

Université de Montréal

La perception des courbes chez les jeunes et les personnes âgées

par

Isabelle Legault

École d'optométrie

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise (M.Sc.)
en sciences de la vision
option sciences fondamentales et appliquées

août 2006

© Isabelle Legault, 2006



WW

5

U58

2007

V.001

Direction des bibliothèques

AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

La perception des courbes chez les jeunes et les personnes âgées

présentée par :

Isabelle Legault

a été évalué(e) par un jury composé des personnes suivantes :

Jean-François Bouchard, B. Pharm., Ph.D.
Président-rapporteur

Jocelyn Faubert, Ph.D.
Directeur de recherche

Olga Overbury, Ph.D.
Membre du jury

Résumé

Dans la vie de tous les jours, plusieurs objets arborant diverses formes nous entourent. Notre système visuel doit être précis et efficace pour nous permettre de bien distinguer les subtilités et nous donner une représentation réaliste de notre environnement. La présente étude visait à évaluer les effets de la complexité, de la géométrie ainsi que de l'âge sur la perception des courbes. Dans un premier temps, le but de cette étude était de comparer des lignes périodiques définies par le premier ou le deuxième ordre auxquelles des modulations de différentes fréquences spatiales étaient induites. Les résultats ont révélé que, peu importe la fréquence spatiale ou l'attribut utilisés (premier ou deuxième ordre) dans la composition d'une ligne périodique, les seuils de sensibilité des sujets demeuraient similaires. Ces résultats indiquent que les détecteurs de courbures sont optimaux à un cycle et impliquent les mêmes mécanismes pour des stimuli de premier et de deuxième ordre. Dans un deuxième temps, nous avons évalué l'effet de la géométrie d'une courbe en mesurant la sensibilité des sujets sur des courbes arborant trois profils géométriques différents. Nos résultats ont démontré que l'amplitude nécessaire pour détecter des courbes changeait en fonction du profil géométrique de celles-ci. Ces résultats suggèrent la présence d'un traitement neural alternatif pour des courbes de différents profils géométriques. Dans un dernier temps, nous avons comparé la sensibilité aux courbes chez les jeunes et les personnes âgées. Les résultats ont illustré qu'en générale, les personnes âgées sont moins sensibles aux courbes comparativement

aux jeunes et que cette différence de sensibilité varie en fonction de la forme géométrique mesurée.

Mots clés : Perception des courbes, premier ordre, deuxième ordre, vieillissement, formes

Summary

Curvature surrounds us. It is important to appropriately process this type of information to obtain the most realistic representation of our environment. The studies presented assessed the effects of stimulus complexity, geometry, and the effect of age on curvature perception. The purpose of the first experiment was to measure curvature sensitivity for periodic line stimuli of different frequencies defined by both luminance- and contrast-defined information. Results show that no difference in curvature sensitivity was found between luminance- and contrast-defined curves across frequency, demonstrating that central curvature detectors are optimal at one cycle and imply the same mechanisms for first- and second-order images. In a second experiment, the effect of “geometry” of a curve was assessed by measuring sensitivity for single-cycle curvature stimuli defined by three different geometric profiles. Results demonstrate that the amplitude necessary to detect such curves varies as a function of their geometric profile. These results can be interpreted as evidence for alternate neural processing for curves of different geometric profiles. In the third experiment, we observed whether normal aging affects curvature perception. Stimuli consisted of the curvatures used in Experiment 1. Results show that both older and young observers showed differences in sensitivity for the different shapes. The data suggest that some shapes require more processing than others resulting in higher age-related deficits.

Key words: Curves perception, first-order, second-order, aging, forms

Table des matières

Résumé.....	i
Summary	iii
Table des matières.....	iv
Liste des tableaux et des figures	vii
Liste des sigles et des abréviations.....	viii
Remerciements.....	ix
<i>Chapitre I</i>	2
Introduction	2
Recension de la littérature.....	4
1. Perception des courbes - modèles	4
2. Stimuli de 1 ^{er} (luminance) et 2 ^e ordre (texture).....	9
2.1 Premier ordre : définition et détection	9
2.2 Deuxième ordre : définition et détection.....	10
2.3 Courbe défini par le premier et le deuxième ordre	11
3. Vieillessement normal chez l'adulte.....	12
3.1 Fonctions visuelles et neuronales.....	14
3.1.1 Les changements optiques et la rétine.....	15
3.1.2 Corps genouillés latéraux.....	16
3.1.3 Cortex visuel	17
3.2 Performance aux tâches.....	19
3.2.1 La sensibilité à la luminance et aux couleurs.....	19

3.2.2 Le mouvement.....	20
3.2.3 La profondeur et la vision binoculaire	21
3.2.4 Tâches dont la performance demeure intacte.....	22
3.3 Le vieillissement et la perception des courbes.....	23
3.3.1 Études sur les orientations et l'inhibition.....	24
3.3.2 Les courbes : prédictions basées sur les modèles actuels	26
Contexte de l'étude	27
<i>Chapitre II</i>	28
Article 1.....	28
Abstract	28
Introduction	30
Experiment 1	33
Methods.....	33
Observers.....	33
Apparatus	34
Procedure.....	36
Results and discussion	37
Method	39
Observers.....	39
Hardware & Stimuli	40
Procedure.....	41
Results and Discussion.....	42
Method	44

Observers.....	44
Hardware & Stimuli.....	44
Procedure.....	45
Results and discussion	46
General discussion	48
References	54
<i>Chapitre III</i>	58
Article 2.....	58
Abstract	58
Introduction.....	60
Method	62
Observers.....	62
Stimuli.....	63
Procedure.....	65
Results.....	66
Discussion	67
Acknowledgements.....	71
References	72
<i>Chapitre IV</i>	75
Discussion	75
<i>Chapitre V</i>	82
Conclusion	82
Références.....	85

Liste des tableaux et des figures

Figure 1: a) courbe haute amplitude; b) courbe basse amplitude.....	p.5
Figure 2: Stimuli used in experiment 1; a) represents 1 cycle per image in first-order b) corresponds to 2 cycles per image in second-order.....	p.36
Figure 3: First- and second-order amplitude thresholds on periodic line stimuli as a function of number of cycles per image.....	p.38
Figure 4: Stimuli used in experiment 2; a) represents compressed arc curve b) quadratic curve and c) bell shaped curve.....	p.41
Figure 5: Curvature detection as a function of curve shape.....	p.43
Figure 6: Example of filtered noise used in experiment 3; a) represents compressed arc with 20 degree horizontal noise, b) shows quadratic curve condition with 5 degree vertical noise, c) represents 45 degree vertical noise with the bell shaped curve.....	p.45
Figure 7: Results for three curve patters with different noise levels.....	p.47
Figure 8: Results for Gabor and 1cycle per image stimuli.....	p.50
Figure 9: <i>Adapted from Foster 2002</i> . Left: 2x3 matrix excitatory and inhibitory units (Koenderink & Van Dorn 1988,1992b), Image right system non linear proposed by Wilson and Richards 1989.....	p.51
Figure 10: Stimuli used in our experiment; a) represents compressed arc curve b) quadratic curve and c) bell shape curve.....	p.63
Figure 11: Curvature detection as a function of curve shape for younger and older observer	p.66

Liste des sigles et des abréviations

cpd : *cycle per degree (cycles par degré)*

deg : *degree (degré)*

dva : *degree of visual angle (degré d'angle visuel)*

ms : *millisecond (milliseconde)*

sec arc : *seconds of arc (secondes d'arc)*

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur Jocelyn Faubert, professeur de l'Université de Montréal, pour sa rigueur, son support, ses encouragements et sa disponibilité. Sans sa présence, ce projet n'aurait pu être accompli.

Je tiens également à remercier Rémy Allard et Armando Bertone, respectivement, pour le partage de connaissances ainsi que pour leur patience à répondre à mes nombreuses questions.

Merci aux membres du laboratoire Faubert, pour leur complicité, mais aussi pour faire du laboratoire un endroit où il est si agréable de travailler.

Finalement, je remercie, Marie, Cathou⁴² et Stef, surtout parce qu'elles ont toujours cru en moi.

Chapitre I

Introduction

De nos jours, la majorité des gens de plus de 50 ans souffre de presbytie et se voit suggérer des verres progressifs par leur professionnel de la vue. Ces verres, bien qu'utiles, engendrent de la distorsion visuelle. Par exemple, perçu au travers de la distorsion, une ligne droite semblera courbée. L'intérêt du présent projet visait à évaluer la sensibilité des individus à la distorsion. Pour y parvenir, l'évaluation de la sensibilité aux courbes semblait l'avenue la plus prometteuse puisque la distorsion courbe les droites et les contours. L'étude visait donc mesurer la sensibilité de sujets, jeunes et âgés, à la détection de courbes.

Il a été démontré que notre système visuel possède une bonne acuité et une bonne précision lors de la détection et la discrimination de formes telles les courbes (Wilson, 1985; Wilson & Richards, 1989). Par contre, peu d'études rapportent les effets de la géométrie et les paramètres d'une courbe sur la perception de celle-ci. Le but de l'étude était de mesurer si la performance, lors d'une tâche de détection de courbes, allait changer lorsque la géométrie ou l'attribut (premier, deuxième ordre) les composant étaient modifiés. Les travaux actuels suggèrent que la géométrie de la courbe aura une influence sur la détection de celle-ci parce qu'elle sera probablement traitée par

différents mécanismes ou par des mécanismes similaires, mais quantitativement différents.

Lors de l'élaboration de ce projet, l'intérêt consistait en l'évaluation de la distorsion induite par des verres progressifs portés par des gens âgés. Par conséquent, vérifier si cette capacité à percevoir les courbes subissait des changements lors du vieillissement de l'individu. Il a été démontré, par plusieurs auteurs, que la perception des objets requiert différents processus neuronaux et différents niveaux de complexité (Spear, 1993). Chez les personnes vieillissantes, la complexité d'une tâche diminue leur performance (Faubert, 2002b). Dans le cas présent, s'il est démontré que différentes courbes engendrent des mécanismes neuronaux dont la quantité ou la complexité diffèrent, nous pourrions présumer que les personnes âgées auront une performance variable selon la courbe à évaluer.

Le présent travail comporte trois hypothèses. La première hypothèse stipule que la perception de lignes périodiques arborant différentes fréquences spatiales (Tyler, 1973) et attributs, tels le premier et le deuxième ordre, variera selon la fréquence et l'attribut adoptés. Plus précisément, nous utiliserons des lignes auxquelles nous induirons des fréquences spatiales conséquemment, il y aura différents cycles dans une image (voir Figure 2, page 36). La deuxième hypothèse suppose que des courbes de différentes formes engendreront différents seuils de sensibilité. Le troisième postulat suggère que le vieillissement diminuera la sensibilité des personnes âgées à la perception des courbes.

