentes des taux d'erreurs en fonction des changements d'orientation 2D à l'expérience 1.....	31
Tableau 9: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientation 2D de l'expérience 1	33
Tableau 10: Pentes des temps de réponse en fonction des changements d'orientation 3D à l'expérience 2.....	41
Tableau 11: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientation 3D de l'expérience 2	42
Tableau 12: Pentes des taux d'erreurs en fonction des changements d'orientation 3D à l'expérience 2.....	44
Tableau 13: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientation 3D de l'expérience 2	45
Tableau 14: Pentes des temps de réponse en fonction des changements d'orientation 2D à l'expérience 2.....	47

Tableau 15: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientation 2D de l'expérience 2	48
Tableau 16: Pentes des taux d'erreurs en fonction des changements d'orientation 2D à l'expérience 2.....	50
Tableau 17: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientation 2D de l'expérience 2	51
Tableau 18: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientation 3D, expérience 1 vs expérience 2	53
Tableau 19: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientation 3D, expérience 1 vs expérience 2	54
Tableau 20: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientation 2D, expérience 1 vs expérience 2	56
Tableau 21: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientation 2D, expérience 1 vs expérience 2	58
Tableau 22: Pentes des temps de réponse en fonction des changements d'orientation 3D à l'expérience 3.....	66
Tableau 23: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientation 3D de l'expérience 3	67
Tableau 24: Pentes des taux d'erreurs en fonction des changements d'orientation 3D à l'expérience 3.....	69
Tableau 25: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientation 3D de l'expérience 3	70
Tableau 26: Pentes des temps de réponse en fonction des changements d'orientation 2D à l'expérience 3.....	72
Tableau 27: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientation 2D de l'expérience 3	73
Tableau 28: Pentes des taux d'erreurs en fonction des changements d'orientation 2D à l'expérience 3.....	75
Tableau 29: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientation 2D de l'expérience 3	75

Tableau 30: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientation 3D, expérience 1 vs expérience 3	77
Tableau 31: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientation 3D, expérience 1 vs expérience 3	79
Tableau 32: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientation 2D, expérience 1 vs expérience 3	81
Tableau 33: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientation 2D, expérience 1 vs expérience 3	82
Tableau 34: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientation 3D, expérience 2 vs expérience 3	84
Tableau 35: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientation 3D, expérience 2 vs expérience 3	86
Tableau 36: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientation 2D, expérience 2 vs expérience 3	88
Tableau 37: Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientation 2D, expérience 2 vs expérience 3	90

Table des figures

Figure 1: Différentes paires de stimuli	11
Figure 2. : Différents éclairages possibles pour un stimulus.....	16
Figure 3 : Différentes textures possibles pour un stimulus.....	17
Figure 4. : Différentes orientations 3D et 2D.....	18
Figure 5. : Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 3D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration à l'expérience 1.....	21
Figure 6. : Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 3D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration à l'expérience 1.....	24
Figure 7. : Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 2D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration à l'expérience 1.....	28
Figure 8. : Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 2D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration à l'expérience 1.....	31
Figure 9. : Comparaison des stimuli des expériences 1 et 2.	38
Figure 10. : Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 3D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration à l'expérience 2.....	40
Figure 11. : Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 3D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration à l'expérience 2.	43
Figure 12. : Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 2D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration à l'expérience 2.	46
Figure 13. : Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 2D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration à l'expérience 2.....	49
Figure 14. : Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 3D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration aux expériences 1 et 2.	52
Figure 15. : Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 3D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration aux expériences 1 et 2.	54
Figure 16. : Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 2D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration aux expériences 1 et 2.	

56
Figure 17. : Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 2D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration aux expériences 1 et 2.....	58
Figure 18. : Comparaison des stimuli des expériences 1 et 3.....	63
Figure 19. : Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 3D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration à l'expérience 3.....	65
Figure 20. : Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 3D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration à l'expérience 3.....	68
Figure 21. : Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 2D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration à l'expérience 3.....	71
Figure 22. : Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 2D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration à l'expérience 3.....	74
Figure 23. : Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 3D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration aux expériences 1 et 3.	77
Figure 24. : Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 3D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration aux expériences 1 et 3.	78
Figure 25. : Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 2D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration aux expériences 1 et 3	80
Figure 26. : Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 2D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration aux expériences 1 et 3.....	82
Figure 27. : Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 3D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration aux expériences 2 et 3.	84
Figure 28. : Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 3D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration aux expériences 2 et 3.	86

Figure 29. : Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 2D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration aux expériences 2 et 388

Figure 30. : Taux d’erreurs en fonction de la distance angulaire 2D entre les stimuli pour les différentes conditions de partage de configuration aux expériences 2 et 3.....90

Liste des abréviations

2D : Bidimensionnel

3D : Tridimensionnel

PNA : Propriété non-accidentelle

vs : versus

Remerciements

Je tiens à remercier Martin Arguin pour son support et ses commentaires. Je remercie également Frédéric Poirier pour le programme qui a permis de créer les anaglyphes, Frédéric Gosselin pour ses commentaires pertinents, Anne Lavoie pour la révision linguistique et son soutien et Miguel Aubin pour son soutien.

Introduction

L'être humain parvient à percevoir et se représenter une multitude d'objets complexes (e.g formes constituées de plusieurs composantes), et ce même lorsqu'ils ne sont pas dans leur point de vue familier. Bien des choses restent toutefois à découvrir à propos de la perception et de la représentation des formes complexes. Les mécanismes et les indices qui sous-tendent la représentation de formes complexes ne sont pas encore complètement expliqués. La présente étude visera à déterminer quels codes pertinents la représentation de l'organisation spatiale des composantes des formes complexes sont impliqués dans la discrimination d'objets complexes. Elle tentera également d'évaluer la sensibilité de ces codes aux rotations en profondeur et dans le plan. Elle aura finalement pour but d'évaluer l'impact de la richesse de l'information de profondeur dans la représentation des formes complexes. Différentes théories de la représentation des formes seront présentées, suivies de quelques études portant sur l'importance de l'information de profondeur et sur la perception des formes complexes.

Contexte théorique

Marr et Nishihara (1978) ont proposé un modèle structural pour la représentation des objets tridimensionnels. Celui-ci postule une représentation stable et invariante au changement de l'image rétinienne qui est obtenue en identifiant les différentes parties des objets et leurs relations. S'inspirant de ce modèle, Biederman (1987) a élaboré une théorie structurale de la représentation des objets, la théorie de la reconnaissance par composantes (RPC), selon laquelle la perception des formes se fait par l'extraction des propriétés particulières des contours appelées propriétés non-accidentelles (PNA), soient la

cotermination, la symétrie, la courbure, le parallélisme et la collinéarité. Les caractéristiques de l'image rétinienne (qui est bidimensionnelle, i.e. 2D) d'un objet quant à ces propriétés signalent de manière fiable et invariante des propriétés de la forme de l'objet tridimensionnel (3D). Les composantes constituant l'objet, appelées géons (pour *ions géométriques*) sont déterminées par la combinaison particulière de leurs PNA. La détection des PNA est résistante à la rotation en profondeur 3D, ce qui rend la perception des géons invariante au point de vue. Une fois les géons encodés, les relations spatiales entre les composantes sont déterminées. Ce traitement donne naissance à une représentation structurale 3D d'objets complexes (i.e. constitués de plus d'une partie) qui est invariante à l'orientation. Ainsi, un objet sera reconnu sous n'importe quel point de vue 3D du moment que les PNA sont visibles. Biederman et Gerhardstein (1993) ont obtenu des résultats appuyant cette hypothèse d'invariance au point de vue.

Toutefois, certaines conditions s'imposent pour que cette invariance puisse s'appliquer. D'abord, les objets doivent posséder une description géonique structurale (traduction par l'auteure de «*geon structural description*»), c'est-à-dire qu'il doit être possible de les décrire par leurs géons et les relations spatiales entre eux. Ensuite, ces descriptions doivent être distinctes entre les stimuli et elles doivent se maintenir à travers différents points de vue (Biederman & Gerhardstein, 1993).

Dans le même ordre d'idée, Hummel et Biederman (1992) ont créé un modèle de réseau neuronal qui parvient à générer des descriptions structurales des objets. Celui-ci présente une invariance à la rotation en profondeur (3D), or il est toutefois sensible à la rotation dans le plan (2D). Comme le propose Biederman (1987), le modèle extrait les différentes composantes et les relations spatiales entre elles. Toutefois, ces relations sont

codées sous des termes tels : en haut de, en bas de, à côté de, etc.. Elles sont donc modifiées lorsque l'objet subit une rotation plane et ainsi, la description structurale extraite ne correspond donc à celle qui était encodée précédemment. Cela entraîne des coûts mesurables dans la performance de reconnaissance (Hummel & Biederman).

Biederman et Bar (1999) ont démontré l'importance des PNA dans l'invariance à la rotation 3D proposée dans les modèles de Biederman (1987) et Hummel et Biederman (1992). Les effets de rotation sur les temps de réponse et les taux d'erreurs dans une tâche d'appariement séquentiel sont très faibles lorsque les objets se distinguent par des différences de PNA, alors que ces effets sont beaucoup plus marqués lorsque les objets se distinguent par des différences de propriétés métriques (e.g. longueur, largeur, degré de courbure, angle d'attache, etc.; Biederman & Bar). Cette plus grande sensibilité aux PNA qu'aux propriétés métriques est aussi présente dans le cortex inféro-temporal (IT) de macaques (Vogels, Biederman, Bar & Lorincz, 2001). Vogels et ses collègues ont mesuré l'activité de neurones individuels de l'aire IT lors de la présentation de stimuli et ont montré que ceux-ci étaient beaucoup plus sensibles aux PNA qu'aux propriétés métriques. En effet, la différence d'activation produite par la rotation d'une forme donnée est d'une amplitude semblable à celle produite par le changement d'une propriété métrique, mais de moins grande amplitude que la modification d'une PNA. Par ailleurs Gibson et al. (2007) ont montré, avec la technique des bulles que la PNA de cotermination était utilisée par les pigeons comme par les humains pour reconnaître les formes. Ce résultat indique que malgré les différences dans l'anatomie du système visuel des pigeons et des humains, les deux espèces présentent un biais pour les propriétés non accidentelles.

L'extraction des composantes et des relations entre ces composantes proposée par les théories structurales est appuyée par les résultats d'enregistrement de neurones isolés dans le cortex inferotemporal des macaques. En effet, Yamane et ses collègues (2006) ont montré que des neurones du cortex IT répondaient à des objets composés de plusieurs parties et étaient plus sensibles à l'organisation spatiale des parties qu'aux caractéristiques de ces parties. De plus, Yamane et ses collègues (2008) ont montré que certains neurones ne sont pas activés par la présentation d'une partie d'un objet complexe, mais plutôt par la configuration spatiale de l'objet complexe.

Plusieurs études ont rapporté des coûts liés à la rotation 2D, tel prédit par le modèle de Hummel et Biederman (1992). Par exemple, Jolicoeur (1985), Jolicoeur (1988) et Lawson et Jolicoeur (1998) ont montré que la dénomination d'objets qui ont subi une rotation 2D était ralentie, au fur et à mesure que la distance angulaire avec la position canonique augmentait. Toutefois, contrairement aux propositions de la théorie de Biederman (et d'autres théories structurales), certaines études ont rapporté une détérioration des performances visuelles suite à une rotation 3D (Hayward & Tarr, 1997; Tarr, Williams, Hayward & Gauthier 1998). Ces coûts ont été obtenus même si les stimuli utilisés respectaient les conditions d'invariance proposées par Biederman et Gerhardstein (1993). Les théories de la représentation basée sur les vues permettent d'expliquer ces effets (Hayward & Tarr). Elles proposent qu'ils proviennent de procédures de normalisation (Tarr, 1995). Selon ces théories, ce sont les coordonnées des traits des objets dans un cadre de référence 2D qui représentent les objets, et des processus comme l'interpolation (Bülthoff & Edelman, 1992; Poggio & Edelman, 1990), la combinaison linéaire (Ullman & Basri, 1991), la rotation mentale (Shepard & Metzler, 1971; Tarr & Pinker, 1989) et

l'alignement des descriptions picturales (Ullman, 1989) qui permettent à l'image 2D entrante d'un objet connu observé sous une orientation 2D ou 3D non-familière d'être appariée à des images de cet objet encodées dans des orientations familières. Ces différentes approches prédisent que plus la distance angulaire entre les images est grande, plus les processus de normalisation devraient être coûteux.

L'information de profondeur utilisée dans la représentation des formes n'est pas la même selon les théories structurales et celles basées sur les vues. En effet, Biederman (1987) propose une information 3D implicite qui ne repose que sur le traitement des contours alors que d'autres types d'informations de profondeur, tel le gradient de texture, ne seraient pas utilisés. La théorie basée sur les vues admet la possibilité d'une contribution des indices de profondeur à la représentation de la forme mais demeure ambiguë quant à la présence effective d'une telle contribution. L'hypothèse selon laquelle l'information de profondeur ne contribue pas à la perception est appuyée par les résultats de Biederman et Ju (1988), qui ont montré que la dénomination d'objets est aussi rapide si lorsque les stimuli sont des contours d'objets s'ils sont des photographies, et par le modèle de Pentland (1989) qui parvient à recouvrer les surfaces des formes uniquement à partir de l'information provenant des contours. Ces résultats indiquent que l'information de profondeur provenant des contours est suffisante à une bonne représentation des objets. Biederman et Ju n'ont toutefois pas vérifié directement l'impact de l'information de profondeur sur la représentation de formes à des orientations non familières. De leur côté, Burke (2005) et Edelman et Bülhoff (1992) ont démontré qu'il est possible de réduire l'effet de rotation 3D en ajoutant une information stéréoscopique. Bennett et Vuong (2006) ont montré que cette réduction de l'effet de rotation se maintenait pour différents niveaux de difficulté des tâches

et différentes amplitudes de changement d'orientation. Bien que les effets de rotation soient réduits par l'ajout de l'information de profondeur dans les expériences de Burke et de Bennett et Vuong, ils ne disparaissent jamais complètement. Cet impact de l'information de profondeur va à l'encontre de la théorie de RPC. Toutefois, les stimuli utilisés dans ces deux études ne répondaient pas aux conditions d'invariance au point de vue de Biederman et Gerharstein (1993) (e.g stimuli en forme de câbles tordus ou d'amibes.) Blais, Arguin et Marleau (2009) ont montré qu'il est possible de rendre les stades de représentation qui sous-tendent les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire invariants aux orientations 2D et 3D en ajoutant un gradient de texture et de la stéréoscopie aux stimuli. De leur côté, Nicholson et Humphrey (2001) ont montré que l'on peut diminuer l'effet de rotation 2D en ajoutant de l'information comme de l'ombrage et de la couleur à des dessins d'objets familiers.

Dans un autre ordre d'idée, au meilleur de notre connaissance, peu d'études, mis à part les quelques-unes présentées précédemment, ont porté sur la représentation des formes complexes. D'abord, Saiki et Hummel (1998a, 1998b) se sont intéressés aux caractéristiques qui permettent de déterminer que deux parties appartiennent au même objet. Leurs résultats montrent que la connectivité entre les parties permet de déterminer que les deux parties appartiennent au même objet (Saiki & Hummel, 1998b), et que la connectivité, la collinéarité et la coplanarité facilitent la perception des relations spatiales entre les parties d'objets (Saiki & Hummel, 1998a). Le partage de configuration spatiale entre deux objets complexes rend leur discrimination plus difficile (Arguin & Saumier, 2004). En effet, lorsqu'une cible et des distracteurs ont la même configuration spatiale, la vitesse de recherche visuelle est davantage ralentie que s'ils ne partagent pas la même

configuration spatiale, et ce, indépendamment du partage de parties ou non entre stimuli. Une additivité entre les effets de partage de configuration et de partage de parties a été démontrée, suggérant que ces deux facteurs sont traités par des mécanismes distincts (Arguin & Saumier). De leur côté, Keane Hayward et Burke (2003) et Hummel et Stankiewicz (1996) ont montré qu'il est plus facile de discriminer des objets qui ont une configuration spatiale différente que des objets qui ont la même configuration et qui ne se distinguent que par des différences métriques. Au meilleur de notre connaissance, aucune étude n'a encore examiné la sensibilité aux différences métriques de configuration, ni la sensibilité aux rôles des parties (i.e. capacité à discriminer des objets qui ont la même configuration spatiale et les mêmes parties mais dont les parties n'ont pas les mêmes rôles)

Objectifs

Le premier but du projet est d'étudier différents codes, qui sont pertinents à la représentation de l'organisation de la configuration spatiale d'objets complexes, dans la discrimination d'objets complexes. Il sera intéressant de vérifier la contribution d'un code catégoriel qui est sensible aux différences catégorielles de configuration (ex : au-dessus versus en-dessous), la contribution d'un code métrique qui détecte les différences métriques de configuration (e.g. différence dans l'angle ou le point d'attache entre deux parties), et la contribution d'un code pertinent aux rôles des parties, sensible aux différences de rôle des différentes composantes. Les codes proposés par la théorie RPC seraient sensibles aux différences catégorielles et non aux différences métriques, car les changements catégoriels modifient les descriptions structurales, mais pas les changements métriques. Ils prédisent donc une sensibilité aux différences catégorielles et une insensibilité aux différences métriques. Ils prédisent aussi une sensibilité aux différences de rôle des différentes

composantes, car les représentations de relation ne sont pas liées aux mêmes composantes lorsqu'il y a des différences de rôle, ce qui crée des descriptions structurales différentes.

Le deuxième but est d'évaluer l'impact des rotations planes et en profondeur sur la discrimination d'objets ayant des différences catégorielles de configuration, des différences métriques, des différences métriques et du rôle des parties et des différences du rôle des parties.

Le troisième but est de vérifier si les différents codes utilisent des informations de profondeur offertes par le gradient de texture et la stéréoscopie pour la représentation de la configuration spatiale des objets complexes. Sur la base des résultats de Burke (2005), Edelman et Bülthoff (1992), Bennett et Vuong (2006), Blais et al. (2009) et Nicholson et Humphrey (2001), il est possible de s'attendre à ce que la stéréoscopie et la texture rendent ces codes impliqués dans la représentation de la configuration spatiale plus résistante aux rotations, particulièrement les rotations 3D. Cela signifierait que les différents codes utiliseraient l'information de profondeur et que celle-ci les rendrait ainsi résistants à la rotation.

Hypothèses

Les expériences feront l'usage d'une tâche d'appariement simultané (pareil-différent.) Les participants auront à déterminer si deux stimuli présentés simultanément sont pareils (essais positifs) ou différents (essais négatifs). Les essais négatifs comporteront quatre conditions de type de différence de configuration spatiale (voir figure 1.) Dans la condition «différences catégorielles», il y aura des différences catégorielles de configuration entre les objets. Cela signifie que les composantes des stimuli seront organisées selon des structures qualitativement distinctes. Dans la condition «différences

métriques», il n’y aura que des différences métriques de configuration entre les objets. Ceux-ci présenteront les mêmes parties qui auront les mêmes relations entre elles (au-dessus, au-dessous, à côté), toutefois il y aura des différences métriques dans ces relations (ex : angle différent, ou distance différente entre deux parties.) Dans la condition «différences métriques et du rôle des parties», il y aura des différences métriques de configuration et les parties auront des rôles différents (voir la figure 1 C: la partie constituant la tête de l’objet de gauche devient la patte avant de celui de droite). Finalement, dans la condition «différences du rôle des parties», les objets auront la même configuration spatiale mais les parties auront des rôles différents. Le tableau 1 résume les comparaisons qui seront effectuées entre ces différentes conditions de type de différence de configuration.

Le contraste entre les conditions différences catégorielles et différences du rôle des parties devrait révéler le code catégoriel qui contribue aux discriminations d’objets complexes. Comme le suggèrent les résultats d’Arguin et Saumier (2004), on devrait s’attendre à de meilleures performances dans la condition «différences catégorielles» que dans la condition «différences du rôle des parties», la différence entre ces deux conditions est que dans la condition «différences catégorielles», les stimuli ont des organisations spatiales différentes (cela implique que les parties ont des rôles différents) alors que dans la condition «différences du rôle des parties» les stimuli ont la même organisation spatiale. Ensuite, si comme le proposent Biederman (1987) et Hummel et Biederman (1992), il y a une plus grande sensibilité aux différences catégorielles de configuration qu’aux différences métriques, les performances devraient être meilleures dans la condition «différences catégorielles» que dans la condition «différences métriques et du rôle des

parties». En effet, dans la condition «différences catégorielles», il y a des différences catégorielles de configuration et du rôle des parties, alors que dans la condition «différences métriques et du rôle des parties», il y a des différences du rôle des parties et des différences métriques de configuration. Le contraste entre ces conditions devrait donc permettre de comparer la sensibilité aux différences catégorielles et la sensibilité aux différences métriques. Puis, la comparaison des temps de réponse et des taux d'erreurs aux conditions «différences métriques» et «différences métriques et du rôle des parties» permettra de révéler si le code pertinent aux rôles des parties contribue aux discriminations d'objets complexes. En effet, ces deux conditions sont identiques quant au partage de configuration et aux différences métriques de configuration, toutefois il y a des différences du rôle des parties dans la condition «différences métriques et du rôle des parties» et non dans la condition «différences métriques». Si le code pertinent au rôle des parties contribue à la discrimination de formes complexes, les performances devraient être meilleures dans la condition «différences métriques et du rôle des parties» que dans la condition «différences métriques». Finalement, la comparaison des performances entre les conditions «différences métriques et du rôle des parties» et «différences du rôle des parties» permettra de déterminer le code métrique contribue aux discriminations d'objets complexes. En effet, ces deux conditions sont identiques quant aux différences de rôles entre les parties, toutefois il y a des différences métriques dans la condition «différences métriques et du rôle des parties» et non dans la condition «différences du rôle des parties». Si, comme le propose le modèle de Hummel et Biederman, il y a insensibilité aux différences métriques, les temps de réponse et les taux d'erreurs ne devraient pas être significativement différents entre ces deux conditions.

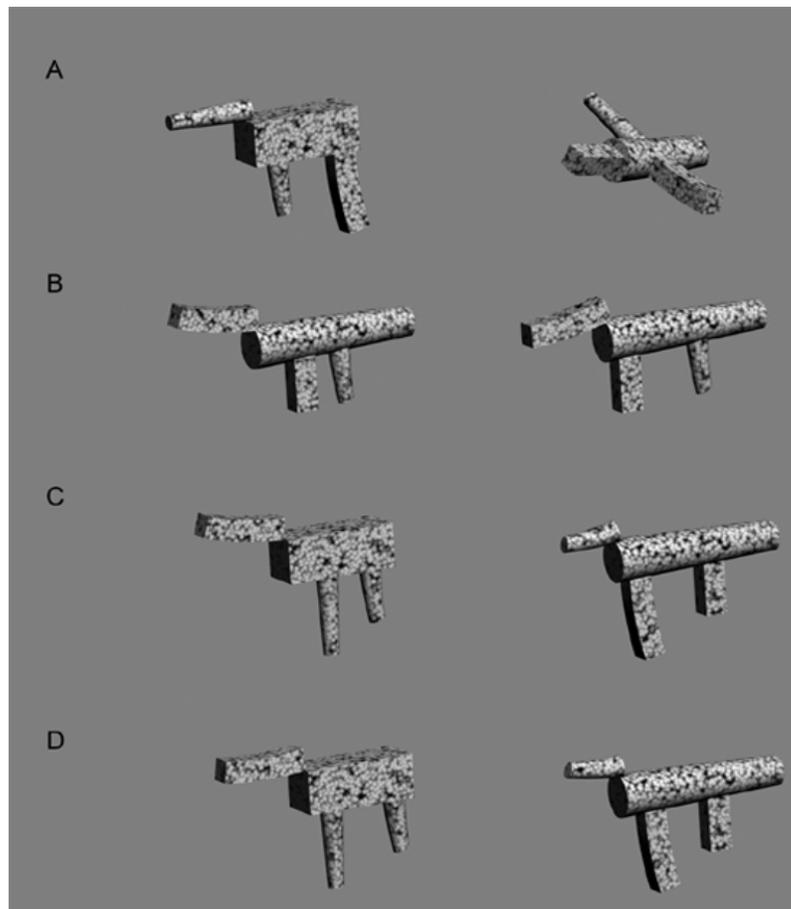


Figure 1. Différentes paires de stimuli : A) Différence catégorielle de configuration B) Différences métriques de configuration C) Différence métriques de configuration ainsi que parties avec des rôles différents D) Même configuration, parties avec des rôles différents.

