

Université de Montréal

La contribution de la stéréoscopie à la constance de forme

par Julien Beaulieu

Département de psychologie, Faculté des Arts et des Sciences

Mémoire présenté à la Faculté des Arts et des Sciences
en vue de l'obtention du grade de maîtrise (M.Sc) en psychologie

Novembre 2013

© Julien Beaulieu, 2013

Résumé

Le but de cette étude est de vérifier l'apport de la stéréoscopie dans le phénomène de la constance de forme. La méthode utilisée consiste à mesurer la performance de différents participants (temps de réponse et de taux d'erreurs) à une tâche de prospection visuelle. Quatre groupes de participants ont effectué la tâche. Le premier groupe a été exposé à une présentation stéréoscopique des stimuli, le deuxième groupe à une présentation des stimuli en stéréoscopie inversée (la disparité binoculaire était inversée), le troisième groupe à des stimuli comprenant une information de texture, mais sans stéréoscopie et le quatrième groupe à des stimuli bi-dimensionnels, sans texture. Une interaction entre les effets de rotation (points de vue familiers vs. points de vue non familiers) et le type d'information de profondeur disponible (stéréoscopie, stéréoscopie inversée, texture ou ombrage) a été mise en évidence, le coût de rotation étant plus faible au sein du groupe exposé à une présentation en stéréoscopie inversée. Ces résultats appuient l'implication de représentations tridimensionnelles dans le traitement de l'information visuelle.

Mots clef : Conjonction, Non-séparabilité linéaire, Invariance à l'orientation, Information de profondeur

Abstract

This study was conducted to evaluate the contribution of stereopsis to the shape constancy phenomenon. Four groups of eight participants each were asked to perform a visual exploration task. The first group was exposed to a stereoscopic stimulation, the second group was exposed to a reversed stereoscopic stimulation, the third group was exposed to a monocular stimulation with textures and shadow and the fourth group was exposed to a monocular stimulation with shadow only. Response times and error rates were used to measure participant's performance. Results show an interaction between rotation effects (familiar viewpoints vs. non-familiar viewpoints) and available depth cues (stereopsis, reversed stereopsis, textures and shadow, shadow only). The rotation cost was smaller in the group exposed to a reversed stereoscopic stimulation. These results are congruent with the use of tridimensional representations underlying visual processing.

Key words : Conjunction, Linear non-separability, Orientation invariance, Depth cues

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
Table des matières.....	iii
Table des tableaux.....	v
Table des figures.....	vi
Liste des abréviations.....	x
Introduction.....	1
Contexte théorique.....	1
Objectifs.....	6
Hypothèses.....	7
Méthode.....	8
Participants.....	9
Matériel et stimuli.....	9
Procédure.....	10
Résultats.....	14
Analyses préliminaires.....	15
Analyses des temps de réponse.....	15
Analyses des interactions (temps de réponse).....	16
Analyses des taux d'erreurs.....	23
Analyses des interactions (taux d'erreurs).....	23

Discussion.....	32
Conclusion.....	36
Références.....	37
Annexe.....	xi

Table des tableaux

Tableau I : Statistiques associées à l'interaction degré de rotation / nombre d'items	18
Tableau II : Coût associé au nombre d'items (en ms), selon le type de relation cible / distracteurs et la présence ou de l'absence de la cible.....	20
Tableau III : Coût associé au type de relation cible / distracteurs, en fonction du degré de rotation (en ms).....	22
Tableau IV : Coût associé au nombre d'items (taux d'erreurs), selon le type de relation cible / distracteurs et la présence ou de l'absence de la cible.....	26

Table des figures

Figure 1 : Illustration des stimuli utilisés	10
Figure 2 : Orientations possibles des stimuli sur les axes x, y et z.....	13
Figure 3 : Interaction entre le coût de rotation et le mode de présentation (TR).....	17
Figure 4 : Interaction entre le coût de rotation et le nombre d'items présents à l'écran (TR).....	18
Figure 5a : Interaction entre le coût associé au nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs pour cible absente (TR).....	20
Figure 5b : Interaction entre le coût associé au nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs pour cible présente (TR).....	21
Figure 6 : Interaction entre le coût de rotation et le type de relation cible / distracteurs (TR).....	22
Figure 7a : Interaction entre le coût de rotation et le type de relation cible / distracteurs pour cible absente (Erreurs).....	24
Figure 7b : Interaction entre le coût de rotation et le type de relation cible / distracteurs pour cible présente (Erreurs).....	25
Figure 8a : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible absente, stéréoscopie (Erreurs).....	28
Figure 8b : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible présente, stéréoscopie (Erreurs).....	28

Figure 8c : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible absente, stéréoscopie inversée (Erreurs).....	29
Figure 8d : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible présente, stéréoscopie inversée (Erreurs).....	29
Figure 8e : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible absente, textures uniquement (Erreurs).....	30
Figure 8f : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible présente, textures uniquement (Erreurs).....	30
Figure 8g : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible absente, ombrages uniquement (Erreurs).....	31
Figure 8h : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible présente, ombrages uniquement (Erreurs).....	31
Figure 9a : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation stéréoscopique (TR).....	xi
Figure 9b : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation en stéréoscopie inversée (TR).....	xi
Figure 9c : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation avec textures et ombrages (TR).....	xii

Figure 9d : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation avec ombrages uniquement (TR).....	xii
Figure 9e : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation stéréoscopique (TR).....	xiii
Figure 9f : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation en stéréoscopie inversée (TR).....	xiii
Figure 9g : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation avec textures et ombrages (TR).....	xiv
Figure 9h : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation avec ombrages uniquement (TR).....	xiv
Figure 10a : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation stéréoscopique (Erreurs).....	xv
Figure 10b : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation en stéréoscopie inversée (Erreurs).....	xv

Figure 10c : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation avec textures et ombrages (Erreurs).....	xvi
Figure 10d : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation avec ombrages uniquement (Erreurs).....	xvi
Figure 10e : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation stéréoscopique (Erreurs).....	xvii
Figure 10f : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation en stéréoscopie inversée (Erreurs).....	xvii
Figure 10g : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation avec textures et ombrages (Erreurs).....	xviii
Figure 10h : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation avec ombrages uniquement (Erreurs).....	xviii

Liste des abréviations

2D : Bidimensionnel

3D : Tridimensionnel

ms : millisecondes

TR : temps de réponse

vs : versus

Introduction

Comment reconnaît-on un objet indépendamment du point de vue sous lequel on l'observe? Cette question peut être simple en apparence, mais elle soulève d'importantes interrogations au plan théorique. En effet, comment le cerveau arrive-t-il à reconnaître un objet, alors que l'image rétinienne associée à celui-ci varie grandement selon le point de vue sous lequel il est observé? Quels indices le système visuel utilise-t-il afin d'établir la correspondance entre plusieurs points de vue d'un même objet?

Pour tenter d'apporter des éléments de réponse à ces questions, la présente étude s'intéresse aux représentations utilisées par le système visuel, lors d'une tâche de reconnaissance de formes. Plus précisément, la contribution de la stéréoscopie à la résolution du problème de la constance de forme sera évaluée et comparée à d'autres indices visuels, tels que les textures et les ombrages.

Contexte théorique

Il existe plusieurs approches théoriques différentes qui ont été formulées pour expliquer les processus impliqués dans la reconnaissance d'un objet. Ces différentes théories peuvent être organisées en deux pôles distincts, selon qu'elles s'appuient sur des représentations bidimensionnelles ou tridimensionnelles (Bülhoff & Edelman, 1992; Tarr & Kriegman 2001). L'un de ces pôles théoriques est celui de la représentation de l'objet comme une collection de différentes surfaces bidimensionnelles, surfaces qui sont associées à un point de vue spécifique de l'objet (Tarr & Pinker, 1989). Par exemple, selon la théorie de la reconnaissance par combinaison linéaire de vues, un nombre restreint de points de vue bidimensionnels d'un même objet sont emmagasinées en mémoire et c'est à partir de ces vues

familiales que le système visuel est capable d'extrapoler tous les points de vue possibles d'un objet donné (Ullman & Basri, 1990 , Bülthoff & Edelman, 1992). Ce processus occasionnerait alors un coût, qui se répercuterait sur la performance de reconnaissance de l'objet (Tarr & Pinker, 1989; Tarr & Bülthoff, 1995).

D'autres théories proposent au contraire que l'objet est encodé sous la forme d'une représentation structurale en trois dimensions. Par exemple, la théorie de la reconnaissance par composantes prévoit un encodage par le biais de traits élémentaires tridimensionnels, les géons. Plus précisément, le terme géon désigne un certain nombre de formes géométriques élémentaires (cylindres, blocs, cônes, etc.) qui constituent un objet visuel particulier, de façon analogue aux phonèmes dans le domaine du langage (Biederman, 1987). Selon cette approche théorique, les objets seraient encodés sous la forme d'un assemblage de géons, chaque objet ayant une structure différente. Le système visuel utiliserait certaines propriétés de l'image rétinienne associées aux contours des objets pour en extrapoler la structure en trois dimensions. Ces propriétés sont qualifiées de non accidentelles, car elles ont comme caractéristique principale d'être résistantes aux changements de point de vue (Biederman, 1987; Hummel & Biederman, 1992).

L'approche classique pour déterminer la nature bidimensionnelle ou tridimensionnelle des représentations utilisées par le système visuel s'appuie sur les coûts associés à la rotation d'un objet, dans une tâche de reconnaissance de forme (Corballis, Nagourney, Shetzer & Stefanatos, 1978). Plus précisément, ce type de paradigme expérimental s'appuie sur la mesure des variations des taux d'erreurs et des temps de réponse enregistrés dans différentes conditions de rotation. Une variation de la performance de reconnaissance en fonction du point

de vue (i.e. moins bonne performance avec rotation qu'en l'absence de rotation) appuierait les théories prévoyant l'utilisation de représentations bidimensionnelles. En effet, la différence alors observée pourrait s'expliquer par le coût des manipulations effectuées par le système visuel pour reconnaître les orientations non familières à partir des points de vue familiers (Tarr & Pinker, 1989; Tarr & Bülthoff, 1995). Au contraire, une absence de variation dans la performance de reconnaissance entre les points de vue familiers et non familiers appuierait plutôt les théories faisant appel à des représentations tridimensionnelles. En effet, une représentation tridimensionnelle d'un objet est congruente avec une absence d'effet de l'orientation sur la reconnaissance de l'objet, étant donné que la représentation emmagasinée en mémoire présente des caractéristiques qui sont partagées par toutes les orientations possibles (Biederman, 1987).

Toutefois, ce paradigme présente plusieurs faiblesses, comme en témoignent les résultats contradictoires obtenus par les différentes études menées à ce sujet, certaines ne démontrant pas d'effets de rotation (Jolicoeur, 1985; Biederman, 1987; Peissing, Wasserman, Young & Biederman, 2002) et d'autres démontrant d'importants effets de rotation (Tarr & Pinker, 1989; Tarr & Bulthoff, 1995). De ce fait, il semble que la variation de la performance de reconnaissance associée à la présentation d'un objet sous différentes orientations ne permette pas réellement de déterminer quel est le type de représentation utilisé par le système visuel. Plusieurs hypothèses ont été formulées pour expliquer les résultats contradictoires obtenus jusqu'à présent. En premier lieu, l'effet de l'orientation sur les taux d'erreurs et les temps de réponse pourrait s'expliquer par une perte d'information visuelle, plutôt que par la façon dont l'information est traitée par le système visuel (Liu, Kersten, & Knill, 1999). Aussi,

certaines études ont démontré qu'à la fois des représentations dépendantes et des représentations indépendantes au point de vue pourraient être utilisées par le système visuel, à des étapes différentes du processus de reconnaissance. À ce propos, Tarr et Bulthoff (1995) conçoivent la perception de la forme visuelle comme un continuum: d'un côté, la discrimination d'un objet par rapport à un autre fait plutôt appel à des mécanismes dépendants du point de vue, alors que d'un autre côté, les catégorisations d'objets font plutôt appel à des mécanismes indépendants du point de vue. Aussi, Stankiewicz (2002) suggère que le système visuel traite l'information relative au point de vue indépendamment de l'information relative à la structure des objets. De ce fait, le point de vue sous lequel un objet est présenté constitue une information encodée par le système visuel, mais cette information ne serait utilisée dans le processus de reconnaissance d'un objet que lorsqu'elle est pertinente.

Prenant acte de la difficulté à déterminer la nature des représentations (dépendantes vs. indépendantes au point de vue) qui sous-tendent à la perception visuelle, Blais, Arguin et Marleau (2009) se concentrent uniquement sur les représentations sous-tendant deux effets perceptuels pertinents à la perception de la forme visuelle, soit l'effet de conjonction et l'effet de non-séparabilité linéaire. L'effet de conjonction se définit comme la difficulté à détecter un objet alors qu'il partage ses attributs distinctifs avec les distracteurs dans le contexte d'une tâche de recherche visuelle. L'effet de non-séparabilité linéaire est caractérisé par une plus grande difficulté à distinguer deux objets lorsque certaines propriétés de la cible ont une valeur intermédiaire à celles retrouvées chez les distracteurs. Il semble qu'un mécanisme spécifique du système visuel sous-tend à chacun de ces effets et qu'il soit possible de vérifier la sensibilité au point de vue de ces mécanismes. En effet, Saumier et Arguin (2003) ont démontré que les

effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire sont affectés différemment par le niveau de similarité entre la cible et les distracteurs dans une tâche de recherche visuelle, ce qui suggère que ces effets reposent sur des mécanismes distincts. Aussi, ces deux effets semblent particulièrement importants dans la reconnaissance de forme, dans la mesure où pour discriminer des formes le moins complexes (par exemple un concombre et une banane), il semble effectivement nécessaire de s'appuyer sur la conjonction de plusieurs propriétés visuelles. (Arguin & Saumier, 2000). Parallèlement, dans une tâche de recherche visuelle, une cible qui n'est pas linéairement séparable des distracteurs qui l'entourent est plus difficile à discriminer (Bauer, Jolicoeur & Cowan, 1995). De ce fait, l'étude des mécanismes sous-tendant les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire constitue une fenêtre ouverte sur une part importante des processus impliqués dans la reconnaissance de forme.

L'expérience de Blais, Arguin et Marleau (2009) s'appuie sur le principe selon lequel la dépendance au point de vue des représentations sous-tendant les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire se traduira par une variation dans la taille de ces effets selon le degré de rotation des stimuli. En mesurant la performance de reconnaissance d'un objet par rapport au point de vue sous lequel il est présenté et en choisissant les cibles de façon à ce qu'elles induisent des effets de conjonction ou de non-séparabilité linéaire, on peut donc évaluer l'invariance au point de vue des représentations sous-tendant ces effets. Dans l'étude de Blais, Arguin et Marleau (2009), d'importants effets de rotation ont été observés pour les stimuli présentés à des orientations variables (35 degrés de rotation sur chacun des axes d'un espace tridimensionnel). Cependant, ces effets de rotation n'ont pas modulé les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire dans les conditions de rotations 2D (i.e. sur le plan de l'image).