La première section du présent travail propose une revue de la littérature divisée en trois grandes parties. La première partie rapporte les différents modèles présents dans la littérature actuelle qui avancent diverses possibilités relativement aux traitements engendrés lors du processus de perception des courbes. La deuxième partie aborde les définitions des attributs qui composent les stimuli mesurés, c'est-à-dire le premier et le deuxième ordre. De plus, cette section discute de la perception des courbes définies par ces attributs. Finalement, la troisième partie invoque les différents déficits observés lors du vieillissement normal de l'individu, ainsi que les études actuelles concernant l'interaction entre le vieillissement et la perception des courbes. La deuxième section comporte deux articles dont le premier consiste à déterminer l'impact du premier et du deuxième ordre sur la perception de lignes modulées par différentes fréquences spatiales. De plus, elle vise à évaluer l'impact de la géométrie des courbes sur la détection de celles-ci. Nous y démontrons qu'aucune différence ne subsiste entre les stimuli déterminés par le premier et le deuxième ordre ainsi qu'entre les différentes fréquences spatiales mesurées. De plus, nous y illustrons que la géométrie adoptée par une courbe influence sa détection. Le deuxième article fait état de la détection de courbes de géométries différentes chez les personnes âgées. Ce deuxième article illustre l'impact du vieillissement sur la perception des courbes et démontre que le vieillissement a un impact variable en fonction des géométries mesurées. La dernière section du présent travail fera état d'une discussion ainsi que de la conclusion.

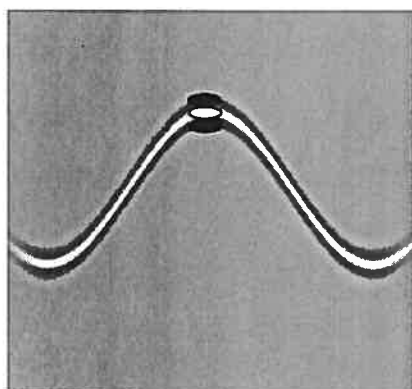
Recension de la littérature

1. Perception des courbes - modèles

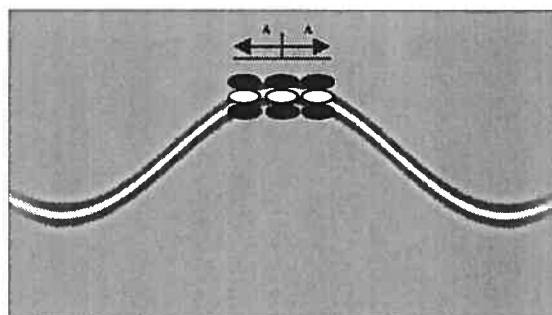
Depuis plusieurs décennies, diverses recherches sur la perception des courbes ont été effectuées. Les chercheurs ont démontré que notre système visuel est très précis pour déterminer des stimuli de différentes formes, dont les courbes (Fahle, 1991; Watt & Andrews, 1982; Wilson, 1985) et qu'il a développé des caractéristiques particulières pour déceler ce qui se trouve dans notre environnement. Par exemple, le cerveau possède des cellules spécifiquement sensibles aux orientations et à la direction d'un objet. Attneave (1954) est l'un des premiers auteurs ayant engendré l'intérêt pour la perception des courbes, après avoir démontré l'importance de la partie la plus courbée d'un contour dans la perception d'une forme. Se basant sur ses postulats, plusieurs chercheurs ont par la suite établi que la perception des courbes était précédée par l'intégration des points extrêmes d'une courbe, i.e. le point où se situe le maximum de courbure (Wilson, 1985; Wilson & Richards, 1989).

Les modèles abordés dans cette section sont les plus fréquemment utilisés pour expliquer les résultats obtenus lors des tâches de détection ou de discrimination des courbes. Le modèle de Wilson et Richards (Wilson, 1985; Wilson & Richards, 1989) est sans doute le plus rapporté dans la littérature. Selon ce modèle, les courbes de haute et de faible amplitude ne sont pas procédées de la même façon par le système visuel. Les

courbes de haute amplitude seraient perçues par un récepteur couvrant le point où la courbure est à son maximal (Figure 1a). Il s'agit de mécanismes de hautes fréquences spatiales qui s'orientent sur la courbe et en évaluent la courbure (Wilson, 1985). D'autre part, les courbes ayant une faible amplitude utilisent également des récepteurs de hautes fréquences spatiales, mais disposés différemment (Figure 1b). Lorsque l'amplitude de la courbe est faible, le point de maximum de courbure n'est pas assez accentué pour être perçu par un seul récepteur localisé sur ce point. Le système utilise alors trois récepteurs pour intégrer ces courbes. Les trois récepteurs sont disposés le long de la courbe, les uns à côtés des autres, où la courbure est à son maximum. Le système mesure d'abord la distance entre les deux récepteurs disposés aux extrémités, et à égale distance sur la courbe, relativement au récepteur au centre. Ensuite, le système mesure la tangente de ces points qui donnera une évaluation de la courbure.



a) courbe haute amplitude



b) courbe basse amplitude

Figure 1 : a) représente une courbe de haute amplitude; b) une courbe de basse amplitude

Le modèle, proposé par Koenderinck et Richards, est composé d'une matrice de récepteurs inhibiteurs et excitateurs (modèle à deux dimensions) (voir Figure 9, p.51). Le modèle est constitué en un arrangement de deux colonnes verticales par trois rangées horizontales (matrice 2x3), composés d'unités inhibitrices et excitatrices organisées en alternance. La courbe, disposée sur ces récepteurs, stimule plus ou moins d'excitation ou d'inhibition, ce qui produit un niveau différent de mise à feu des neurones et, par conséquent, une réponse différente en fonction de la courbe évaluée (Koenderink & Richards, 1988). De plus, selon ces auteurs, la largeur et le contour constituent les deux éléments dont l'impact sur la performance des sujets s'avère majeur, il faut donc en tenir compte lors de la comparaison de stimuli.

Pour leur part, Dobbins, Zucker et Cynader rapporte que le système visuel utilise des neurones « end-stopped » sélectifs aux courbes (Dobbins, Zucker, & Cynader, 1987, 1989). Les neurones « end-stopped » sont des cellules qui ont un patron de mise à feu particulier et qui semblent davantage répondre à des caractéristiques spécifiques comme l'orientation et la direction. Pour cette raison, les neurones «end-stopped» sont également appelés des détecteurs de caractéristiques. Pour percevoir une courbe, le système visuel utilise plusieurs de ces neurones qui répondent à différentes orientations et directions donnant l'évaluation globale de l'objet (Goldstein, 2002). La réponse des cellules «end-stopped» est obtenue en mesurant la différence de réponse entre deux champs récepteurs. Avec ce modèle, la perception des courbes peut être obtenue par l'évaluation des différentes réponses de plusieurs cellules.

Basé sur des modèles d'intégration de contours, il est possible d'envisager les courbes comme une succession d'éléments formant une trajectoire particulière. Ces théories de succession d'éléments formant différentes formes sont inspirées de la théorie de la Gestalt. La Gestalt est une approche du début du 19^e siècle qui concerne l'organisation perceptive, la façon dont les éléments sont regroupés. Elle propose différentes lois, par exemple la loi de la similarité qui stipule que les choses similaires semblent former un tout, ou encore la loi de la bonne continuation qui démontre que lorsque des points sont côte à côte, ils semblent appartenir au même groupe (Goldstein, 2002). C'est sur cette loi de bonne continuation qu'est basée la théorie d'intégration de contours, qui stipule que des éléments, placés bout à bout et formant une trajectoire vont être perçus en fonction du lien entre ceux-ci. Selon les auteurs qui adoptent ce modèle, pour déterminer la sensibilité des sujets aux différentes trajectoires, il faut prendre en compte le lien, la distance et l'orientation entre les éléments composant cette trajectoire (Field, Hayes, & Hess, 1993; R. F. Hess, Hayes, & Field, 2003; Ledgeway, Hess, & Geisler, 2005). C'est l'interaction et la variance entre les composantes du contour qui changera la performance du sujet lors d'une tâche de détection. Dans les modèles d'intégration de contours, pour former une trajectoire, des Gabor sont utilisés comme éléments. Chacun des éléments constituant la trajectoire représente des cellules adoptant différentes orientations et sensibles à ces différentes orientations. D'ailleurs, il a été déterminé que lorsqu'un changement brusque survient entre les éléments formant le stimulus, il est plus difficile de percevoir le stimulus que lorsque le changement est moins accentué, plus subtil. Appliqué sur des courbes de différentes formes, nous supposons que la trajectoire de la courbe provoquera des seuils de sensibilité élevés lorsque celle-ci contiendra des

angles abrupts, comparativement à une autre courbe qui observerait seulement de petits changements réguliers dans sa trajectoire. Il faut noter que ces différents modèles, mentionnés ci-haut, ne sont pas contradictoires les uns par rapport aux autres. Ils peuvent, dans certains cas, se compléter et obtenir les mêmes prédictions lors d'une tâche de détection de courbes.

Lors de l'élaboration de ces modèles, différentes formes ont été utilisées pour évaluer la sensibilité des gens à la perception des courbes. Wilson et Richards (1989) utilisent des paraboles où deux droites sont rattachées aux extrémités, tandis que d'autres auteurs ont davantage utilisé des demi-cercles (Kramer & Fahle, 1996; Watt & Andrews, 1982). Lors de théories d'intégration de contours, les courbes utilisées varient en fonction de la direction des éléments composant la trajectoire. Ces formes disparates utilisées nous ont amené à nous intéresser à l'importance de la géométrie sur la détection de courbes. Nous considérons que les courbes de différentes formes nécessitent un continuum dans leur création pour qu'elles puissent être comparées. Nous avons donc créé trois courbes dérivées mathématiquement de la même formule pour conserver ce continuum entre les formes. D'autre part, nous savons que la forme semble importante dans l'élaboration d'un modèle distinguant différentes courbes, mais nous croyons que les attributs des courbes, comme le premier et le deuxième ordre, vont également avoir une influence sur la perception des courbes. La prochaine section fait un bref survol des attributs utilisés pour les stimuli lors des expérimentations décrites dans le premier article. Ensuite, l'impact possible de ces attributs sur la perception des courbes sera évalué.

2. Stimuli de 1^{er} (luminance) et 2^e ordre (texture)

Les stimuli de premier et de deuxième ordre sont des stimuli comportant des caractéristiques distinctes, mais dont les éléments qui les composent, le bruit et le sinus, sont les mêmes. Dans le cas présent, les seuils de détection d'un stimulus de premier ou de deuxième ordre feront référence au taux de contraste minimal requis pour percevoir le stimulus.