Tableau 1. Les différentes comparaisons effectuées

ANOVA 2 X 3	But
1. Différences catégorielles vs du rôle des parties X Orientation	Évaluer la contribution d'un code catégoriel Dans les discriminations d'objets complexes et comparer l'impact des rotations 3D ou 2D selon le type de différence de configuration
2. Différences catégorielles vs métriques et du rôle des parties X Orientation	Évaluer si la sensibilité aux différences catégorielles de configuration diffère de la sensibilité aux différences métriques de configuration et comparer l'impact des rotations 3D ou 2D selon le type de différence de configuration
3. Différences métriques vs métriques et du rôle des parties X Orientation	Évaluer la contribution d'un code pertinent aux rôles des parties dans les discriminations d'objets complexes et comparer l'impact des rotations 3D ou 2D selon le type de différence de configuration
4. Différences du rôle des parties vs métriques et du rôle des parties X Orientation	Évaluer la contribution d'un code métrique Dans les discriminations d'objets complexes et comparer l'impact des rotations 3D ou 2D selon le type de différence de configuration

L'expérience examinera également les effets de rotation 2D et 3D. Autant, aux essais positifs que négatifs, les objets présentés deux à deux pourront avoir des orientations identiques ou différentes, soit : 0° de distance angulaire, rotation en profondeur de 35° ou 70° autour de l'axe vertical, ou rotation plane de 45° ou 90°. Selon la théorie de RPC, il devrait y avoir invariance aux rotations 3D lorsque les objets ont des différences catégorielles de configuration puisque que les objets n'ont pas la même description structurale et ce peu importe l'orientation. Pour la même raison, il devrait aussi y avoir invariance aux rotations 3D lorsque les stimuli présentent des différences du rôle des

parties et des différences métriques et du rôle des parties pour la même raison. Toutefois, il devrait y avoir une dépendance à l'orientation lorsque les stimuli présentent uniquement des différences métriques de configuration puisque les propriétés métriques sont affectées par les changements d'orientation 3D, et que les objets présenteraient des descriptions structurales identiques. Par contre, il devrait y avoir des effets de rotation 2D peu importe le type de différence de configuration puisque les rotations 2D affectent la description structurale des objets. Selon la théorie des vues, il devrait y avoir des effets de rotation 3D et 2D liés aux processus de normalisation, et ce peu importe le type de différence de configuration.

Les stimuli de l'expérience 1 et 2 seront présentés avec de la stéréoscopie et avec un gradient de texture, alors que ceux de l'expérience 3 n'auront que l'ombre et les contours comme indices de profondeur. Si les codes sous-tendant la représentation de la configuration spatiale et contribuant aux discriminations d'objets complexes utilisent les informations de gradient de texture et/ou de stéréoscopie, l'élimination de ces informations devrait affecter (soit en l'accentuant ou en l'atténuant) l'effet de type de différence de configuration et les effets de rotation.

Expérience 1

Méthode

Participants

Douze étudiants (cinq hommes et sept femmes, onze droitiers et un gaucher) de l'Université de Montréal ont été recrutés par le biais d'une annonce affichée sur les babillards. La moyenne d'âge est de 23 ans. Ils étaient tous naïfs quant aux objectifs de

l'expérience et avaient une vision normale ou corrigée. Il n'y a pas eu de sélection faite quant au sexe ou la dominance manuelle des participants. Les participants ont reçu une compensation financière de 16\$ pour leur participation.

Matériel

L'expérience 1 a été construite avec le logiciel E-prime par Psychology Software Tools, Inc.. Elle se déroule sur un l'écran de 16 pouces avec une résolution de 1024 par 768 pixels d'un ordinateur pentium 4,2 GHz. Les participants à l'expérience 1 portent des lunettes anaglyphiques rouge et cyan pour permettre la présentation de stimuli stéréoscopiques.

Stimuli

Les stimuli sont des objets complexes conçus à l'aide du logiciel 3D Studio max par Discreet Technologies. Huit paires de stimuli ont été créées. Les stimuli sont constitués de quatre parties différentes. Ils ont tous une partie centrale plus grosse à laquelle sont attachées trois parties plus petites. Chacun de ces objets existe en neuf versions : 3 sources d'éclairage X 3 applications de texture présentant un décalage spatial les unes par rapport aux autres (voir les figures 2 et 3.) Les participants ne pourront donc pas utiliser ces informations pour identifier les stimuli. Deux paires d'objets ont été créées pour chacune des conditions de partage de configuration (voir figure 1). Les stimuli pourront être présentés sous cinq orientations différentes (voir figure 4): 0°, 35 ° de rotation en profondeur autour de l'axe vertical, 70° de rotation en profondeur autour de l'axe vertical, 45° de rotation plane, 90 ° de rotation plane. Les rotations ont toutes été faites dans 3D

Studio, ce qui assure que les rotations 2D n'entraînent pas un changement apparent dans les sources d'éclairage. Les stimuli ont été présentés avec stéréoscopie. En tout, il y a 16 objets X 5 orientations X 9 versions chacun. Aux essais négatifs, tous les stimuli ont été présentés quatre fois dans leur orientation canonique et une fois dans chaque autre orientation. Il en est de même pour les essais positifs. L'axe principal du plus grand stimulus est normalisé à 278 pixels, ce qui donne une hauteur ou une largeur maximale de 8,28 cm à l'écran. Afin d'offrir de l'information de profondeur stéréoscopique, deux points de vue de chaque objet ont été créés avec une rotation 3D de $1,75^\circ$ à gauche ou à droite autour de l'axe vertical. Ils simulent les points de vue de l'objet pour les yeux droit et gauche, si l'on suppose une distance interoculaire de 5,8 cm et une distance de visionnement de 95 cm. Ces images ont été fusionnées pour produire des anaglyphes rouge/cyan qui serviront de stimuli à l'expérience 1.



Figure 2. Différents éclairages possibles pour un stimulus.



Figure 3. Différentes textures possibles pour un stimulus

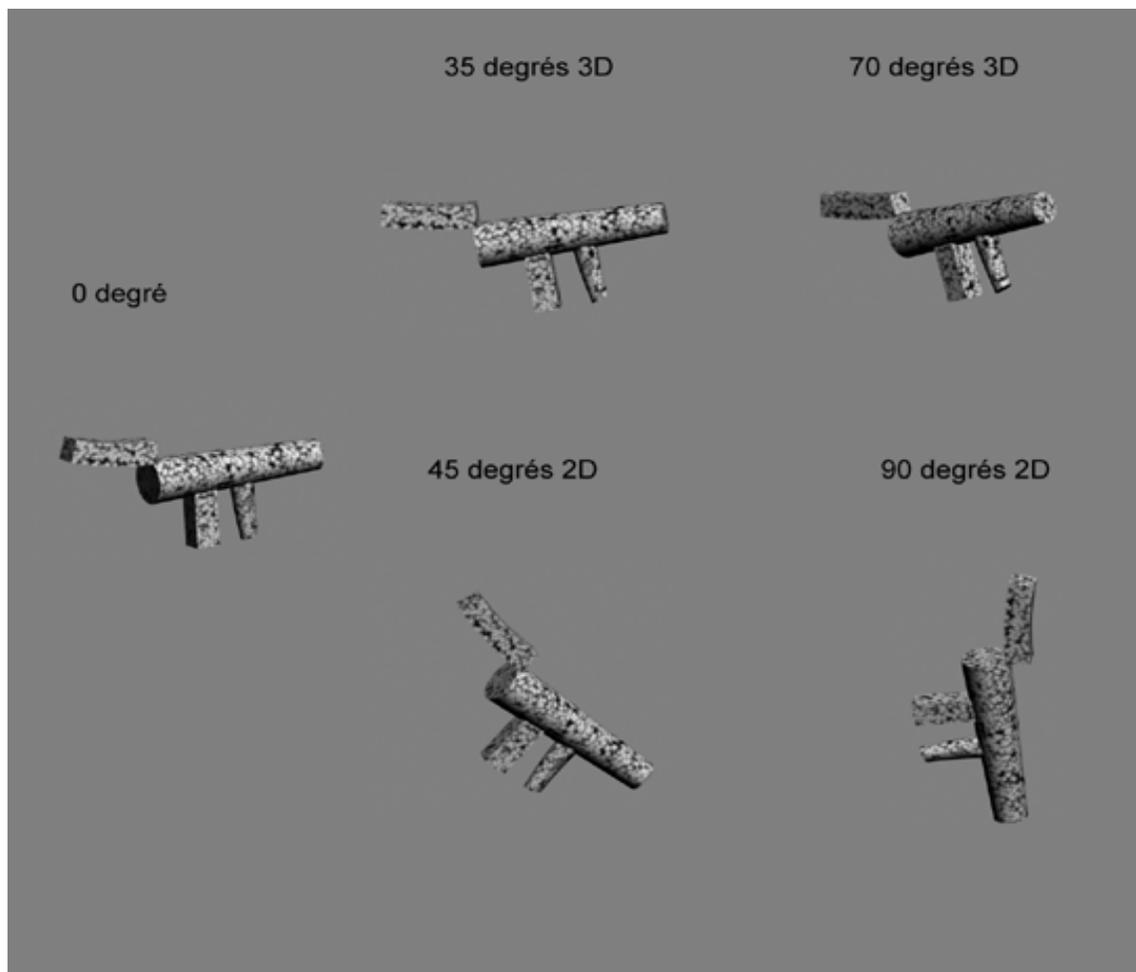


Figure 4. Différentes orientations 3D et 2D

Procédure

L'expérience 1 a utilisé une tâche d'appariement simultané avec un plan 2 (objets pareils ou différents) X 5 (orientation : 0° , 35° 3D, 70° 3D, 45° 2D et 90° 2D) avec, aux essais différents, une manipulation du type de différence entre les objets (conditions A, B, C et D, voir figure 2.) La distance de visionnement des stimuli était de 95 cm. Celle-ci a été maintenue en faisant usage d'une mentonnière. Au début de chaque essai, une croix de fixation apparaissait au centre de l'écran pour une durée de 500 ms. Un délai de 250 ms

suivait. Ensuite deux stimuli apparaissaient, un centré à 5,5 cm au-dessus du point fixation et l'autre à 5,5 cm au-dessous. La moitié des participants devait indiquer que les stimuli étaient pareils en appuyant sur la touche gauche de la boîte de réponse avec l'index gauche et qu'ils étaient différents en appuyant sur la touche droite avec l'index droit. Les boutons de réponse ont été inversés pour l'autre moitié des participants. Les stimuli restaient visibles jusqu'à la réponse des participants. Les instructions données ont demandé de répondre aussi rapidement que possible en évitant de faire des erreurs. Il y a eu 36 essais par condition, pour un total de 1440 essais. L'expérience a été divisée en deux séances de deux blocs de 360 essais. Il y a eu une pause entre chaque bloc et un bloc d'entraînement de 40 essais avant de débiter les blocs expérimentaux.

Résultats

Analyses préliminaires

Avant de commencer les analyses, le taux d'erreurs total et les scores extrêmes ont été vérifiés. En tout, 507 essais (2,93%) ont été éliminés car ils présentaient des temps de réponse extrêmes (à plus ou moins 2,75 écarts-type de la moyenne des temps de réponse pour leur condition chez le participant.) De plus, 518 erreurs ont été faites (3,00%). Ces essais ont été éliminés de l'analyse des temps de réponse. Ensuite une corrélation entre les temps de réponse et les taux d'erreurs a été effectuée afin de s'assurer qu'il n'y a pas de compromis entre la vitesse et la justesse des réponses. La corrélation est positive, $r = 0,55$, $p < 0,001$, ce qui signifie que les effets tendent à aller dans la même direction pour les deux variables dépendantes et qu'il n'y a pas de compromis entre la vitesse et la justesse des réponses. Les analyses qui suivent ont porté exclusivement sur les données obtenues aux

essais négatifs puisque ce sont eux qui permettent un test des hypothèses formulées précédemment.

Plan des analyses principales

Des ANOVA séparées ont été menées pour examiner l'effet des rotations 3D et 2D sur les temps de réponse et les taux d'erreurs. Dans chaque cas, le plan d'analyse était 4 (types de partage de configuration) X 3 (orientation) à mesures répétées et servait à vérifier s'il y a des effets de partage de configuration et d'orientation, ainsi qu'à vérifier s'il y a une interaction entre ces deux effets. Par la suite, quatre ANOVA 2 (différents type de différence de configuration) X 3 (orientation) ont été effectuées pour vérifier spécifiquement chacune des hypothèses présentées plus haut. Le tableau 1 donne un aperçu des comparaisons réalisées dans chaque cas et le but poursuivi par chacune de ces analyses. Une ANOVA à un facteur a été effectuée pour mesurer l'effet de rotation sur les essais où les stimuli présentés étaient pareils.

Analyses descriptives des temps de réponse, rotations 3D

L'analyse examinant l'effet des rotations 3D sur les temps de réponse (les moyennes sont illustrées à la figure 5) démontre des effets principaux du type de différence de configuration, $F(2, 22) = 34,75, p < 0,001$, et d'orientation, $F(3, 33) = 27,94, p < 0,001$. Les temps de réponse sont les plus bas lorsqu'il y a des différences catégorielles de configuration ($M = 870,71$ ms, $ET = 22,36$ ms), puis lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties ($M = 989,40$ ms, $ET = 26,89$ ms), des différences du rôle des parties uniquement ($M = 1058,45$ ms, $ET = 28,97$ ms), et finalement uniquement des différences métriques de configuration ($M = 1354,78$ ms, $ET = 81,37$ ms). Les temps de réponse

augmentent avec la distance angulaire entre les stimuli. L'interaction entre ces facteurs est également significative, $F(6, 66) = 11,72, p < 0,001$. L'analyse des effets simples démontre un effet significatif d'orientation avec des différences métriques de configuration, $F(2, 22) = 23,77, p < 0,001$, des différences métriques et du rôle des parties, $F(2, 22) = 18,88, p < 0,001$, et des différences du rôle des parties uniquement, $F(2, 22) = 20,95, p < 0,001$. Il n'y a toutefois pas d'effet d'orientation avec des différences catégorielles de configuration, $F(2, 22) = 3,13, ns$. Le tableau 2, qui présente la pente des temps de réponse en fonction de l'orientation, confirme les différences entre les conditions dans l'effet de rotation 3D.

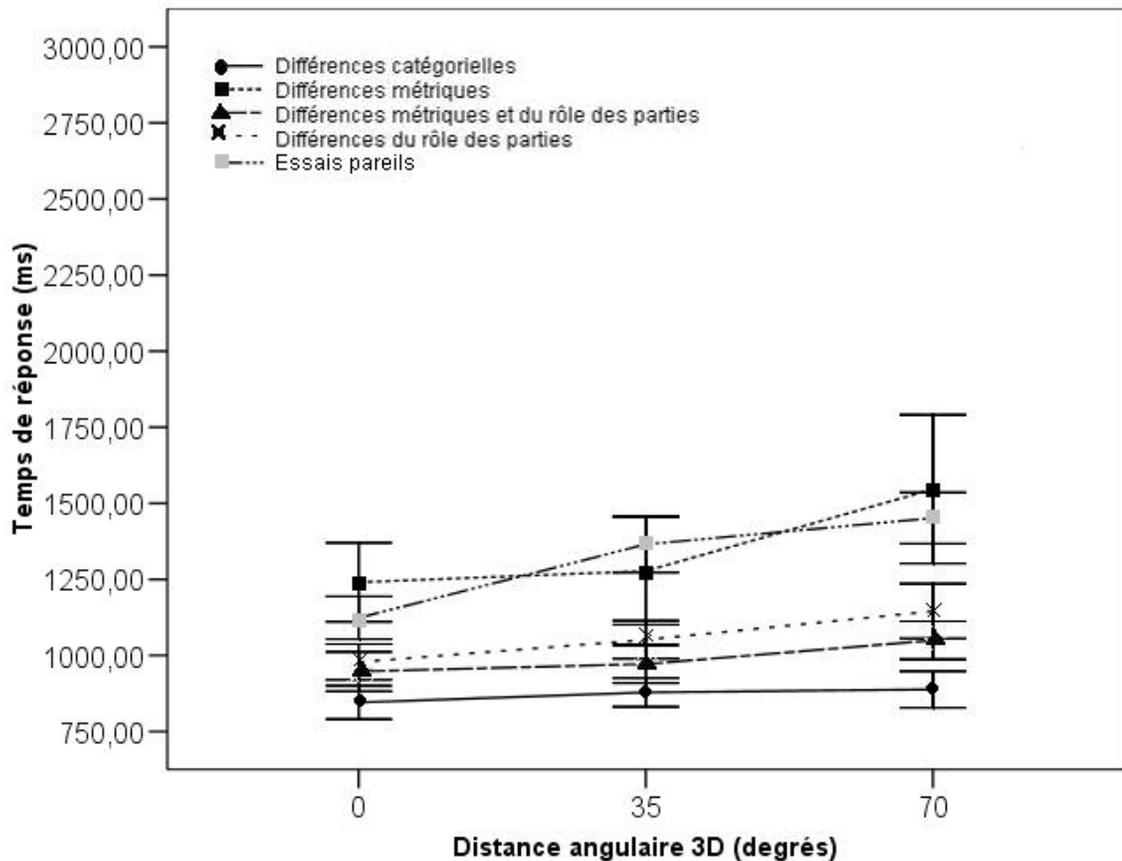


Figure 5. Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 3D entre les stimuli, expérience 1

Tableau 2. Pentas des temps de réponse en fonction des changements d'orientation 3D à l'expérience 1

Type de différence de configuration	Ordonnée à l'origine (ms)	Pente (ms/deg)	R carré
Différences Catégorielles	849,31	0,61	0,91
Différences métriques	1201,86	4,37	0,84
Différences métriques et du rôle des parties	938,34	1,46	0,92
Différences du rôle des parties	974,97	2,39	0,99
Essais pareils	1149,40	4,68	0,93

Analyses principales des temps de réponse, rotations 3D

Le tableau 3 présente les résultats des analyses visant à vérifier les hypothèses. Dans tous les cas, il y a un effet du type de différence de configuration. Les interactions type x orientation indiquent une différence de l'amplitude de l'effet de rotation selon de le type de différence de configuration(voir la figure 5).

Tableau 3. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientations 3D de l'expérience 1

Comparaison	Type	Type X Orientation
1. Catégorielle vs Rôle	F= 67,62 ⁺	F= 8,51 ⁺
2 Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 29,94 ⁺	F= 5,61 [*]
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 27,39 ⁺	F = 9,86 ⁺
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 38, 52 ⁺	F = 2,72

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01. Pour chaque comparaison démontrant un effet significatif, le nom de la condition avec les temps de réponse les plus élevés est en gras et le nom de la condition avec l'effet de rotation le plus important est souligné.

Analyse des temps de réponse aux essais pareils, rotations 3D

Il y a un effet significatif de rotation 3D sur les temps de réponse des essais pareils, $F(2, 22) = 74,78, p < 0,05$. Ainsi, les temps de réponse augmentent avec la distance angulaire entre les objets (les moyennes sont illustrées à la figure 5.)

Analyses descriptives des taux d'erreurs, rotations 3D

L'analyse examinant l'effet des rotations 3D sur les taux d'erreurs (les moyennes sont illustrées à la figure 6) démontre un effet principal du type de partage de configuration, $F(2, 22) = 18,72, p < 0,001$. Les taux d'erreurs sont les plus bas lorsqu'il y a des différences catégorielles de configuration ($M = 0,003, ET = 0,001$), puis lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties ($M = 0,008, ET = 0,002$), des différences du rôle des parties uniquement ($M = 0,02, ET = 0,003$), et finalement uniquement des différences métriques de configuration ($M = 0,11, ET = 0,02$). L'effet principal d'orientation n'est pas

significatif, $F(2, 22) = 2,38$, *ns*. L'interaction type x orientation est toutefois significative, $F(6, 66) = 5,73$, $p < 0,001$. L'analyse des effets simples de cette interaction ne démontre un effet significatif d'orientation qu'avec des différences métriques de configuration, $F(2, 22) = 5,36$, $p < 0,025$, alors que l'effet d'orientation n'est pas significatif dans les autres cas (différences catégorielles, $F(2, 22) = 1,88$, *ns*, différences métriques et du rôle des parties, $F(2, 22) = 0,68$, *ns*, et des différences du rôle des parties uniquement, $F(2, 22) = 0,55$, *ns*.) Le tableau 4, qui présente les pentes des temps de réponse en fonction de l'orientation, va dans le même sens que ces tests d'effets simples.

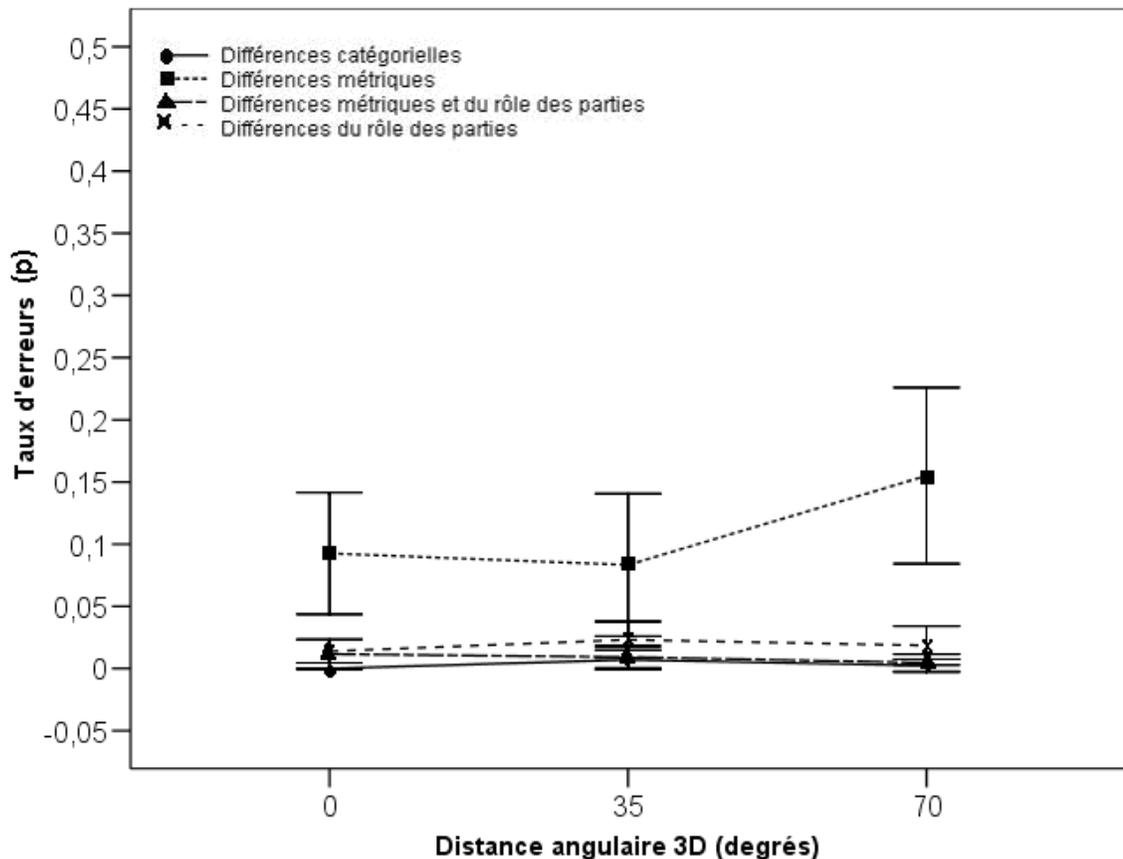


Figure 6. Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 3D, expérience 1

Tableau 4. Pentas des taux d'erreurs en fonction des changements d'orientation 3D à l'expérience 1

Type de différence de configuration	Ordonnée à l'origine (p)	Pente (p/degré)	R carré
Différences Catégorielles	0,02	1×10^{-3}	0,43
Différences métriques	0,06	$1,1 \times 10^{-2}$	0,84
Différences métriques et du rôle des parties	0,00	1×10^{-3}	1,00
Différences du rôle des parties	0,01	1×10^{-3}	0,32
Essais pareils	0,01	$1,5 \times 10^{-2}$	0,99

Analyses principales des taux d'erreurs, rotations 3D

Le tableau 5 présente les résultats des analyses visant à vérifier les hypothèses. Dans tous les cas, il y a un effet significatif du type de différence de configuration. L'interaction type x orientation n'est significative que dans la comparaison des conditions «différences métriques» et «différences métriques et du rôle des parties». Elle démontre une différence de l'amplitude l'effet de rotation 3D selon le type de différence de configuration (voir la figure 6.)

Tableau 5. Résultats des différentes comparaisons effectuées pour les taux d'erreurs aux différentes orientations 3D de l'expérience 1.

Comparaison	Type	Type X Orientation
1. Catégorielle vs Rôle	F= 16,18 ⁺	F= 0,40
2 Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 4,12*	F= 1,07
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 19,92 ⁺	F = 6,55*
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 5,01 [*]	F = 0,82

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01. Pour chaque comparaison démontrant un effet significatif, le nom de la condition avec les temps de réponse les plus élevés est en gras et le nom de la condition avec l'effet de rotation le plus important est souligné.