Les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire se sont également avérés invariants aux rotations 3D (i.e. changements de point de vue), dans la mesure où l'information de profondeur disponible sur les stimuli était suffisante, c'est-à-dire avec de l'ombrage et une texture riche à la surface des stimuli. Par contre, les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire étaient atténués par la rotation 3D en présence de stimuli dépourvus de texture (ie. ombrage seulement).

Objectifs

Le but principal de cette étude est de poursuivre l'étude de l'impact de la rotation 3D sur les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire entamée par Blais et al. (2009). La méthode utilisée par ces auteurs sera reprise et les stimuli seront présentés de façon bidimensionnelle (avec texture ou ombrage), tridimensionnelle (par le biais d'une présentation stéréoscopique) et en stéréoscopie inversée. Plus précisément, un premier groupe sera exposé à des stimuli 2D qui comportent de l'ombrage comme seul indice de profondeur et un deuxième groupe sera exposé à des stimuli qui comportent de la texture comme seul indice de profondeur. Ces conditions répliquent celles déjà utilisées dans l'étude de Blais et al. (2009). Un troisième groupe sera exposé à une présentation stéréoscopique des stimuli, dont la surface comportera également de la texture. Ce groupe aura évidemment accès à une information de profondeur beaucoup plus riche. En effet, la stéréoscopie permet de recréer une perception en trois dimensions, en renvoyant à chaque œil une image légèrement différente de l'objet observé, de façon analogue au processus de perception tridimensionnelle au sein d'un environnement réel. Un quatrième groupe sera exposé à une présentation en stéréoscopie inversée, où les disparités binoculaires seront permutées (i.e. les disparités croisées deviennent

homonymes et vice versa), de façon à ce qu'elles se retrouvent en opposition avec le relief véritable des stimuli. Cette dernière condition a été ajoutée en plus de la stéréoscopie normale, car il semble que la stéréoscopie inversée ait un effet sur la reconnaissance de forme, qui est distinct de la stéréoscopie normale (Aubin & Arguin, 2012). La question à laquelle tente de répondre cette étude est donc de savoir si une présentation stéréoscopique des stimuli produira des résultats analogues (une invariance à l'orientation) à ce qui a été observé par Blais, Arguin, et Marleau (2009) dans le cas de stimuli simulant la 3D en faisant appel à des textures.

Hypothèses

Comme Arguin et Saumier (2003) l'ont démontré, les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire sont associés à de moins bonnes performances de reconnaissance de l'objet, étant donné la plus grande difficulté à discriminer la cible et les distracteurs dans ces conditions. L'expérience menée ici devrait donc reproduire ces effets. Le degré de rotation des stimuli devrait également avoir un impact sur la performance de reconnaissance des objets, dans la mesure où la présentation des stimuli sous des points de vue non familiers devrait compliquer la tâche des participants.

De plus, comme Blais, Arguin et Marleau (2009) l'ont démontré, un effet du nombre d'items devrait être mis en évidence. Plus précisément, la performance de reconnaissance de la cible devrait diminuer à mesure que le nombre de stimuli présents à l'écran augmente. Cet effet devrait également être modulé par le type de relation cible / distracteurs, les conditions de conjonction et de non-séparabilité linéaire étant associées à des coûts plus élevés en termes de performance de reconnaissance.

Aussi, Burke (2005) et Aubin et Arguin (2012) ont démontré que la présentation d'information stéréoscopique atténue la sensibilité à la rotation 3D dans une tâche d'appariement d'objets. De ce fait, on peut s'attendre à ce qu'une présentation stéréoscopique des stimuli contribue à l'invariance au point de vue des effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire rapportée par Blais et al., compte tenu de l'importance que tient l'information de profondeur vis-à-vis de ces effets (cf. Blais et al., 2009). Empiriquement, cela devrait se traduire par une invariance à la rotation 3D des effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire avec une stimulation stéréoscopique normale (i.e. non-inversée). Pour les groupes n'étant pas exposés à une présentation stéréoscopique des stimuli et pour ceux étant exposés à une information stéréoscopique inversée, les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire devraient être davantage altérés par la rotation 3D des stimuli.

Le degré d'invariance à la rotation 3D dans les différentes conditions de présentation devrait alors indiquer la nature des représentations sous-tendant les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire. En effet, une performance de reconnaissance de forme invariante à la rotation constitue un indice soutenant l'existence de représentations encodant des informations résistantes aux changements de point de vue. C'est pour cette raison que la condition de présentation stéréoscopique devrait être associée avec une invariance des effets de conjonction et de non-séparabilité à la rotation, étant donné que la stéréoscopie apporte de l'information supplémentaire par rapport au relief de l'objet.

Méthode

Cette étude comprend une seule expérience qui a été administrée à quatre groupes distincts, chacun ayant été exposé à un mode particulier de présentation des stimuli. Un

premier groupe a été exposé à des stimuli sans disparité binoculaire, ne comprenant que l'ombrage comme indice de profondeur. Un deuxième groupe a été exposé à des stimuli sans disparité binoculaire présentant une riche texture achromatique comme seul indice de profondeur. Un troisième groupe a reçu une présentation stéréoscopique des stimuli texturés et un quatrième groupe a été exposé à une présentation des stimuli texturés en stéréoscopie inversée.

La tâche utilisée pour chaque groupe était une tâche de prospection visuelle, dans laquelle les participants devaient détecter une cible parmi un ensemble de distracteurs. Les variables dépendantes mesurées pour évaluer la performance des participants étaient les temps de réaction et les taux d'erreurs. Chaque groupe a effectué une tâche comprenant trois conditions dans lesquelles le choix des distracteurs différait. Dans la condition de base (1D-LS), les distracteurs étaient choisis de façon à ce que qu'ils soient linéairement séparables des distracteurs (LS) et qu'ils ne partagent aucun attribut avec eux (1D; i.e. pas de conjonction). Dans la condition de conjonction (CONJ), les distracteurs étaient choisis de façon à ce que la cible soit linéairement séparable de ceux-ci, mais partage les attributs qui la définissent avec eux. Dans la condition de non-séparabilité linéaire (LNS), les distracteurs étaient choisis de façon à ce que la cible ne soit pas linéairement séparable de ces-derniers (i.e. elle présentait une ou plusieurs propriétés qui étaient composées d'une combinaison linéaire des propriétés des distracteurs).

Participants

Les trente-deux participants ayant pris part à cette expérience ont été recrutés à l'Université de Montréal. Ils devaient présenter une vision normale ou corrigée. Aucune

sélection particulière n'a été opérée relativement au sexe, à la latéralisation manuelle ou au niveau d'éducation des participants. Quatre groupes de huit participants ont été formés, soit un groupe de participants pour chaque condition de présentation des stimuli (présentation sans stéréoscopie avec ombrage, sans stéréoscopie avec texture, avec stéréoscopie normale et avec stéréoscopie inversée).

Matériel et stimuli

Les stimuli utilisés dans le cadre de cette étude sont ceux développés initialement par Arguin et Saumier (2003) et retravaillés en version tridimensionnelle par Blais, Arguin et Marleau (2009). Ce sont des formes ovoïdes, obtenues à partir d'un modèle elliptique de base. Trois paramètres varient d'un stimulus à l'autre: l'élongation (le ratio entre l'axe principal et l'axe secondaire), la courbure de l'axe principal et l'effilement le long de l'axe principal (Arguin & Saumier, 2003). C'est sur la base de ces dimensions que les relations de forme entre la cible et les distracteurs ont été établies. Neuf stimuli différents ont été utilisés, soit huit distracteurs et une cible. Ces stimuli ont été présentés à l'aide d'un stéréoscope, un appareil qui permet la stimulation dichoptique nécessaire pour obtenir une exposition stéréoscopique. Pour ce faire, deux versions de chaque stimulus ont été utilisées. Celles-ci différaient l'une de l'autre par une rotation de 2,71 degrés d'angle visuel, ce qui simule les différences de point de vue pour l'œil droit et l'œil gauche avec une distance interoculaire de 5,4 cm et une distance d'observation de 57 cm. Grâce au stéréoscope, chaque œil ne percevait qu'une seule des deux versions de la stimulation visuelle et c'est leur intégration qui génèrait la perception de profondeur.

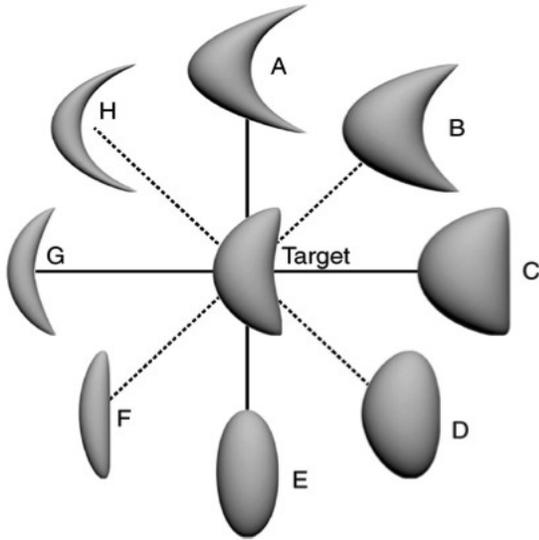


Figure 1a: Stimuli non texturés utilisés pour le mode de présentation avec ombrages uniquement.

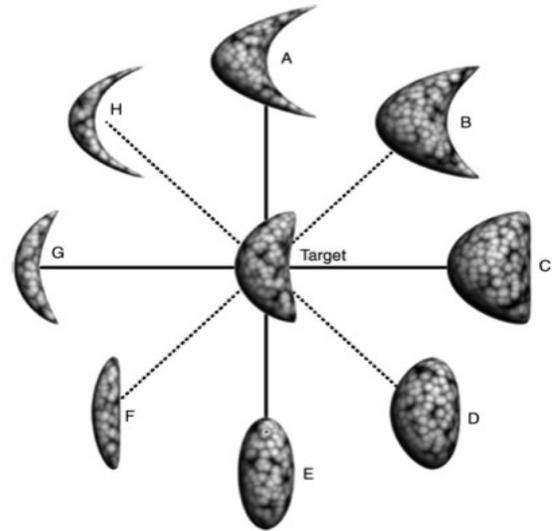


Figure 1b : Stimuli texturés utilisés pour les modes de présentation avec stéréoscopie, stéréoscopie inversée et avec textures uniquement.

Procédure

Chaque essai commençait par une croix de fixation qui apparaissait au centre de l'écran durant 500 ms. Par la suite, la matrice de prospection visuelle, qui comprend un ensemble de stimuli dans lequel le participant doit rechercher la cible, apparaissait. Cette matrice restait affichée à l'écran jusqu'à ce que le sujet réponde. Neuf localisations prédéterminées de façon à ce qu'elles forment un cercle imaginaire d'un diamètre de quatre degrés d'angle visuel étaient utilisées pour placer les stimuli dans la matrice de prospection visuelle. Les participants répondaient par le biais d'un clavier, sur lequel les touches « s » et « l » étaient utilisées, chaque touche signifiant l'une des deux réponses possible (i.e. absence ou présence de la cible). L'assignation des touches de réponse a été contrebalancée à travers les participants de chaque groupe, de manière à ce que cette variable ne soit pas un facteur dans l'expérience.

Dans la moitié des essais, les cibles étaient présentées sous une orientation fixe, alors que dans l'autre moitié des essais, les cibles étaient présentées sous une orientation variable.

En d'autres mots, dans la moitié des essais, les items présents dans la matrice de prospection visuelle avaient tous leur axe principal orienté verticalement, alors que dans l'autre moitié des essais, les axes principaux de chaque item étaient orientés différemment d'un item à l'autre (orientation déterminée aléatoirement), selon les mêmes paramètres que ceux utilisés par Blais et al. (2009). Les orientations possibles sont illustrées dans la Figure 2. Aussi, trois conditions différentes quant au type de relation cible / distracteurs ont été utilisées: 1D-LS, où les cibles étaient linéairement séparables des distracteurs et ne partageaient pas d'attributs communs avec ceux-ci, CONJ, où les cibles étaient linéairement séparables des distracteurs mais partageaient des attributs avec ces derniers, et LNS, où les cibles n'étaient pas linéairement séparables des distracteurs. Pour chaque type de relation cible / distracteurs, deux combinaisons cible / distracteurs étaient possibles. Plus précisément (en suivant la nomenclature de la Figure 1), dans la condition de base, les distracteurs possibles étaient D et F, de même que F et H. Dans la condition de conjonction, les distracteurs possibles étaient A et G, de même que C et E. Dans la condition de non-séparabilité linéaire, les distracteurs possibles étaient B et F, de même que D et H.

La présence ou l'absence de la cible dans la matrice de prospection visuelle constitue un autre paramètre qui est intervenu dans la détermination des essais. Enfin, le nombre d'items présents à l'écran variait aléatoirement d'un essai à l'autre. Plus précisément, quatre niveaux étaient possibles: 3, 5, 7, ou 9 items. Un total de 2880 essais a été administré à chaque participant, soit 30 essais par condition (3 types de relations cible / distracteurs X 2 couples stimulus / distracteurs possibles pour chaque type de relation cible / distracteurs X 2 conditions de rotation X présence/absence de la cible X 4 niveaux pour le nombre d'items).

L'ensemble de l'expérience a été divisé en trois séances de 960 essais, chaque séance comportant 10 essais par condition.