2.1 Premier ordre : définition et détection

Les stimuli de premier ordre, également appelés Fourier, ou encore stimulus défini par la luminance, sont des stimuli dits simples, c'est-à-dire que peu d'étapes corticales sont nécessaires pour les percevoir. Les études actuelles démontrent que le traitement du premier ordre se ferait au niveau de l'aire V1 du cortex visuel, bref, il requiert un traitement de bas niveau (Baker, 1999; Lin & Wilson, 1996). Le stimulus de premier ordre est déterminé par contraste de luminance. Le bruit le composant est constant, mais la luminance est modulée par le sinus, c'est-à-dire que l'on observe des changements de luminance ou encore de couleur à l'intérieur du stimulus. Pour percevoir un stimulus de premier ordre, il suffit de comparer les différentes zones de luminosité du stimulus. Les caractéristiques lui correspondant réfèrent à la variation spatiotemporelle de la luminance ou encore de la couleur du stimulus; la luminance et la couleur étant considérées comme des caractéristiques de premier ordre. Ces stimuli sont créés en

additionnant le sinus au bruit, alors que les stimuli de deuxième ordre, présentés dans la section suivante, correspondent à la multiplication du bruit et du sinus.

2.2 Deuxième ordre : définition et détection

Les stimuli de deuxième ordre, également appelés non-Fourier, ou encore stimulus défini par le contraste de texture, sont considérés comme étant des stimuli dits complexes, c'est-à-dire que le système visuel requiert plusieurs étapes corticales pour les percevoir (Volz & Zanker, 1996), comparativement aux stimuli de premier ordre dont l'information peut être extraite en une seule étape (Lin & Wilson, 1996; Sutter & Hwang, 1999). Le traitement de ses stimuli est plus complexe et il requiert un traitement cortical de plus haut niveau, l'acheminement de l'information vers les aires extrastriées (Allard & Faubert, 2006; Baker, 1999; Lin & Wilson, 1996). Pour déterminer le stimulus de deuxième ordre, le système doit premièrement faire une comparaison locale pour déterminer la variance à l'intérieur du bruit et ensuite, il compare les différentes variations de bruit dans le stimulus. Contrairement au premier ordre, la luminance demeure constante, par contre, le bruit est modulé par le sinus. On peut donc dire que la luminosité conserve une luminosité moyenne constante mais que le contraste varie à l'intérieur du stimulus.

Le modèle de deuxième ordre le plus employé propose un système de filtre-rectification-filtre, c'est-à-dire que le stimulus passe à l'intérieur d'un premier filtre; cette réponse est

ensuite rectifiée et dirigée vers un deuxième filtre par lequel sera acheminée la réponse finale (Lin & Wilson, 1996). Suite à l'observation de mécanismes de premier et de deuxième ordre, notre questionnement s'est orienté vers la perception des courbes adoptant ces différents attributs. Le premier article du présent travail tentera de déterminer si des différences surviennent lors de la comparaison de courbes définies par le premier ou le deuxième ordre car, cette deuxième étape de filtrage semble éprouver la performance lors de tâches de perception de stimuli de deuxième ordre (Sutter & Hwang, 1999).

2.3 Courbe défini par le premier et le deuxième ordre

Peu d'études ont rapporté l'influence du deuxième ordre sur la perception des stimuli courbes. Hess, Atchman et Wang (2001) ont étudié la différence de premier et de deuxième ordre sur des cercles comprenant différentes fréquences radiales. Leurs stimuli consistaient en des cercles sur lesquelles ils avaient induit des modulations sinusoïdales, le même type de modulations qui a été inféré sur nos lignes périodiques lors de notre première expérience du premier article. Dans leur étude, ils ont démontré que les stimuli de deuxième ordre influençaient à la hausse les seuils de sensibilité des sujets comparativement à ceux définis par le premier ordre. Ils ont également démontré que leurs différences étaient davantage reliées au contraste de ceux-ci qu'à leurs attributs (1^{er} et 2^e ordre). D'un autre côté, il a été suggéré que les mécanismes sous-jacents pour le premier et le deuxième ordre soient communs, ce qui appuie la possibilité d'entrevoir

des seuils de sensibilités similaires lors d'une tâche de détection de courbes (Baker, 1999). Dans la présente étude, le but était d'évaluer si des lignes périodiques auxquelles des modulations sont induites, produiraient le même patron de réponse que des cercles fermés de premier et de deuxième ordre.

Après avoir déterminé le patron de perceptions des courbes, le deuxième grand questionnement concernait la perception des courbes chez l'adulte vieillissant. Il a été démontré que plusieurs changements surviennent lors du vieillissement normal de l'individu et le but était de savoir si la perception des courbes en était affectée. La section suivante relate le changement qui survient lors du vieillissement au niveau des structures visuelles et neuronales. Par la suite, la performance aux tâches et les prédictions relatives à la perception des courbes chez les personnes âgées seront abordées.

3. Vieillesse normale chez l'adulte

Lors du vieillissement normal de l'individu, même sans maladie sous-jacente, les fonctions visuelles perdent de leur efficacité. Différents aspects des fonctions visuelles perceptives sont atteints alors que certains demeurent intacts. De façon générale, la performance des personnes âgées à certaines tâches se voit diminuée, elles deviennent donc moins sensibles que leurs jeunes acolytes. Plusieurs auteurs ont démontré que, lorsqu'une tâche augmente en complexité, elle requiert davantage d'intégration au

niveau neuronal et, par conséquent, la performance des personnes vieillissantes est affectée (Faubert, 2002b). Une tâche dite complexe peut faire référence à une tâche comportant des stimuli de deuxième ordre ou encore, à des images comprenant plusieurs composantes qui doivent être analysées et comparées pour en extraire l'information.

D'un autre côté, pour certaines tâches, la performance des personnes âgées demeure stable dans le temps. C'est le cas notamment des tâches dites simples qui sont utilisées pour mesurer les capacités visuelles des personnes vieillissantes et peuvent déceler des déficits d'ordre cognitif. C'est-à-dire que lorsque l'on observe des diminutions de performance chez les individus âgés, sans y déceler des déficits oculaires, on peut alors présumer des troubles d'ordre cognitif sous-jacents, puisque leur performance à ces tâches devrait demeurer stable dans le temps. Les prochains paragraphes feront état d'un survol de la performance des personnes âgées à différentes tâches psychophysiques, mais premièrement, regardons les différentes structures de l'œil et du cerveau vieillissant, qui constituent les premières étapes de l'intégration des stimuli mesurés.

3.1 Fonctions visuelles et neuronales

Éliminant les causes pathologiques tels que le glaucome, la dégénérescence maculaire, les cataractes et la rétinopathie diabétique, qui constituent les causes les plus fréquentes de maladies visuelles, nous observons des pertes de sensibilité visuelle notables chez les personnes vieillissantes. Pour obtenir une bonne perception du stimulus, le système visuel nécessite une bonne intégration de l'information tout au long des différentes étapes du processus. Pour pouvoir mieux comprendre le système visuel et les différents déficits répertoriés lors du vieillissement, regardons la trajectoire d'une image qui se présente à nous. Premièrement, la lumière entre dans l'œil et atteint la rétine, un signal est ensuite transmis au nerf optique, passe par le chiasme optique, puis vers les corps genouillés latéraux (CGL) qui projettent la majeure partie de l'information vers les collicules supérieurs pour finalement atteindre le cortex visuel. C'est majoritairement lors de cette dernière étape qu'est analysée l'information et que suite à cette analyse diverses réponses sont produites. Lorsqu'un déficit survient dans une des parties de cette trajectoire, l'information transmise au cortex peut être incomplète et de ce fait, une réponse inadéquate peut être produite.

3.1.1 Les changements optiques et la rétine

Lors du vieillissement, les changements optiques se retrouvent dans différentes structures. Nous savons que le cristallin jaunit, ce qui, dans quelques cas, ils s'opacifient et engendrent des cataractes. Dans ce cas, l'opacité du cristallin devient trop grande et la visibilité est largement réduite. Il faut parfois retirer le cristallin et le remplacer par un autre de nature synthétique. La vision est améliorée et retrouve alors une clarté notable. Il est donc important de vérifier préalablement si notre sujet a des cataractes prononcées car cela pourrait avoir une grande incidence sur les résultats de la recherche. Le vieillissement entraîne également la réduction de l'ouverture pupillaire, ce qui engendre une réduction de l'illumination rétinienne ainsi qu'une diminution de performance lors de tâches où les conditions d'illumination sont restreintes (Kline & Scialfa, 1996). La cornée, de son côté, subit une réduction de sa densité cellulaire et devient plus jaunâtre, mais il semblerait que cela aurait des effets minimes sur le fonctionnement visuel (Kline & Scialfa, 1996).

La rétine, structure importante de l'œil, semble également subir des changements. Celle-ci est composée de cônes et de bâtonnets. Lors du vieillissement, on observe des pertes au niveau des cônes, mais elles sont minimales et leur impact sur la vision se concentrerait très loin en périphérie. De plus, a identifié une diminution de la concentration de bâtonnets près du centre de la rétine. Cette réduction engendre une augmentation de volume de ces mêmes bâtonnets qui maintient l'absorption de photons constant. Le déclin le plus marqué de la rétine semble surgir au niveau des cellules

ganglionnaires plus marquées en périphérie (Kline & Scialfa, 1996; Spear, 1993), donc diminuant une bonne vision périphérique. De plus, les muscles ciliaires, sont également susceptibles au changement, ils perdent de leur efficacité avec le temps et ceci réduit les capacités d'accommodation des individus, ce qui engendre une diminution d'une bonne vision de près. Tous ces changements au niveau de l'œil peuvent avoir des répercussions majeures sur des résultats de recherche. Il s'avère donc important de bien les contrôler car ceux-ci pourraient changer l'interprétation des résultats obtenus.

3.1.2 Corps genouillés latéraux

Après sa sortie des nerfs optiques, l'information visuelle est divisée au niveau du chiasme optique, pour ensuite atteindre le cortex visuel de l'hémisphère droit ou gauche par les corps genouillés latéraux (CGL). Par exemple, lorsque l'information provient du champ visuel gauche, la partie droite des deux rétines se projette vers le CGL droit qui projette vers le cortex visuel droit, tandis que la partie du champ visuel droit intègre l'information de la partie gauche des deux rétines, l'information qu'elle envoie vers le CGL gauche puis vers le cortex visuel gauche. Le rôle principal des CGL est de contrôler la quantité d'information entre la rétine et le cortex visuel en plus d'organiser l'information. Les études actuelles ne dénotent pas d'information concernant le vieillissement du CGL. Les quelques études démontrent que la densité neuronale semble être la même parmi les différents groupes d'âge et il ne semble pas y avoir de déficit marqué à cet endroit de la trajectoire par laquelle circule l'information.