Analyses des taux d'erreurs aux essais pareils, rotations 3D

Il y a un effet marginalement significatif de rotation 3D sur les taux d'erreurs des essais pareils, $F(2, 22) = 3,22$, $p = 0,06$. Ainsi, les taux d'erreurs augmentent avec la distance angulaire entre les objets (les moyennes sont illustrées à la figure 6.)

Analyses descriptives des temps de réponse, rotations 2D

L'analyse examinant l'effet des rotations 2D sur les temps de réponse (les moyennes sont illustrées à la figure 7) démontre des effets principaux du type de partage de configuration, $F(2, 22) = 22,66$, $p < 0,001$, et d'orientation, $F(3, 33) = 27,74$, $p < 0,001$. Les temps de réponse sont les plus bas lorsqu'il y a des différences catégorielles de configuration ($M = 866,70$ ms, $ET = 24,65$ ms), puis lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties ($M = 1011,14$ ms, $ET = 29,82$ ms), des différences du rôle des parties uniquement ($M = 1090,83$ ms, $ET = 34,02$ ms), et finalement uniquement des différences métriques de configuration ($M = 1403,96$ ms, $ET = 93,59$ ms). Les temps de réponse

augmentent avec la distance angulaire entre les stimuli. L'interaction entre ces facteurs est également significative, $F(6, 66) = 4,81, p < 0,001$. L'analyse des effets simples démontre un effet significatif d'orientation lorsqu'il y avait des différences catégorielles de configuration, $F(2, 22) = 4,81, p = 0,05$, des différences métriques de configuration, $F(2, 22) = 11,94, p < 0,001$, des différences métriques et du rôle des parties, $F(2, 22) = 17,98, p < 0,001$, et des différences du rôle des parties uniquement, $F(2, 22) = 20,06, p < 0,001$. Un examen de la figure 7 indique que l'interaction rotation x type est attribuable à une variation de l'effet de rotation en fonction du type de partage de configuration. Le tableau 6 qui indique les pentes des temps de réponse en fonction de l'orientation confirme cette impression.

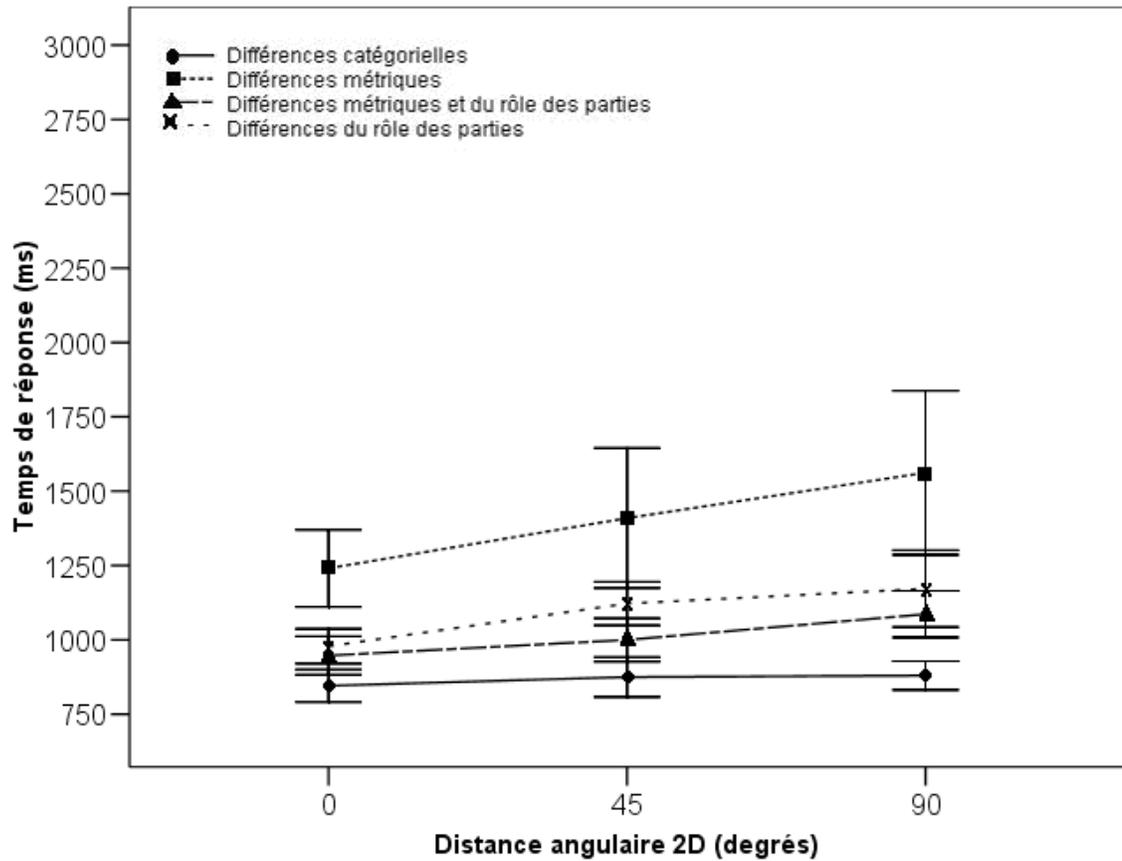


Figure 7. Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 2D, expérience 1

Tableau 6. Pentés des temps de réponse en fonction des changements d'orientation 2D

Type de différence de configuration	Ordonnée à l'origine (ms)	Pente (ms/degré)	R carré
Différences Catégorielles	849,59	0,38	0,85
Différences métriques	1243,19	3,57	1,00
Différences métriques et du rôle des parties	941,60	1,55	0,98
Différences du rôle des parties	994,04	2,15	0,93
Essais pareils	1151,01	5,77	0,97

Analyses principales des temps de réponse, rotations 2D

Le tableau 7 présente les résultats des analyses visant à vérifier les hypothèses. Dans tous les cas, l'effet de type de différence est significatif. Les interactions entre ces facteurs sont également significatives, sauf pour l'analyse qui contraste les conditions «différences métriques et du rôle des parties» et «différences du rôle des parties». Les interactions type x orientation sont toutes liées à une différence de l'amplitude de l'effet de rotation selon le type de différence examinée (voir la figure 7.)

Tableau 7. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientations 2D de l'expérience 1

Comparaison	Type	Type X Orientation
1. Catégorielle vs Rôle	F= 70,15 ⁺	F= 6,71 ⁺
2 Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 26,52 ⁺	F= 12,15 ⁺
3. Métrique vs métrique et rôle	F= 22,45 ⁺	F = 3,80*
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 24,58 ⁺	F = 2,67

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01. Pour chaque comparaison démontrant un effet significatif, le nom de la condition avec les temps de réponse les plus élevés est en gras et le nom de la condition avec l'effet de rotation le plus important est souligné.

Analyses des temps de réponse aux essais pareils, rotations 2D

Il y a un effet significatif de rotation 2D sur les temps de réponse des essais pareils, $F(2, 22) = 72,08, p < 0,05$. Ainsi, les temps de réponse augmentent avec la distance angulaire entre les objets (les moyennes sont illustrées à la figure 7.)

Analyses descriptives des taux d'erreurs, rotations 2D

L'analyse examinant l'effet des rotations 2D sur les taux d'erreurs (les moyennes sont illustrées à la figure 8) démontre un effet principal du type de partage de configuration, $F(2, 22) = 20,57, p < 0,001$. Il n'y a toutefois pas d'effet significatif d'orientation, $F(3, 33) = 2,99, ns$. Les taux d'erreurs sont les plus bas lorsqu'il y a des différences catégorielles de configuration ($M = 0,007, ET = 0,003$), puis lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties ($M = 0,007, ET = 0,002$), des différences du rôle des parties uniquement ($M = 0,009, ET = 0,003$), et finalement uniquement des différences métriques de configuration ($M = 0,14, ET = 0,02$). L'interaction type x orientation est également significative, $F(6, 66) = 3,74, p < 0,01$. L'analyse des effets simples démontre un effet significatif d'orientation seulement avec des différences métriques de configuration, $F(2, 22) = 3,66, p < 0,05$ (différences catégorielles : $F(2, 22) = 3,08, ns$; différences métriques et du rôle des parties : $F(2, 22) = 1,89, ns$; différences du rôle des parties uniquement, $F(2, 22) = 1,13, ns$). Le tableau 8, qui présente les pentes des temps de réponse en fonction de l'orientation, est congruent avec les résultats de ces analyses.

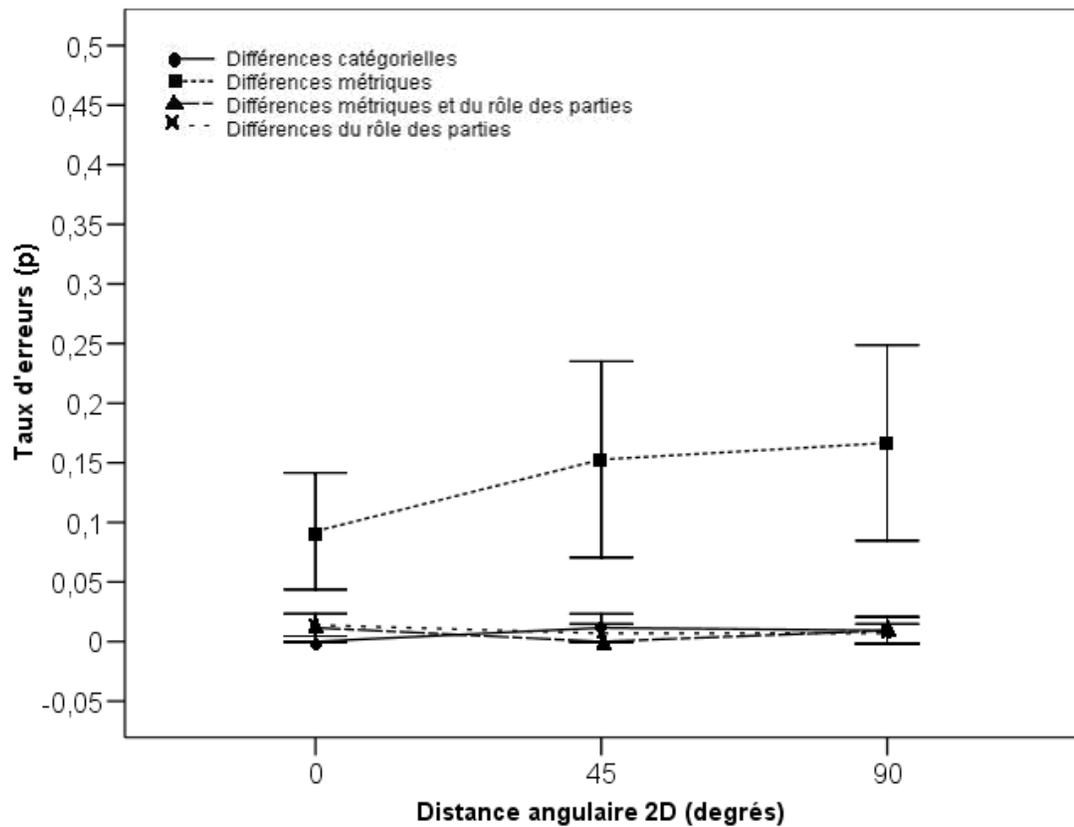


Figure 8. Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 2D, expérience 1.

Tableau 8. Pentes des taux d'erreurs en fonction des changements d'orientation 2D à l'expérience 1

Type de différence de configuration	Ordonnée à l'origine (p)	Pente (p/degré)	R carré
Différences Catégorielles	0,02	-1×10^{-4}	0,99
Différences métriques	0,10	1×10^{-2}	0,56
Différences métriques et du rôle des parties	0,00	1×10^{-4}	0,75
Différences du rôle des parties	0,01	1×10^{-4}	0,43
Essais pareils	0,02	3×10^{-4}	0,95

Analyses principales des taux d'erreurs, rotations 2D

Le tableau 9 présente les résultats des analyses visant à vérifier les hypothèses. L'effet du type de différence de configuration n'est significatif que dans la comparaison des conditions «différences métriques» et «différences métriques et du rôle des parties». Dans le cas des contrastes «différences catégorielles vs différences du rôle des parties» et «différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties», seules les interactions type x orientation sont significatives. Bien que les pentes des régressions des taux d'erreurs en fonction de l'orientation soient plus élevées avec les différences de rôle des parties et avec les différences métriques et du rôle des parties qu'avec les différences catégorielles, il importe de souligner que l'effet d'orientation dans les trois conditions en jeu n'est pas significatif (voir description des effets simples plus haut.) Ces interactions reflètent des différences entre les conditions dans les faibles variations de taux d'erreurs entre les degrés de rotation consécutifs. Il ne se passe donc rien de particulièrement pertinent dans ces interactions. Le contraste «différences métriques vs différences métriques et du rôle des parties» démontre une interaction type x orientation significative. Celle-ci est liée à une différence de l'amplitude de l'effet de rotation selon le type de différence examinée (voir figure 8.)

Tableau 9. Résultats des différentes comparaisons effectuées pour les taux d'erreurs aux différentes orientations 3D de l'expérience 1.

Comparaison	Type	Type X Orientation
1. Catégorielle vs Rôle	F = 0,51	F = 5,65*
2. Catégorielle vs <u>Métrique et rôle</u>	F = 0,00	F = 4,36*
3. Métrique vs Métrique et rôle	F = 21,95 ⁺	F = 4,72*
4. Métrique et rôle vs Rôle	F = 0,29	F = 1,10

⁺ indiquent un p inférieur à 0,01. Pour chaque comparaison démontrant un effet significatif, le nom de la condition avec les temps de réponse les plus élevés est en gras et le nom de la condition avec l'effet de rotation le plus important est souligné.

Analyses des taux d'erreurs aux essais pareils, rotations 2D

Il y a un effet significatif de rotation 3D sur les taux d'erreurs des essais pareils, $F(2, 22) = 11,82, p < 0,05$. Ainsi, les taux d'erreurs augmentent avec la distance angulaire entre les objets (les moyennes sont illustrées à la figure 8.)

Discussion

En bref, les résultats de l'expérience 1 montrent que les temps de réponse augmentent avec la distance angulaire 3D, sauf dans la condition «différences catégorielles de configuration.» Quant aux rotations 2D, celles-ci entraînent une augmentation des temps de réponse avec la distance angulaire dans toutes les conditions, sans exception. Les taux d'erreurs augmentent avec l'augmentation des distances angulaires 3D et 2D uniquement lorsqu'il y a des différences métriques de configuration et pour les essais pareils. Sauf pour la condition dans laquelle il y avait des différences catégorielles de configuration, les temps de réponse montrent que la tâche de discrimination utilisée a entraîné une dépendance à

l'orientation 3D, telle que prévue par les théories de l'image. Pour toutes les conditions, la tâche a entraîné une dépendance des temps de réponse à l'orientation 2D, telle que prévue par les théories de l'image et les théories structurales.

Les prochains paragraphes chercheront à comparer les effets de rotation 3D et 2D selon le type de différence de configuration. Les prochains paragraphes chercheront à comparer les effets de rotation 3D et 2D selon le type de différence de configuration. Il faut toutefois d'abord déterminer quels processus sont impliqués dans la tâche et de quoi sont constitués les temps de réponse. Il est possible que les participants recherchent des différences de traits locaux entre les stimuli et que la détection de telles différences soit plus ou moins difficile selon le type de différence de configuration. Alternativement, il se pourrait aussi qu'il y ait reconnaissance d'objet; les participants pourraient reconnaître chacun des objets pour ensuite les comparer. Selon cette seconde possibilité, l'effet du type de différence de configuration sur les performances pourrait se produire soit à l'étape de reconnaissance des objets ou à celle de leur comparaison.

Peu importe l'orientation des stimuli, les temps de réponse et les taux d'erreurs sont toujours plus courts lorsqu'il y a des différences catégorielles de configuration, et par le fait même des différences du rôle des parties, que lorsqu'il n'y a que des différences du rôle des parties. Cela suggère qu'un code catégoriel a contribué aux discriminations d'objets complexes. Notons que les différences catégorielles ne sont pas indépendantes des différences métriques. De plus, l'impact de la rotation 3D n'est pas le même pour les deux conditions de différence de configuration. Ainsi, l'effet de rotation est absent avec des différences catégorielles de configuration alors qu'il est présent avec des

différences du rôle des parties. Il faut noter que cette invariance à l'orientation 3D dans la condition de différences catégorielles n'indique pas nécessairement que le code catégoriel est invariant à l'orientation. En effet, il est envisageable que cette invariance soit plutôt liée à un effet plafond attribuable au faible niveau de difficulté de la tâche à cette condition. Quant aux rotations 2D, leur impact est plus important lorsqu'il y a des différences du rôle des parties que lorsqu'il y a des différences catégorielles mais l'effet est significatif dans les deux cas.

Ensuite, peu importe l'orientation des stimuli, les temps de réponse sont toujours plus courts lorsqu'il y a des différences catégorielles de configurations que lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties. Cela suggère la possibilité qu'à l'étape qui sous-tend la représentation de l'organisation spatiale des objets complexes, il y a une plus grande sensibilité aux différences catégorielles de configuration qu'aux différences métriques. Toutefois, il est impossible de conclure qu'il y a une plus grande sensibilité aux différences catégorielles de configuration qu'aux différences métriques, car les différences métriques des stimuli de cette expérience ne correspondent pas à toute l'étendue possible de différences métriques. Il importe également de souligner que ces deux conditions se distinguent quant à leur sensibilité à la rotation 2D ou 3D. Dans le cas des rotations 2D, leur effet est significatif autant pour les différences catégorielles que métriques mais l'effet est nettement plus marqué dans le deuxième cas. Quant aux rotations 3D, elles n'ont eu aucun effet dans le cas de différences catégorielles alors que l'effet est important avec des différences métriques.

Puis, peu importe l'orientation, les temps de réponse et les taux d'erreurs sont toujours plus courts lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties que lorsqu'il n'y a que des différences métriques seulement. Cette observation suggère la possibilité d'une contribution d'un code relatif au rôle des parties dans la représentation de leur configuration. Celui-ci semble également atténuer la sensibilité des représentations sous-jacentes aux performances à l'effet des rotations 2D et 3D puisque l'impact de ces rotations est réduit dans le cas de différences métriques et du rôle des parties comparativement à des différences métriques seules.

Enfin, peu importe l'orientation, les temps de réponse et les taux d'erreurs sont toujours plus courts lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties que lorsqu'il y a uniquement des différences du rôle des parties. Cela suggère qu'un code métrique contribue aux discriminations d'objets complexes. Clairement toutefois, ce code semble spécifique à l'orientation 2D et 3D compte tenu des effets significatifs de la rotation des stimuli.

En bref, les résultats de l'expérience 1 suggèrent que des codes catégoriel, pertinent aux rôles des parties et métrique impliqués à l'étape de la représentation de l'organisation spatiales des formes complexes contribuent à aux discriminations d'objets complexes. De plus les rotations 3D et 2D n'ont pas le même impact sur les différents codes, suggérant ainsi qu'ils ne présentent pas tous le même degré de spécificité à l'orientation. Le détail des implications théoriques possibles des présents résultats sera abordé dans la discussion générale, qui tiendra ainsi compte de l'ensemble des résultats rapportés dans ce mémoire.

Tel que mentionné plus tôt, il est possible que l'apparente invariance à l'orientation 3D du code catégoriel soit liée à un niveau de difficulté trop faible de la tâche, qui aurait

ainsi entraîné un effet plafond. En effet, les stimuli présentés offraient une information riche sur la structure des objets (stéréoscopie, texture) et leur contraste était élevé. Comme on peut supposer que plus il y a d'information, plus la tâche devrait être facile, il est possible que ceci ait entraîné une invariance à l'orientation qui ne pourrait être répliquée dans des conditions de stimulation plus exigeantes. L'expérience 2 cherchera à évaluer cette possibilité.

Expérience 2

L'expérience 2 vise à vérifier si l'invariance à l'orientation 3D observée avec des différences catégorielles de configuration à l'expérience 1 se maintient si la difficulté de la tâche est augmentée par une réduction du contraste des stimuli.

Méthode

Participants

Douze nouveaux participants, tous des étudiants (cinq hommes et sept femmes, onze droitiers et un gaucher) de l'Université de Montréal ont été recrutés par le biais d'une annonce affichée sur les babillards. La moyenne d'âge est de 23 ans. Ils étaient tous naïfs quant aux objectifs de l'expérience et avaient une vision normale ou corrigée. Il n'y a pas eu de sélection faite quant au sexe ou la dominance manuelle des participants. Les participants ont reçu une compensation financière de 16\$ pour leur participation.

Matériel, stimuli et procédure

Le matériel est le même que celui utilisé à l'expérience 1. Or en plus, le logiciel Photoshop a été utilisé pour réduire le contraste des stimuli. Les stimuli sont les mêmes que

ceux utilisés à l'expérience 1, mais dont le contraste a été réduit à une valeur de 0,07 (partant d'une valeur initiale de 1,00 pour les stimuli de l'expérience 1) sur la commande disponible à cet égard dans Photoshop. La procédure est exactement la même que celle utilisée à l'expérience 1. La figure 9 montre la différence entre les stimuli des expériences 1 et 2.



Figure 9. Comparaison des stimuli des expériences 1 et 2

Résultats

Analyses préliminaires

Avant de commencer les analyses, le taux d'erreurs total et les scores extrêmes ont été vérifiés. En tout, 519 essais (3,00%) ont été éliminés car ils présentaient des temps de réponse extrêmes (à plus ou moins 2,75 écarts-type de la moyenne des temps de réponse

pour leur condition chez le participant.) De plus, 1338 erreurs ont été faites (7,74%). Ces essais ont été éliminés de l'analyse des temps de réponse. Ensuite, une corrélation entre les temps de réponse et les taux d'erreurs a été effectuée afin de s'assurer qu'il n'y a pas de compromis entre la vitesse et la justesse des réponses. La corrélation est positive, $r = 0,70$, $p < 0,001$ ce qui signifie que les effets vont dans la même direction pour les deux variables dépendantes et qu'il n'y a pas de compromis entre la vitesse et la justesse des réponses.

Plan des analyses principales

Les analyses statistiques effectuées sur les données de l'expérience 2 sont les mêmes que celles appliquées pour l'expérience 1. Des analyses additionnelles ont par la suite été effectuées dans le but de comparer les expériences 1 et 2 afin de vérifier l'impact du niveau de difficulté de la tâche sur les effets mesurés.