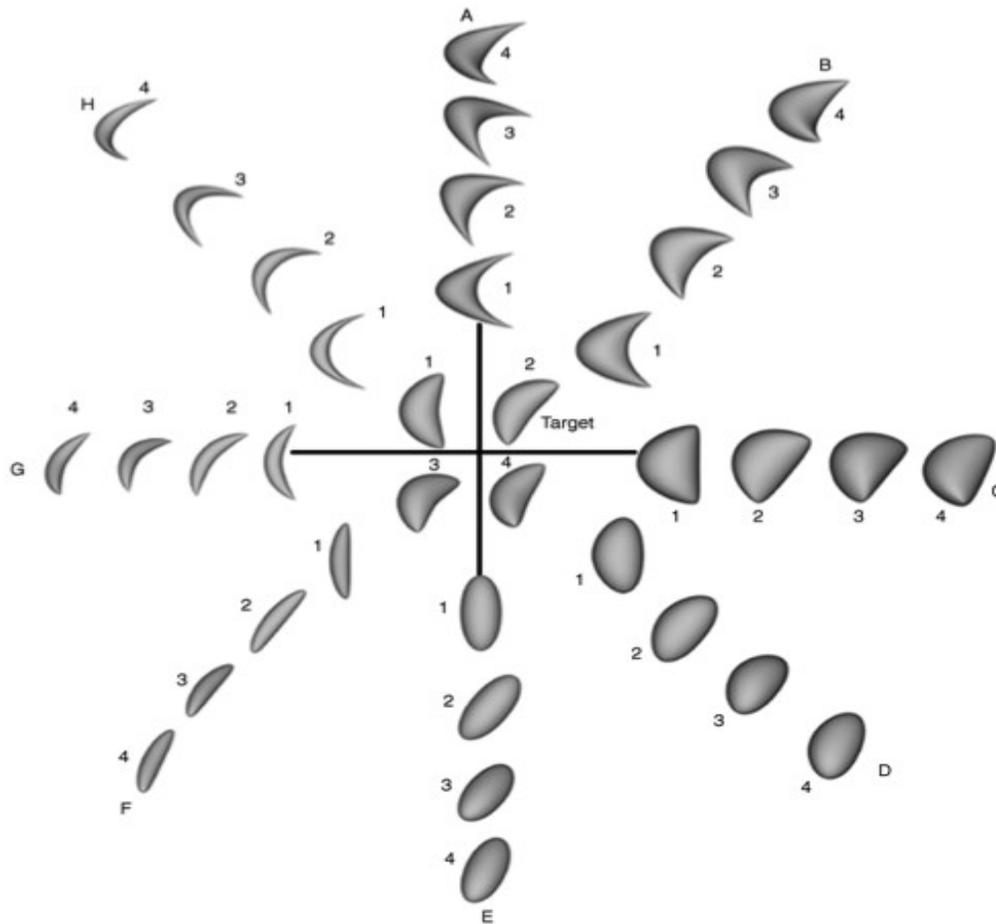


Figure 2 : Orientations possibles des stimuli. (1) Les stimuli n'ont pas subi de rotation. (2) Les stimuli ont subi une rotation de 35 degrés sur l'abscisse et de 35 degrés sur l'ordonnée. (3) Les stimuli ont subi une rotation de 35 degrés sur l'abscisse et de 35 degrés sur l'axe Z. (4) Les stimuli ont subi une rotation de 35 degrés sur l'ordonnée et de 35 degrés sur l'axe des Z (tiré de Blais et al., 2009).

Résultats

Pour chacun des quatre modes de présentation, la performance des participants a été mesurée par le biais des temps de réponse moyens pour chaque condition et des taux d'erreurs moyens associés à chaque condition. Les variables indépendantes sont au nombre de cinq, soit le mode de présentation des stimuli (sans stéréoscopie avec ombrages, sans stéréoscopie avec texture, avec texture et stéréoscopie et avec texture et stéréoscopie inversée), le type de relation cible / distracteurs (1D-LS, CONJ et LNS), la présence ou l'absence de la cible, la rotation des stimuli (orientation fixe ou variable) et le nombre d'items présents à chaque essai (3, 5, 7 ou 9 items).

Des ANOVA mixtes à 5 facteurs (inter-sujet pour le mode de présentation et intra-sujet pour les autres facteurs) ont été effectuées séparément sur les temps de réponse corrects et les taux d'erreurs, afin d'analyser les effets conjoints des variables indépendantes sur les performances des participants. Pour chaque interaction étudiée, des analyses de régression linéaires ont été effectuées afin de mettre en évidence la nature de ces interactions, de même que les effets observés. Les temps de réponse situés à plus de 2,75 écarts types de la performance moyenne d'un participant dans la condition correspondante ont été éliminés avant d'effectuer les analyses sur ces données.

Une corrélation a été effectuée entre les taux d'erreurs et les temps de réponse des participants, afin de s'assurer de l'absence d'un compromis vitesse / précision (*speed-accuracy trade-off*).

Analyses préliminaires

Avant de débiter les analyses proprement dites, les scores extrêmes de chaque participant ont été évalués. 1140 essais ont été éliminés (1,32% des essais), car ils présentaient des temps de réponse situés à plus de 2,75 écarts types de la moyenne. Au total, les participants ont commis 4515 erreurs (5,23% des essais), dont les essais ont été éliminés des analyses portant sur les temps de réponse. Comme indiqué précédemment, une corrélation entre les temps de réponse et les taux d'erreurs a été effectuée afin d'évaluer la probabilité d'un compromis vitesse-précision. Un r de 0,51 ($p < 0.01$) a été obtenu, ce qui dénote une corrélation positive entre les taux d'erreurs et les temps de réponse. Ceci indique l'absence de compromis vitesse / précision, les participants ne semblant pas avoir favorisé la vitesse au détriment de la précision, ou *vice versa*, comme l'aurait indiqué une corrélation négative.

Analyses des temps de réponse

Les temps de réponse ont été comparés en fonction des différentes variables indépendantes (mode de présentation, nombre d'items, relation cible / distracteurs, présence ou absence de la cible et rotation des stimuli). Comme indiqué précédemment, des ANOVA mixtes à 5 facteurs (inter-sujet pour les conditions d'exposition et intra-sujet pour les autres facteurs) ont été effectuées dans ce but.

Tout d'abord, un effet du type de relation cible / distracteurs ($F = 316,233$; $p < 0,001$) est observé. Les temps de réponse dans la condition de base (1D-LS) sont significativement plus courts ($M = 1050$ ms, $ET = 592$ ms) que ceux des conditions de conjonction ($M = 1210$ ms, $ET = 614$ ms) et de non-séparabilité linéaire ($M = 1220$ ms, $ET = 663$ ms). Aussi, la présence ou l'absence de la cible à l'écran a un effet significatif ($F = 50,849$; $p < 0,001$) sur les

temps de réponse des participants. En effet, les essais où la cible était présente sont associés à des temps de réponse plus courts ($M = 1050\text{ ms}$, $ET = 532\text{ ms}$) que lorsque la cible était absente ($M = 1260\text{ ms}$, $ET = 693\text{ ms}$). La rotation des stimuli a également un effet significatif ($F = 153,515$; $p < 0,001$) sur les temps de réponse des participants. Ceux-ci sont plus courts aux essais à orientation fixe ($M = 1110\text{ ms}$, $ET = 583\text{ ms}$) que variable ($M = 1210\text{ ms}$, $ET = 666\text{ ms}$). Pour terminer, le nombre d'items présents à l'écran a aussi un effet significatif sur les temps de réponse ($F = 289,409$; $p < 0,001$). Les essais ne comprenant que trois items à l'écran sont associés avec des temps de réponse moyens de 932 ms ($ET = 577\text{ ms}$), alors que ceux avec 5 items sont associés à des temps de réponse moyens de 1090 ms ($ET = 477\text{ ms}$), ceux avec 7 items donnent lieu à des temps de réponse moyens de 1240 ms ($ET = 615\text{ ms}$) et ceux avec 9 items produisent des temps de réponse moyens de 1370 ms ($ET = 677\text{ ms}$).

Analyses des interactions (TR)

Les résultats démontrent plusieurs interactions significatives. Tout d'abord, une interaction entre le degré de rotation et le mode de présentation est observée ($F = 3,046$; $p < 0,005$). Cette interaction reflète le fait que le coût des performances associé à la rotation des stimuli varie selon le mode de présentation. Ainsi, pour le mode de présentation stéréoscopique avec texture, une différence de 114,6 ms est observée entre les conditions où l'orientation des stimuli est fixe ($M = 1074,5\text{ ms}$; $ET = 642,8\text{ ms}$) et les conditions où l'orientation des stimuli varie ($M = 1189,1\text{ ms}$; $ET = 819,6$) ($F = 21,887$; $p < 0,005$). Pour le mode de stéréoscopie inversée avec textures, une différence de 62,9 ms est observée entre les conditions où l'orientation des stimuli est fixe ($M = 1018,5\text{ ms}$; $ET = 492,5\text{ ms}$) et celle où l'orientation des stimuli varie ($M = 1081,4\text{ ms}$; $ET = 514,2\text{ ms}$) ($F = 26,652$; $p = 0,001$). Pour

le mode de présentation avec textures uniquement, une différence de 118,1 ms a été mise en évidence entre les conditions où l'orientation des stimuli est fixe ($M = 1197,4 \text{ ms}$; $ET = 584,9 \text{ ms}$) et les conditions où l'orientation des stimuli varie ($M = 1315,5 \text{ ms}$; $ET = 626 \text{ ms}$) ($F = 58,696$; $p < 0,001$). Pour le mode de présentation avec ombrages uniquement, une différence de 132,4 ms est observée entre les conditions où l'orientation des stimuli est fixe ($M = 1140 \text{ ms}$; $ET = 585,3 \text{ ms}$) et les conditions où l'orientation des stimuli est variable ($M = 1272,4 \text{ ms}$; $ET = 635,8 \text{ ms}$) ($F = 82,618$; $p < 0,001$).

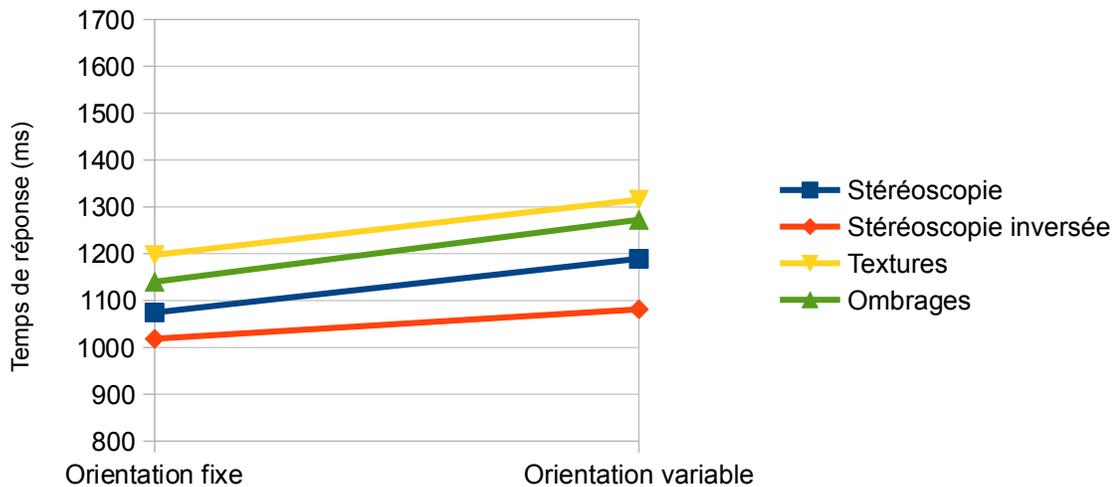


Figure 3 : Interaction entre le coût de rotation et le mode de présentation.

Aussi, une interaction entre le nombre d'items présentés à l'écran et la rotation est observée ($F = 33,22$; $p < 0,01$). En effet, le coût associé à l'augmentation du nombre d'items présentés à l'écran est plus faible pour les conditions où l'orientation des stimuli est fixe que pour les conditions où l'orientation des stimuli est variable (voir Tableau I pour chaque niveau de la variable « nombre d'items »).

	Orientation fixe	Orientation variable
3 items	900,8 ms	964,5 ms
5 items	1047,1 ms	1143,4 ms
7 items	1182,2 ms	1308,8 ms
9 items	1303,7 ms	1448,3 ms
Ordonnée à l'origine	705,31	731,21
Pente	67,19	80,84
R ²	0,99	0,99

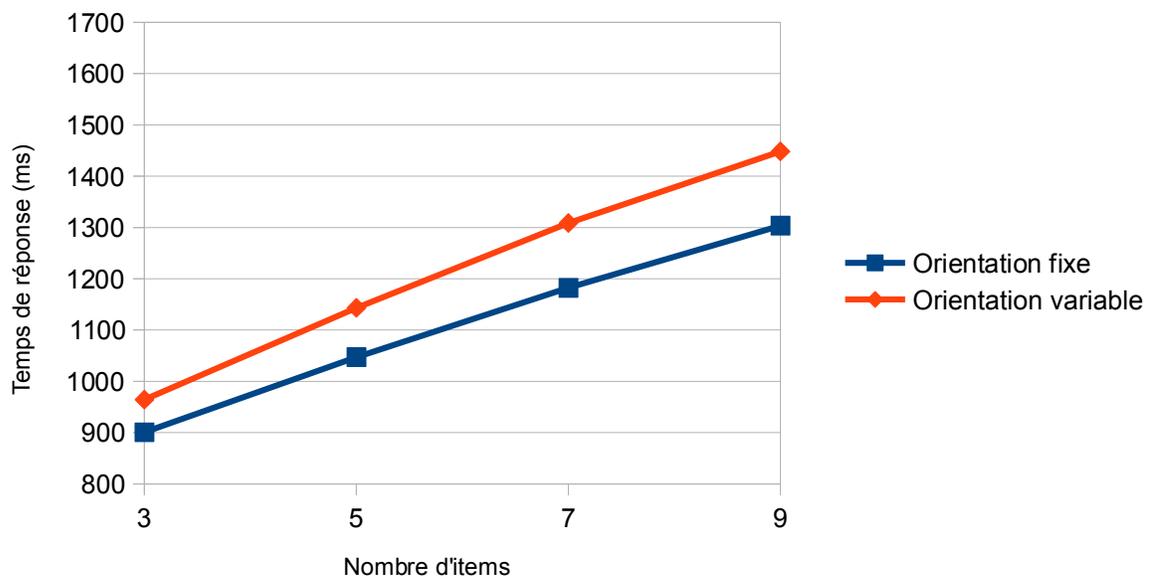


Figure 4 : Interaction entre le coût de rotation et le nombre d'items présents à l'écran

Aussi, une interaction entre le type de relation cible / distracteurs, le nombre d'items présents à l'écran et l'absence ou la présence de la cible est observée ($F = 2,501$; $p = 0,024$). Comme l'illustrent les graphiques de la Figure 5, il semble que le coût associé à l'augmentation du nombre d'items présents à l'écran soit plus important pour les conditions où la cible est absente que pour les conditions où la cible est présente. Des analyses de régression linéaire ont été effectuées sur les courbes illustrées à la Figure 5. Les résultats de ces analyses sont présentés dans le Tableau II. Il ressort de ces analyses que les pentes associées aux conditions où la cible est absente sont environ deux fois plus élevées que les pentes associées aux conditions où la cible est présente. Ce dernier résultat suggère une recherche visuelle qui est effectuée de manière sérielle et autocessante (i.e. interrompue dès la détection de la cible). De plus, les conditions de conjonction et de non-séparabilité linéaire sont associées à un effet du nombre de stimuli plus important que la condition de base, tant lorsque la cible est absente que lorsqu'elle est présente. Plus précisément, la condition de non-séparabilité est associée à l'effet du nombre d'items le plus important, tant lorsque la cible est présente (61,4 ms/item) que lorsqu'elle est absente (111,7 ms/item). De plus, la condition de conjonction est associée à un effet du nombre d'items plus important que la condition de base, tant lorsque la cible est présente (52,2 ms/item) que lorsqu'elle est absente (104,8 ms/item). Ceci confirme les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire rapportés auparavant par Blais et al. (2009) et Arguin et Saumier (2003).

Tableau II : coût associé au nombre d'items (en ms), selon le type de relation cible / distracteurs et la présence ou l'absence de la cible.