3.1.3 Cortex visuel

Le cortex visuel est composé de différentes aires (V1 à V5, MT, IT). Les aires V1 et V2 semblent constituer les aires primaires qui, lorsque nécessaire, envoient l'information aux aires supérieures qui sont davantage spécialisées. Ces aires contiennent, entre autres, des cellules d'orientation utilisées lors de la perception des courbes. Une dimension importante du cortex visuel est la présence de voies visuelles qui projettent l'information aux niveaux supérieurs (niveau pariétal ou temporal). On observe deux voies principales : la première nommée le *où* et le *comment* correspond à la localisation et à l'action (comme la préhension de l'objet). Elle est précédée par des cellules magno qui empruntent le chemin dorsal en route vers le lobe pariétal. La deuxième voie permet l'identification de l'objet telle la reconnaissance d'un visage. On l'appelle la voie du *quoi*. Cette voie est précédée par des cellules parvo et utilise le chemin ventral pour se rendre vers le lobe temporal. Lors du vieillissement, on pense que les changements corticaux auraient davantage lieu au niveau parvocellulaire que magnocellulaire. Ce qui semble signifier que l'adulte vieillissant observerait des déficits dans l'identification des objets (parvo), plutôt que dans leur localisation (magno). De plus, la voie parvocellulaire serait responsable de la sensibilité aux hautes fréquences spatiales, ce qui coïncide avec les études actuelles qui démontrent que les personnes âgées observent un déficit de sensibilité pour les hautes fréquences spatiales (Spear, 1993). D'autre part, il semblerait que les tâches d'hyperacuité seraient davantage liées à la voie magnocellulaire, ce qui, encore une fois, concorde avec les données actuelles qui démontrent qu'aucun déficit

relatif aux tâches d'hyperacuité n'est observé en vieillissement (Lakshminarayanan, Aziz, & Enoch, 1992; Lakshminarayanan & Enoch, 1995).

Les aires extrastriées (V2) du cortex visuel traitent l'information plus complexe et de plus haut niveau. Le traitement exécuté dans ces aires semblent observer un déficit important chez les populations vieillissantes, tel le chat et le singe (Hua et al., 2006). Des chercheurs ont démontré que des singes âgés observaient des déficits de sélectivité et d'orientation dans les aires extrastriées du cortex visuel. De plus, le cerveau de ses singes subissaient des changements de réponses, c'est-à-dire qu'il produisait plus de réponses spontanés (Haxby et al., 1991; Yu, Wang, Li, Zhou, & Leventhal, 2006). Ces données semblent indiquer un déclin des processus visuels de haut niveau lors du vieillissement. D'autre part, des études en PET (Positron Emission Tomography, technique d'imagerie du cerveau) effectuées par Haxby (Haxby et al., 1991) avaient démontré différents patrons de réponses entre les sujets jeunes et âgés. Ces résultats suggéraient une diminution d'efficacité chez la population âgée.

L'information recueillie par les travaux étudiant le cerveau vieillissant, effectués sur des populations humaines, demeurent restreints. La plupart des données ont été collectées sur des populations de primates ou d'animaux ayant un système visuel similaire, tel le chat. Donc, il faut être prudents lors de l'interprétation et la généralisation des résultats obtenus. Par contre, les études psychophysiques actuelles, qui étudient les populations humaines, ont démontré que les personnes âgées avaient des performances variables en

fonction des tâches administrées. Dans la section suivante, nous allons démontrer les tâches les plus communes utilisées dans la littérature actuelle, ainsi que la performance des personnes âgées à ces tâches.

3.2 Performance aux tâches

3.2.1 La sensibilité à la luminance et aux couleurs

Premièrement, la sensibilité au contraste semble diminuer avec l'âge. Les études ont démontré que l'on observait un déficit chez les personnes âgées pour les moyennes et les hautes fréquences spatiales et elles ont indiqué que ces déficits ne pouvaient être attribués seulement aux facteurs de nature optique (Scialfa, Kline, & Wood, 2002). Ces résultats démontrent que, lors de tâches où des jeunes et des personnes âgées sont comparés, il est important d'ajuster la modulation de contraste des stimuli pour rendre leur perceptibilité équivalente pour chacun des sujets. Pour ce faire, une tâche de détection de contrastes est utilisée. Suite à cet ajustement, lorsque des différences entre les groupes sont observées, elles ne pourront être attribuables qu'à la tâche même et non aux propriétés de contraste des stimuli.

Deuxièmement, la perception des couleurs de courte longueur d'onde (bleu) semble être affectée par le vieillissement. Cette diminution de sensibilité aux couleurs est causée par

le jaunissement du cristallin qui empêche une bonne absorption des couleurs (Kline & Scialfa, 1996). De plus, un autre facteur semble également être relié à la perte de sensibilité aux couleurs, il s'agit de la diminution de la densité des photopigments. On observe une diminution de la capacité à discriminer les différentes teintes ayant des longueurs d'onde similaires, par exemple, différentes teintes de vert. Cette diminution de sensibilité engendre une distorsion de la perception des couleurs (Carter, 1982; Faubert, 2002b; Kline & Scialfa, 1996).

3.2.2 Le mouvement

La perception du mouvement semble également être une tâche affectée par le vieillissement. Chez les personnes âgées, on observe une diminution à juger le changement de vitesse. Il semblerait que ce soit le type de processus qui soit en cause et non le mouvement en soi (Habak & Faubert, 2000). Lors de tâches comparant le premier et le deuxième ordre, il a été démontré que le deuxième ordre est davantage affecté par le vieillissement que le premier ordre. Tel que mentionné précédemment, le deuxième ordre requiert davantage de processus corticaux complexes et les tâches requérant plusieurs étapes corticales affectent la performance des personnes âgées. Cette diminution de performance au mouvement de deuxième et non de premier ordre démontre qu'il ne s'agit pas du mouvement lui-même qui est affecté par le vieillissement mais plutôt le processus qui lui est relié, puisque, si le mouvement était en cause, le premier et le deuxième ordre seraient affectés (Faubert, 2002b).

3.2.3 La profondeur et la vision binoculaire

Lorsque l'on compare deux objets situés à deux distances différentes, la différence de séparation sur la rétine gauche et sur la rétine droite de ces deux objets s'appelle la disparité rétinienne (Goldstein, 2002). Celle-ci n'est pas perçue consciemment et se traduit par la perception d'une profondeur différente ou d'un relief différent. En plus de donner une impression de relief, la disparité rétinienne permet de discriminer de très petites différences de position entre deux objets; différences pouvant difficilement être discriminées par un seul œil. La stéréopsie correspond à cette capacité à percevoir la petite différence entre les objets. De plus, la fusion entre les deux images non-identiques donne lieu à une expérience de profondeur. Il a été démontré que la stéréopsie, ainsi que la vision binoculaire (combinaison de la vision des deux yeux), observe un déclin avec l'âge (Faubert, 2002b). Ces deux tâches semblent requérir des processus complexes et, tel que vu précédemment, lorsque les processus encourus sont de nature plus complexe, des déficits de performance chez les personnes vieillissantes sont observés (Faubert, 2002b).

3.2.4 Tâches dont la performance demeure intacte.

Le vieillissement semble apporter son lot de changements et de déclin divers. D'autre part, la performance à certaines tâches semble ne démontrer aucun déficit. C'est le cas notamment des tâches d'hyperacuité. Souvent utilisées dans la littérature, ces tâches se montrent résistantes au vieillissement. La tâche d'hyperacuité la plus utilisée est la tâche de Vernier. Cette tâche consiste à discriminer la différence de localisation spatiale entre deux stimuli. Cette capacité est mesurée avec la précision de secondes d'arc, qui correspond au diamètre d'un cône de la fovéa (Lakshminarayanan & Enoch, 1995). Dans cette catégorie d'hyperacuité, nous retrouvons également la discrimination d'intervalles spatiaux, qui consiste à identifier la plus petite distance entre deux droites (Lakshminarayanan et al., 1992; Lakshminarayanan & Enoch, 1995; Latham & Barrett, 1998). Les tâches d'hyperacuité sont souvent utilisées pour déterminer des déficits d'ordre neuronal chez les personnes âgées. Lorsque la performance à ces tâches est altérée, c'est une indication qu'une atteinte neuronale sous-jacente est présente, puisque la performance devrait demeurer stable lors du vieillissement normal de l'individu.

3.3 Le vieillissement et la perception des courbes

Dans la présente étude, l'intérêt était de savoir si la perception des courbes était influencée par le vieillissement. De plus, le but était de vérifier si la perception des courbes se situait dans la catégorie de l'hyperacuité ou si elle ressemblait davantage à une tâche complexe. D'autre part, l'étude visait à regarder si le vieillissement avait un impact différent en fonction de la géométrie des courbes à détecter. Dans la littérature actuelle, peu d'études se sont intéressées à la perception des courbes lors du vieillissement. Une étude d'hyperacuité utilisant des cercles auxquels des fréquences radiales ont été ajoutées, démontre une diminution de performance chez les personnes âgées en fonction du nombre de fréquences induit dans le cercle (Wang, 2001). Lorsque des modulations à basses fréquences étaient utilisées, les performances étaient sensiblement les mêmes pour les deux groupes, jeune et âgé. Par contre, lors de hautes fréquences spatiales, les personnes âgées présentaient une diminution de performance notable. Wang a démontré que les différences trouvées pour les hautes fréquences étaient fortement corrélées avec le contraste. Tel que mentionné précédemment, il est important d'ajuster nos sujets pour la sensibilité au contraste et de rendre les stimuli perceptiblement équivalents pour chacun des sujets. Dans le cas présent, c'est le contraste qui explique les différences entre les jeunes et les personnes âgées plutôt que la tâche en soi. Basé sur ses résultats, nous allons essayer de démontrer si des différences subsistent entre les jeunes et les personnes âgées lors de l'utilisation de cibles ouvertes, comparativement aux formes de types fermés, utilisées par Wang.

La majorité des modèles expliquant les mécanismes sous-jacents à la perception des courbes propose la présence de cellules sensibles à l'orientation. Ces études, effectuées sur les primates et les chats, ont étudié la sensibilité aux différentes orientations et le vieillissement. De plus, quelques études effectuées sur l'homme ont démontré des résultats concordants avec les données récoltées lors des études sur les animaux. C'est ce dont traitera la prochaine section.

3.3.1 Études sur les orientations et l'inhibition

Des études sur les primates ont démontré qu'avec l'âge, les primates perdaient de leur sensibilité aux différentes orientations et à la direction du mouvement (Leventhal, Wang, Pu, Zhou, & Ma, 2003; Schmolesky, Wang, Pu, & Leventhal, 2000). Les auteurs ont présenté différentes orientations aux primates et mesuré la mise à feu de leurs neurones. Ils ont démontré que les primates âgés observaient moins de mise à feu à la direction proposée et des mises à feu dans d'autres directions que celle ciblée; ce qui indique une diminution de l'inhibition corticale. Les chercheurs ont injecté chez leurs primates âgés un inhibiteur du GABA (acide γ -aminobutyrique), un neurotransmetteur du cerveau, et ensuite, ils ont observé que la sensibilité aux différentes orientations recouvrait un niveau semblable à celui des jeunes. Ces résultats démontrent l'importance du rôle du GABA lors de la perception des orientations et soutiennent que la diminution de performance aux orientations et à la direction est sensiblement due à une perte d'origine

neuronal et non strictement visuelle. Certaines études, succédant celles sur les primates, ont démontré les mêmes résultats sur des populations de chats (Hua et al., 2006). Ces résultats suggèrent la généralisation des résultats à des échantillons ayant un système visuel similaire, c'est-à-dire la diminution de la sensibilité aux orientations, à la direction, ainsi que la diminution de l'inhibition corticale lors du vieillissement, sur les populations ayant un système visuel bien développé, tel l'humain.