Analyses descriptives des temps de réponse, rotations 3D

L'analyse examinant l'effet des rotations 3D sur les temps de réponse (les moyennes sont illustrées à la figure 10) démontre des effets principaux du type de différence de configuration, $F(2, 22) = 315,77$, $p < 0,001$, et d'orientation, $F(3, 33) = 16,09$, $p < 0,001$. Les temps de réponse sont les plus bas lorsqu'il y a des différences catégorielles de configuration ($M = 1203,34$ ms, $ET = 59,11$ ms), puis lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties ($M = 1544,14$ ms, $ET = 97,50$ ms), des différences du rôle des parties uniquement ($M = 1682,98$ ms, $ET = 131,63$ ms), et finalement uniquement des différences métriques de configuration ($M = 2023,93$ ms, $ET = 143,95$ ms). Les temps de réponse augmentent avec la distance angulaire entre les stimuli. L'interaction entre ces facteurs est

également significative, $F(6, 66) = 2,60, p < 0,05$. L'analyse des effets simple démontre un effet significatif d'orientation lorsqu'il y avait des différences catégorielles de configuration, $F(2, 22) = 4,28, p < 0,05$ des différences métriques de configuration, $F(2, 22) = 9,42, p < 0,005$, des différences métriques et du rôle des parties, $F(2, 22) = 14,37, p < 0,001$, et des différences du rôle des parties uniquement, $F(2, 22) = 5,74, p < 0,025$. Un examen de la figure 10 suggère que l'interaction rotation x type est attribuable à une variation de l'effet de rotation en fonction du type de différence de configuration. Le tableau 10, qui présente les pentes des temps de réponse en fonction de l'orientation, confirme cette impression

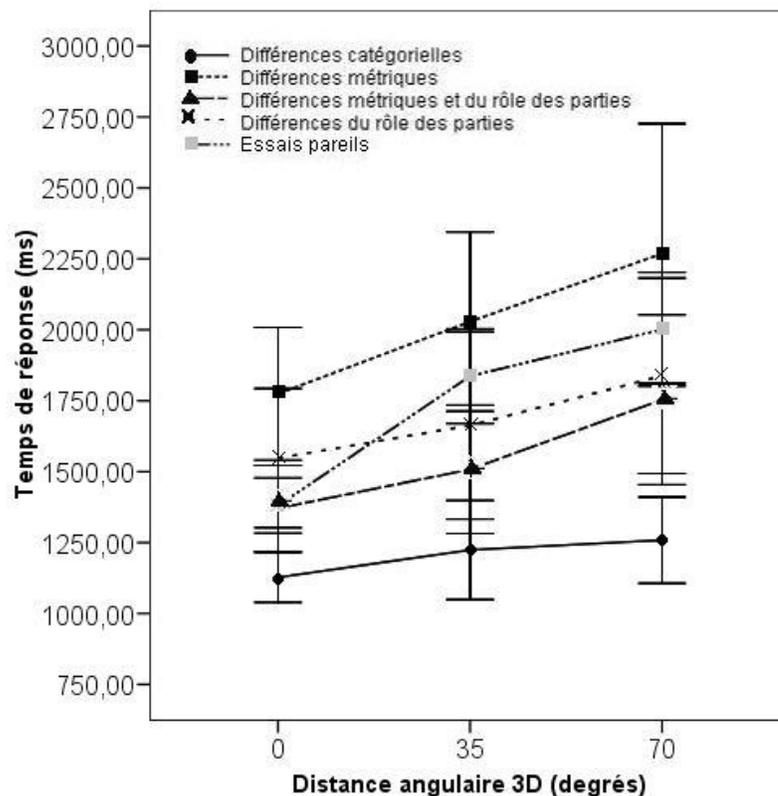


Figure 10. Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 3D, expérience 2

Tableau 10. Pentes des temps de réponse en fonction des changements d'orientation 3D à l'expérience 2

Type de différence de configuration	Ordonnée à l'origine (ms)	Pente (ms/degré)	R carré
Différences Catégorielles	1137,76	1,87	0,93
Différences métriques	1776,84	7,06	1,00
Différences métriques et du rôle des parties	1352,81	5,47	0,97
Différences du rôle des parties	1537,81	4,15	0,99
Essais pareils	1428,78	8,87	0,93

Analyse principale des temps de réponse, rotations 3D

Le tableau 11 présente les résultats des analyses visant à vérifier les hypothèses. Dans tous les cas, il y a des effets significatifs de différence de configuration. L'analyse qui contraste les conditions «différences catégorielles de configuration» et «différences métriques et du rôle de parties» montre une interaction entre les deux facteurs. Celle-ci est liée à différence d'amplitude de l'effet de rotation 3D selon le type de différence de configuration examinée (voir la figure 10.)

Tableau 11. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientations 3D de l'expérience 2

Comparaison	Type	Type X Orientation
1. Catégorielle vs Rôle	F= 26,40 ⁺	F= 3,01
2 Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 27,74 ⁺	F= 7,53*
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 10,64 ⁺	F = 0,60
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 4,83 *	F = 0,80

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01. Pour chaque comparaison donnant lieu à un effet significatif, le nom de la condition avec les temps de réponse les plus élevés est en gras et le nom de la condition avec l'effet de rotation le plus important est souligné.

Analyse des temps de réponse aux essais pareils, rotation 3D

Il y a un effet significatif de rotation 3D sur les temps de réponse aux essais pareils, $F(2, 22) = 27,47, p < 0,05$. Ainsi, les temps de réponse augmentent avec la distance angulaire entre les objets (les moyennes sont illustrées à la figure 10.)

Analyses descriptives des taux d'erreurs, rotations 3D

L'analyse examinant l'effet des rotations 3D sur les taux d'erreurs (les moyennes sont illustrées à la figure 11) démontre des effets principaux du type de différence de configuration, $F(2, 22) = 21,34, p < 0,001$. Les taux d'erreurs sont les plus bas lorsqu'il y a des différences catégorielles de configuration ($M= 0,01, ET = 0,01$), puis lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties ($M= 0,04, ET = 0,01$), des différences du rôle des parties uniquement ($M= 0,09, ET = 0,03$), et finalement uniquement des différences métriques de configuration ($M= 0,22, ET = 0,03$). Il y a aussi un effet d'orientation

significatif, $F(2, 22) = 13,66, p < 0,001$. L'interaction entre ces facteurs est également significative, $F(6, 66) = 9,56, p < 0,001$. L'analyse des effets simples démontre un effet significatif d'orientation lorsqu'il y avait des différences métriques de configuration, $F(2, 22) = 12,49, p < 0,001$, des différences métriques et du rôle des parties, $F(2, 22) = 8,96, p < 0,001$, et des différences du rôle des parties uniquement, $F(2, 22) = 6,36, p < 0,01$. Il n'y avait toutefois pas d'effet significatif d'orientation lorsqu'il y a des différences catégorielles de configuration, $F(2, 22) = 1,70, ns$. Le tableau 12, qui présente les pentes des taux d'erreurs en fonction de l'orientation, est congruent avec les résultats de cette analyse des effets simples.

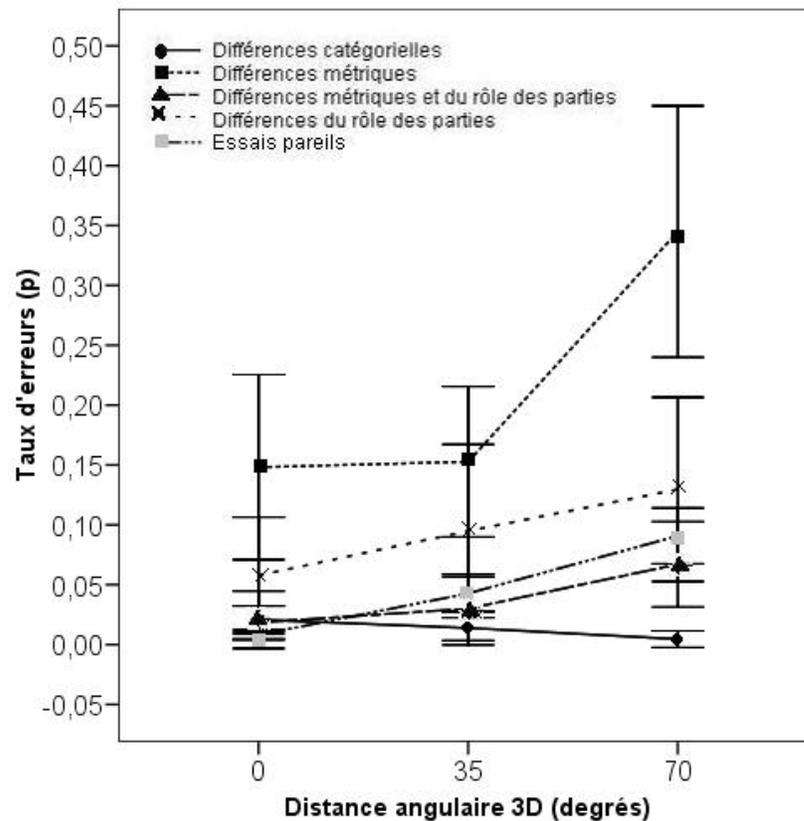


Figure 11. Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 3D, expérience 2

Tableau 12. Pentes des taux d'erreurs en fonction des changements d'orientation 3D à l'expérience 2

Type de différence de configuration	Ordonnée à l'origine (p)	Pente (p/degré)	R carré
Différences Catégorielles	0,02	-2×10^{-4}	0,99
Différences métriques	0,12	3×10^{-3}	0,77
Différences métriques et du rôle des parties	0,01	7×10^{-4}	0,92
Différences du rôle des parties	0,06	1×10^{-3}	1,00
Essais pareils	0,01	1×10^{-3}	0,99

Analyses principales des taux d'erreurs, rotations 3D

Le tableau 13 présente les résultats des analyses visant à vérifier les hypothèses. Dans tous les cas, il y a des effets de type du type de différence de configuration. Il y a des interactions type x orientation dans tous les cas sauf pour le contraste «différences métriques et du rôle des parties vs différences métriques». Ces interactions signalent une différence d'amplitude de l'effet de rotation 3D selon le type de différence examinée (voir la figure 11.)

Tableau 13. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientations 3D de l'expérience 2

Comparaison	Type	Type X Orientation
1. Catégorielle vs Rôle	F= 9,48*	F= 7,42 ⁺
2. Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 15,54 ⁺	F= 8,94 ⁺
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 39,37 ⁺	F= 8,14 ⁺
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 6,69*	F= 1,65

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01. Pour chaque comparaison donnant lieu à un effet significatif, le nom de la condition avec les temps de réponse les plus élevés est en gras et le nom de la condition avec l'effet de rotation le plus important est souligné.

Analyse des taux d'erreurs aux essais pareils, rotation 3D

Il y a un effet significatif de rotation 3D sur les temps de réponse aux essais pareils, $F(2, 22) = 13,23, p < 0,05$. Ainsi, les taux d'erreurs augmentent avec la distance angulaire entre les objets (les moyennes sont illustrées à la figure 11.)

Analyses descriptives des temps de réponse, rotations 2D

L'analyse examinant l'effet des rotations 2D sur les temps de réponse (les moyennes sont illustrées à la figure 12) démontre des effets principaux du type de différence de configuration, $F(2, 22) = 15,91, p < 0,001$, et d'orientation, $F(3, 33) = 24,66, p < 0,001$. Les temps de réponse sont les plus bas lorsqu'il y a des différences catégorielles de configuration ($M= 1213,89$ ms, $ET = 52,74$ ms), puis lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties ($M= 1548,88$ ms, $ET = 87,38$ ms), des différences du rôle des parties uniquement ($M= 1719,94$ ms, $ET = 124,87$ ms), et finalement uniquement des différences métriques de configuration ($M= 12134,03$ ms, $ET =$

147,77 ms). Les temps de réponse augmentent avec la distance angulaire entre les stimuli. L'interaction entre ces facteurs est également significative, $F(6, 66) = 4,52, p < 0,001$. L'analyse des effets simples démontre un effet significatif d'orientation lorsqu'il y avait des différences catégorielles de configuration, $F(2, 22) = 10,78, p = 0,005$, des différences métriques de configuration, $F(2, 22) = 13,19, p < 0,001$, des différences métriques et du rôle des parties, $F(2, 22) = 11,54, p < 0,001$, et des différences du rôle des parties uniquement, $F(2, 22) = 9,88, p < 0,005$. Un examen de la figure 12 suggère que l'interaction rotation x type est attribuable à une variation de l'effet de rotation en fonction du type de différence de configuration. Le tableau 14, qui indique les pentes des temps de réponse en fonction de l'orientation, confirme cette impression.

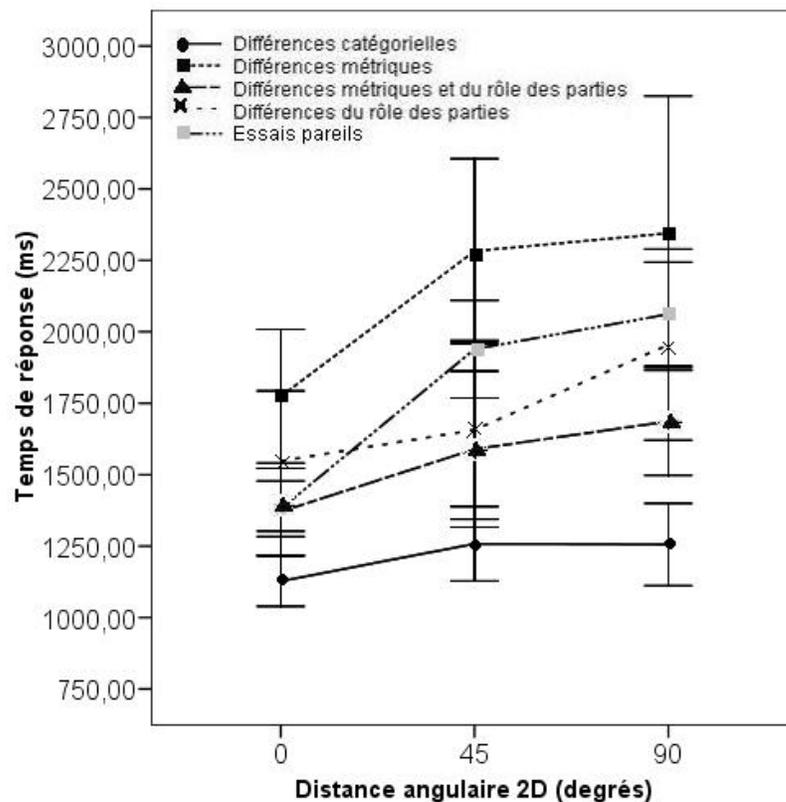


Figure 12. Temps de réponse en fonction de l'orientation 2D, expérience 2

Tableau 14. Pentes des temps de réponse en fonction des changements d'orientation 2D à l'expérience 2

Type de différence de configuration	Ordonnée à l'origine (ms)	Pente (ms/degré)	R carré
Différences Catégorielles	1149,60	1,43	0,74
Différences métriques	1848,69	6,34	0,83
Différences métriques et du rôle des parties	1391,08	3,51	0,95
Différences du rôle des parties	1516,36	4,52	0,93
Essais pareils	1453,01	7,57	0,88

Analyses principales des temps de réponse, rotations 2D

Le tableau 15 présente les analyses visant à vérifier les hypothèses. Dans tous les cas, il y a des effets de type de différence de configuration. Les comparaisons «différences catégorielles vs différences du rôle des parties» et «différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties» montrent des interactions type x orientation significatives. Ces interactions signalent une différence d'amplitude de l'effet de rotation 2D selon le type de différence examinée(voir la figure 12)

Tableau 15. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientations 2D de l'expérience 2

Comparaison	Type	Type X Orientation
1. Catégorielle vs Rôle	F= 20,99 ⁺	F= 4,98*
2 Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 21,42 ⁺	F= 3,93*
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 13,24 ⁺	F = 2,97
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 10,82 ⁺	F = 2,35

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01. Pour chaque comparaison donnant lieu à un effet significatif, le nom de la condition avec les temps de réponse les plus élevés est en gras et le nom de la condition avec l'effet de rotation le plus important est souligné.

Analyse des temps de réponse aux essais pareils, rotation 2D

Il y a un effet significatif de rotation 2D sur les temps de réponse aux essais pareils, $F(2, 22) = 50,20, p < 0,05$. Ainsi, les temps de réponse augmentent avec la distance angulaire entre les objets (les moyennes sont illustrées à la figure 12.)

Analyses descriptives des taux d'erreurs, rotations 2D

L'analyse examinant l'effet des rotations 2D sur les taux d'erreurs (les moyennes sont illustrées à la figure 13) démontre des effets principaux du type de différence de configuration, $F(2, 22) = 211,73, p < 0,001$, et un effet significatif d'orientation, $F(3, 33) = 10,60, p < 0,001$. Les taux d'erreurs sont les plus bas lorsqu'il y a des différences catégorielles de configuration ($M = 0,02, ET = 0,01$), puis lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties ($M = 0,04, ET = 0,01$), des différences du rôle des parties uniquement ($M = 0,12, ET = 0,03$), et finalement uniquement des différences métriques de configuration ($M = 0,23, ET = 0,05$). Les taux d'erreurs augmentent avec l'augmentation de

la rotation des stimuli. L'interaction entre ces facteurs est également significative, $F(6, 66) = 3,33, p < 0,01$. L'analyse des effets simples démontre un effet significatif d'orientation lorsqu'il y avait des différences métriques de configuration, $F(2, 22) = 5,17, p < 0,025$, des différences métriques et du rôle des parties, $F(2, 22) = 3,79, p < 0,05$, et des différences du rôle des parties uniquement, $F(2, 22) = 8,49, p < 0,005$. Il n'y avait toutefois pas d'effet d'orientation lorsqu'il y avait des différences catégorielles de configuration, $F(2, 22) = 1,22, ns$. Le tableau 16, qui présente les pentes des taux d'erreurs en fonction de l'orientation, donne des résultats congruents avec ceux de l'analyse des effets simples.

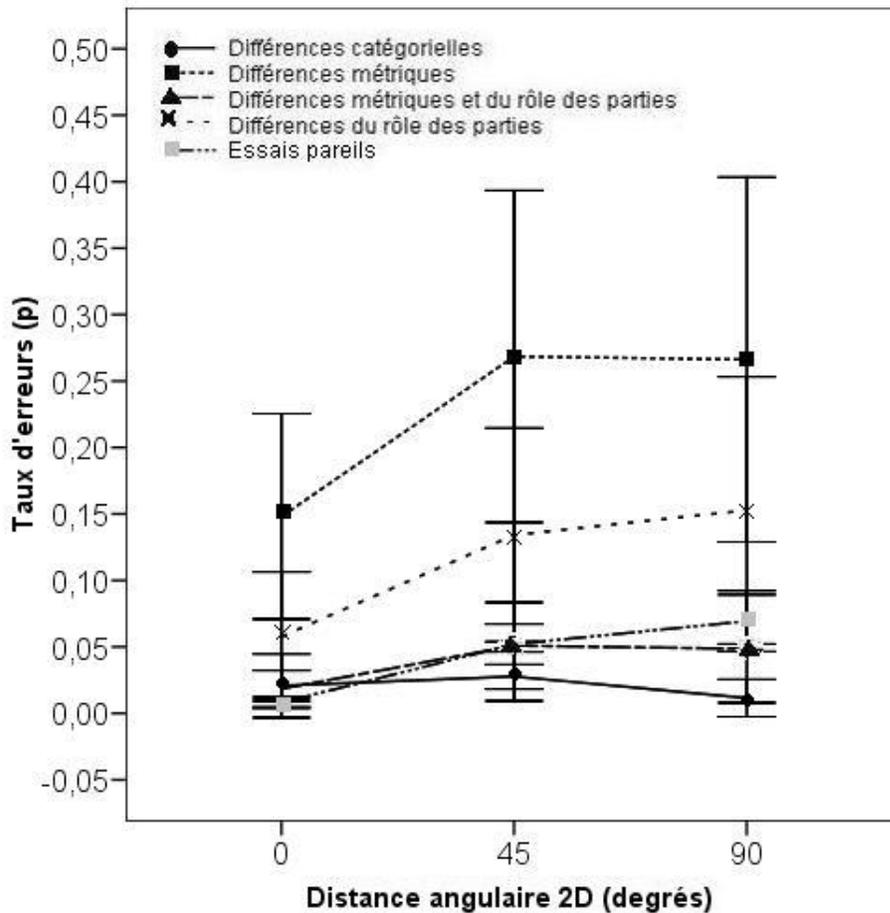


Figure 13. Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 2D, expérience 2

Tableau 16. Pentas des taux d'erreurs en fonction des changements d'orientation 2D à l'expérience 2

Type de différence de configuration	Ordonnée à l'origine (p)	Pente (p/degré)	R carré
Différences Catégorielles	0,02	-2×10^{-4}	0,32
Différences métriques	0,17	3×10^{-3}	0,57
Différences métriques et du rôle des parties	0,02	7×10^{-4}	0,69
Différences du rôle des parties	0,07	1×10^{-3}	0,89
Essais pareils	0,01	7×10^{-4}	0,94

Analyses principales des taux d'erreurs, rotations 2D

Le tableau 17 présente les résultats des analyses visant à vérifier les hypothèses. Dans tous les cas, il y a des effets de type de différence de configuration. De plus, il y a des interactions type x orientation significatives dans tous les cas, sauf pour le contraste «différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties ». Ces interactions signalent une différence d'amplitude de l'effet de rotation 2D selon le type de différence examinée (voir la figure 13.)

Tableau 17. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientations 2D de l'expérience 2

Comparaison	Type	Type X Orientation
1. Catégorielle vs Rôle	F = 9,70 ⁺	F = 7,16 ⁺
2. Catégorielle vs Métrique et rôle	F = 3,35	F = 2,61
3. Métrique vs Métrique et rôle	F = 20,21 ⁺	F = 4,27*
4. Métrique et rôle vs Rôle	F = 7,64*	F = 3,93*

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01. Pour chaque comparaison donnant lieu à un effet significatif, le nom de la condition avec les temps de réponse les plus élevés est en gras et le nom de la condition avec l'effet de rotation le plus important est souligné.

Analyse des taux d'erreurs aux essais pareils, rotation 2D

Il y a un effet significatif de rotation 2D sur les taux d'erreurs aux essais pareils, $F(2, 22) = 11,57, p < 0,05$. Ainsi, les taux d'erreurs augmentent avec la distance angulaire entre les objets (les moyennes sont illustrées à la figure 13.)

Comparaison des temps de réponse des expériences 1 et 2, rotations 3D

Le tableau 18 présente les résultats des quatre analyses visant à déterminer si les différents codes évalués de même que leur sensibilité à la rotation 3D sont modulés par le niveau de contraste. Le test orientation x contraste n'est pas inclus, car l'intérêt des comparaisons selon le niveau de contraste est de vérifier si les effets de différence de configuration (et leur interaction possible avec la rotation 2D ou 3D) sont les mêmes pour différents de niveau de contraste. La figure 14 illustre les temps de réponse aux deux expériences. Les comparaisons « différences catégorielles vs différences du rôle des parties » et « différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties »

démontrent des interactions type x contraste significatives. Celles-ci sont liées à une augmentation de l'amplitude des effets de type de différence de configuration avec la diminution du contraste (Expérience 2), comme le montre la figure 14. De plus, la comparaison «différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties» démontre une interaction type x orientation x niveau de contraste significative. Celle-ci reflète le fait que la différence de sensibilité à la rotation 3D en fonction du type de différence de configuration est exacerbée à l'exp. 2 (bas contraste) relativement à l'exp. 1 (haut contraste).

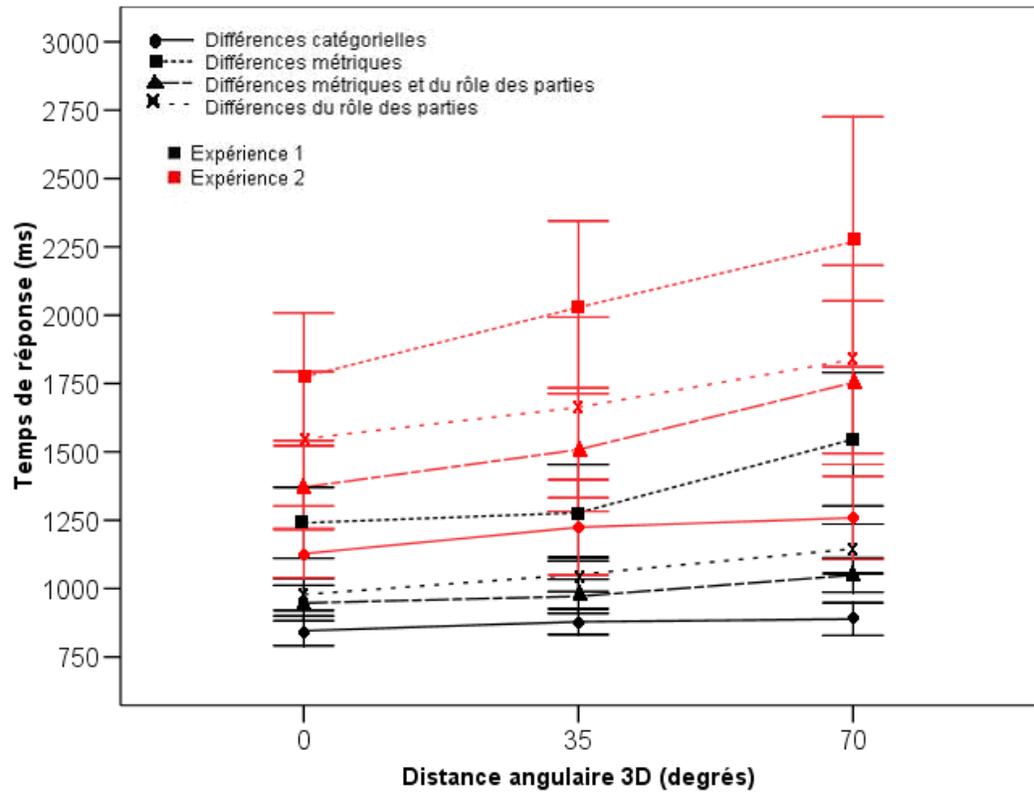


Figure 14. Comparaison de temps de réponse en fonction de la distance angulaire 3D des expériences 1 et 2

Tableau 18. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientations 3D, expérience 1 vs expérience 2

Comparaison	Type X contraste	Type X Orientation X contraste
1. Catégorielle vs Rôle	F= 9,23 ⁺	F= 0,28
2 Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 10,59 ⁺	F= 3,75*
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 0,49	F = 1,43
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 1,18	F = 1,86

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01.