Cible absente			
	Condition de base	Conjonction	Non-séparabilité linéaire
Ordonnée à l'origine	692,6	687,4	660,6
Pente	74,3	104,8	111,7
R ²	0,99	0,99	0,99
Cible présente			
	Condition de base	Conjonction	Non-séparabilité linéaire
Ordonnée à l'origine	753	778,7	750
Pente	35,1	52,2	61,4
R ²	0,98	0,99	0,98

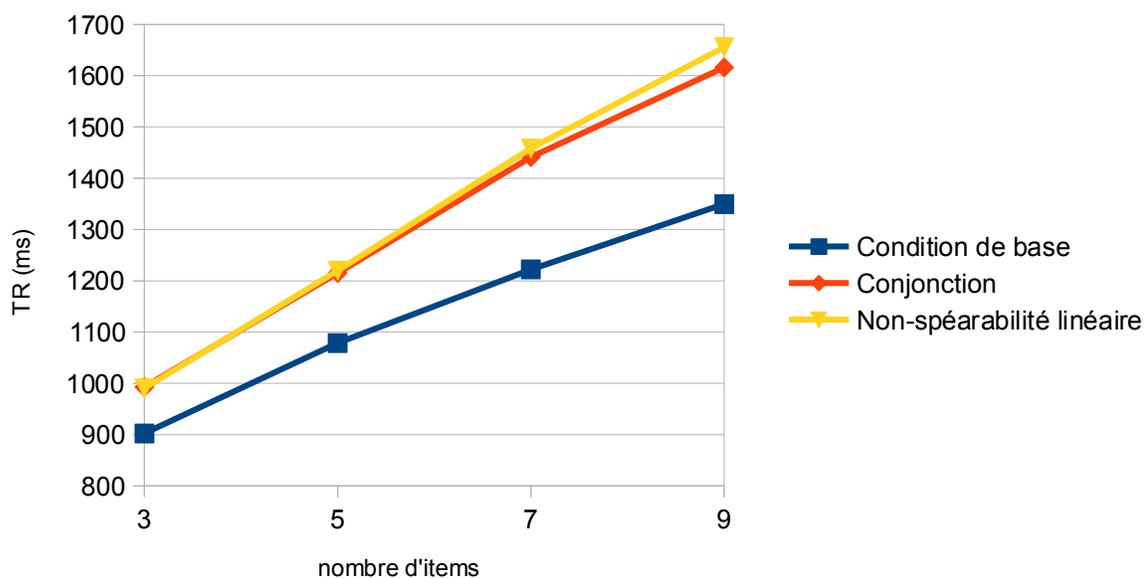


Figure 5a : Interaction entre le coût associé au nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible absente.

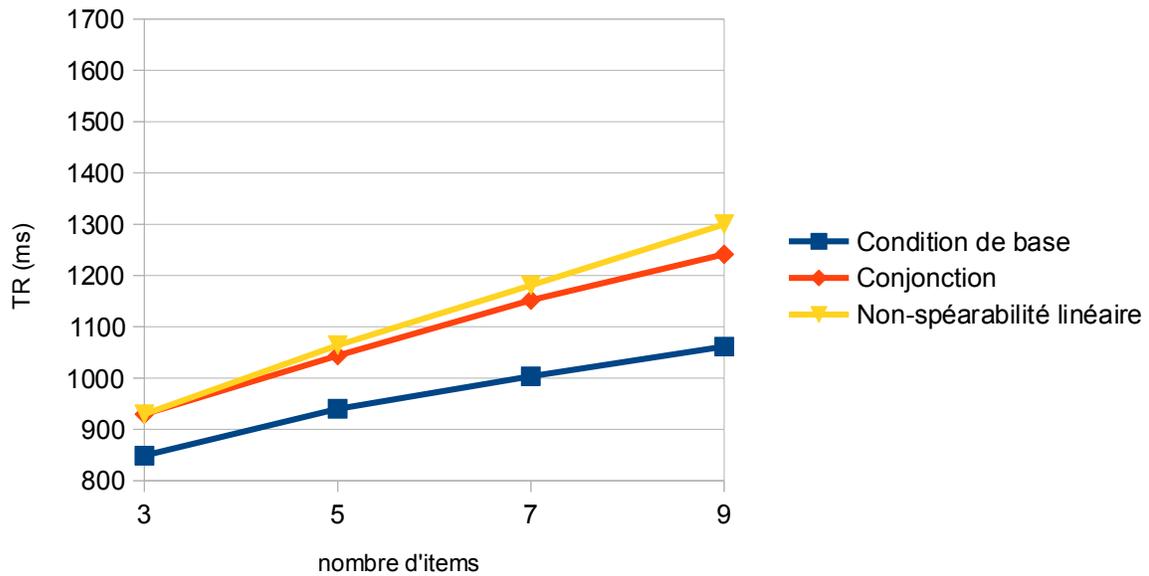


Figure 5b : Interaction entre le coût associé au nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible présente.

De plus, une interaction entre le type de relation cible / distracteurs et le coût de rotation est observée ($F = 4,49; p < 0,05$). Ainsi, l'effet du type de relation cible / distracteurs est plus faible lorsque les stimuli ont subi des rotations que lorsque l'orientation des stimuli est restée fixe. Dans la condition où l'orientation des stimuli est fixe, le coût associé à la condition de conjonction est de 243,85 ms ($F = 234,616; p < 0.001$) et le coût associé à la condition de non-séparabilité linéaire est de 265,95 ms ($F = 89,421; p < 0.001$). Dans la condition où les stimuli ont subi des rotations, le coût associé à la condition de conjonction est de 189,2 ms ($F = 265,210; p < 0.001$) et le coût associé à la condition de non-séparabilité linéaire est de 232,35 ms ($F = 64,295; p < 0.001$) (voir Tableau III pour l'ensemble des données).

Tableau III : coût associé au type de relation cible / distracteurs, en fonction du degré de rotation (en ms).

Orientation fixe			
	Condition de base	Conjonction	Non-séparabilité linéaire
Temps de réponse moyen	1441,1	1684,9	1707,1
Coût par condition	n/a	243,9	265,9
Orientation variable			
	Condition de base	Conjonction	Non-séparabilité linéaire
Temps de réponse moyen	1623,3	1812,5	1855,7
Coût par condition	n/a	189,2	232,4

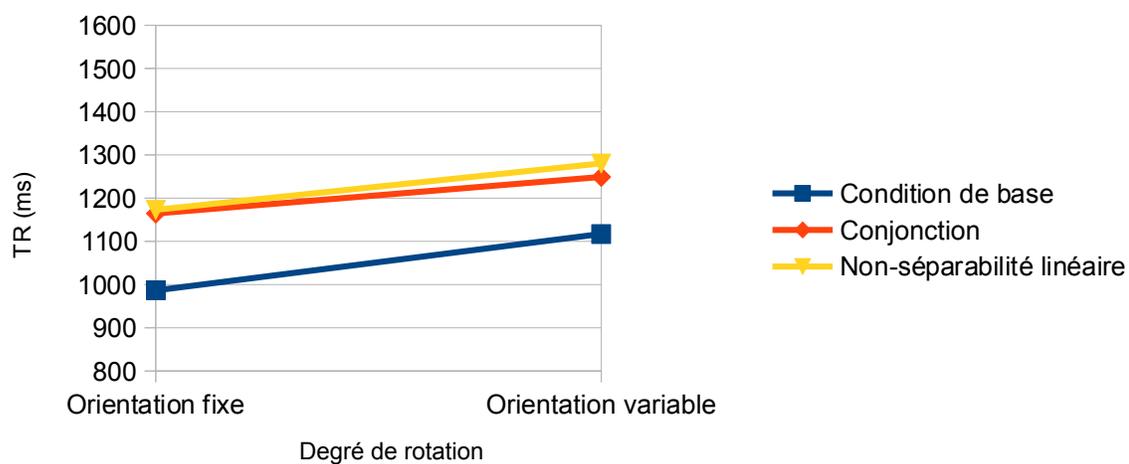


Figure 6 : Interaction entre le coût de rotation et le type de relation cible / distracteurs

Analyses des taux d'erreurs

Les taux d'erreurs ont été comparés pour chaque variable indépendante (type de présentation, nombre d'items, relation cible / distracteurs, présence ou absence de la cible et rotation des stimuli). Comme indiqué précédemment, des ANOVA mixtes à 5 facteurs (inter-sujet pour les conditions d'exposition et intra-sujet pour les autres facteurs) ont été effectuées dans ce but.

Un effet principal du type de relation cible / distracteurs est observé ($F = 26,925$; $p < 0,001$). La condition de base (1D-LS) présente significativement moins d'erreurs ($M = 0,04$, $ET = 0,184$) que les conditions de conjonction ($M = 0,05$, $ET = 0,233$) et de non-séparabilité linéaire ($M = 0,05$, $ET = 0,230$). Aussi, la présence ou l'absence de la cible à l'écran a un effet significatif ($F = 16,508$; $p < 0,001$) sur les taux d'erreurs des participants. En effet, les essais où la cible est absente sont associés avec des taux d'erreurs moins élevés ($M = 0,02$, $ET = 0,153$) que lorsque la cible est présente ($M = 0,07$, $ET = 0,264$). La rotation des stimuli a également un effet significatif ($F = 30,827$; $p < 0,001$) sur les taux d'erreurs. Ceux-ci sont moins élevés pour les essais à orientation fixe ($M = 0,04$, $ET = 0,197$) que variable ($M = 0,06$, $ET = 0,235$). Enfin, le nombre d'items présents à l'écran a un effet significatif sur les taux d'erreurs, consistant en une augmentation des taux d'erreur avec le nombre de stimuli présentés ($F = 19,839$; $p < 0,001$).

Analyses des interactions (taux d'erreurs)

Les résultats obtenus démontrent des interactions significatives. Premièrement, nous observons une interaction entre la rotation et le type de relation cible / distracteurs ($F = 6,265$; $p < 0,05$). L'effet (en terme d'augmentation de la probabilité d'erreur) du type de relation

cible / distracteurs est moins important dans la condition d'orientation fixe ($F = 16,205$; $p < 0,001$) que variable ($F = 26,589$; $p < 0,001$). Plus précisément, l'effet associé à la condition de conjonction est de 0,02775 lorsque l'orientation des stimuli est fixe et de 0,0531 lorsque l'orientation des stimuli est variable. Aussi, le coût associé à la condition de non-séparabilité linéaire est de 0,0331 lorsque l'orientation des stimuli est fixe et de 0,04585 lorsque l'orientation est stimuli est variable.

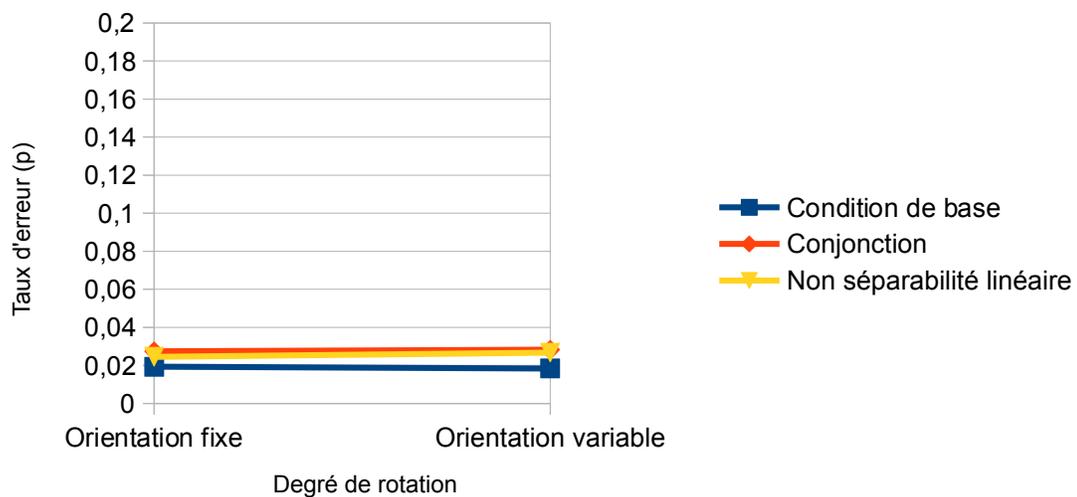


Figure 7a : Interaction entre le coût de rotation et le type de relation cible / distracteurs, cible absente.

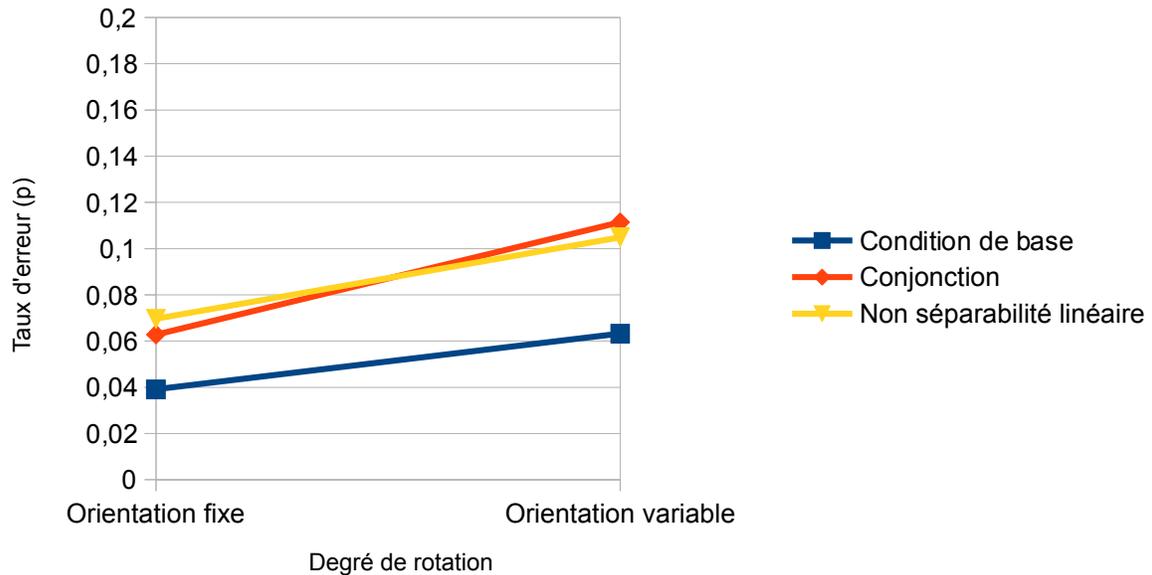


Figure 7b : Interaction entre le coût de rotation et le type de relation cible / distracteurs, cible présente.