Une expérience impliquant l'inhibition corticale semble confirmer les résultats obtenus chez les populations animales (Betts, Taylor, Sekuler, & Bennett, 2005). Betts et ses collaborateurs ont démontré que les personnes âgées obtenaient de meilleurs résultats que les jeunes sur une tâche impliquant de l'inhibition corticale. Leur tâche impliquait une cible de grande taille à haut contraste, où les jeunes semblaient limités dans leur performance à cause de l'inhibition naturelle de leur cerveau. Par contre, à cette même tâche, les personnes âgées ont bien performé, puisque moins d'inhibition semble être engendrée par leur cerveau. Ces données vont dans le même sens que celles des études précédemment effectuées sur les primates et les chats et semblent clairement démontrer que les espèces ayant un système visuel bien développé observent une diminution de leur sensibilité aux différentes orientations. Si l'on propose que la sensibilité aux orientations à un rôle important dans la perception des courbes et que cette sensibilité soit diminuée, alors on peut présumer que la performance des personnes âgées à la perception des courbes sera moins bonne que celles des jeunes.

3.3.2 Les courbes : prédictions basées sur les modèles actuels

Les expériences effectuées sur les animaux ont des implications directes sur ce que l'on envisage comme résultats. Si les courbes requièrent l'utilisation et la sollicitation de champs récepteurs orientés (Wilson & Richards, 1989), que la sensibilité aux orientations est diminuée chez les personnes vieillissantes et que la perception des courbes requiert des processus neuronaux complexes, nous allons prévoir une moins bonne performance des personnes âgées lors d'une tâche de détection de courbes. La diminution de la précision et de la sensibilité aux différentes orientations, combinée avec l'augmentation de la mise à feu des neurones à plusieurs orientations, suggère fortement la hausse des seuils chez la population vieillissante. De plus, nous présumons que des courbes de différentes géométries devraient solliciter un nombre différents de récepteurs et par conséquent, induire des seuils différents selon la forme à détecter. Si certaines formes requièrent plus d'intégrations, plus de complexité, on peut dès lors présupposer que l'augmentation sera d'autant plus marquée chez les personnes âgées. Par contre, si les courbes entrent davantage dans la catégorie d'hyperacuité, ces différences entre jeunes et âgées ne devraient pas se manifester.

Contexte de l'étude

Dans un premier temps, le premier article observera la perception des courbes constituée d'attributs comme le premier et le deuxième ordre. Nous allons par la suite démontrer si des différences surviennent lorsque différentes géométries de courbes sont utilisées. Les résultats seront mesurés à l'aide d'une tâche de détection utilisant le deux choix alternatifs forcés, c'est-à-dire que deux images sont présentées à l'individu et celui-ci doit déterminer dans laquelle des deux images se trouve le stimulus cible. À l'aide de cette méthode, nous mesurons l'amplitude nécessaire pour percevoir la courbe. Dans un deuxième temps, à l'aide de la même méthode, le deuxième article comparera la performance des jeunes et des personnes âgées lors d'une tâche de discrimination de courbes de géométries différentes, comme présenté chez les sujets jeunes du premier article.

Chapitre II

Article 1

Effect of stimulus complexity and geometry on curvature perception

Abstract

The studies presented assessed the effects of stimulus complexity and geometry on curvature perception. The purpose of the first experiment was to measure curvature sensitivity for periodic line stimuli of different frequencies defined by both luminance- and contrast. In a second experiment the effect of curve “geometry” was assessed by measuring sensitivity for stimuli defined by three different geometric profiles. The stimuli of the first experiment were composed of D4 luminance- or contrast-defined lines that were modulated sinusoidally with frequencies varying between one and eight cycles per image. Results show that no difference in curvature sensitivity was found between luminance- and contrast-defined curves across frequency when equated for visibility, demonstrating that central curvature detectors are optimal at one cycle and imply the same mechanisms for first- and second-order images. For this reason, the effect of “geometry” in the second experiment was measured for only luminance-defined

curves of one cycle where stimuli were defined by one of three different geometric profiles; bell shaped, quadratic and compressed arc. Results demonstrate that the amplitude necessary to detect such curves varies as a function of their geometric profile. Adding filtered oriented noise did not differentially affect sensitivity across geometric profiles. These results can be interpreted as evidence for common curvature processing mechanisms for luminance- and contrast-defined curvature information and that neural processing requirements vary as a function of curves of different geometric profiles. Possible explanations for these results are discussed.

Introduction

An efficient perception of objects and spatial structure requires a good evaluation of curvature. It has been shown that human ability to perceive curvatures is essential for object discrimination (Attneave, 1954). Several models have been established to explain curvature perception. For example, Koenderink and Richards (1988) suggest a model of curvature discrimination mechanisms represented by 2 X 3 matrices of inhibitory and excitatory units. The model measures the ratio of excitatory and inhibitory units and produces a response depending on the curvature and the width of the contour. Another model, proposed by Wilson (1985) and Wilson and Richards (1989), suggests that curvature perception is predicted by orientation-selective visual mechanisms. They suggest that high-amplitude curvatures are evaluated by high spatial-frequency mechanisms located at the point of maximum curvature. The receptors will evaluate the curvature according to the extreme point of that curvature. Furthermore, for low-amplitude (less than 2 deg) curvature, the system compares the response of two orientation-selective high spatial frequency units located at a fixed distance from a central unit in the mid point (maximum) of the curvature.

As with contours and forms, curvature information may be perceived when defined by texture contrast. Luminance-defined (or first-order) stimuli correspond to variations of luminance average across the stimuli, whereas in contrast-defined (or second-order) stimuli, the luminance remains constant but the contrast varies (Cavanagh & Mather,

1989). The filter-rectify-filter model is probably the most accepted model illustrating the processing of contrast-defined information i.e., the stimulus is initially processed by a first filtering stage, then the response is rectified and a final filtering stage is applied (Lin & Wilson, 1996; Mareschal & Baker, 1998; Sperling, Chubb, Solomon, & Lu, 1994). A property of the filter-rectify-filter model is that a rectification converts contrast-defined stimuli into an activation pattern similar to a luminance-defined stimulus (Chubb & Sperling, 1989). Consequently, the two stimuli can then be processed by the same mechanisms at higher levels (Allard & Faubert, 2006).

Few studies have investigated curvature perception for contrast defined targets. Hess, Atchman and Wang (2001) assessed curvature within the context of contrast-defined radial-frequency patterns. They found that participants were less sensitive to contrast-defined radial-frequency patterns compared with their luminance-defined counterparts. Furthermore, Wilson and Richards (1992), with curvature defined by texture, showed increased thresholds for 16cpd gratings at all amplitudes compared with curvatures defined by luminance. Based on these results, they suggested that curvature mechanisms analyzing texture-defined information use a different processing pathway than those involved in luminance-defined analysis.

In addition to different attributes defining the properties of the curve (i.e., luminance- vs contrast-defined), the “shape” of the curve may influence the way it is processed. The curvature shape refers to a difference in trajectory and angle along the curvature (see Figure 3 for example). In relation to current models, curvature information can be

processed by a series of adjacent oriented filters, as defined by the association field theory (Field et al., 1993; R. F. Hess et al., 2003; Ledgeway et al., 2005). In such an approach, efficacy of processing has been defined in terms of the relationship (parameters) of local Gabor patches (band-pass elements) making up the field defining the curve (i.e., distance, contrast, orientation, spatial frequency, etc.). For example, good performance is obtained when there are little or smooth changes in the direction of the trajectory defined by Gabor patches and decreased performance is associated with rapid changes and abrupt angles in the trajectory. Therefore, curved stimuli of different “shapes” displaying different trajectories should result in different processing requirements with varying thresholds. However, using curved continuous line stimuli defined by different shapes, Kramer and Fahle (1996) concluded that the form of the stimuli seem to be less important for the mechanisms detecting curvature perception. Given the inconsistency of the results, another goal of the present study was to look at the effect of shape on curvature perception for continuous line stimuli.

In summary, the two main purposes of the present study were: (1) assess if different mechanisms are involved in detection of luminance- and contrast-defined shapes when processing periodic line stimuli of different frequencies, **(2)** establish if the shape (geometry within a cycle) influences curvature perception.

Experiment 1

The goal of the first experiment was to determine if the number of cycles present in a periodic line (sinusoidal line distortion) stimulus (Tyler, 1973) influences detection. Furthermore, the goal was to evaluate if there are differences between the processing of luminance- and contrast-defined periodic lines varying in frequency. Greater thresholds were expected using contrast-defined stimuli compared to luminance-defined stimuli for the following reasons: (1) sinusoidal line distortion may involve oriented mechanisms and it is known that contrast-defined mechanisms are less sensitive to various orientation mechanisms (Lin & Wilson, 1996) and (2) filter-rectify-filter processes used to detect second-order information require additional processing, which should affect performance (Lin & Wilson, 1996; Sutter & Hwang, 1999).

Methods

Observers

Five observers (two research assistants and three others) who were naïve to the purpose of the experiment participated in the study. All had normal or corrected-to-normal

vision. The age range was between 20 and 25 years. All testing was performed binocularly.

Apparatus

All stimuli were presented on a 21-inch Dell P1130 monitor with a refresh rate of 60 Hz. An AMD Athlon 1GHz computer combined with an Aopen Mx200 graphics card were used to compute and display the stimuli. The monitor luminance intensity was calibrated using a photometer. The mean luminance of the display was 29 cd/m². Gamma-correction was verified on a regular basis to ensure precise calibration.

Stimuli

The stimuli were either luminance-defined:

$$L_{LM}(x, y) = L_0(M(x, y) + N(x, y))$$

or contrast-defined:

$$L_{CM}(x, y) = L_0(1 + M(x, y)N(x, y))$$

where $M(x, y)$ and $N(x, y)$ represent the modulation profile and noise function respectively, and L_0 is the mean luminance background. Uniform noise was used where the difference between the maximum and the minimum was 50 percent ($-0.5 < N(x, y) < 0.5$).

The modulation profile was the fourth normalized Gaussian derivative:

$$M(x, y) = \left[c1 - \frac{(x - D(y))^2}{\sigma^2} + \frac{(x - D(y))^4}{12 * \sigma^4} \right] * \exp \left[\frac{-(x - D(y))^2}{2\sigma^2} \right]$$

where σ is the standard deviation (controlling the stimulus width), which was fixed to 0.25 degrees of visual angle (dva), c is the modulation contrast which was adjusted for each subject and each modulation, and $D(y)$ represents the distortion of the vertical curve, that is, the position of the curve relative to the median vertical line. In the present experiment:

$$D(y) = a \cos(fy + p)$$

where a is the amplitude of the distortion, f corresponds to the spatial frequency of the sinusoidal distortion and p is the phase, which was randomly set to 0 or π . Only these two phases were used so that when only one cycle was visible it started and ended at peak amplitude.