Comparaison des taux d'erreurs entre les expériences 1 et 2, rotations 3D

Le tableau 19 présente les résultats des quatre analyses visant à déterminer si les différents codes évalués de même que leur sensibilité à la rotation 3D sont modulés par le niveau de contraste. La figure 15 illustre les temps de réponse aux deux expériences. Toutes les comparaisons démontrent des interactions type x contraste significatives. Celles-ci sont liées à une augmentation de l'amplitude des effets de type de différence de configuration avec la diminution du contraste (Expérience 2), comme le montre la figure 15. De plus, les comparaisons «différences catégorielles vs différences du rôle des parties» et «différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties» démontrent des interactions type x orientation x niveau de contraste significatives. Celles-ci reflètent une différence de sensibilité à l'effet de rotation 3D selon le type de différence de configuration à l'expérience 2 qu'à l'expérience 1.

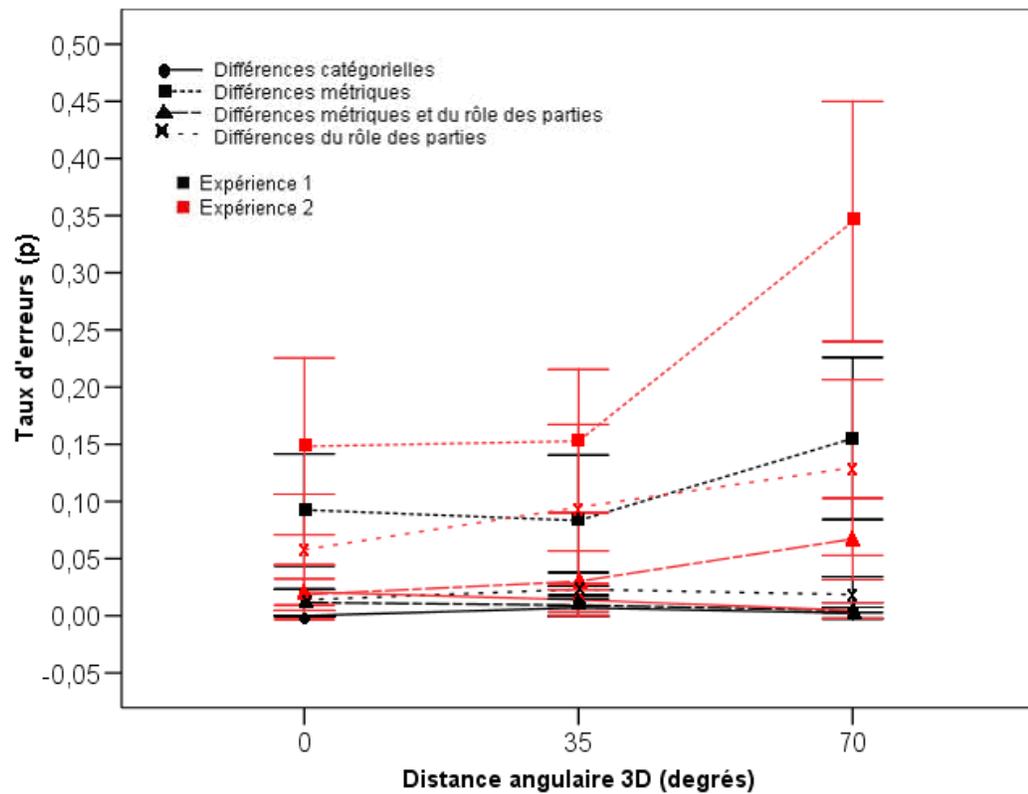


Figure 15. Comparaison des taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 3D des expériences 1 et 2

Tableau 19. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientations 3D, expérience 1 vs expérience 2

Comparaison	Type X contraste	Type X Orientation X contraste
1. Catégorielle vs Rôle	F= 6,08*	F= 6,01*
2. Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 8,24*	F= 9,25 ⁺
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 4,26*	F = 1,70
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 4,31*	F = 0,32

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01.

Comparaison des temps de réponse entre les expériences 1 et 2, rotations 2D

Le tableau 20 présente les résultats des quatre analyses visant à déterminer si les différents codes évalués de même que leur sensibilité à la rotation 2D sont modulés par le niveau de contraste. La figure 16 illustre les temps de réponse aux deux expériences. Les comparaisons « différences catégorielles vs différences du rôle des parties» et « différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties» démontrent des interactions type x contraste significatives. Celles-ci sont liées à une augmentation de l'amplitude des effets de type de différence de configuration avec la diminution du contraste (Expérience 2), comme le montre la figure 16. De plus, la comparaison «différence différences métriques et du rôle des parties vs différences du rôle des parties» démontre une interaction type x orientation x niveau de contraste significative. Cette interaction révèle une sensibilité différentielle des types de différence de configuration à l'effet de la rotation 2D qui est amplifié à l'expérience 2 relativement à l'expérience 1.

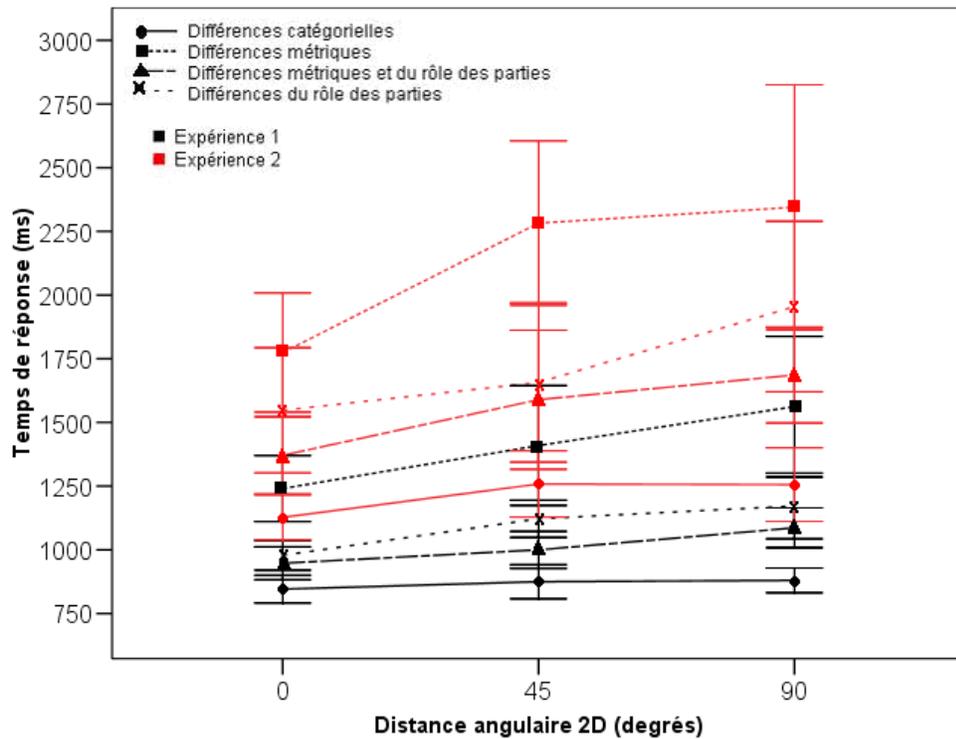


Figure 16. Comparaisons des temps de réponse en fonction de la distance angulaire 2D des expériences 1 et 2

Tableau 20. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientations 2D, expérience 1 vs expérience 2

Comparaison	Type X contraste	Type X Orientation X contraste
1. Catégorielle vs Rôle	F = 6,15*	F = 1,43
2. Catégorielle vs Métrique et rôle	F = 6,03*	F = 0,76
3. Métrique vs Métrique et rôle	F = 1,13	F = 0,71
4. Métrique et rôle vs Rôle	F = 2,82	F = 3,20*

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01.

Comparaison des taux d'erreurs entre les expériences 1 et 2, rotations 2D

Le tableau 21 présente les résultats des quatre analyses visant à déterminer si les différents codes évalués de même que leur sensibilité à la rotation 3D sont modulés par le niveau de contraste. La figure 17 illustre les temps de réponse aux deux expériences. Les comparaisons «différences catégorielles vs différences du rôle des parties» et «différences métriques et du rôle des parties vs différences du rôle des parties» démontrent des interactions type x contraste significatives. Celles-ci sont liées à l'augmentation de l'amplitude des effets de type de différence de configuration avec la diminution du contraste (Expérience 2), comme le montre la figure 17. De plus, les comparaisons «différences catégorielles vs différences du rôle des parties», «différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties» et «différences métriques et du rôle des parties vs différences du rôle des parties» démontrent des interactions type x orientation x niveau de contraste significatives. Ces interactions révèlent une sensibilité différentielle des types de différence de configuration à l'effet de la rotation 2D qui est amplifié à l'expérience 2 relativement à l'expérience 1.

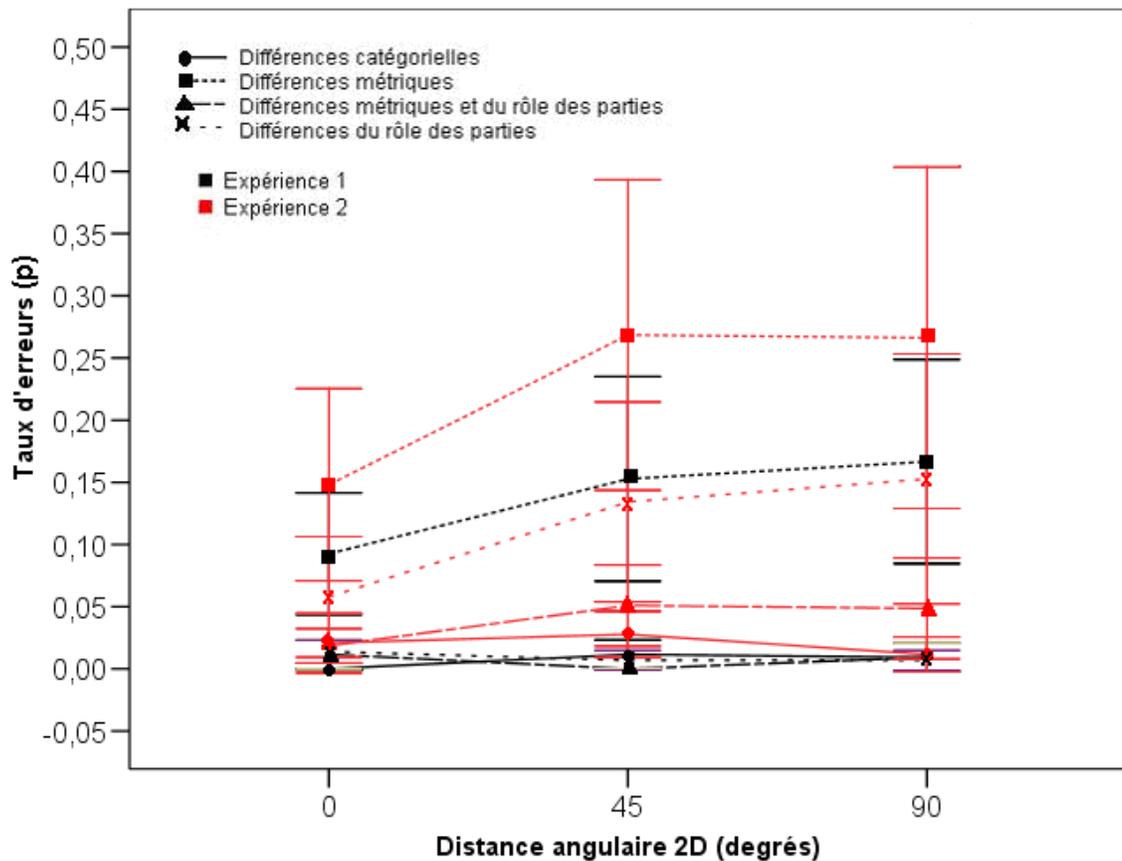


Figure 17. Comparaison des taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire des expériences 1 et 2

Tableau 21. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientations 2D, expérience 1 vs expérience 2

Comparaison	Type X contraste	Type X Orientation X contraste
1. Catégorielle vs Rôle	F= 9,12 ⁺	F= 9,57 ⁺
2. Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 2,88	F= 4,51*
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 1,32	F= 1,70
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 7,01*	F= 4,07*

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01.

Discussion

Le but de l'expérience 2 était de vérifier dans quelle mesure l'invariance à l'orientation 3D lorsqu'il y a des différences catégorielles de configuration était liée soit à une réelle invariance à l'orientation du code catégoriel ou plutôt à un effet plafond résultant du faible niveau de difficulté de la tâche.

Les résultats de l'expérience 2 démontrent des effets de rotation 3D ou 2D sur les temps de réponse et les taux d'erreurs qui sont congruents avec ceux rapportés à l'expérience 1. Une exception concerne les temps de réponse de la condition «différences catégorielles» qui sont affectés par les rotations 3D à l'expérience 2. En bref, les temps de réponse montrent que la tâche de discrimination entraînait des dépendances aux orientations 3D et 2D pour toutes les conditions de différence de configuration et pour les essais pareils.

Les résultats sont congruents avec la contribution des codes catégoriel, pertinent au rôle des parties, et métrique dans les discriminations d'objets complexes, ainsi qu'avec la plus différence de sensibilité aux différences catégorielles de configuration et aux différences métriques, tel qu'observé à l'expérience 1. Il faut noter, pour ce qui est de la différence entre la sensibilité aux différences catégorielles et aux différences métriques, que les différences métriques entre les stimuli ne couvrent pas toute l'étendue des différences métriques possibles. Il n'est donc pas possible de conclure de manière définitive que la sensibilité aux différences catégorielles est plus grande qu'aux différences métriques. En effet, peu importe l'orientation 2D ou 3D, les temps de réponse et les taux d'erreurs sont toujours plus hauts dans la condition «différences du rôle des parties» que dans la condition

«différences catégorielles», dans la conditions «différences métriques et du rôle des parties» que dans la condition «différences catégorielles», dans la condition «différences métriques» que dans la condition «différences métriques et du rôle des parties», et dans la condition «différences du rôle des parties» que dans la condition «différence métriques et du rôle des partie».

De plus, pour les temps de réponse comme pour les taux d'erreurs, les analyses ont montré que les différences de l'amplitude de l'effet d'orientation entre les conditions de partage de configuration ne sont pas réduites à l'expérience 2 par rapport à l'expérience 1, elles sont mêmes parfois amplifiées à l'expérience 2 relativement à l'expérience 1.

Puis, il est important de noter qu'à l'expérience 1, il y avait invariance à la rotation 3D dans la condition «différences catégorielles», alors qu'à l'expérience 2, il y avait une dépendance à l'orientation. Cela indique que l'invariance obtenue à l'expérience 1 était fort probablement due à un effet plafond lié au faible niveau de difficulté de la tâche.

Le niveau de contraste des stimuli a été modifié entre les expériences afin de manipuler la difficulté de la tâche. D'ailleurs les temps de réponse et les taux d'erreurs ont augmenté lorsque le niveau de contraste des stimuli a diminué. La manipulation du contraste a un impact sur le traitement visuel en cours. En effet, Benardete, Kaplan, et Knight (1992) ont montré que l'augmentation du contraste augmentait la fréquence des influx nerveux produits par les cellules rétiniennes magnocellulaires des macaques. Il semble également que la réduction de contraste entraîne une altération du traitement des hautes fréquences spatiales, qui auraient pu être importantes pour les discriminations. Il serait intéressant de reprendre l'expérience 1 en augmentant le niveau de difficulté sans

toutefois affecter la disponibilité de l'information véhiculée par les hautes fréquences spatiales.

En dernier lieu, les expériences 1 et 2 ont montré que les codes catégoriel, pertinent aux rôles des parties et métrique contribuaient à la discrimination d'objets complexes. Il est possible que ces codes utilisent l'information provenant de la stéréoscopie et du gradient de texture pour contribuer aux discriminations. L'expérience 3 permettra de vérifier l'importance de l'information de profondeur en diminuant la quantité d'information de profondeur offerte par les stimuli. De plus, la réduction d'information de profondeur entraînera une augmentation du niveau de difficulté par rapport à l'expérience 1 sans toutefois affecter les informations de haute fréquence.

Expérience 3

L'expérience 3 répliquera l'expérience 1, mis à part le fait que la quantité d'information de profondeur des stimuli sera réduite. Ainsi, les stimuli seront dépourvus d'information stéréoscopique et de l'information de profondeur provenant du gradient de texture. La comparaison des résultats de l'expérience 3 à ceux des expériences précédentes permettra d'évaluer l'importance de l'information de profondeur pour les codes impliqués dans les discriminations d'objets complexes ainsi que l'impact de l'augmentation de la difficulté de la tâche sur les résultats.

Méthode

Participants

Douze nouveaux participants, tous des étudiants (huit hommes et quatre femmes, onze droitiers et un gaucher) de l'Université de Montréal ont été recrutés par le biais d'une annonce affichée sur les babillards. La moyenne d'âge est de 24 ans. Ils étaient tous naïfs quant aux objectifs de l'expérience et avaient une vision normale ou corrigée. Il n'y a pas eu de sélection faite quant au sexe ou la dominance manuelle des participants. Les participants ont reçu une compensation financière de 16\$ pour leur participation.

Matériel, stimuli et procédure

Le matériel est le même que celui utilisé à l'expérience 1. Les stimuli sont également les mêmes que ceux utilisés à l'expérience 1, sauf que leur surface est gris mat plutôt que de posséder un gradient de texture. De plus, deux images de chaque objet au même point de vue ont été créées. Ces images ont été fusionnées pour produire des anaglyphes rouge/cyan de disparité binoculaire nulle qui ont servi de stimuli. Cela entraînera une vision 2D des stimuli malgré le port de lunettes anaglyphiques. Cela permet d'éviter qu'il y ait des différences entre les deux expériences en lien avec le port des lunettes. La figure 18 compare les stimuli des expériences 1 et 3. La procédure est la même que pour les deux expériences précédentes.

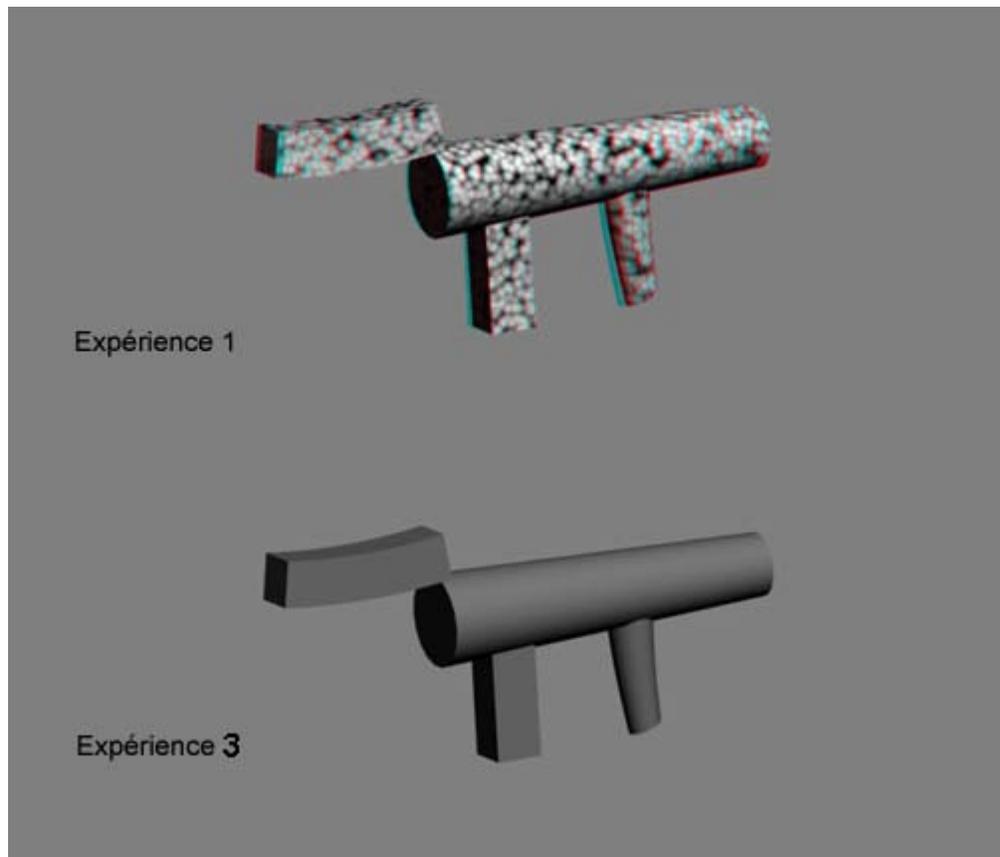


Figure 18. Comparaison des stimuli des expériences 1 et 3

Résultats

Analyses préliminaires

D'abord, un résumé des analyses effectuées est présent dans le tableau 1. Avant de commencer les analyses, le taux d'erreurs total et les scores extrêmes ont été vérifiés. En tout, 506 essais (2,92%) ont été éliminés car ils présentaient des temps de réponse extrêmes (à plus ou moins 2,75 écarts-type de la moyenne des temps de réponse pour leur condition chez le participant.) De plus, 593 erreurs ont été faites (3,43%). Ces essais ont été éliminés de l'analyse des temps de réponse. Ensuite une corrélation entre les temps de réponse et les taux d'erreurs a été effectuée afin de s'assurer qu'il n'y a pas de compromis entre la vitesse

et la justesse des réponses. La corrélation est positive, $r = 0,65$, $p < 0,001$, ce qui signifie que les effets vont dans la même direction pour les deux variables dépendantes et qu'il n'y a pas de compromis entre la vitesse et la justesse des réponses.

Plan des analyses principales

Les analyses statistiques effectuées sur les données de l'expérience 3 sont les mêmes que celles appliquées pour l'expérience 1. Des analyses additionnelles ont par la suite été effectuées dans le but de comparer les expériences 1 et 3 afin de vérifier l'impact de la quantité d'information de profondeur sur les effets mesurés. Les mêmes analyses seront effectuées pour comparer les résultats des expériences 2 et 3.

Analyses descriptives des temps de réponse, rotations 3D

L'analyse examinant l'effet des rotations 3D sur les temps de réponse (les moyennes sont illustrées à la figure 19) démontre des effets principaux du type de différence de configuration, $F(2, 22) = 8,31$, $p < 0,001$, et d'orientation, $F(3, 33) = 17,44$, $p < 0,001$. Les temps de réponse sont les plus bas lorsqu'il y a des différences catégorielles de configuration ($M = 865,11$ ms, $ET = 41,17$ ms), puis lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties ($M = 967,95$ ms, $ET = 52,08$ ms), des différences du rôle des parties uniquement ($M = 990,05$ ms, $ET = 51,05$ ms), et finalement uniquement des différences métriques de configuration ($M = 1264,26$ ms, $ET = 145,43$ ms). Les temps de réponse augmentent avec la distance angulaire entre les stimuli. L'interaction entre ces facteurs est également significative, $F(6, 66) = 5,30$, $p < 0,001$. L'analyse des effets simples démontre un effet significatif d'orientation lorsqu'il y avait des différences

catégorielles de configuration, $F(2, 22) = 6,25, p < 0,01$, des différences métriques de configuration, $F(2, 22) = 9,92, p < 0,005$, des différences métriques et du rôle des parties, $F(2, 22) = 4,76, p < 0,025$, et des différences du rôle des parties uniquement, $F(2, 22) = 5,74, p < 0,025$. Un examen de la figure 19 suggère que l'interaction rotation x type est attribuable à une variation de l'effet de rotation en fonction du type de partage de configuration. Le tableau 22, qui présente la pente des temps de réponse en fonction de l'orientation, confirme cette impression.