Une interaction entre le nombre d'items présentés à l'écran, le type de relation cible / distracteurs, l'absence ou la présence de la cible et le mode de présentation est également observée ($F = 10,935$; $p < 0,05$). L'analyse de cette interaction indique entre autres que, pour chaque type de relation cible / distracteurs, le coût associé à l'augmentation du nombre d'items est plus faible lorsque la cible est absente que lorsqu'elle est présente (voir le Tableau IV, qui rapporte les analyses de régression linéaire qui ont été effectuées en rapport avec cette interaction). De plus, les taux d'erreurs sont plus élevés au sein du groupe ayant été exposé à une présentation des stimuli avec textures uniquement ($M = 0,0727$; $ET = 0,259$) que pour les autres groupes, soit stéréoscopie ($M = 0,0422$; $ET = 0,201$), stéréoscopie inversée ($M = 0,0525$; $ET = 0,223$) et ombrages uniquement ($M = 0,0389$; $ET = 0,176$). Plus important encore, la décomposition de l'interaction révèle que l'impact de la relation cible / distracteurs

sur les pentes des temps de réponse en fonction du nombre de stimuli diffère selon le mode de présentation (Tableau IV).

Ainsi, au sein du groupe ayant été exposé à une présentation stéréoscopique des stimuli, l'effet du type de relation cible / distracteurs sur le coût du nombre d'items est moins marqué qu'avec les autres modes d'exposition. D'ailleurs, dans ce groupe, l'interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs n'est que marginalement significative ($F = 2,213; p > 0,05$), alors qu'elle est significative dans l'ensemble des autres groupes, soit stéréoscopie inversée ($F = 8,748; p < 0,01$), textures ($F = 7,909; p < 0,01$) et ombrages ($F = 5,797; p < 0,01$).

Tableau IV : coût associé au nombre d'items (taux d'erreurs), selon le type de relation cible / distracteurs et la présence ou l'absence de la cible.			
Stéréoscopie			
Cible absente			
	Condition de base	Conjonction	Non-séparabilité linéaire
Ordonnée à l'origine	0,02455	0,017905	0,02343
Pente	-0,00005	- 0,001205	0,00057
R ²	0,06	0,39	0,47
Cible présente			
	Condition de base	Conjonction	Non-séparabilité linéaire
Ordonnée à l'origine	0,02788	0,050715	0,042485
Pente	0,00282	0,003485	0,005465
R ²	0,66	0,62	0,99
Stéréoscopie inversée			
Cible absente			
	Condition de base	Conjonction	Non-séparabilité linéaire
Ordonnée à l'origine	0,03241	0,040515	0,043315
Pente	-0,00151	- 0,001615	- 0,001315

R ²	0,45	0,51	0,31
Cible présente			
	Condition de base	Conjonction	Non-séparabilité linéaire
Ordonnée à l'origine	0,04516	0,03708	0,0506
Pente	0,00124	0,00832	0,00585
R ²	0,21	0,66	0,98
Textures			
Cible absente			
	Condition de base	Conjonction	Non-séparabilité linéaire
Ordonnée à l'origine	0,01674	0,06024	0,043925
Pente	0,00096	0,00006	-0,002525
R ²	0,91	0,01	0,81
Cible présente			
	Condition de base	Conjonction	Non-séparabilité linéaire
Ordonnée à l'origine	0,02549	0,05354	0,027695
Pente	0,00871	0,01046	0,017055
R ²	0,91	0,78	0,88
ombrages			
Cible absente			
	Condition de base	Conjonction	Non-séparabilité linéaire
Ordonnée à l'origine	0,00389	0,01604	0,014455
Pente	0,00026	- 0,00094	- 0,000455
R ²	0,14	0,43	0,15
Cible présente			
	Condition de base	Conjonction	Non-séparabilité linéaire
Ordonnée à l'origine	0,025825	0,031415	0,024905
Pente	0,000775	0,007135	0,005745
R ²	0,17	0,82	0,90

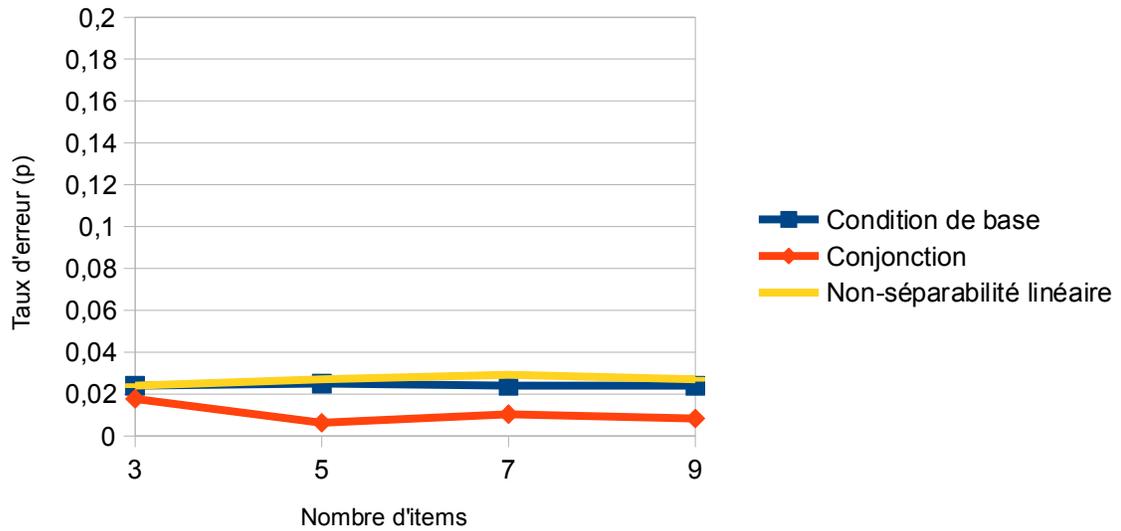


Figure 8a : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible absente, stéréoscopie.

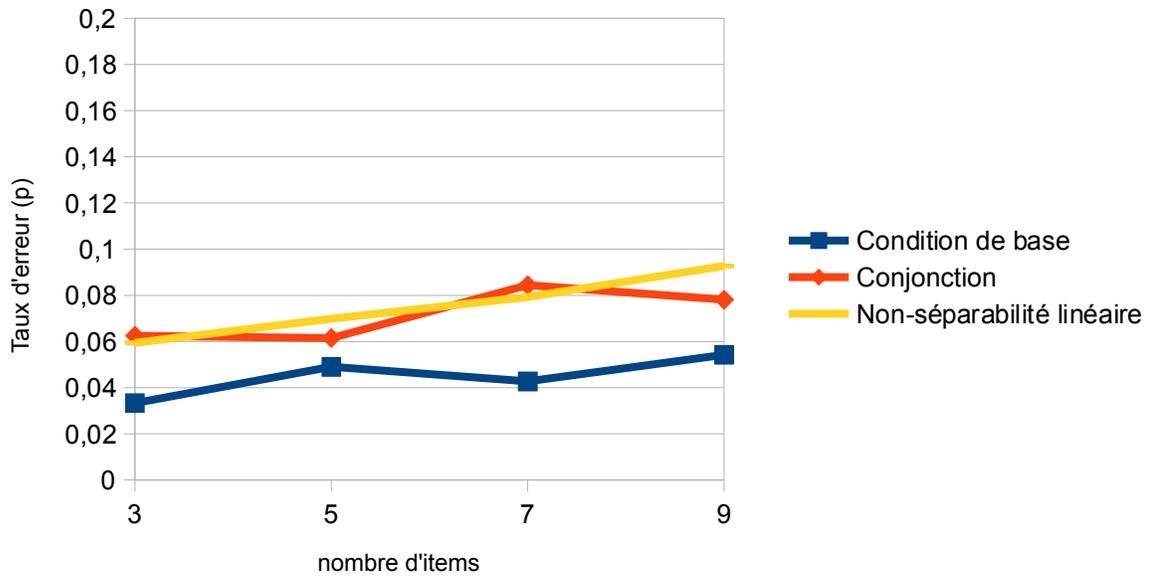


Figure 8b : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible présente, stéréoscopie.

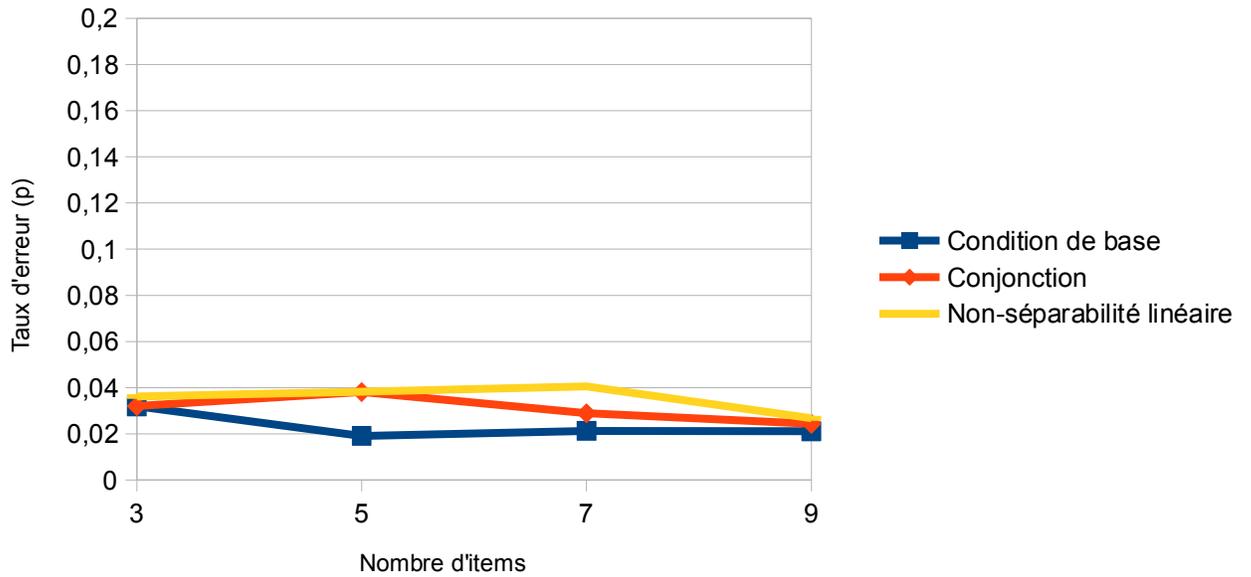


Figure 8c : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible absente, stéréoscopie inversée.

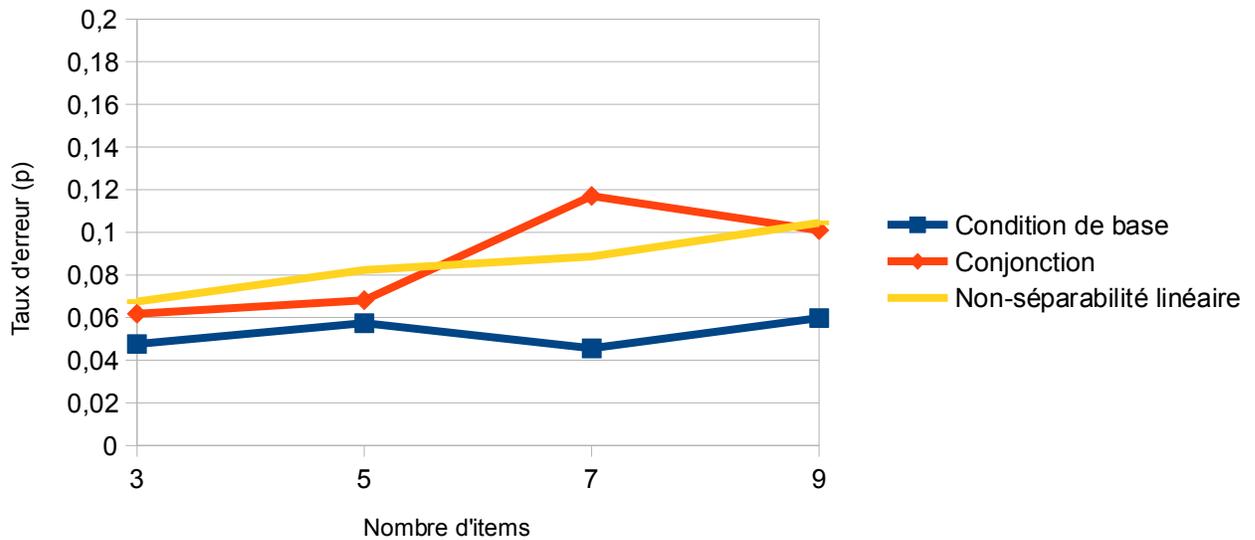


Figure 8d : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible présente, stéréoscopie inversée.

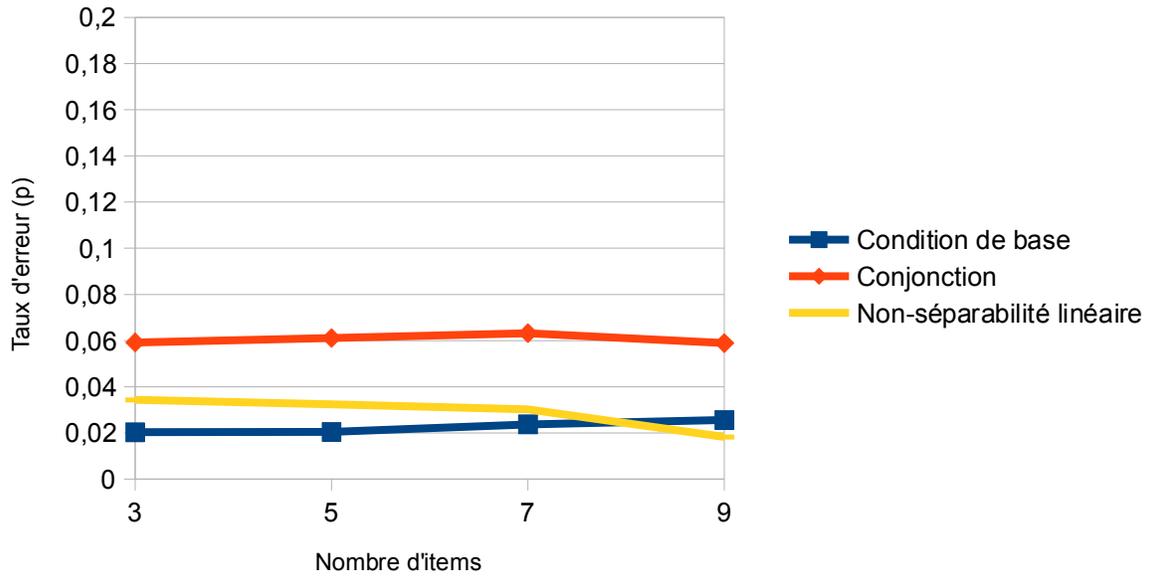


Figure 8e : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible absente, textures uniquement.