The curvature distortion varied in four frequencies between $\frac{1}{8}$ and 1 cpd (cycle per degree) and the total image size was 8x8 dva, ie.: 1, 2, 4, or 8 cycles per image (see Figure 2 for examples). The viewing distance was 114 cm. Each pixel size was $\frac{1}{62} \times \frac{1}{62}$ dva.

In the parameter control testing conditions, frequencies of 1 and 4 cycles per image in a 4x4 dva window were tested. In a second condition, using the original window size of 8x8 dva, two line widths were tested ($\sigma = 0.125$ or 0.5).

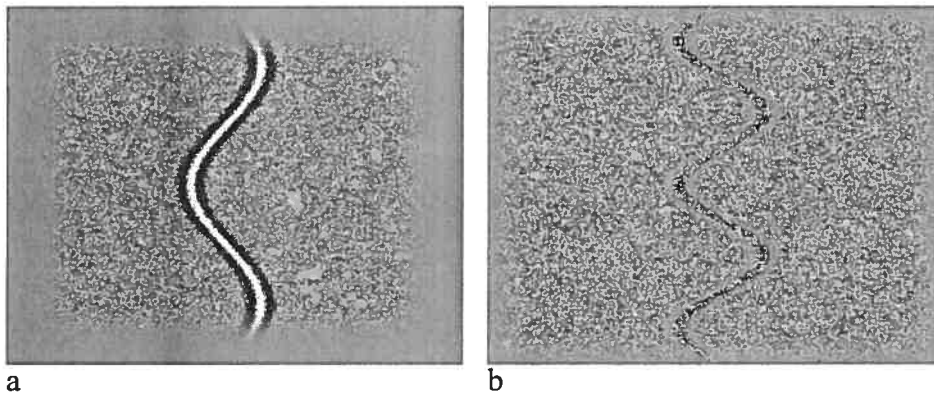


Figure 2. Stimuli used in experiment 1: a) represents 1 cycle per image in first-order b) corresponds to 2 cycles per image in second-order.

Procedure

The procedure was a two-alternative temporal forced-choice (2ATFC) combined with the Quest method (Watson & Pelli, 1983). Observers were asked to identify which of two intervals contained the target (line or curvature) by pressing one of two keys and a feedback sound was provided after each trial. The presentation time and the inter-stimuli delay were both 500 ms. In order to present the luminance- and contrast-defined stimuli at perceptually equivalent contrast (c) levels, a detection task was first performed for each modulation (luminance- or contrast-defined stimuli) in which the observer had to differentiate the interval with the straight line from a second interval containing only noise. For each modulation, 40 trials were performed to establish the detection thresholds. The experimenter fixed the stimulus contrast to the lowest level, which permitted the observer to correctly detect the stimulus 100% of the time. Eight Quest

procedures were performed (four sinusoidal frequencies and two modulation types) to evaluate the amplitude (a) detection thresholds. To estimate the robustness of the results, a control experiment was performed where the constant-stimuli method was used. A block of trials (one run) consisted of 210 trials (seven amplitude levels presented 30 times in a pseudo random order). A Weibull function (1951) was used to determine the 75% correct threshold level of performance for amplitude (a).

Results and discussion

Frequency distortions for first and second- order

Figure 3 shows mean thresholds for different sinusoidal distortions using first- and second-order stimuli. A 2X4 split-plot repeated measure ANOVA showed that the observers' detection thresholds for luminance- and contrast-defined stimuli did not differ as a function of cycles per image, furthermore, no difference was found between luminance- and contrast-defined stimuli. Thus, the observers needed the same amplitude for both types of stimuli to perceive the distortion and the number of cycles had no effect for 1 to 8 cycles per image.

Line width and window sizes

In a control experiment, the accuracy of the results when modifying window size and line width was measured. No significant difference was found among three line widths (0.125; 0.25; 0.5); that is, observers needed the same amplitude to detect the distortion for luminance- and contrast-defined stimuli. Window size had no effect on thresholds as

a function of cycles for either the luminance or contrast defined stimuli. Not surprisingly, a sensitivity difference as a function of overall window size (4 deg stimulus producing higher thresholds than the 8 deg stimulus for all conditions equally) was found but this generated no interactions between stimuli characteristics and number of cycles. Therefore, one can assume that central detectors for curvature are optimal at 1 cycle per image regardless of window size.

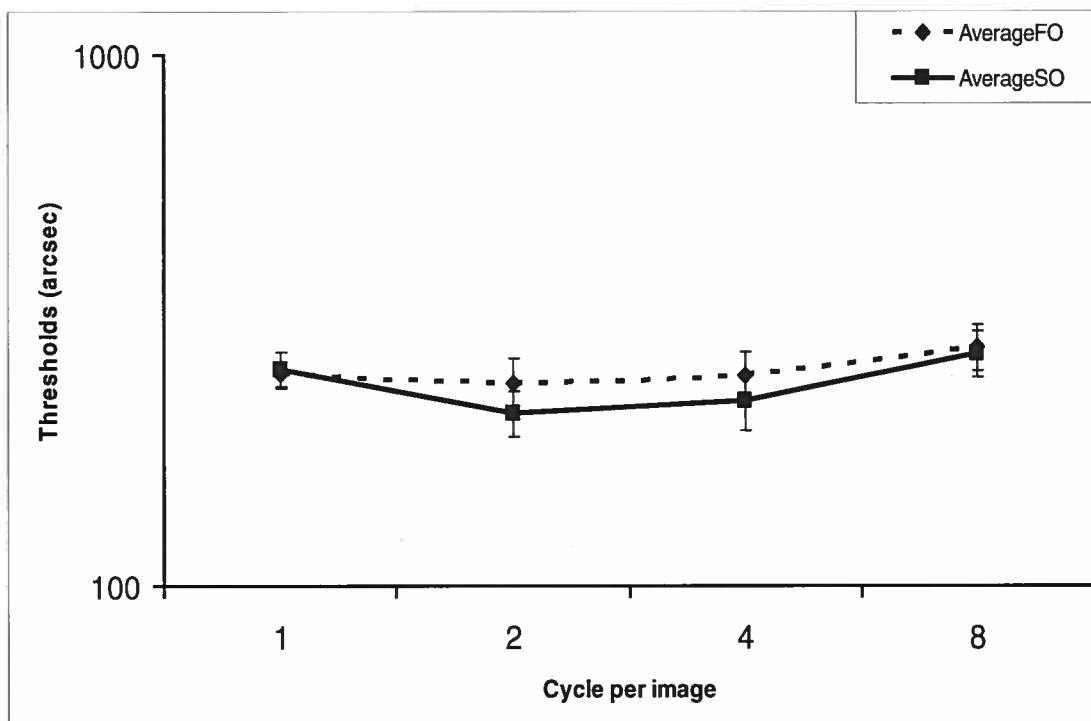


Figure 3. First- and second-order amplitude thresholds on periodic line stimuli as a function of number of cycles per image.

Experiment 2

As discussed in the introduction, another factor that may influence curvature perception is the geometry of the curve. The purpose of the second experiment was to establish if curve shape influences its detection. Presumably, different detection thresholds should occur if there is a more abrupt change in the curvature trajectory (Field et al., 1993; R. F. Hess et al., 2003; Ledgeway et al., 2005) but the question remains whether this transfers to full line stimuli (Kramer & Fahle, 1996). For this experiment, the effect of “geometry” was measured for luminance-defined curves using three different geometric profiles; bell shaped, quadratic and compressed arc.

Method

Observers

An author (IL) and 9 subjects naive to the purpose of the experiment participated in this study. The age range was between 24 and 28 years. All had normal or corrected-to-normal vision.

Hardware & Stimuli

The same hardware as Experiment 1 was used. In the previous experiment, the stimuli were sinusoidal waves and the subjects' sensitivities were relatively unaffected by their number of cycles. The present experiment examined in the effect of "geometry" of a curve on curve perception. One of the most basic curve shapes is the quadratic curve. To allow a direct comparison between the perception of a quadratic shape and a full cycle, a new curve shape was developed that could vary from a quadratic shape (Figure 4b) to a shape approximating a one cycle cosine (bell shape, Figure 4c). By extrapolating this shape to the other extreme, a compressed semi-circle was obtained (compressed arc, Figure 4a). The shapes were defined by the following formula:

$$D(y) = a * \left[\left(1 - \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right)^f - 0.5 \right] + j$$

where a represented the amplitude of the curvature. In the present experiment, a represented the dependant variable, which corresponded to the distance between the extremity and the center of a curvature on the x axis; h (height) represented the distance between one extremity and the center of the curvature on the y axis; j represented a jitter on the x axis introduced to avoid positional cues, which varied randomly between -0.25 and 0.25 dva; f modulated the shape of the curvature. In this case, f had 3 values, 0.5 (compressed arc), 1 (quadratic) and 2 (bell shape).

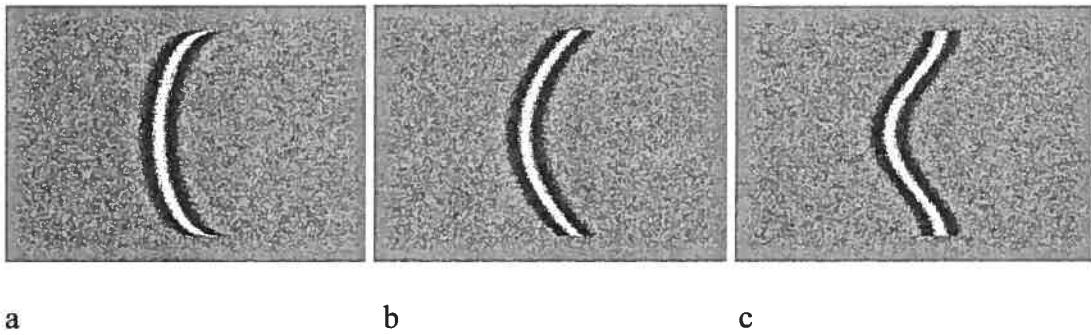


Figure 4. Stimuli used in experiment 2. a) Compress arc; b) quadratic; c) bell

The luminance profile of the stimuli was the same as in Experiment 1.

Curvature length was 4 dva stimuli width was 0.25 dva and viewing distance was 114 cm. Each pixel size was $\frac{1}{64} \times \frac{1}{64}$ dva.

Procedure

A two-alternative temporal forced-choice combined with the method of constant stimuli was used to measure detection thresholds. As in Experiment 1, a contrast(c) detection threshold was obtained. The observer had to identify the interval with the straight line in noise from a second interval containing only noise. Then, the experimenter fixed the stimulus contrast to the lowest level that permitted the observer to correctly detect the stimulus 100% of the time. Once the curve intensities were perceptually equated, the second step consisted of identifying the interval containing the curvature versus a second interval containing a straight line. A block of testing (one session) was composed of 30

trials of one type of curvature with seven amplitude levels presented in a pseudo random manner. A Weibull (1951) function was used to determine the 75% correct threshold level of performance for amplitude (a). In this experiment, almost all variables remained constant except for amplitude (a) randomly varying trial to trial. f had one of three values depending on the type of curvature test and contrast (c) was specific for each subject.