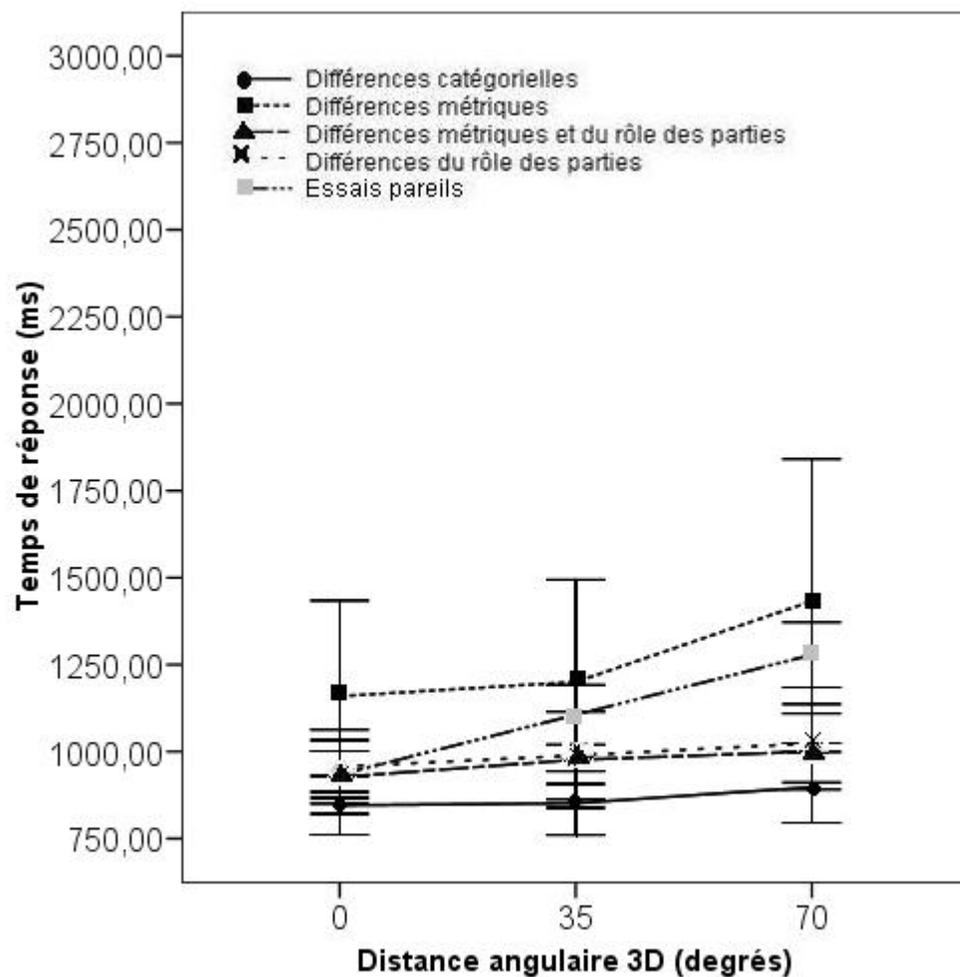


Figure 19. Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 3D, expérience 3

Tableau 22. Pentes des temps de réponse en fonction des changements d'orientation 3D à l'expérience 3

Type de différence de configuration	Ordonnée à l'origine (ms)	Pente (ms/degré)	R carré
Différences Catégorielles	839,13	0,74	0,84
Différences métriques	1127,63	3,90	0,86
Différences métriques et du rôle des parties	931,30	1,05	0,96
Différences du rôle des parties	956,40	0,96	1,00
Essais pareils	934,22	4,91	0,99

Analyses principales des temps de réponse, rotations 3D

Le tableau 23 présente les résultats des analyses visant à vérifier les hypothèses. Les analyses démontrent toutes des effets de différences de configuration, sauf celle qui contraste les conditions «différences métriques» et «différences du rôle des parties et avec des différences du rôle des parties». La comparaison «différences métriques vs différences métriques et du rôle des parties» démontre une interaction type x orientation. Celle-ci est liée à une variation de l'amplitude de l'effet de rotation 3D selon le type de différence examinée (voir la figure 19.)

Tableau 23. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientations 3D de l'expérience 3

Comparaison	Type	Type X Orientation
1. Catégorielle vs Rôle	F= 10,68 ⁺	F= 0,38
2 Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 8,65 ⁺	F= 0,94
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 7,60*	F = 6,20 ⁺
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 2,82	F = 0,16

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01. Pour chaque comparaison, démontrant un effet significatif, le nom de la condition avec les temps de réponse les plus élevés est en gras et le nom de la condition avec l'effet de rotation le plus important est souligné.

Analyse des temps de réponse aux essais pareils, rotations 3D

Il y a un effet significatif de rotation 3D sur les temps de réponse aux essais pareils, $F(2, 22) = 58,35, p < 0,05$. Ainsi, les temps de réponse augmentent avec la distance angulaire entre les objets (les moyennes sont illustrées à la figure 19.)

Analyses descriptives des taux d'erreurs, rotations 3D

L'analyse examinant l'effet des rotations 3D sur les taux d'erreurs (les moyennes sont illustrées à la figure 20) démontre des effets principaux du type de différence de configuration, $F(2, 22) = 35,70, p < 0,001$ et un effet significatif d'orientation $F(2, 22) = 7,79, p < 0,005$. Les taux d'erreurs sont les plus bas lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties ($M = 0,005, ET = 0,002$), puis lorsqu'il y a des différences dans le rôle des parties uniquement ($M = 0,010, ET = 0,003$), des différences catégorielles de configuration ($M = 0,015, ET = 0,004$), et finalement uniquement des différences métriques de configuration ($M = 0,10, ET = 0,02$). Les taux d'erreurs augmentent avec l'augmentation

de la distance angulaire entre les stimuli. L'interaction entre ces facteurs est également significative, $F(6, 66) = 4,87, p < 0,001$. L'analyse des effets simples démontre qu'il y a un effet significatif d'orientation lorsqu'il y a des différences métriques de configuration, $F(2, 22) = 7,08, p < 0,005$. Il n'y a toutefois pas d'effet significatif d'orientation lorsqu'il y a des différences catégorielles de configuration, $F(2, 22) = 0,42, ns$, des différences métriques et du rôle des parties, $F(2, 22) = 0,73, ns$, et des différences du rôle des parties uniquement, $F(2, 22) = 0,55, ns$. Le tableau 24, qui indique les pentes des taux d'erreurs en fonction de l'orientation, rapporte des observations congruentes avec ces analyses d'effets simples.

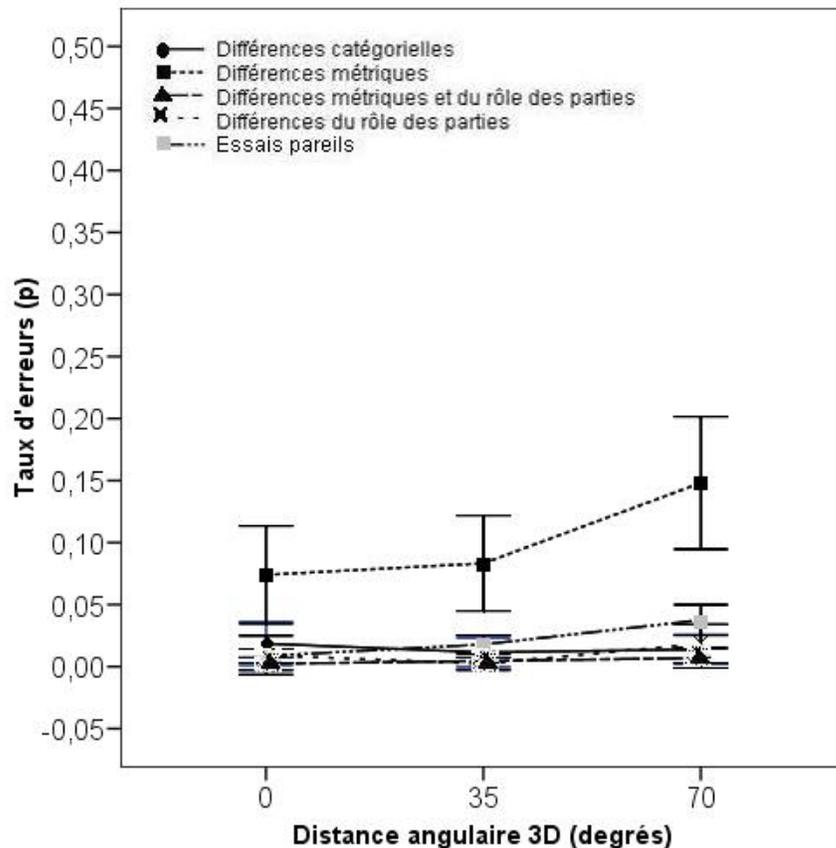


Figure 20. Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 3D, expérience 3

Tableau 24. Pentas des taux d'erreurs en fonction des changements d'orientation 3D à l'expérience 3

Type de différence de configuration	Ordonnée à l'origine (p)	Pente (p/degré)	R carré
Différences Catégorielles	0,02	-1×10^{-4}	0,43
Différences métriques	0,06	$1,1 \times 10^{-3}$	0,84
Différences métriques et du rôle des parties	0,00	1×10^{-4}	1,00
Différences du rôle des parties	0,01	1×10^{-4}	0,32
Essais pareils	0,01	4×10^{-4}	0,96

Analyses principales des taux d'erreurs, rotations 3D

Le tableau 25 présente les résultats des analyses visant à vérifier les hypothèses. Les comparaisons « différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties » et « différences métriques vs différences métriques et du rôle des parties » démontrent des effets significatifs de différence de configuration. La comparaison « différences métriques vs différences métriques et du rôle des parties » démontre une interaction type x orientation significative. Celle-ci est liée à une variation de l'amplitude de l'effet de rotation 3D selon le type de différence examinée (voir la figure 20.)

Tableau 25. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientations 3D de l'expérience 3

Comparaison	Type	Type X Orientation
1. Catégorielle vs Rôle	F= 1,57	F= 1,10
2 Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 5,36 ⁺	F= 0,83
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 36,66 ⁺	F = 7,70 ⁺
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 2,66	F = 0,93

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01. Pour chaque comparaison, démontrant un effet significatif, le nom de la condition avec les temps de réponse les plus élevés est en gras et le nom de la condition avec l'effet de rotation le plus important est souligné.

Analyse des taux d'erreurs aux essais pareils, rotations 3D

Il y a un effet significatif de rotation 3D sur les taux d'erreurs aux essais pareils, $F(2, 22) = 74,78, p < 0,05$. Ainsi, les taux d'erreurs augmentent avec la distance angulaire entre les objets (les moyennes sont illustrées à la figure 20.)

Analyses descriptives des temps de réponse, rotations 2D

L'analyse examinant l'effet des rotations 2D sur les temps de réponse (les moyennes sont illustrées à la figure 21) démontre des effets principaux du type de différence de configuration, $F(2, 22) = 9,98, p < 0,001$, et d'orientation, $F(3, 33) = 37,44, p < 0,001$. Les temps de réponse sont les plus bas lorsqu'il y a des différences catégorielles de configuration ($M= 876,06$ ms, $ET = 39,94$ ms), puis lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties ($M= 980,83$ ms, $ET = 50,08$ ms), des différences du rôle des parties uniquement ($M= 999,29$ ms, $ET = 50,08$ ms), et finalement uniquement des différences métriques de configuration ($M= 1332,94$ ms, $ET = 150,00$ ms). Les temps de

réponse augmentent avec la distance angulaire entre les stimuli. L'interaction entre ces facteurs est également significative, $F(6, 66) = 10,62, p < 0,001$. L'analyse des effets simple démontre qu'il y a un effet significatif d'orientation lorsqu'il y a des différences catégorielles de configuration, $F(2, 22) = 8,04, p = 0,005$, des différences métriques de configuration, $F(2, 22) = 25,28, p < 0,001$, des différences métriques et du rôle des parties, $F(2, 22) = 14,75, p < 0,001$, et des différences du rôle des parties uniquement, $F(2, 22) = 9,59, p < 0,005$. Un examen de la figure 21 suggère que l'interaction rotation x type est attribuable à une variation de l'effet de rotation en fonction du type de partage de configuration. Le tableau 26, qui indique les pentes des temps de réponse en fonction de l'orientation, confirme cette impression.

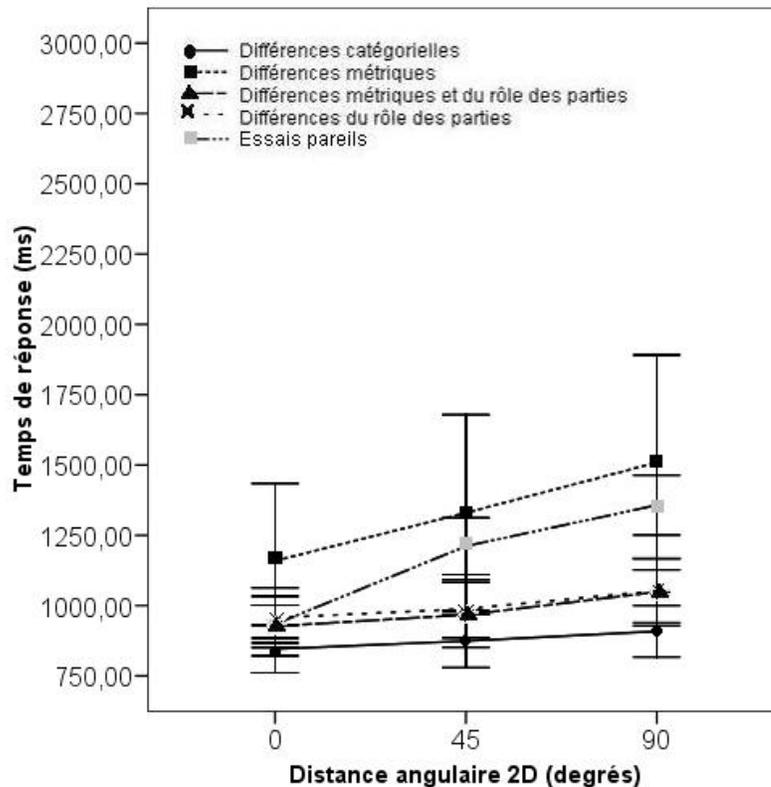


Figure 21. Temps de réponse en fonction de la distance angulaire 2D, expérience 3

Tableau 26. Pentes des temps de réponse en fonction des changements d'orientation 2D à l'expérience 3

Type de différence de configuration	Ordonnée à l'origine (ms)	Pente (ms/degré)	R carré
Différences Catégorielles	844,76	0,70	1,00
Différences métriques	1158,15	3,88	1,00
Différences métriques et du rôle des parties	920,12	1,35	0,96
Différences du rôle des parties	951,47	1,06	0,96
Essais pareils	956,18	4,70	0,97

Analyses principales des temps de réponse, rotations 2D

Le tableau 27 présente les résultats des analyses visant à vérifier les hypothèses. Les analyses démontrent toutes des effets de différences de configuration, sauf celle qui contraste les conditions «différences métriques et du rôle des parties» et «différences du rôle des parties». La comparaison «différences métriques vs différences métriques et du rôle des parties» démontrent une interaction type x orientation significative. Celle-ci est liée à une variation de l'amplitude de l'effet de rotation 2D selon le type de différence examinée (voir la figure 21.)

Tableau 27. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientations 2D de l'expérience 3

Comparaison	Type	Type X Orientation
1. Catégorielle vs Rôle	F= 11,06 ⁺	F= 0,79
2. Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 8,27 ⁺	F= 2,40
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 9,33*	F = 12,05*
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 2,65	F = 0,45

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01. Pour chaque comparaison, démontrant un effet significatif, le nom de la condition avec les temps de réponse les plus élevés est en gras et le nom de la condition avec l'effet de rotation le plus important est souligné.

Analyse des temps de réponse aux essais pareils, rotation 2D

Il y a un effet significatif de rotation 2D sur les temps de réponse aux essais pareils, $F(2, 22) = 61,60, p < 0,05$. Ainsi, les temps de réponse augmentent avec la distance angulaire entre les objets (les moyennes sont illustrées à la figure 21.)

Analyses descriptives des taux d'erreurs, rotations 2D

L'analyse examinant l'effet des rotations 2D sur les taux d'erreurs (les moyennes sont illustrées à la figure 22) démontre des effets principaux du type de différence de configuration, $F(2, 22) = 47,16, p < 0,001$, et d'orientation, $F(3, 33) = 6,63, p < 0,01$. Les taux d'erreurs sont les plus bas lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties ($M = 0,008, ET = 0,003$), puis lorsqu'il y a des différences du rôle des parties uniquement ($M = 0,011, ET = 0,004$), des différences catégorielles de configuration ($M = 0,013, ET = 0,005$), et finalement uniquement des différences métriques de configuration ($M = 0,014, ET = 0,02$). Les taux d'erreurs n'augmentent pas avec l'augmentation des taux d'erreurs.

L'interaction entre ces facteurs est également significative, $F(6, 66) = 7,90, p < 0,001$.

L'analyse des effets simples démontre un effet significatif d'orientation lorsqu'il y avait des différences métriques de configuration, $F(2, 22) = 9,17, p < 0,005$. Il n'y avait toutefois pas d'effet d'orientation lorsqu'il y avait des différences catégorielles de configuration, $F(2, 22) = 0,68, ns$ des différences métriques et du rôle des parties, $F(2, 22) = 1,52, ns$, et des différences du rôle des parties uniquement, $F(2, 22) = 1,30, ns$. Le tableau 28 présente les pentes des taux d'erreurs en fonction de l'orientation et rapporte des observations congruentes avec l'analyse des effets simples d'orientation.

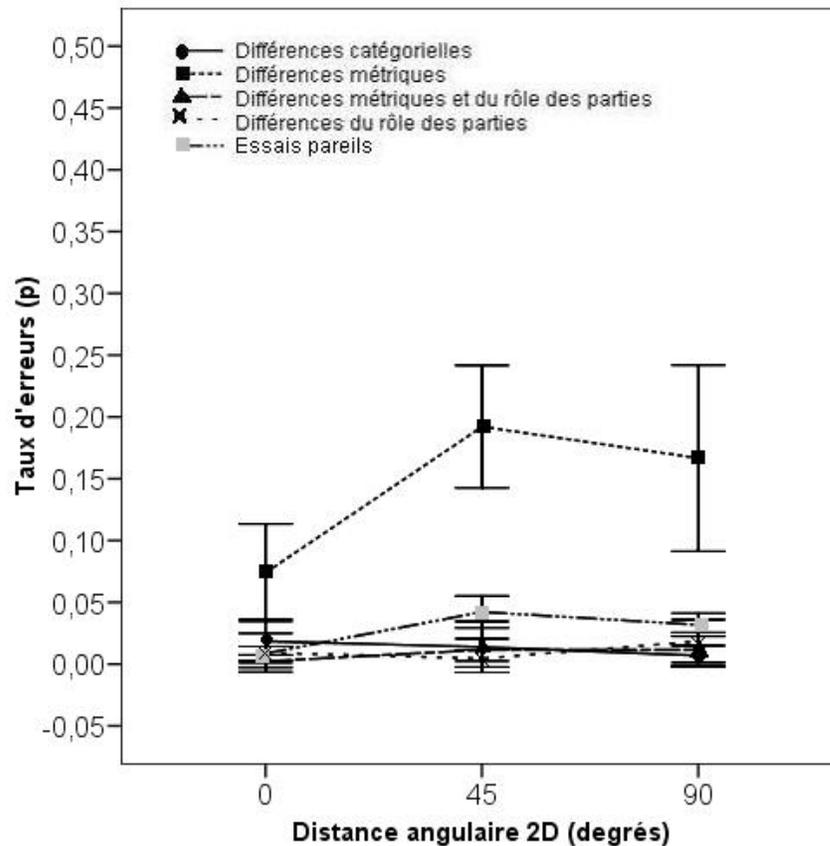


Figure 22. Taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 2D, expérience 3

Tableau 28. Pentas des taux d'erreurs en fonction des changements d'orientation 2D à l'expérience 3

Type de différence de configuration	Ordonnée à l'origine (p)	Pente (p/degré)	R carré
Différences Catégorielles	0,02	-1 x 10 ⁻⁴	0,99
Différences métriques	0,10	1 x 10 ⁻³	0,56
Différences métriques et du rôle des parties	0,00	1 x 10 ⁻⁴	0,75
Différences du rôle des parties	0,01	1 x 10 ⁻⁴	0,43
Essais pareils	0,02	3 x 10 ⁻⁴	0,47

Analyses principales des taux d'erreurs, rotations 2D

Le tableau 29 présente les résultats des analyses visant à vérifier les hypothèses. La comparaison «différences métriques vs différences métriques et du rôle des parties» démontre un effet significatif du type de différence de configuration, et une interaction type x orientation significative. Celle-ci est liée à une variation de l'amplitude de l'effet de rotation 2D selon le type de différence examinée (voir la figure 22.)

Tableau 29. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientations 2D de l'expérience 3

Comparaison	Type	Type X Orientation
1. Catégorielle vs Rôle	F= 0,45	F= 1,23
2 Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 1,14	F= 1,62
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 56,04 ⁺	F = 7,70 ⁺
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 0,29	F = 1,27

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01. Pour chaque comparaison, démontrant un effet significatif, le nom de la condition avec les temps de réponse les plus élevés est en gras et le nom de la condition avec l'effet de rotation le plus important est souligné.

Analyse des taux d'erreurs aux essais pareils, rotations 2D

Il y a un effet significatif de rotation 2D sur les taux d'erreurs aux essais pareils, $F(2, 22) = 22,72, p < 0,05$. Ainsi, les taux d'erreurs augmentent avec la distance angulaire entre les objets (les moyennes sont illustrées à la figure 22.)

Comparaison des temps de réponse entre les expériences 1 et 3, rotations 3D

Le tableau 30 présente les résultats des analyses visant à déterminer l'impact de l'information de profondeur sur les différents codes examinés en comparant les expériences 1 et 3. La comparaison «différences métriques et du rôle des parties vs différences du rôle des parties» démontrent une interaction type x profondeur significative. Celle-ci est sans doute liée au fait qu'à l'expérience 1, il y avait une différence significative entre les conditions «différences métriques et du rôle des parties» et «différences du rôle des parties», alors qu'à l'expérience 3, il n'y a pas de différence entre ces conditions. La comparaison «différences catégorielles vs différences du rôle des parties» démontre une interaction type x orientation x profondeur significative. Celle-ci est attribuable à une modulation de l'amplitude de l'effet de rotation 3D en fonction du type de différence de configuration qui est plus marquée à l'expérience 1 qu'à l'expérience 3 (voir figure 23.) Toutefois, il faut noter que les temps de réponse de la condition «différences du rôle des parties» semblent plus bas à l'expérience 3 ($M = 990,05$ ms $ET = 178,57$ ms) qu'à l'expérience 1 ($M = 1058,45$ ms, $ET = 28,97$ ms).

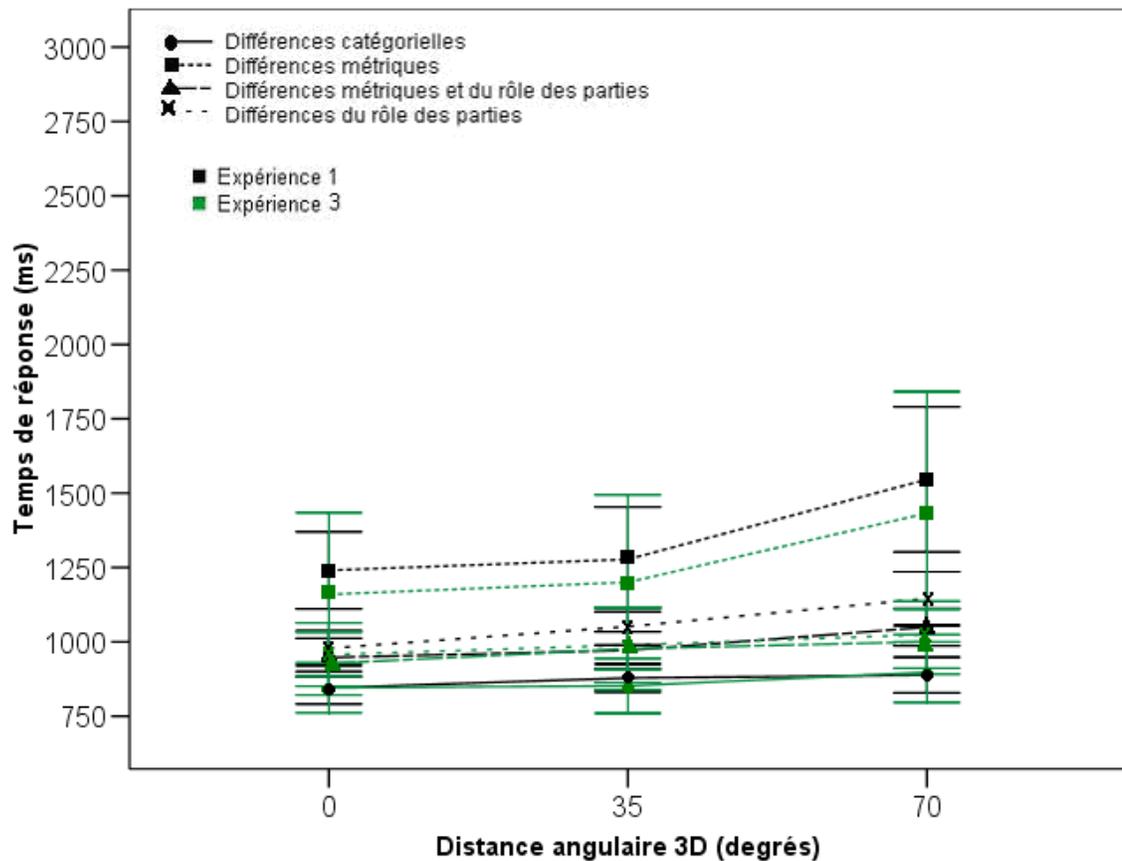


Figure 23. Comparaison des temps de réponse en fonction de la distance angulaire 3D des expériences 1 et 3

Tableau 30. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientations 3D, expérience 1 vs expérience 3

Comparaison	Type X profondeur	Type X Orientation X profondeur
1. Catégorielle vs Rôle	F= 1,99	F= 3,80*
2 Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 1,49	F= 2,73
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 0,29	F = 0,04
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 7,42*	F = 1,72

* indiquent un p inférieur à 0,05 et + indiquent un p inférieur à 0,01.