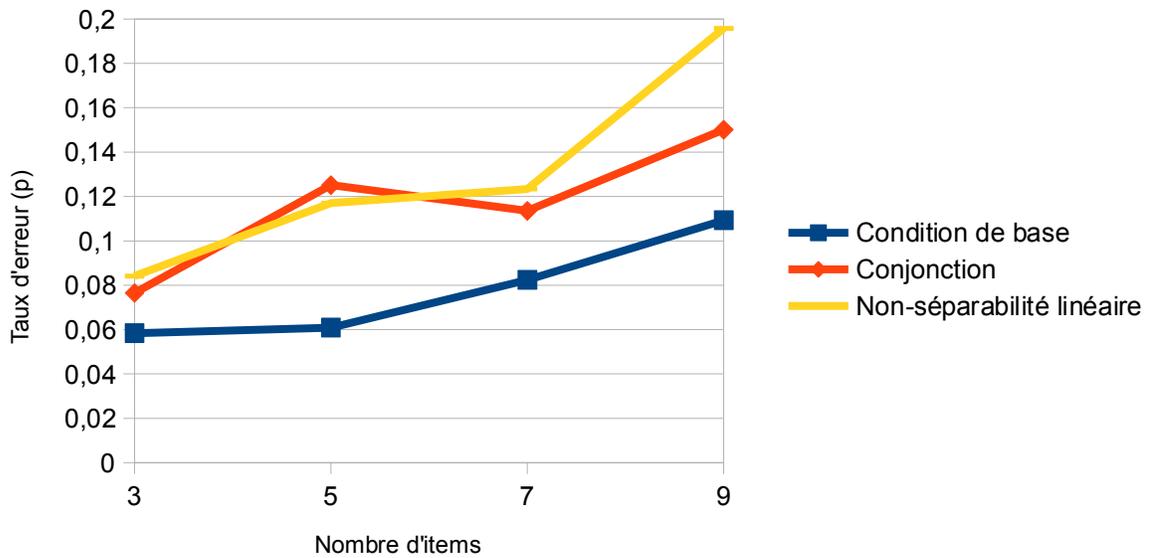


Figure 8f : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible présente, textures uniquement.

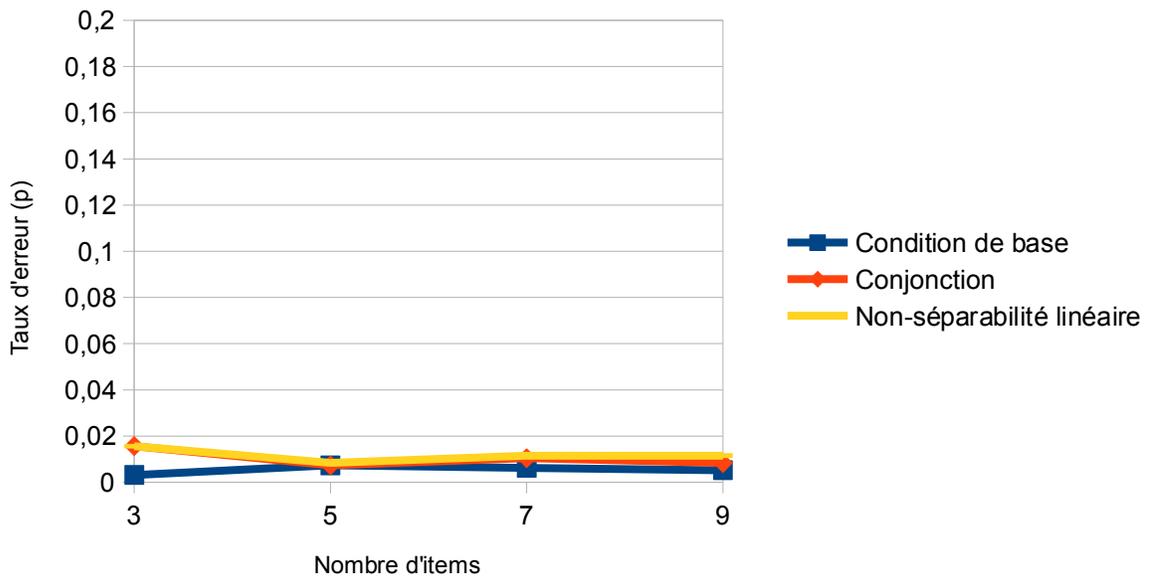


Figure 8g : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible absente, ombrages uniquement.

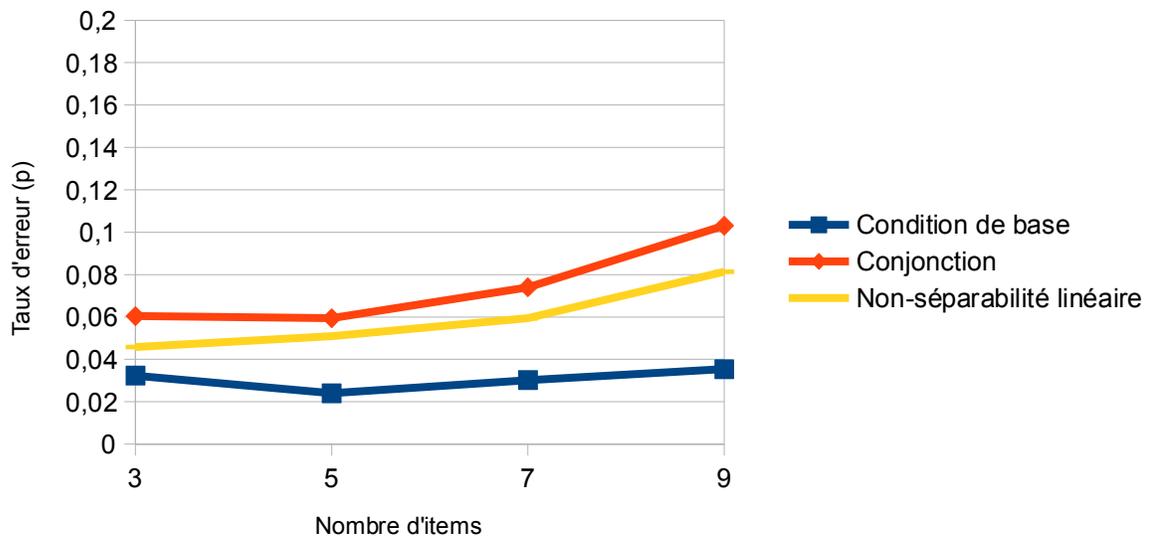


Figure 8h : Interaction entre le nombre d'items et le type de relation cible / distracteurs, cible présente, ombrages uniquement.

Discussion

L'objectif principal de cette étude est de poursuivre la recherche sur l'impact de la rotation 3D sur les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire, telle qu'entamée par Blais et al. (2009). Dans la mesure où le plan expérimental utilisé dans la présente étude a été calqué sur celui utilisé par Blais et al. (2009), il n'est pas surprenant que plusieurs des effets qu'ils ont mis en évidence aient été répliqués ici.

Comme Arguin et Saumier (2003) l'avaient précédemment démontré, les conditions de conjonction et de non-séparabilité linéaire sont associées à des temps de réponse plus longs et des taux d'erreurs plus élevés. De plus, les conditions dans lesquelles les stimuli sont présentés dans des orientations non familières sont également associées à une diminution de la performance des participants à correctement juger de la présence ou de l'absence de la cible à l'écran. On notera également un effet du nombre d'items sur la performance des participants. En effet, les temps de réponse et les taux d'erreurs sont plus élevés dans les conditions où le nombre d'items présentés à l'écran est plus important. Cette observation est cohérente avec les conclusions de Blais et al. (2009), qui avaient mis en évidence un effet du nombre d'items sur la performance des participants.

Contrairement à ce qui était attendu, c'est chez le groupe ayant été exposé à une stimulation en stéréoscopie inversée que le coût (sur les TR) associé à la rotation des stimuli était le plus faible. Bien qu'inattendue, cette observation est cohérente avec Burke (2005), en ce sens que la présentation en stéréoscopie inversée apporte aux participants une information de profondeur plus riche que les présentations avec texture et ombrages, ou bien avec ombrages uniquement. À ce propos, Aubin et Arguin (2012) ont également mis en évidence un

gain en performance de reconnaissance de forme associé à une présentation en stéréoscopie inversée. De plus, les informations métriques (degré de courbure, longueur, largeur) des stimuli ne sont pas altérées par la stéréoscopie inversée et peuvent donc être utilisées par le système visuel pour discriminer la cible des distracteurs.

Toutefois, la richesse de l'information n'explique pas la différence observée entre le groupe exposé à une présentation en stéréoscopie normale et celui exposé à une présentation en stéréoscopie inversée. Cette différence peut s'expliquer par une simplification du traitement visuel dans le cas de la présentation en stéréoscopie inversée. Li and Pizlo (2011) suggèrent que la texture et les ombrages ne sont pas pertinents pour établir la constance de forme, contrairement à la disparité binoculaire et le contour de l'objet. De plus, il semble que dans les cas où les informations de profondeur sont incohérentes, celles qui sont les plus pertinentes sont utilisées préférentiellement aux autres par le système visuel (Bülthoff & Mallot, 1988; Knill & Saunders, 2003; Norman & Todd, 1995; Saunders & Backus, 2006; Steven, Lee & Brookes, 1991). Dans ces conditions, il est possible qu'au sein du groupe exposé à une présentation en stéréoscopie inversée, l'incohérence entre le signe de la stéréoscopie et le signe des indices monoculaires ait forcé le système visuel à ne traiter que l'information stéréoscopique, diminuant ainsi la complexité du signal à traiter.

Aussi, il semble que l'effet associé au nombre d'items présents à l'écran soit modulé par le type de relation entre la cible et les distracteurs. L'effet du nombre d'items est plus marqué dans les conditions de conjonction et de non-séparabilité linéaire que dans la condition de base. Ces résultats appuient la présence des effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire démontrés auparavant par Arguin et Saumier (2003) et Blais et al. (2009).

On remarque également qu'une interaction entre le type d'information de profondeur, les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire et le nombre d'items a été mise en évidence sur les taux d'erreurs, les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire étant plus marqués au sein du groupe ayant été exposé à une présentation avec textures uniquement. À l'inverse, dans le groupe ayant été exposé à une présentation stéréoscopique, l'interaction entre le nombre d'items le type de relation cible / distracteurs n'est pas significative.

Une interaction entre le coût de rotation (en termes de temps de réponse) et les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire est également observée sur les temps de réponse et les taux d'erreurs. Dans le cas des temps de réponse, les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire sont plus faibles dans la condition d'orientation fixe que dans la condition d'orientation variable. Par contre, l'effet contraire est observé au niveau des taux d'erreurs qui sont plus fortement affectés par les coûts de conjonction et de non-séparabilité linéaire avec rotation des stimuli qu'avec une orientation fixe. Vu leur aspect contradictoire, ces interactions entre le type de relation cible / distracteurs et la rotation sur les temps de réponse et les taux d'erreur s'annulent mutuellement. En ce sens, ces résultats sont congruents avec ce qu'avaient démontré Blais et al. (2009). Plus précisément, il semble que les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire soient résistants à la rotation des stimuli, ce qui est consistant avec l'implication de représentations de la forme qui sont résistantes aux rotations 3D.

Ces observations appuient l'hypothèse selon laquelle le traitement visuel utilise, à tout le moins en partie, des représentations tridimensionnelles. En effet, bien que les résultats obtenus ici ne soient limités qu'aux effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire et ne permettent pas d'établir la nature des représentations utilisées par le système visuel dans son

ensemble, ils soutiennent néanmoins la possibilité que des représentations tridimensionnelles soient utilisées par le système visuel. À ce titre, la présente étude est cohérente avec les modèles qui acceptent l'utilisation de représentations tridimensionnelles, du moins à certaines étapes du traitement visuel. *A contrario*, les résultats obtenus ici sont difficilement réconciliables avec les modèles qui décrivent les objets comme des collections de surfaces bidimensionnelles.

On notera que les modèles mixtes, qui proposent l'utilisation de représentations bidimensionnelles et tridimensionnelles, tel que le modèle de Logothetis et Sheinberg (1996) et Foster et Gilson (2002), sont cohérents avec les résultats obtenus ici. Par exemple, le modèle de Foster et Gilson suggère l'existence de deux systèmes parallèles, l'un étant invariant au point de vue et l'autre étant dépendant du point de vue. Les effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire seraient dans ce cas sous-tendus par le système invariant au point de vue, un système dépendant de la structure des objets. Les résultats de la présente étude sont également cohérents avec la possibilité que différentes étapes du traitement visuel reposent sur des représentations de nature différente.

Conclusion

Il ressort de la présente étude que la disponibilité d'une information de profondeur plus riche (ie. stéréoscopique) diminue le coût associé à la rotation d'un objet et contribue de ce fait à l'invariance au point de vue. Les bénéfices plus importants offerts par la stéréoscopie inversée par rapport à la stéréoscopie normale suggèrent que l'information de profondeur associée aux indices monoculaires est traitée différemment selon qu'elle est cohérente ou non avec l'information binoculaire.

Au plan théorique, les résultats obtenus ici appuient l'hypothèse d'une implication de représentations tridimensionnelles dans le traitement de l'information visuelle. Toutefois, les présents résultats ont été obtenus dans le contexte spécifique d'une évaluation des effets de conjonction et de non-séparabilité linéaire. Ainsi, il demeure évidemment possible que les observations qui ressortent de cette étude ne s'appliquent pas à d'autres effets perceptifs ou à d'autres étapes du traitement visuel.

Références

- Aubin, M., Arguin, M. (2012). Shape representation theories. Document soumis pour publication, Université de Montréal, Montréal.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94, 115–147.
- Blais, C., Arguin, M. & Marleau, I. (2009). Orientation invariance in visual shape perception. *Journal of Vision*, 9, 1-23.
- Bauer, B., Jolicoeur, P. & Cowan, William B. (1995). Visual Search for Colour Targets that Are or Are Not Linearly Separable from Distractors, *Vision Research*, 10, 1439-1465.
- Bülthoff, H. H. & Edelman, S. (1992). Psychophysical support for a two-dimensional view interpolation theory of object recognition. *PNAS*, 89, 60-64.
- Bülthoff, H. H. & Mallot, H.A. (1988). Integration of depth modules: stereo and shading, *Journal of Optical Society of America*, 5(10), 1749-1758.
- Burke, D. (2005). Combining disparate views of objects: Viewpoint costs are reduced by stereopsis. *Visual Cognition*, 12, 705-719.
- Corballis, M. C., Nagourney, B. A., Shetzer, L. I. & Stefanatos, G. (1978). Mental rotation under head tilt: Factors influencing the location of the subjective reference frame. *Perception & Psychophysics*, 24, 263-273.
- Foster, D. H. & Gilson, S. J. (2002). Recognizing novel three-dimensional objects by summing signals from parts and views. *Proceedings of the Royal Society London*, 269, 1939-1947.