Results and Discussion

Individual results reveal that observers obtained higher detection thresholds on the compressed arc compared with the quadratic and bell shapes. All observers obtained a similar negative slope. A 1-factor ANOVA was used to analyse sensitivity threshold differences on the average group data (Figure 5). A main effect of curve was found, $F(2,27) = 4.490$, $p < 0.05$. A significant effect was found for the compressed arc curve when compared with the quadratic and bell curve shapes, $t(1,9) = 5.250$, $p < 0.01$; and $t(1,9) = 6.037$, $p < 0.01$ respectively. However, detection thresholds for quadratic and bell shapes did not differ, $t(1,9) = 1.452$, $p > 0.05$. We must conclude, therefore, that the compressed arc stimulus is more difficult to see. This is possibly caused by the fact that this particular shape is defined by more abrupt angles in condensed areas as opposed to the other shapes.

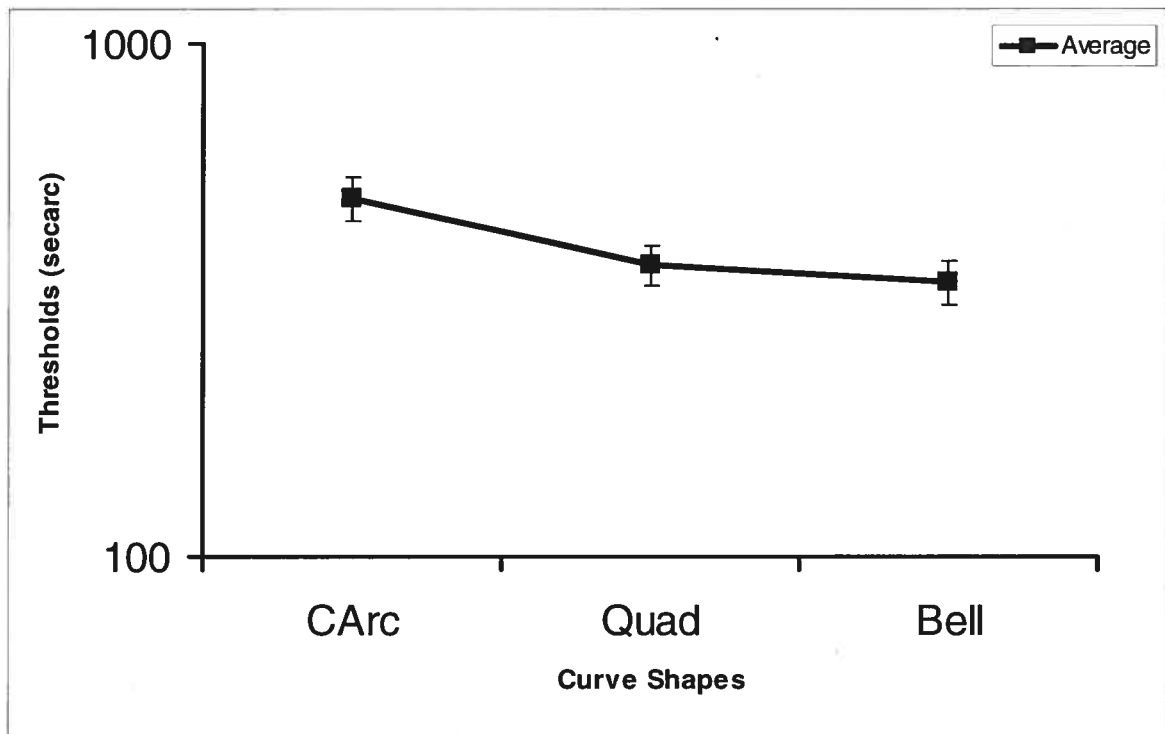


Figure 5. Curvature detection as a function of curve shape.

Experiment 3

The goal of this experiment was to determine if oriented filters involved in curve detection are different among the shapes, which may explain the differences. This was done by adding different noise conditions with some filtered for specific orientations.

Method

Observers

An author (IL) and 4 observers participated in this study. The age range was between 24 and 36 years. All had normal or corrected-to-normal vision.

Hardware & Stimuli

The same hardware, protocol and methods were used as in Experiment 2. Stimuli were also the same with the exception that the noise was filtered by applying a binary mask within the Fourier domain to select some orientations. Four orientation conditions were tested: three vertical and one horizontal (see Figure 6 for example). In the vertical noise conditions, noise was added within ± 5 , 20 or 45 degrees from the vertical meridian. In the horizontal condition, the orientations were kept within ± 20 degrees from the horizontal meridian. A condition without noise (the no noise condition) and one with unfiltered noise (containing all orientations) was also tested.

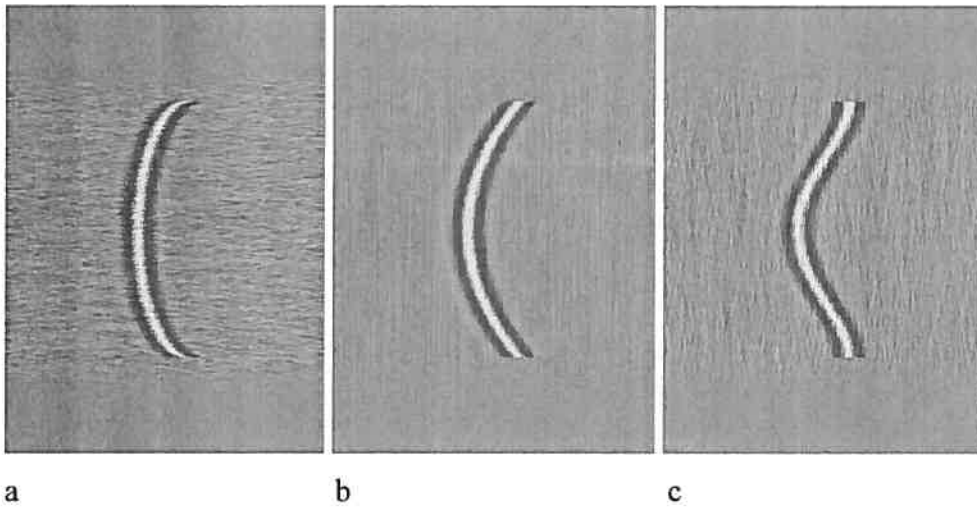


Figure 6. Example of filtered noise used in Experiment 3; a) represents compressed arc with 20 degree horizontal noise, b) shows quadratic curve condition with 5 degree vertical noise, c) represents 45 degree vertical noise with the bell shaped curve

Procedure

For each noise condition, an individual contrast detection threshold was measured using a 2ATFC with the method of constant stimuli. Subsequently, the observer was asked to discriminate the curve versus a straight line by identifying which of two subsequent presentations contained the curve stimulus. The trial conditions and data analysis were identical to those in Experiment 2.

Results and discussion

Average group data (Figure 7) showed a constant increase in detection thresholds as a function of the different vertical noise conditions with increasing amount of orientations about the vertical axis. A plateau is obtained when the vertical noise includes orientations up to 45 degrees. A 3x6 split-plot design with repeated measure showed significant difference between conditions. An interaction effect between filter and curvature, $F(10,40) = 4.903$ $p < .0001$. The thresholds differences among curve design are still present for all noise level. Furthermore, observers' detection thresholds difference between no noise condition and 5, 5 and 10, 10 and 45 degree were significant, $t(1,14) = 6.633$ $p < .001$; $t(1,14) = -5.612$ $p < .001$; $t(1,14) = -4.184$ $p < .001$, respectively. However, no significant difference was found for the other conditions.

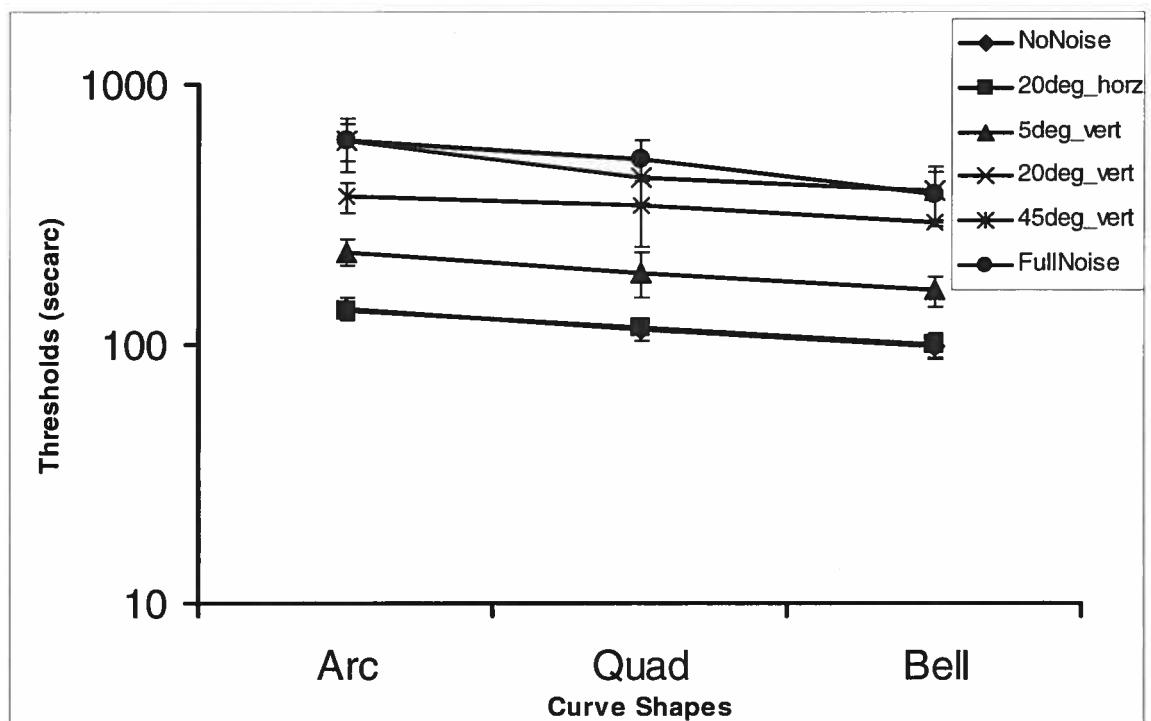


Figure 7: Results for three curve patters with different noise levels (no-noise and .horizontal condition overlaps).

Results show that in horizontal noise conditions, observers' obtained detection thresholds similar to the no-noise condition, suggesting that filters perpendicularly oriented to the curves are not involved in curve processing. Moreover, the impact of vertical noise in observer curve detection suggests that receptive fields, parallel to the curve, are involved in detection. Hess, Wang and Dakin (1999) found that, for radial patterns, the major impact occurs when the noise is parallel to the pattern. Those results are congruent with the present findings; noise parallel to the pattern corresponds to vertical orientation in this study. Furthermore, it was found that increasing levels of oriented noise from the vertical meridian had the same effect for the different curvature

shapes. This implies that the difference in thresholds obtained from varying geometries does not come from the sampling of different oriented receptors. Alternatively, the current noise sampling method may not be sensitive enough.