Comparaison des taux d'erreurs entre les expériences 1 et 3, rotations 3D

Le tableau 31 présente les résultats des analyses visant à déterminer l'impact de l'information de profondeur sur les différents codes examinés en comparant les expériences 1 et 3. La comparaison «différences catégorielles de configuration vs différences métriques et du rôle des parties» démontre une interaction type x profondeur significative. Celle-ci est sans doute liée au fait qu'à l'expérience 1, les taux d'erreurs sont les plus hauts dans la condition «différence métriques et du rôle des parties» alors que dans l'expérience 3, ils sont plus hauts dans la condition «différences catégorielles.» Toutefois, dans les deux expériences, les différences entre ces conditions semblent bien faibles (voir figure 24).

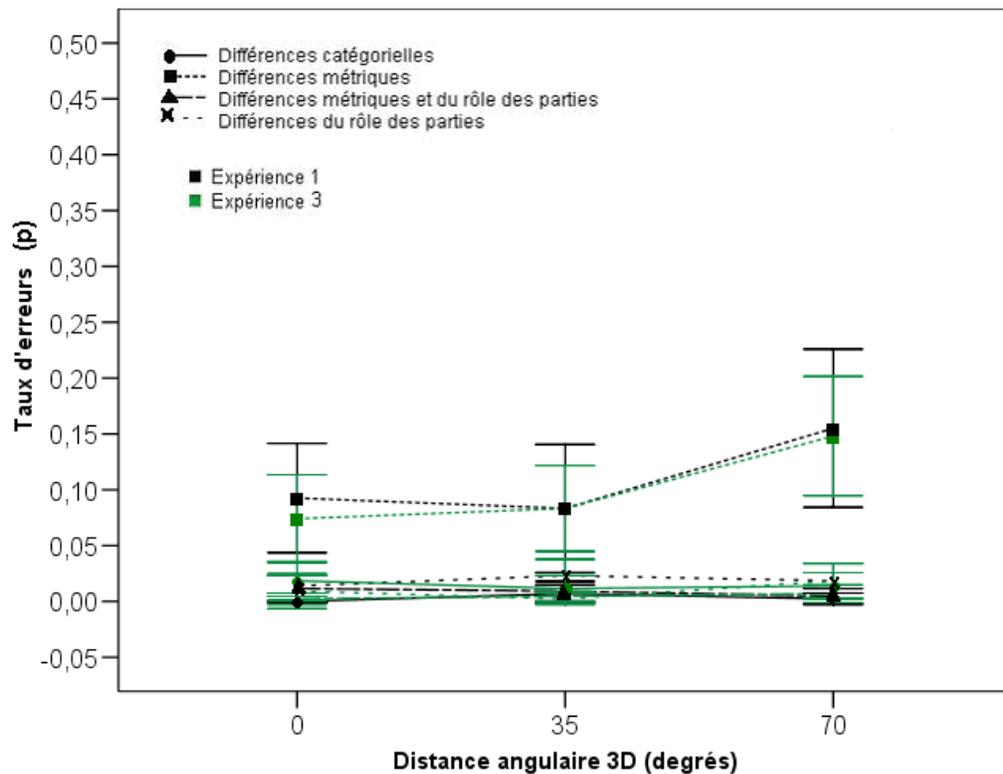


Figure 24. Comparaison des taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 3D des expériences 1

et 3

Tableau 31. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientations 3D, expérience 1 vs expérience 3

Comparaison	Type X profondeur	Type X Orientation X profondeur
1. Catégorielle vs Rôle	F= 0,96	F= 2,53
2 Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 9,20 ⁺	F= 0,50
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 0,03	F = 0,13
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 0,69	F = 1,04

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01.

Comparaison des temps de réponse entre les expériences 1 et 2, rotations 2D

Le tableau 32 présente les résultats des analyses visant à déterminer l'impact de l'information de profondeur sur les différents codes examinés en comparant les expériences 1 et 3. La comparaison «différences catégorielles vs différences du rôle des parties» démontre une interaction type x profondeur significative. Il semble que celle-ci soit liée au fait que la différence entre les deux conditions de différence de configuration est plus grande à l'expérience 1 qu'à l'expérience 3. Cette comparaison montre aussi une interaction type x orientation x profondeur significative. Celle-ci est attribuable à une modulation de l'amplitude de l'effet de rotation 2D en fonction du type de différence de configuration qui est plus marquée à l'expérience 1 qu'à l'expérience 3 (voir figure 25.) En effet, l'écart entre les conditions «différences catégorielles» et «différences du rôle des parties» semble augmenter beaucoup plus avec l'augmentation de la distance angulaire à l'expérience 1 relativement à l'expérience 3. Toutefois, il faut noter que les temps de

réponse de la condition «différences du rôle des parties» semblent plus bas à l'expérience 3 ($M=999,30$ ms $ET=169,62$) qu'à l'expérience 1 ($M=1090,83$ ms, $ET=34,02$). La comparaison «différences métriques et du rôle des parties vs différences du rôle des parties» démontrent une interaction type x profondeur significative. Celle-ci est sans doute liée au fait qu'à l'expérience 1, il y avait une différence significative entre les conditions «différences métriques et du rôle des parties» et «différences du rôle des parties», alors qu'à l'expérience 3, il n'y a pas de différence entre ces conditions.

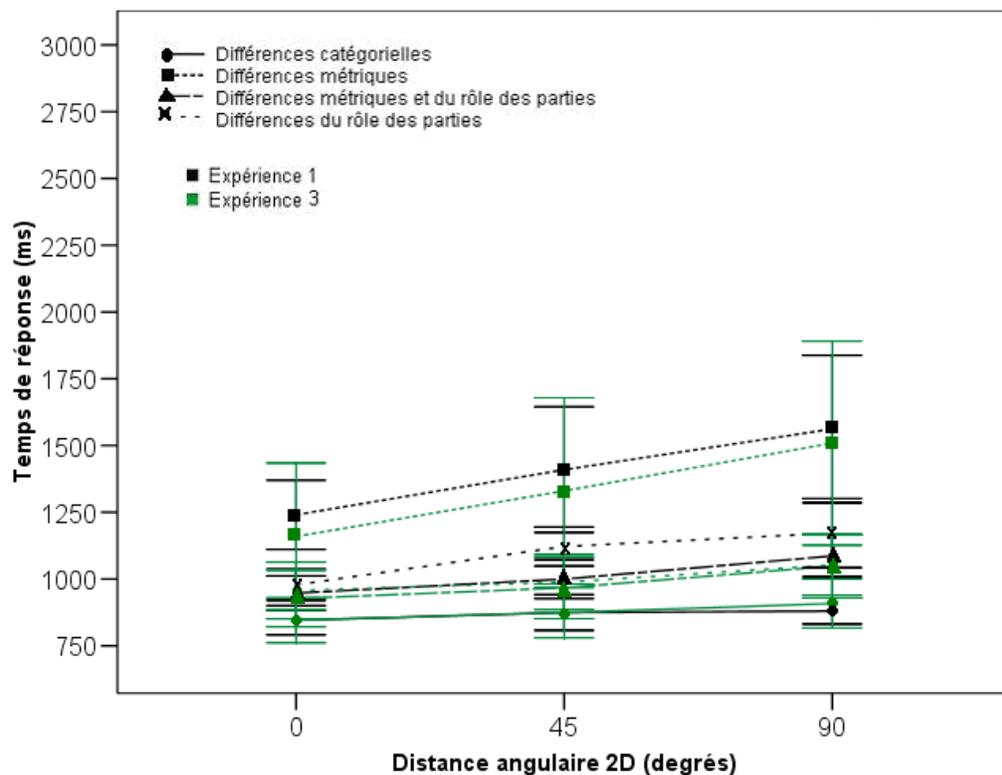


Figure 25. Comparaison de temps de réponse en fonction de la distance angulaire 2D des expériences

Tableau 32. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientations 2D, expérience 1 vs expérience 3

Comparaison	Type X profondeur	Type X Orientation X profondeur
1. Catégorielle vs Rôle	F= 4,47*	F= 3,33*
2 Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 0,74	F= 0,87
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 0,08	F = 0,16
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 9,69 ⁺	F = 2,38

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01.

Comparaison des taux d'erreurs entre les expériences 1 et 2, rotations 2D

Le tableau 33 présente les résultats des analyses visant à déterminer l'impact de l'information de profondeur sur les différents codes examinés en comparant les expériences 1 et 3 (voir la comparaison des taux d'erreurs à la figure 26). La comparaison «différences catégorielles de configuration vs du rôle des parties» démontre une interaction type x profondeur significative. Toutefois, il n'y avait pas d'effet significatif du type de différence de configuration entre ces deux conditions aux expériences 1 et 3. Cette interaction est sans doute liée à une inversion du signe de la différence non-significative entre les deux conditions. La comparaison «différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties» montre une interaction type x orientation x profondeur. Celle-ci est sans doute aussi liée à l'inversion de la différence non-significative entre les deux conditions aux différents degrés de rotation. Ces deux dernières interactions n'apportent probablement pas d'information très pertinente à la vérification des hypothèses.

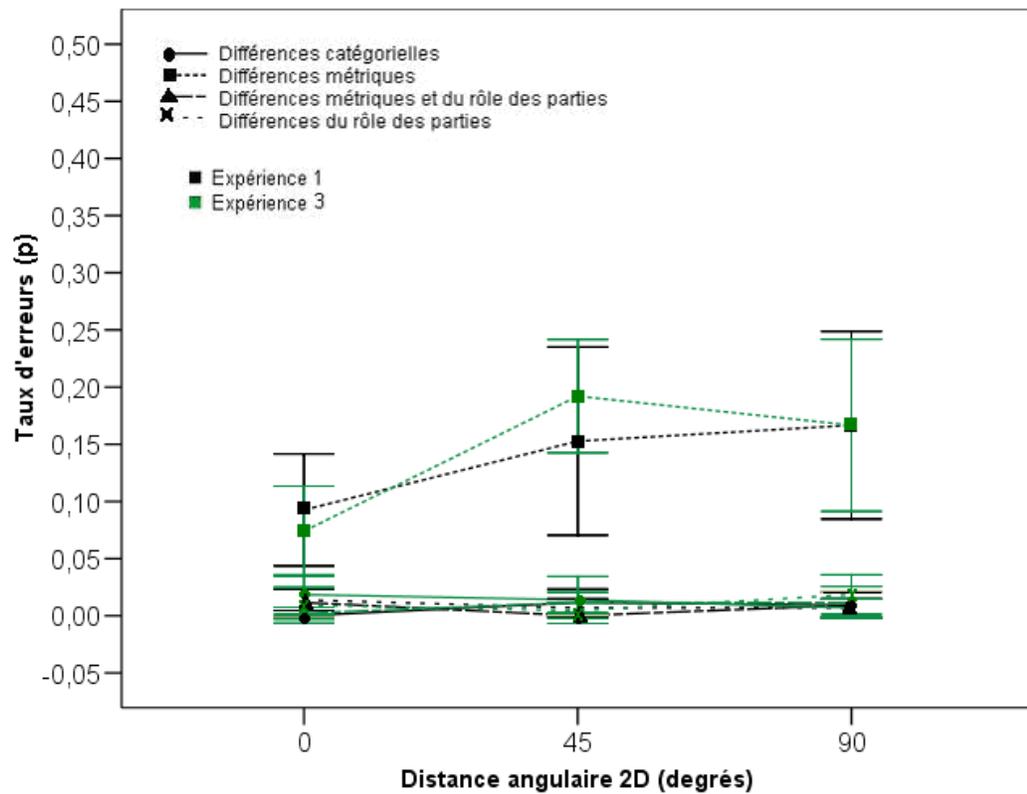


Figure 26. Comparaison des taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 2D des expériences 1 et 3

Tableau 33. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientations 2D, expérience 1 vs expérience 3

Comparaison	Type X profondeur	Type X Orientation X profondeur
1. Catégorielle vs Rôle	F= 14,19 ⁺	F= 0,54
2. Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 0,58	F= 4,06*
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 0,03	F = 0,13
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 0,00	F = 2,14

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01.

Comparaison des temps de réponse entre les expériences 2 et 3, rotations 3D

Le tableau 34 présente les résultats des analyses visant à déterminer l'impact de l'information de profondeur sur les différents codes examinés en comparant les expériences 2 et 3. Les comparaisons «différences catégorielles vs différences du rôle des parties» et «différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties» démontrent une interaction type x profondeur significative. Celles-ci sont sans doute liées au fait que les différences entre les conditions de différence de configuration sont plus grandes à l'expérience 2 qu'à l'expérience 3. La comparaison «différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties» démontre une interaction type x orientation x profondeur significative. Celle-ci est attribuable à une modulation de l'amplitude de l'effet de rotation 3D en fonction du type de différence de configuration qui est plus marquée à l'expérience 2 qu'à l'expérience 3 (voir figure 27.)

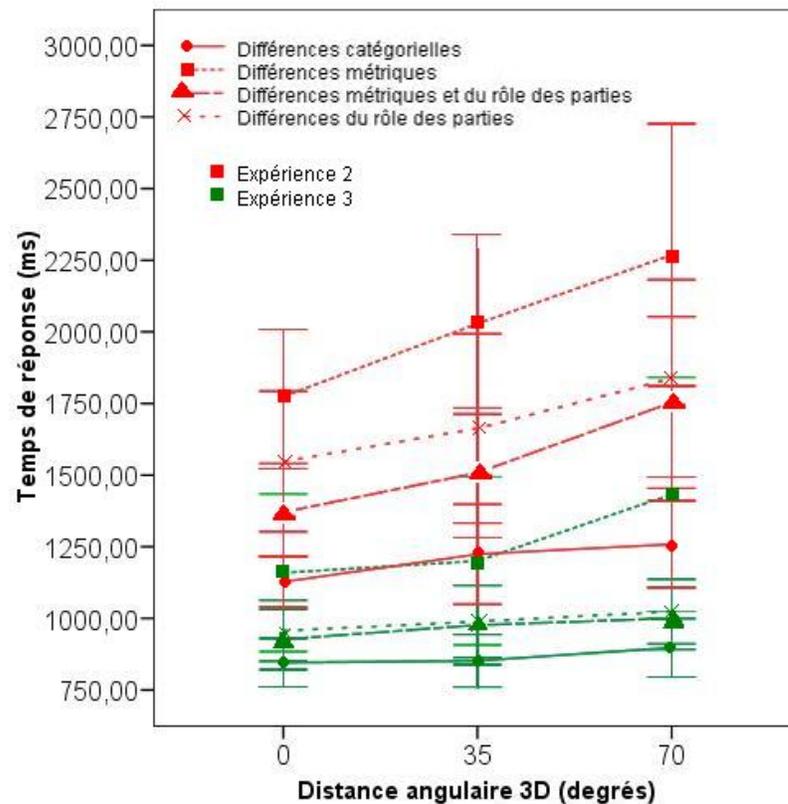


Figure 27. Comparaison des temps de réponse en fonction de la distance angulaire 3D des expériences 2 et 3

Tableau 34. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientations 3D, expérience 1 vs expérience 3

Comparaison	Type X profondeur	Type X Orientation X profondeur
1. Catégorielle vs Rôle	F= 12,36 ⁺	F= 2,46
2. Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 10,47 ⁺	F= 6,117 ⁺
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 3,27	F = 0,69
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 1,01	F = 1,22

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01.

Comparaison des taux d'erreurs entre les expériences 2 et 3, rotations 3D

Le tableau 35 présente les résultats des analyses visant à déterminer l'impact de l'information de profondeur sur les différents codes examinés en comparant les expériences 2 et 3. Les comparaisons «différences catégorielles vs différences du rôle des parties», «différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties» et «différences métriques vs différences métriques et du rôle des parties» démontrent une interaction type x profondeur significative. Celles-ci sont sans doute liées au fait que les différences entre les conditions de différence de configuration sont plus grandes à l'expérience 2 qu'à l'expérience 3. Les comparaisons «différences catégorielles vs différences du rôle des parties» et «différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties» démontrent une interaction type x orientation x profondeur significative. Celles-ci sont attribuables à une modulation de l'amplitude de l'effet de rotation 3D en fonction du type de différence de configuration qui est plus marquée à l'expérience 2 qu'à l'expérience 3 (voir figure 28.)

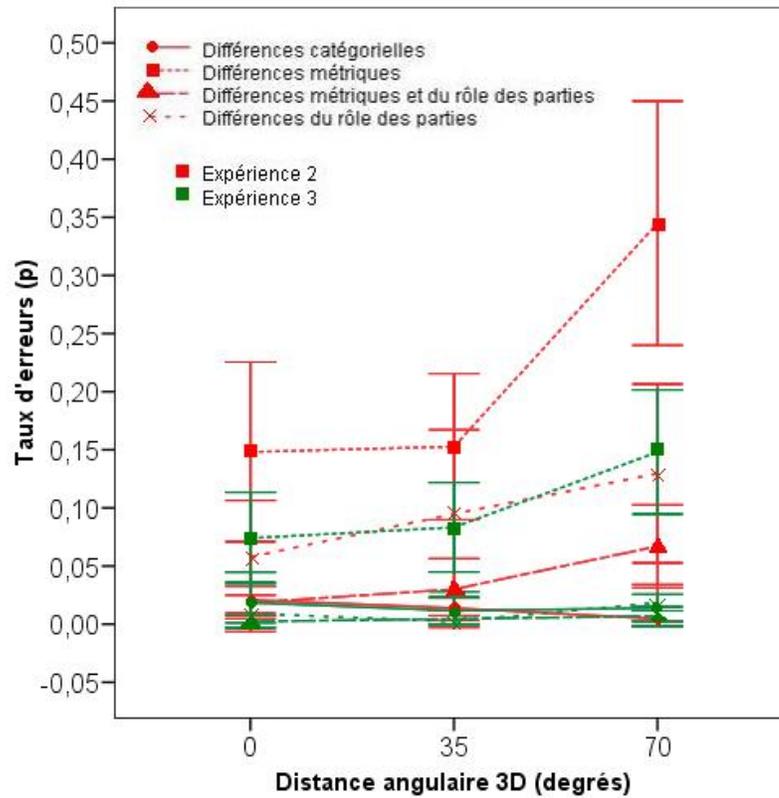


Figure 28. Comparaison des taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 3D des expériences 2 et 3

Tableau 35. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientations 3D, expérience 2 vs expérience 3

Comparaison	Type X profondeur	Type X Orientation X profondeur
1. Catégorielle vs Rôle	F= 10,39 ⁺	F= 4,35*
2. Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 20,82 ⁺	F= 5,57 ⁺
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 6,01*	F = 2,13
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 0,023	F = 0,023

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01.

Comparaison des temps de réponse entre les expériences 2 et 3, rotations 2D

Le tableau 36 présente les résultats des analyses visant à déterminer l'impact de l'information de profondeur sur les différents codes examinés en comparant les expériences 2 et 3. Les comparaisons «différences catégorielles vs différences du rôle des parties» et «différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties» démontrent une interaction type x profondeur significative. Celles-ci sont sans doute liées au fait que les différences entre les conditions de différence de configuration sont plus grandes à l'expérience 2 qu'à l'expérience 3. De plus, la comparaison «différences métriques et du rôle des parties vs différences du rôle des parties» montre une interaction type x profondeur significative. Cette interaction est liée au fait qu'à l'expérience 2, il y a une différence significative entre ces deux conditions de différence de configuration alors qu'à l'expérience 3, cette différence disparaît. La comparaison «différences catégorielles vs différences du rôle des parties» démontre une interaction type x orientation x profondeur significative. Celle-ci est attribuable à une modulation de l'amplitude de l'effet de rotation 2D en fonction du type de différence de configuration qui est plus marquée à l'expérience 2 qu'à l'expérience 3 (voir figure 29.)

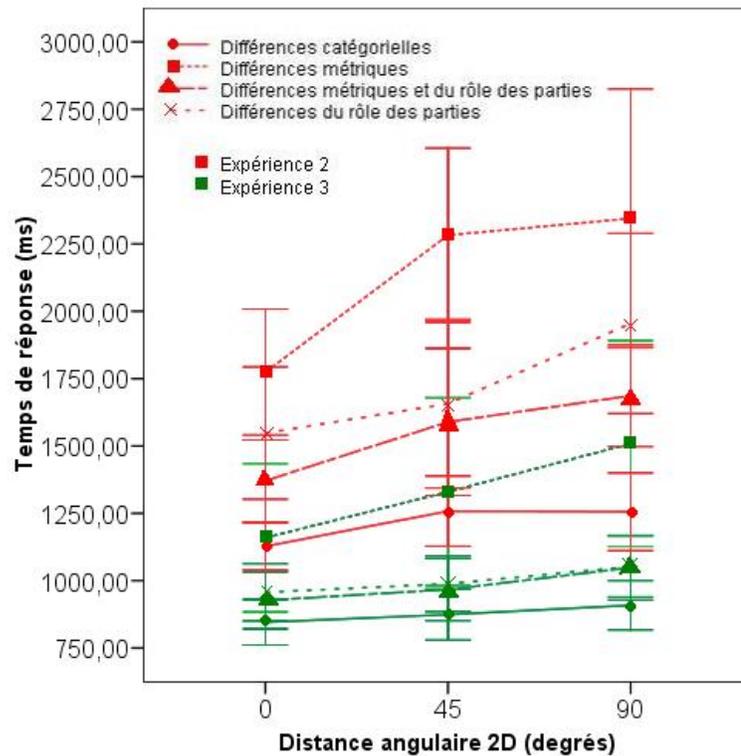


Figure 29. Comparaison de temps de réponse en fonction de la distance angulaire 2D des expériences

2 et 3

Tableau 36. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les temps de réponse aux différentes orientations 2D, expérience 2 vs expérience 3

Comparaison	Type X profondeur	Type X Orientation X profondeur
1. Catégorielle vs Rôle	F= 10,05 ⁺	F= 3,95*
2 Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 4,41*	F= 0,39
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 1,32	F = 0,26
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 7,92*	F = 3,85

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01.

Comparaison des taux d'erreurs entre les expériences 2 et 3, rotations 2D

Le tableau 37 présente les résultats des analyses visant à déterminer l'impact de l'information de profondeur sur les différents codes examinés en comparant les expériences 2 et 3. Les comparaisons «différences catégorielles vs différences du rôle des parties», «différences catégorielles vs différences métriques et du rôle des parties» et «différences métriques et du rôle des parties vs différences du rôle des parties» démontrent une interaction type x profondeur significative. Celles-ci sont sans doute liées au fait que les différences entre les conditions de différence de configuration sont plus grandes à l'expérience 2 qu'à l'expérience 3. De plus, la comparaison «différences métriques et du rôle des parties vs différences du rôle des parties» montre une interaction type x profondeur significative. Cette interaction est liée au fait qu'à l'expérience 2, il y a une différence significative entre ces deux conditions de différence de configuration alors qu'à l'expérience 3, cette différence disparaît. Les comparaisons «différences catégorielles vs différences du rôle des parties» et «différences métriques et du rôle des parties vs différences du rôle des parties» démontrent une interaction type x orientation x profondeur significative. Celle-ci est attribuable à une modulation de l'amplitude de l'effet de rotation 2D en fonction du type de différence de configuration qui est plus marquée à l'expérience 2 qu'à l'expérience 3 (voir figure 30.)

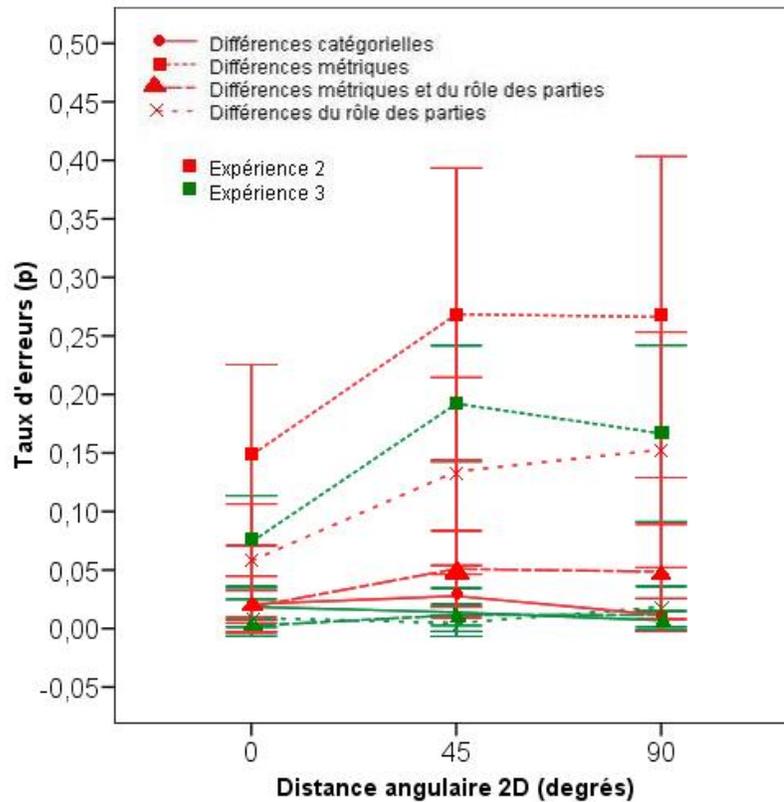


Figure 30. Comparaison des taux d'erreurs en fonction de la distance angulaire 2D des expériences 2 et 3

Tableau 37. Résultats des différentes comparaisons effectuées, pour les taux d'erreurs aux différentes orientations 2D, expérience 2 vs expérience 3

Comparaison	Type X profondeur	Type X Orientation X profondeur
1. Catégorielle vs Rôle	F= 10,04 ⁺	F= 3,95*
2. Catégorielle vs Métrique et rôle	F= 4,41*	F= 0,39
3. Métrique vs Métrique et rôle	F= 1,32	F = 0,15
4. Métrique et rôle vs Rôle	F= 7,01*	F = 3,85*

* indiquent un p inférieur à 0,05 et ⁺ indiquent un p inférieur à 0,01.