- Hummel, J. E. & Biederman, I. (1992). Dynamic Binding in a Neural Network for Shape Recognition. *Psychological review*, 99, 480-517.
- Jolicoeur, P. (1985). Orientation Congruency Effects on the Identification of Disoriented Shapes. *Journal of experimental psychology*, 16, 351-364.
- Knill, D.C. & Saunders, J.A. (2003). Do human optimally integrate stereo and texture information for judgement of surface slants?, *Vision Research*, 43, 2536-2558.
- Li, Y. & Pizlo, Z. (2011). Depth cues versus the simplicity principle in 3D shape perception, *Topics in Cognitive Science*, 3(4), 667-685.
- Liu, Z., Kersten, K. & Knill, C. L. (1999). Dissociating stimulus information from internal representation - a case study in object recognition. *Vision Research*, 39, 603-612.
- Logothetis, N. K. & Sheinberg, D. L. (1996). Visual object recognition. *Annual Review Neuroscience*, 19, 577-621.
- Norman, J.F. & Todd, T.T. (1995). The perception of 3-D structure from contradictory optical patterns. *Perception & Psychophysics*, 57(6), 826-834.
- Peissing, J. J., Wasserman, E. A., Young, M. E. & Biederman, I. (2002). Learning an object from multiple views enhances its recognition in an orthogonal rotational axis in pigeons. *Vision Research*, 42, 2051-2062.
- Saumier, D. & Arguin, M. (2000). Conjunction and linear non-separability effects in visual shape encoding. *Vision Research*, 40, 3099-3115.
- Saumier, D. & Arguin, M. (2003). Distinct mechanisms account for the linear non-separability and conjunction effects in visual shape encoding. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 56A, 1373-1388.

- Saunders, J.A. & Backus, B.T. (2006). Perception of surface slant from oriented textures, *Journal of Vision*, 6, 882-897.
- Stankiewicz, B. J. (2002). Empirical Evidence for Independent Dimensions in the Visual Representation of Three-Dimensional Shape. *Journal of Experimental Psychology*, 28, 913-932.
- Stevens, K. A., Lees, M. & Brookes, A. (1991). Combining binocular and monocular features, *Perception*, 20, 425-440.
- Tarr, M. & Bülthoff, H. H. (1995). Is human object recognition better described by geon-structural-description or by multiple-views?. *Journal of experimental psychology*, 21, 1494-1505.
- Tarr, M. J. & Kriegman, D. J. (1989). What defines a view?. *Vision Research*, 41, 1981-2004.
- Tarr, M. J. & Pinker, S. (1989). Mental rotation and orientation-dependence in shape recognition. *Cognitive Psychology*, 21, 233–282.
- Ullman, S. & Basri, R. (1990). Recognition by Linear Combinations of Models. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13, 992-1006.

Annexe

Présentation détaillée des résultats

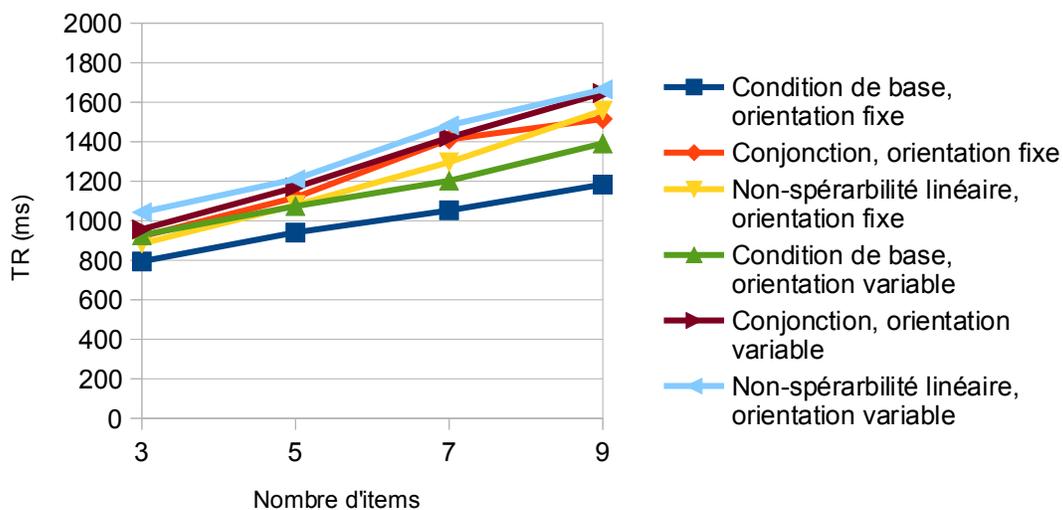


Figure 9a : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation stéréoscopique.

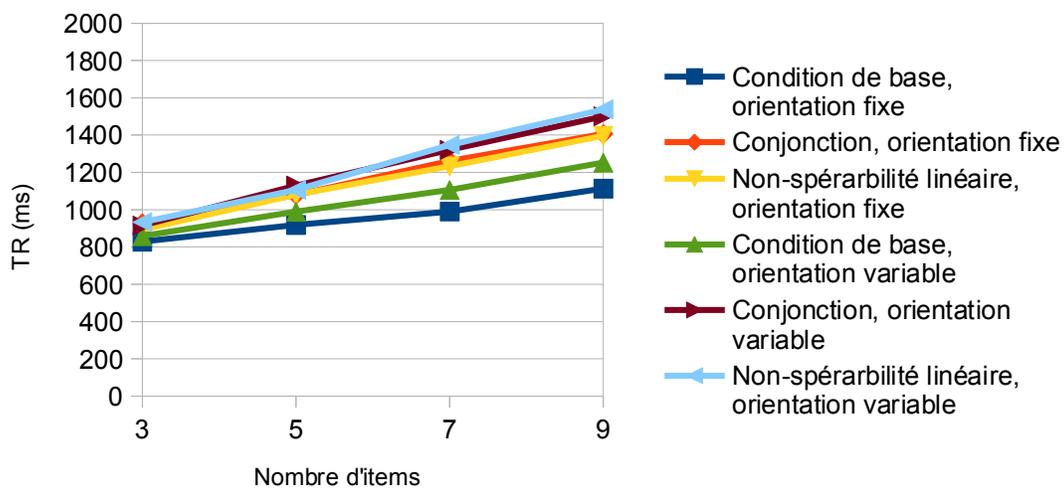


Figure 9b : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation en stéréoscopie inversée.

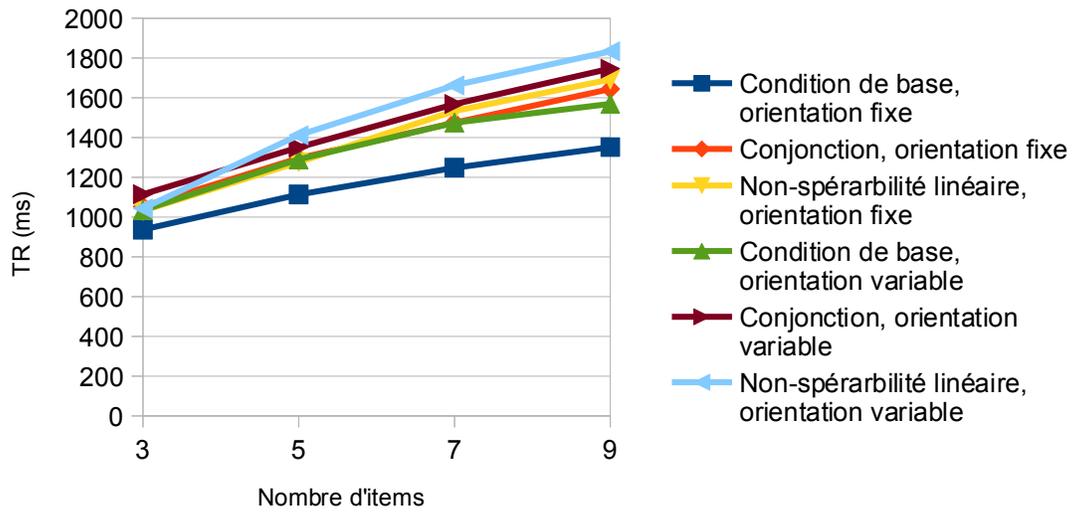


Figure 9c : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation avec textures et ombres.

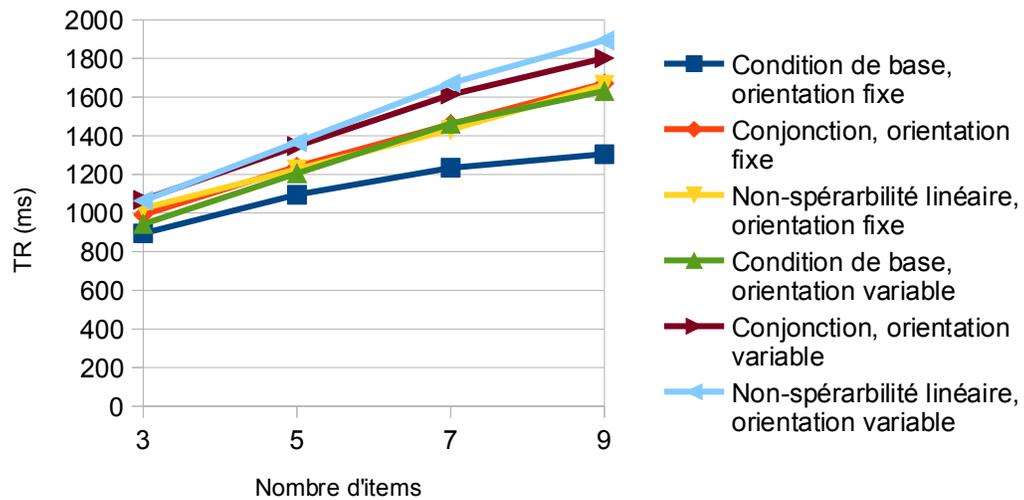


Figure 9d : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation avec ombres uniquement.

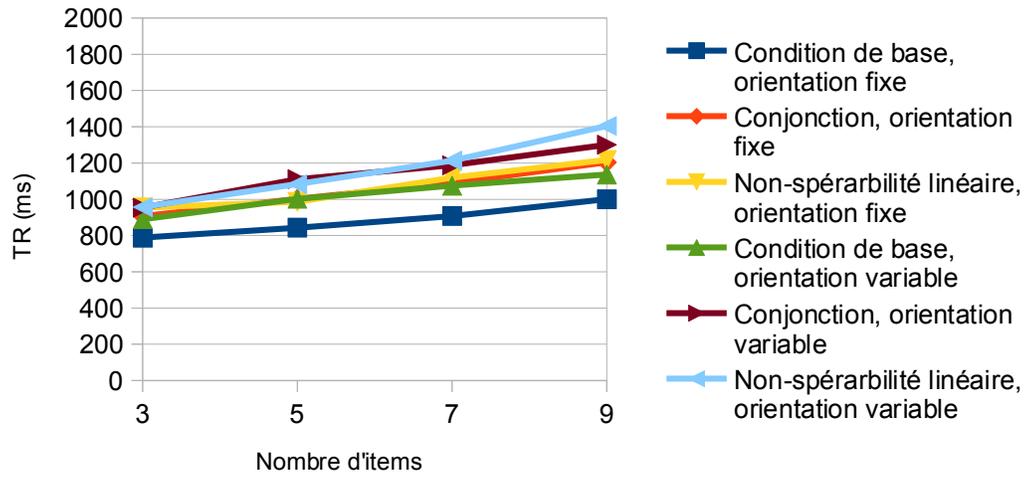


Figure 9e : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation stéréoscopique.

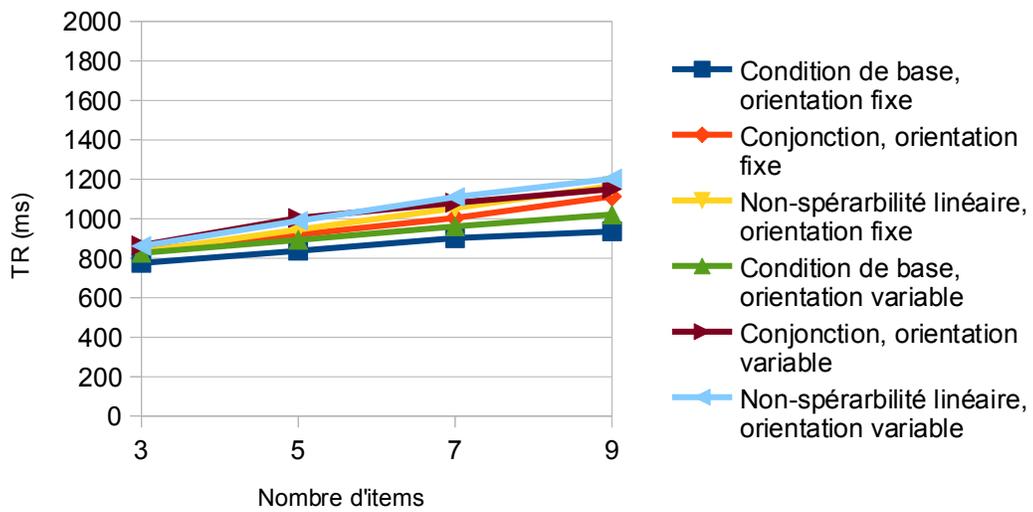


Figure 9f : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation en stéréoscopie inversée.

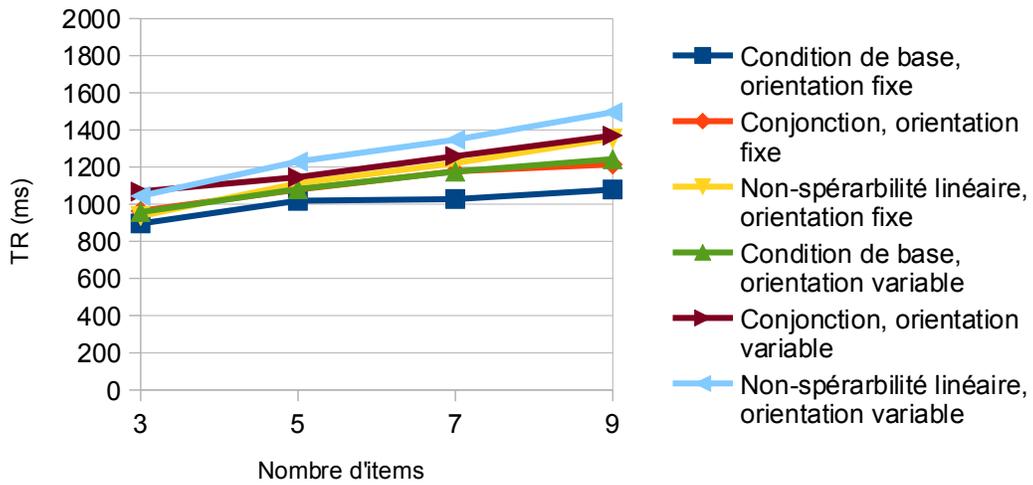


Figure 9g : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation avec textures et ombrages.