Discussion

Le but de la troisième expérience était de déterminer s'il est possible de répliquer les résultats de l'expérience 1 en augmentant la difficulté de la tâche sans toutefois affecter la disponibilité des informations véhiculées par les hautes fréquences spatiales et de déterminer si les différents codes évalués étaient modulés par la quantité d'information de profondeur disponible lors de la discrimination de formes complexes.

Les résultats de l'expérience 3 démontrent des effets de rotation 3D ou 2D sur les temps de réponse et les taux d'erreurs qui sont congruents avec ceux rapportés à l'expérience 1. Une exception concerne les temps de réponse de la condition «différences catégorielles» qui sont affectés par les rotations 3D à l'expérience 3, comme à l'expérience 2. En bref, les temps de réponse montrent que la tâche de discrimination entraînait des dépendances aux orientations 3D et 2D.

Les résultats sont congruents avec la contribution des codes catégoriel et pertinent au rôle des parties dans les discriminations d'objets complexes, ainsi qu'avec la différence de sensibilité aux différences catégorielles de configuration et aux différences métriques, tel qu'observé à l'expérience 1. Toutefois, les résultats de l'expérience 3 montrent que le code métrique n'a pas contribué aux discriminations. En effet, peu importe l'orientation 2D ou 3D, les temps de réponse et les taux d'erreurs sont toujours plus hauts dans la condition «différences du rôle des parties» que dans la condition «différences catégorielles», dans la condition «différences métriques et du rôle des parties» que dans la condition «différences catégorielles» et dans la condition «différences métriques» que dans la condition «différences métriques et du rôle des parties». Toutefois, peu importe les orientations 2D

ou 3D, il n'y a pas de différences entre les conditions «différences du rôle des parties» et «différences métriques et du rôle des parties».

Les expériences 2 et 3 ont montré qu'il y avait une dépendance à l'orientation 3D lorsque les stimuli présentent des différences catégorielles de configuration, contrairement à ce qui avait été montré à l'expérience 1. L'invariance à l'orientation 3D obtenue à l'expérience 1 était donc causée par un effet de plafond lié au faible niveau de difficulté de la tâche.

La comparaison des expériences 2 et 3 montre que la différence d'amplitude des effets de rotation 3D et 2D en fonction du type de différence de configuration sont souvent plus grandes à l'expérience 2 qu'à l'expérience 3. Ceci est sans doute lié au fait que le niveau de difficulté à l'expérience 2 était plus grand qu'à l'expérience 3.

Un dernier point très important est que la comparaison des expériences 1 et 3 montrent que le code métrique ne contribue plus aux discriminations d'objets complexes à l'expérience 3. Aussi, on constate, lorsqu'il y a des rotations 2D, que la différence entre les conditions «différences métriques et du rôle des parties» et «différences du rôle des parties» est inexistante à l'expérience 3 alors que cette différence était bien présente à l'expérience 2. Bien que le contraste des stimuli ait été réduit à l'expérience 2, ceux-ci étaient présentés stéréoscopiquement et conservaient leur gradient de texture, contrairement aux stimuli de l'expérience 3. Le code métrique est donc modulé par la quantité d'information de profondeur présente dans les stimuli. Ce code est le seul évalué dans cette étude qui est sensible à la richesse de l'information de profondeur. Il est possible que l'information de profondeur permette de mieux localiser les parties sur l'objet et que. La

sensibilité à la localisation devenant ainsi plus grande, les changements métriques deviendraient plus faciles à détecter.

Discussion Générale

Trois expériences ont été effectuées pour étudier les codes pertinents à la représentation de l'organisation des formes complexes et contribuant aux discriminations d'objets complexes ainsi que pour étudier l'impact des rotations 3D et 2D sur ces discriminations. L'autre but était de vérifier si ces codes sont modulés par la quantité d'information de profondeur présente dans les stimuli. Les expériences suggèrent qu'un code catégoriel et qu'un code pertinent aux rôles des parties contribuent aux discriminations d'objets complexes, peu importe le niveau de contraste et la quantité d'information de profondeur. De plus, la sensibilité aux différences catégorielles de configuration est plus grande que la sensibilité aux différences métriques de configuration peu importe le niveau de difficulté de la tâche et la quantité d'information de profondeur offerte par les stimuli. Toutefois, il faut noter que les différences métriques des stimuli des ces trois expériences ne correspondent pas à toutes les différences métriques possibles. Par conséquent il n'est pas possible d'avancer une conclusion définitive à l'effet d'une plus grande sensibilité aux différences catégorielles que métriques. Un code métrique semble aussi pouvoir contribuer aux discriminations d'objets complexes. Toutefois, ce code cesse de contribuer aux discriminations lorsque l'information de profondeur est réduite.

Applications théoriques

Bien que ce ne soit pas explicitement souligné par Biederman (1987) et Hummel et Biederman (1992), leur théorie implique que les objets ayant la même configuration spatiale, même si les rôles des parties sont différents, sont plus difficiles à discriminer que

ceux qui n'ont pas la même configuration, car les mêmes termes de relation, même s'ils ne sont pas liés aux mêmes parties, sont activés. Un code catégoriel devrait donc contribuer aux discriminations d'objets complexes. Ensuite, cette théorie propose que les objets qui présentent uniquement des différences métriques soient plus difficiles à discriminer que ceux qui présentent des différences métriques et du rôle des parties, car la modification du rôle des parties change la description structurale, alors que les changements métriques ne l'affectent pas. Un code pertinent aux rôles des parties devrait donc contribuer aux discriminations d'objets complexes. De plus, la théorie de RPC et le modèle de Hummel et Biederman supposent qu'il ne devrait pas y avoir de différence dans la discrimination de stimuli présentant des différences du rôle des parties et des différences métriques et la discrimination de stimuli présentant des différences du rôle des parties uniquement, car les différences métriques n'affectent en rien les descriptions structurales. Aucun code métrique ne devrait donc contribuer à la discrimination d'objets complexes. Par le fait même, la sensibilité aux différences catégorielles de configuration devrait être plus grande que la sensibilité aux différences métriques. Selon ces théories, l'information de profondeur provenant des contours devrait être suffisante pour construire des représentations des stimuli. Autrement dit, l'information de profondeur ne serait pas utilisée et donc la manipulation de cette information ne devrait avoir aucun impact sur les représentations.

Selon la théorie de RPC (Biederman, 1987), il ne devrait pas y avoir d'effet de rotation 3D lorsque les stimuli présentent des différences catégorielles de configurations, des différences métriques et du rôle des parties et des différences du rôle des parties, puisque ces différences sont résistantes à l'orientation 3D et qu'elles entraînent des différences dans la description structurale des objets. Toutefois, il devrait y avoir un effet

de rotation 3D lorsqu'il y a des différences métriques de configuration, puisque les propriétés métriques sont sensibles à l'orientation 3D et que ces différences entraînent des descriptions structurales identiques. Ensuite, il devrait y avoir des effets de rotation 2D peu importe le type de différences de configuration entre les objets puisque les rotations 2D affectent la description structurale des objets.

Comme pour la théorie de RPC (Biederman, 1987) et le modèle de Hummel et Biederman (1992), les théories de l'image auraient pu prédire que les stimuli présentant des différences catégorielles de configuration seraient plus faciles à discriminer que ceux qui présentent des différences du rôle des parties si la différence dans les coordonnées des traits de l'image 2D était plus grande entre les stimuli de la condition «différences catégorielles» que dans la condition «différences du rôle des parties». De plus, pour les mêmes raisons les stimuli présentant des différences métriques et du rôle des parties devraient être plus faciles à discriminer que ceux présentant des différences métriques seulement, et les stimuli présentant des différences catégorielles devraient être plus faciles à discriminer que ceux présentant des différences métriques et du rôle des parties. Toutefois, cela n'aurait dû être le cas qu'en l'absence d'une différence angulaire (i.e. rotation) entre les stimuli. En effet, contrairement à la théorie de RPC, les théories de l'image prédisent une dépendance aux orientations 2D et 3D lors de la discrimination d'objets, car des processus de normalisation sont requis pour appairer les images désorientées avec les images dans leur orientation canonique. De plus, contrairement à la théorie de RPC, les stimuli présentant des différences métriques et du rôle des parties auraient dû être plus faciles à discriminer que ceux présentant uniquement des différences du rôle des parties, car les différences métriques affectent les coordonnées des traits des vues. Toutefois, pour les raisons

mentionnées précédemment, il devrait y avoir dépendance aux orientations 2D et 3D. Finalement selon les théories de l'image, seule l'information provenant de la vue est utilisée. Donc la manipulation de l'information de l'information 3D de profondeur ne devrait avoir aucun impact sur les représentations.

Suite aux paragraphes précédents, on constate que la contribution des codes catégoriel et pertinent aux rôles des parties, ainsi que la plus grande sensibilité aux différences catégorielles de configuration qu'aux différences métriques suggérées par les expériences de ce mémoire sont congruents avec la théorie de RPC (Biederman, 1987) et le modèle de Hummel et Biederman (1992). La contribution d'un code catégoriel concorde aussi avec les résultats d'Arguin et Saumier (2004) qui avaient montré qu'une cible était plus difficile à détecter lorsque les distracteurs partageaient sa configuration spatiale. De plus, l'absence d'impact de la richesse de l'information de profondeur sur les codes catégoriel et pertinent au rôle des parties, sur la différence de sensibilité aux différences catégorielles et aux différences métriques indique que ceux-ci n'utilisent pas l'information de profondeur provenant de la stéréoscopie et du gradient de texture. L'absence d'impact de l'information de profondeur concorde avec la théorie de RPC et le modèle de Hummel et Biederman, ainsi qu'avec les théories de l'image. Toutefois, il faut noter que bien que la quantité d'information de profondeur ait diminué entre l'expérience 1 et 3, de l'ombrage avait été appliqué aux stimuli de l'expérience 3, il y avait donc plus d'information de profondeur que celle provenant uniquement des contours. Il serait donc intéressant dans des études futures de vérifier si les codes catégoriels et pertinents aux rôles des parties, la plus grande sensibilité aux différences catégorielles qu'aux différences métriques, en limitant l'information de profondeur accessible à celle provenant des contours

Contrairement à ce qu'auraient prédit les modèles de Biederman et de Hummel et Biederman, il n'y a eu d'invariance à l'orientation 3D pour aucune des conditions de différence de configuration. Cette dépendance à l'orientation 3D concorde davantage avec les théories des vues. Toutefois, bien qu'il y ait des effets de rotation 3D pour toutes les conditions de différence de configuration, ces effets varient en amplitude. Ainsi, l'effet de rotation est moins grand lorsqu'il y a des différences catégorielles que lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties, ou uniquement du rôle des parties. L'effet de rotation est donc moins grand lorsque les stimuli présentent des descriptions structurales complètement différentes, c'est-à-dire quant à la configuration spatiale et au rôle des parties, que lorsque les descriptions structurales diffèrent uniquement quant au rôle des parties. De plus les effets des rotations 3D sont moins grands lorsqu'il y a des différences métriques et du rôle des parties qu'avec des différences métriques seulement, c'est à dire lorsque les descriptions structurales ne diffèrent pas du tout. Toutefois, il n'y a pas de différences dans les effets de rotation 3D selon qu'il y ait des différences métriques et du rôle des parties ou des différences métriques seulement. Or, dans les deux cas les descriptions structurales ne diffèrent que quant au rôle des parties. Les effets de rotation sont moins grands lorsque les différences de configuration entraînent de plus grands changements dans la description structurale des objets, comme si cela entraînait une plus faible dépendance à l'orientation, ce qui pourrait constituer un appui pour les modèles de Biederman et de Hummel et Biederman. Toutefois, il demeure possible que ces différences d'amplitude d'effet de rotation soient liées aux différences quant au niveau de difficulté entre les conditions. D'ailleurs, l'amplitude des effets de rotation et la différence d'amplitude des effets de rotation selon la condition de différence de configuration ont été

augmentées avec une augmentation de la difficulté de la tâche produite par une diminution du contraste des stimuli.

À propos de ces effets de rotation, il faut prendre en compte les observations de Tjan et Legge (1998) qui ont montré avec l'aide d'un observateur idéal qu'il y a une certaine dépendance au point de vue qui est inhérente à la tâche et aux stimuli utilisés mais indépendante des processus visuels impliqués. Cela pourrait expliquer la présence d'effets de rotation 3D pour toutes les conditions de différences de configuration. Toutefois, peu importe la condition de différence de configuration, la tâche était la même, et le type de stimuli utilisé était le même (forme complexe constitué de formes géométriques simples) ce n'est donc pas ce qui explique la différence dans l'amplitude des effets de rotation selon le type de différence de configuration.

Ces patrons de différences d'effet de rotation selon le type de différence de configuration sont aussi présents pour les rotations 2D, ce qui n'appuie pas les modèles de Biederman (1987) et de Hummel et Biederman (1992), puisqu'il est postulé que les descriptions structurales sont nécessairement affectées par la rotation 2D. Ceci semble également en contradiction avec les théories des vues puisque des processus de normalisation devraient s'activer uniformément, peu importe le type de différences. Les variations dans l'amplitude des effets d'orientation 2D selon la condition de différence de configuration pourraient s'expliquer par la théorie des double systèmes de Jolicoeur (1990). Cette théorie propose que deux systèmes agissent en parallèle pour mener à l'identification d'objets qui ont subi des rotations planes. Le premier système effectue des rotations mentales et il entraîne donc des coûts de rotations 2D. Le second est basé sur les traits; il extrait des attributs des formes et des contours (couleur, texture, taille, certains angles et

intersections, complexité globale, etc.) pour reconnaître les objets sous différentes orientations. Certains de ces attributs seraient invariants à l'orientation 2D. L'utilisation des traits invariants à l'orientation entraînerait une reconnaissance invariante à l'orientation. Il est possible que les codes catégoriel et pertinent aux rôles des parties utilisent un système comme celui basé sur les traits pour contribuer aux discriminations d'objets complexes désorientés. Certains codes auraient pu utiliser davantage de traits invariants à l'orientation 2D, ce qui aurait réduit l'effet d'orientation sur ceux-ci par rapport aux autres codes. Cette hypothèse permet d'expliquer les variations d'amplitude de l'effet de rotations 2D selon le type de différence de configuration examinée. Il est aussi possible que ces différences d'amplitude des effets de rotation 2D soient aussi liées aux différences quant au niveau de difficulté selon les conditions de différence de configuration.

La contribution d'un code métrique aux discriminations d'objets complexes suggérée par les résultats des expériences 1 et 2 n'appuie pas les modèles de Biederman (1987) et de Hummel et Biederman (1992) et concorde plutôt avec la théorie des vues, lorsqu'il n'y a pas de distance angulaire entre les objets. Il faut toutefois noter que la contribution d'un code métrique aux discriminations de formes complexes disparaît lorsque la quantité d'information de profondeur est réduite. L'information de profondeur semble donc avoir contribué à la manifestation de ce code métrique. À cet égard, le rôle de l'information de profondeur pourrait être lié au fait qu'elle permet de mieux localiser les parties sur l'objet. La sensibilité à la localisation étant augmentée, les changements métriques deviendraient plus faciles à détecter. D'ailleurs, Burke (2005), Edelman et Bülthoff (1992) et Bennett et Vuong (2006) ont montré que l'ajout d'information de profondeur permettait de réduire les coûts de rotation avec des stimuli qui ne se différencient pas par des descriptions

structurales, mais qui pourraient se différencier avec des termes métriques. Par exemple, les stimuli en forme de câbles tordus utilisés par Burke et par Edelman et Bühlhoff pourraient tous se décrire comme des cylindres verticalement empilés, mais ils se distinguent entre eux quant à l'angle d'attache entre les différents cylindres. L'information de profondeur permettrait donc probablement de mieux percevoir les différences métriques.

Études futures et limites de l'étude

En lien avec la contribution du code métrique aux discriminations d'objets complexes, les résultats de la présente étude laissent croire qu'il serait possible que la sensibilité aux propriétés métriques des objets puisse être augmentée par l'ajout d'information de profondeur. Biederman et Bar (1999) et Vogels et al (2001) avaient montré une faible sensibilité aux propriétés métriques de composantes des formes, relativement aux PNA. Or, il pourrait être intéressant de reprendre leurs expériences en ajoutant de l'information de profondeur à leurs stimuli pour vérifier l'impact de l'information de profondeur sur la sensibilité aux propriétés métriques des formes.

En dernier lieu, il est possible que les effets de différence de configuration mesurés ne reflètent pas de manière véridique les différents codes évalués et qu'ils soient plutôt causés par des différences de difficulté entre les conditions, indépendamment des codes de représentation en jeu (i.e. différences entre les images plus grandes dans une condition que dans une autre.) En effet, alors que les différences de configuration définies par les conditions de nos expériences existent indépendamment du contraste ou de l'information de profondeur, ces dernières manipulations altèrent évidemment l'image à laquelle les participants sont exposés. De telles altérations sont grandement susceptibles d'affecter les effets du type de configuration si ces derniers étaient attribuables simplement à une

différence entre les images des stimuli. L'invariance des effets de configuration observés ici appuie donc notre postulat que ceux-ci évaluent effectivement les codes sous-tendant la représentation de l'organisation d'objets complexes. Toutefois, le problème de discriminabilité des conditions n'est pas entièrement résolu et des études additionnelles pourraient s'avérer nécessaires. Par exemple, une analyse des contrastes entre les stimuli par un observateur idéal, qui traite de façon optimale toute différence existant entre les images présentées (Liu, Knill & Kersten, 1995; Legge, Klitz & Tjan, 1997), sans contrainte associée à l'utilisation d'un type de code particulier, pourrait constituer une approche prometteuse dans un tel contexte.

Conclusion

Trois expériences ont permis d'étudier des codes qui sont impliqués dans la représentation de l'organisation spatiale des formes complexes. Des codes catégoriel et pertinents aux rôles des parties contribuent à la discrimination d'objets complexes, et sont dépendant aux orientations 2D et 3D, et ce peu importe la richesse de l'information de profondeur présente dans les stimuli. De plus, à l'étape de la représentation de l'organisation spatiale des objets complexes, il y a une plus grande sensibilité aux différences catégorielles de configuration qu'aux différences métriques. Enfin, un code métrique contribue aux discriminations. Toutefois, sa contribution disparaît lorsque la quantité d'information de profondeur est réduite.

Références

- Arguin, M. et Saumier, D. (2004) Independent Processing of Parts and of Their Spatial Organization in Complex Visual Objects, *Psychological Science*, 15(9), 629-633.
- Bennett, D.J. et Vuong, Q.C. (2006) A stereo advantage in generalizing over changes in viewpoint on object recognition tasks, *Perception and Psychophysics*, 68(7), 1082-1093.
- Bernardete, E.A., Kaplan, E. et Knight, B.W.(1992) Contrast gain control in the primate retina: P cells are not X –like, some M cells are, *Visual Neuroscience*, 8, 483-486.
- Biederman, I. (1987) Recognition-by-components: a theory of human image understanding, *Psychological Review*, 94(2), 115-147.
- Biederman, I. et Bar, M. (1999) One-shot viewpoint invariance in matching novel objects, *Vision Research*, 39(17), 2885-2899.
- Blais, C., Arguin, M., et Marleau, I (2009) Orientation invariance in visual shape perception, *Journal of Vision*, 9(2), 1-23.
- Burke, D. (2005) Combining disparate views of objects: Viewpoint costs are reduced by stereopsis, *Visual Cognition*, 12(5), 201-213.
- Edelman S. et Bülthoff H.H. (1992) Orientation Dependence in the Recognition of Familiar and Novel Views of Three-Dimensional Objects, *Vision Research*, 32(12), 2385-2400.
- Gibson, B.M., Lazareva, O.F., Gosselon, F., Schyns, P.G., Wasserman, E.A. (2007) Nonaccidental properties underlie shape recognition in mammalian and nonmammalian vision, *Current Biology*, 17, 336-340

- Hayward, W.G. et Tarr, M.J. (1997) Testing Conditions for Viewpoint Invariance in Object Recognition, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(5), 1511-1521.
- Hummel, J.E. et Biederman, I. (1992) Dynamic Binding in a Neural Network for Shape Recognition, *Psychological Review*, 99(3), 480-517.
- Hummel J.E. et Stankiewicz B.J. (1996) Categorical relations in shape perception, *Spatial Vision*, 10(3), 201-236.
- Jolicoeur, P. (1985) The time to name disoriented natural objects, *Memory & Cognition*, 13(4), 289-303.
- Jolicoeur, P. (1988) Mental Rotation and the Identification of Disoriented Objects, *Canadian Journal of Psychology*, 42(4), 461-478.
- Jolicoeur, P. (1990) Identification of Disoriented Objects: A Dual-Systems Theory, *Mind & Language*, 5(4), 387-410.
- Keane, S., Hayward, W. et Burke, D. (2003) Detection of three types of changes to novel objects, *Visual Cognition*, 10(1), 101-127.
- Lawson, R. et Jolicoeur, P. (1998) The effects of plane rotation on the recognition of brief masked pictures of familiar objects, *Memory and Cognition*, 26(4), 791-803.
- Legge, G.E., Klitz, T.S. et Tjan, B.S. (1997) Mr. Chips: An Ideal-Observer Model of Reading, *Psychological Review*, 104(3), 524-553.
- Liu, Z., Knill, D.C. et Kersten, D. (1995) Object Classification for Human and Ideal Observers, *Vision Research*, 35(4), 549-568.
- Nicholson, K.G. et Humphrey, G.K. (2001) Surface cues reduce the latency to name rotated images of objects, *Perception*, 30, 1057-1081.

- Pentland A. (1989) Shape Information from Shading: A theory About Human Perception, *Spatial Vision*, 4, 165-182.
- Saiki, J. et Hummel, J. (1998a) Connectedness and the Integration of Parts With Relations in Shape Perception, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(1), 227-251.
- Saiki, J, et Hummel, J. (1998b) Connectedness and part-relation integration in shape category learning, *Memory and Cognition*, 26(6), 1138-1156.
- Shepard, R.N. et Metzler, J. (1971) Mental Rotation of Three-Dimensional Objects, *Science*, 171, 701-703.
- Tarr, M.J. (1995) Rotating objects to recognize them: A case study on the role of viewpoint dependency in the recognition of three-dimensional objects, *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(1), 55-82.
- Tarr, M.J. et Pinker, S. (1989) Mental Rotation and Orientation-Dependence in Shape Recognition, *Cognitive Psychology*, 21(2), 233-282.
- Tarr, M.J., Williams, P., Hayward, W.G. et Gauthier, I. (1998.) Three-dimensional object recognition is viewpoint dependent, *Nature Neuroscience*, 1(4), 275-277.
- Tjan, B.S. et Legge, G.E. (1998) The viewpoint complexity of an object-recognition task, *Vision Research*, 38, 2335-2350.
- Vogels, R., Biederman, I., Bar, M. et Lorincz, A. (2001) Inferior Temporal Neurons Show Greater Sensitivity to Nonaccidental than to Metric Shape Differences, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(4), 444-453.

Yamane, Y., Carlson, E.T., Bowman, K.C., Wang, Z. et Connor, C.E. (2008) A neural code for three-dimensional object shape in macaque inferotemporal cortex, *Nature Neuroscience*, *11*(11), 1352-1360.

Yamane, Y., Tsunoda K., Matsumoto M., Phillips, A.N., Tanifuji, M. (2006) Representation of the Spatial Relationship Among Object Parts by Neurons in Macaque Inferotemporal Cortex, *Journal of Neurophysiology*, *96*, 3147-3164