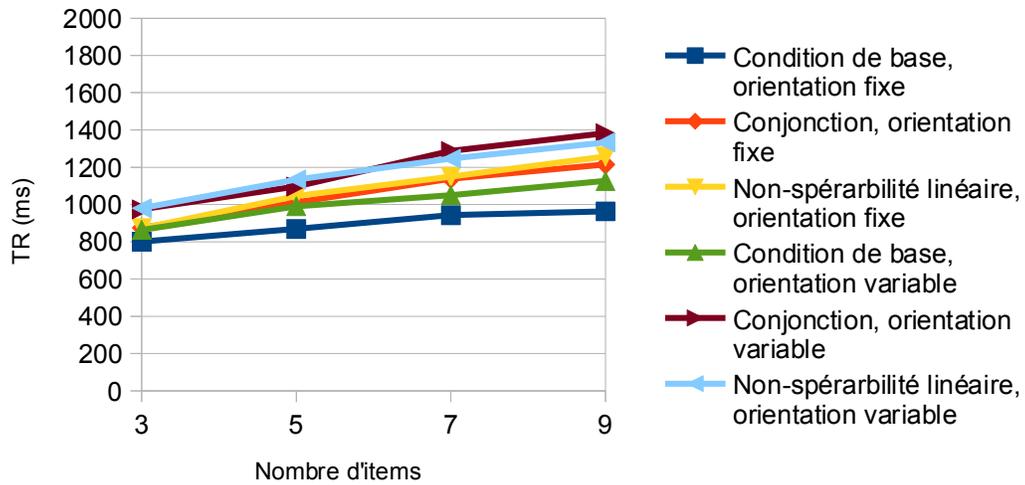


Figure 9h : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation avec ombrages uniquement.

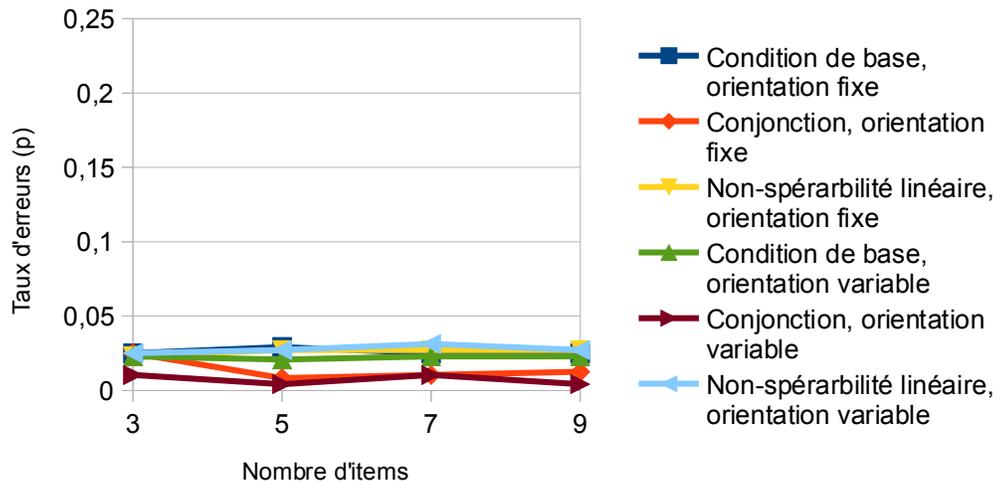


Figure 10a : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation stéréoscopique.

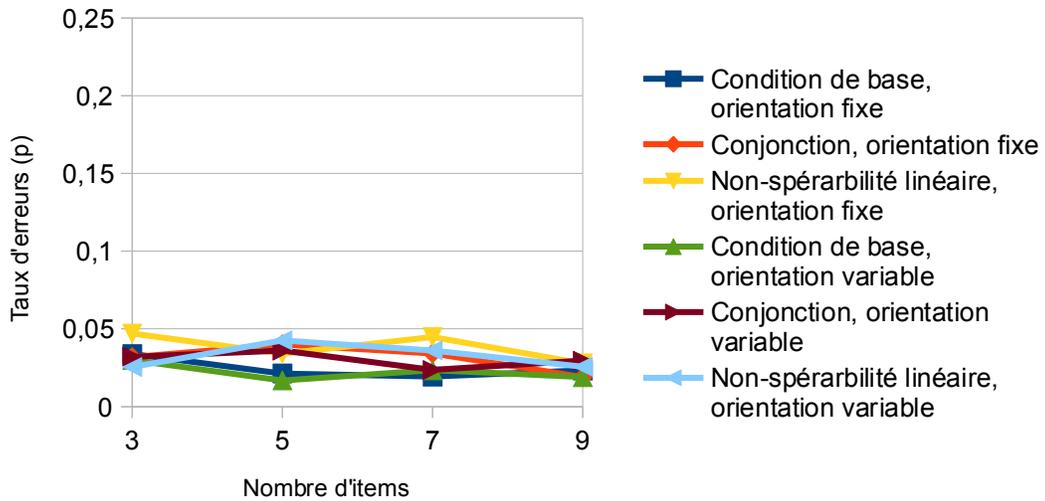


Figure 10b : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation en stéréoscopie inversée.

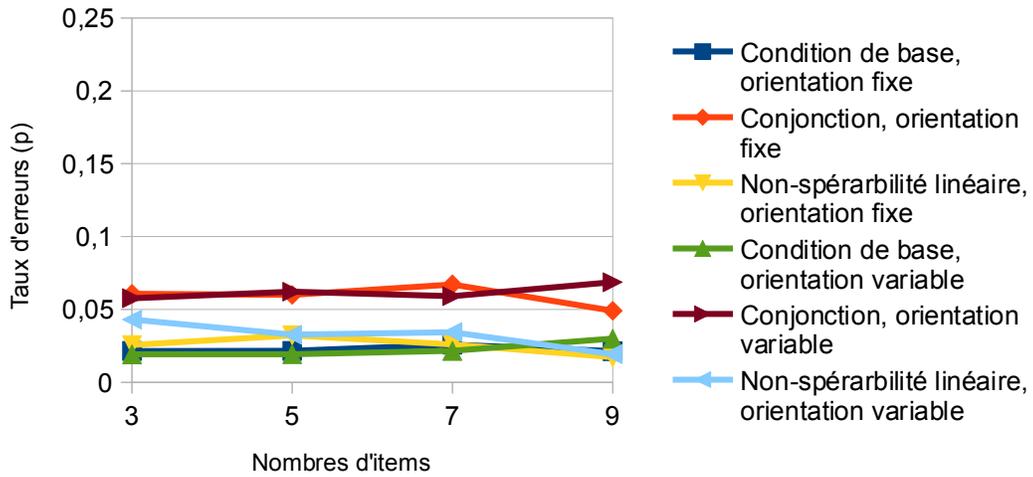


Figure 10c : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation avec textures et ombrages.

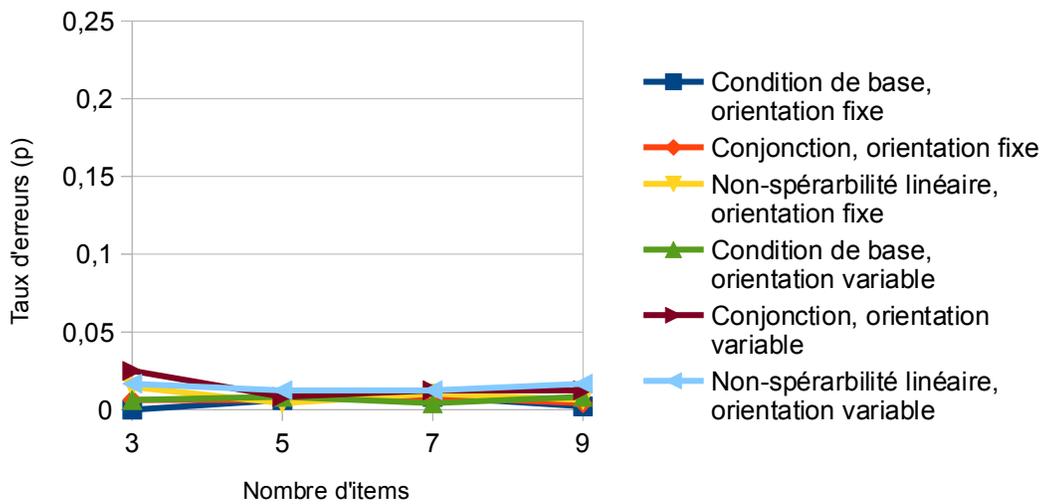


Figure 10d : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible absente et présentation avec ombrages uniquement.

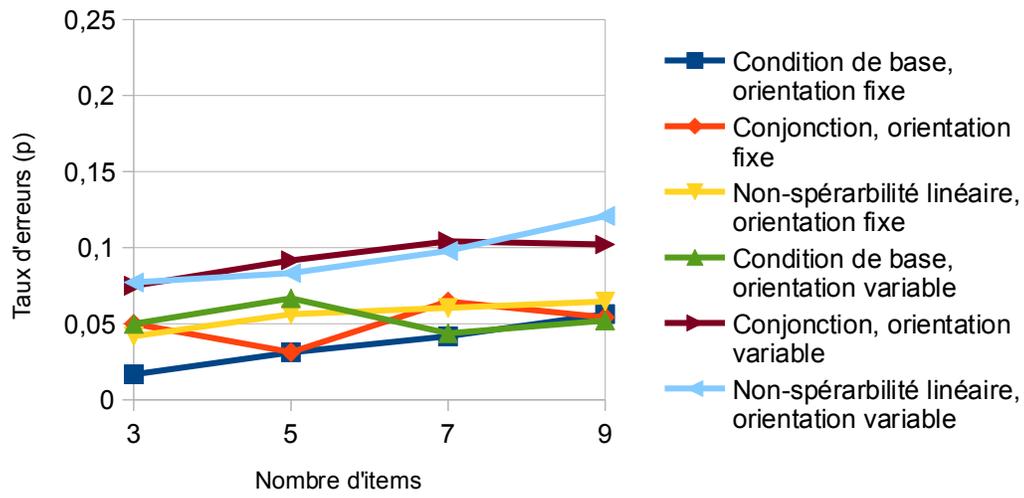


Figure 10e : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation stéréoscopique.

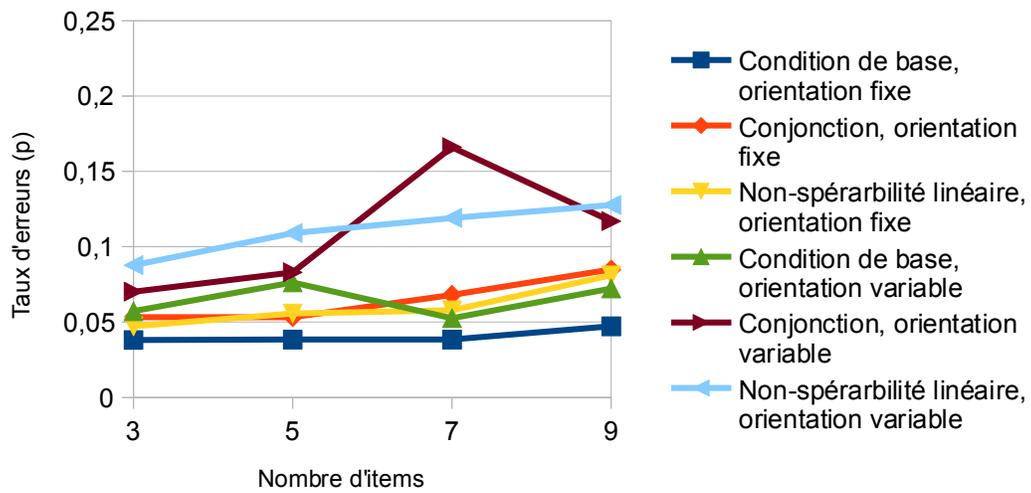


Figure 10f : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation en stéréoscopie inversée.

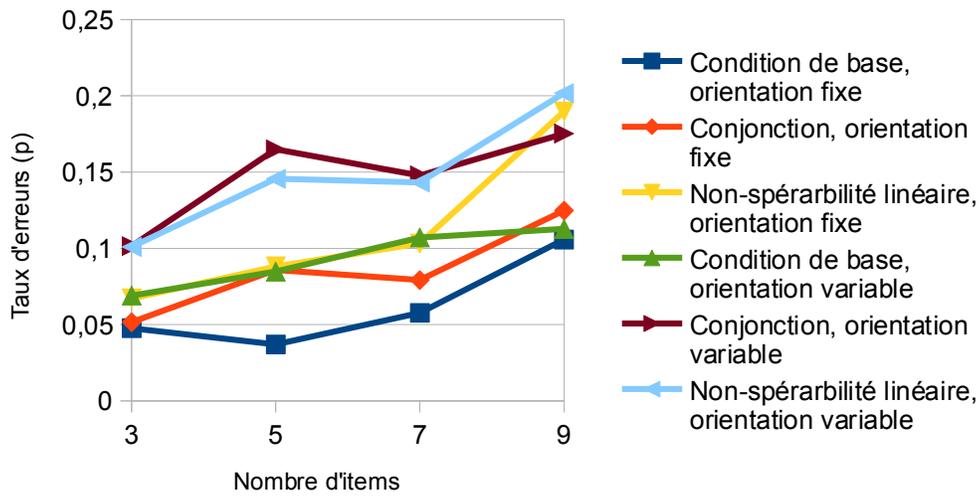


Figure 10g : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation avec textures et ombrages.

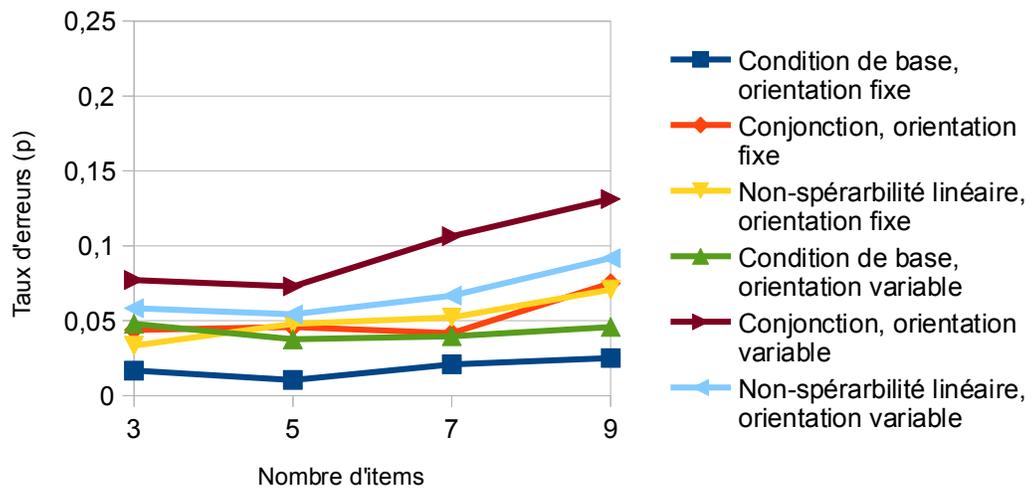


Figure 10h : Interaction entre le nombre d'items, le type de relation cible / distracteurs et le degré de rotation, cible présente et présentation avec ombrage uniquement.