General discussion

One major finding of the present study was that observers' detection of luminance- and contrast-defined periodic line stimuli did not significantly differ when the visibility of the stimulus was adjusted individually. Similar results were obtained when one full cycle or more were present in the lines. Modifying parameters such as line width and window size did not alter the observer's detection thresholds as a function of number of cycles or stimulus attribute. This robustness to parameters indicates that the present results are reliable and that identical mechanisms are involved for luminance- and contrast-defined periodic line stimuli. Moreover, this study demonstrates that curvature shape influences observers' detection thresholds.

Frequency distortions

In Experiment 1, results showed that lines with one to eight cycles of sinusoidal distortions required similar amplitudes to be detected. A possible explanation is that these sinusoidal stimuli are processed like a judgement of spatial distance between elements such as a Vernier task. This could be the case if the spatial distance between the anchors (curve ends) and the curve maximum is evaluated. To verify this hypothesis,

a control experiment was done, using vertically oriented Gabor patches (parallel to the curve), located at the two extremity points and the middle point of the 1-cycle curve. Results (see Figure 8) showed higher detection thresholds with the Gabor-patches task compared with the detection thresholds found for the 1 cycle condition in Experiment 1. This suggests that the visual system requires more information than only the extreme and mid points of the curved stimuli. Furthermore, results of the present study showed no threshold difference as a function of visible cycles in a periodic line stimulus.

Tyler (1973) reported that displacement sensitivity thresholds for sinusoidal curvature varies as a function of spatial frequency (number of cycles). He demonstrated that with a thin, bright, vertical line, sensitivity decreased when the number of visible cycles increases for up to 3cpd, then decreases. The present results showed a different pattern given the lack of effect as a function of the number of cycles. A much larger line width than Tyler's was used here in and, therefore, cannot be considered in the hyperacuity range, which was Tyler's interest. It is presumed, therefore, that larger line stimuli solicit different receptive field mechanisms than in Tyler's thin line conditions. Another difference is that in these experiments the stimuli were presented in a two-interval forced-choice paradigm rather than in a parallel discrimination task, which may also account for some of the differences between the studies.

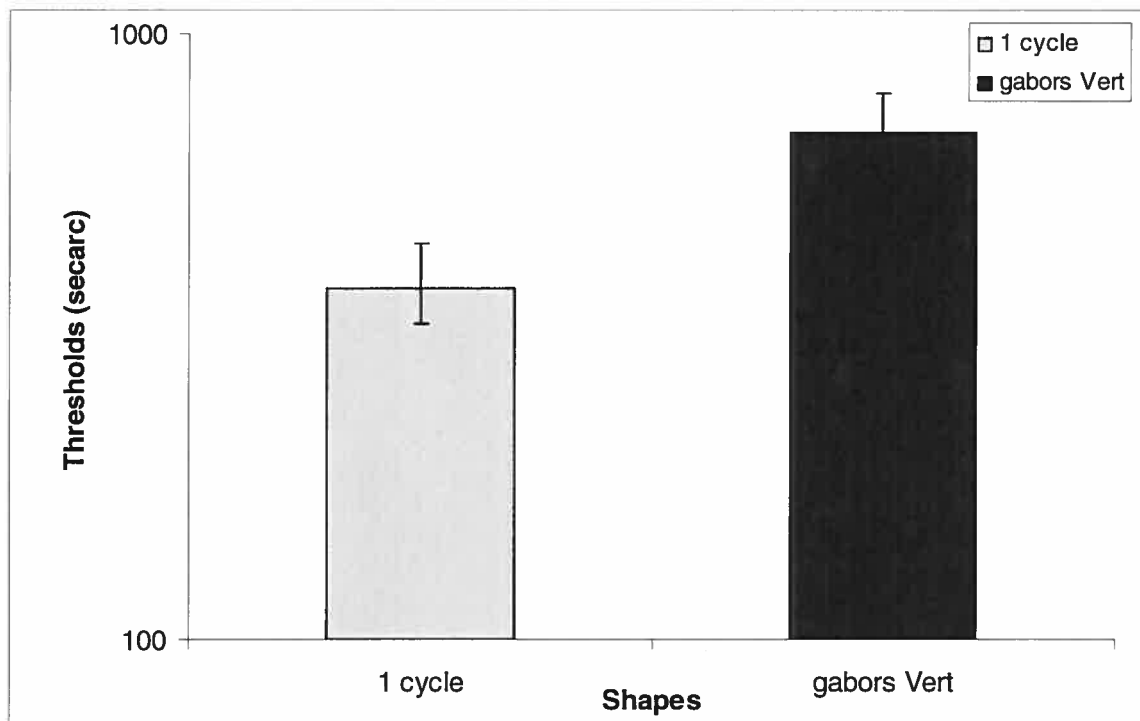


Figure 8. Results for Gabor and 1cycle per image stimuli.

First- and second-order

The absence of difference in detection thresholds between luminance- and contrast-defined was unexpected given that contrast-defined stimuli require additional neural processing to be seen. However, the two type of stimuli can be pooled (Baker, 1999) or selected (Allard & Faubert, 2006) and subsequently processed by the same mechanisms. It is important to note that the visibility of the stimuli was individually adjusted so that the differences between the first and second-order stimuli in the pre-rectification and rectification stages were eliminated.

Shape perception (geometry)

The present results are generally consistent with the different curvature models proposed in the literature. Figure 8, adapted from Foster (2002), corresponds to the Koenderink and Van Dorn model of curvature perception (1992). This model suggests inhibitory and excitatory units arranged in a 2x3 matrix structure. When applying this model to our curves, the compressed arc (Figure 9a1) image generates more inhibition, therefore, a smaller response compared to the quadratic (Figure 9a2) and bell shapes (Figure 9a3) that stimulate primarily the excitatory zones (white zone). Moreover, Figure 9b is a representation of the model proposed by Wilson and Richards (1989). Receptors along the curve will have higher distance for the compressed arc shape (Figure 9b1), requiring more energy and inducing higher thresholds.

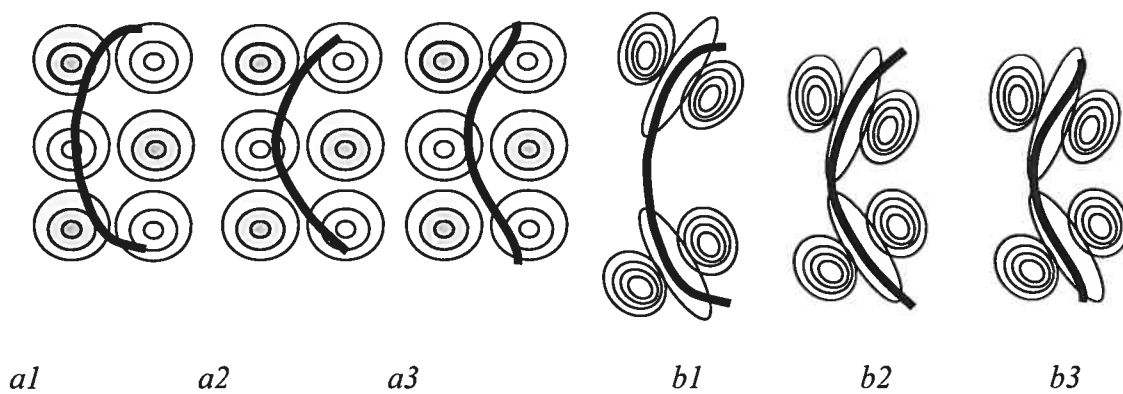


Figure 9: *Adapted from Foster 2002*. Left: 2x3 matrix excitatory and inhibitory units (Koenderink & Van Dorn 1988,1992b), Image right system non linear proposed by Wilson and Richards 1989

As proposed by Hess and collaborators, (Field et al., 1993; R. F. Hess et al., 2003; Ledgeway et al., 2005; Wang & Hess, 2005), successive elements in a visual pattern are harder to perceive when abrupt changes or abrupt angles occur between elements. Here in, it is suggested that the steep changes in the compressed arc trajectory could account for the increased thresholds. However, Hess and collaborators used Gabor patch elements to form their trajectory and they suggest that collinearity of such elements is processed at a low cortical level, in V1. A control study was performed where the curvature shapes were evaluated with contrast defined stimuli. Similar thresholds as for the luminance-defined stimuli were obtained. It is now generally assumed that the processing of images composed of second order information requires higher cortical level processing and cannot be the exclusive process of V1 (Allard & Faubert, 2006; Baker, 1999; Larsson, Landy, & Heeger, 2006; Lin & Wilson, 1996). This suggests two things; that common curvature mechanism are used whether images are defined by first or second order information and that tasks involving the collinear alignment of Gabor patches and complete line elements such as ours are occurring at different cortical levels. However, from the data obtained in this study, the Hess and collaborator model is the best one. First, the deviation in trajectory in both bell and quadratic shape were similar and they obtained similar thresholds. In other hand, our compress arc curves who obtained higher thresholds observed a different and more abrupt trajectory. In our experiment, we have not used different elements, but we believe that trajectory orientation give a good evaluation of thresholds. To confirm this presumption, further analysis using new curves design should be investigated.

In conclusion, when equated for visibility, stimulus attribute does not change curvature thresholds implying that the same mechanisms are solicited in curvature detection and that they require cortical mechanisms beyond only V1 area for whole line stimuli. The fact that we obtain an optimal response when a complete cycle per image is present and the presence of additional cycles does not change thresholds demonstrates that the central curvature detector is optimal at one cycle. The fact that curvature geometry influences thresholds but that oriented noise does not qualitatively influence the different curve shapes argues that the same mechanisms are involved in all curvature shapes but that they require different levels of neural processing.

References

- Allard, R., & Faubert, J. (2006). Same calculation efficiency but different internal noise for luminance- and contrast-modulated stimuli detection. *J Vis*, 6(4), 322-334.
- Attneave, F. (1954). Some informational aspects of visual perception. *Psychol Rev*, 61(3), 183-193.
- Baker, C. L., Jr. (1999). Central neural mechanisms for detecting second-order motion. *Curr Opin Neurobiol*, 9(4), 461-466.
- Cavanagh, P., & Mather, G. (1989). Motion: The long and short of it. *Spat Vis*, 4(2-3), 103-129.
- Chubb, C., & Sperling, G. (1989). Two motion perception mechanisms revealed through distance-driven reversal of apparent motion. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 86(8), 2985-2989.
- Field, D. J., Hayes, A., & Hess, R. F. (1993). Contour integration by the human visual system: Evidence for a local "association field". *Vision Res*, 33(2), 173-193.
- Foster, D. H., & Savage, J. C. (2002). Uniformity and asymmetry of rapid curved-line detection explained by parallel categorical coding of contour curvature. *Vision Research*, 42, 2163-2175.
- Hess, R. F., Achtman, R. L., & Wang, Y. Z. (2001). Detection of contrast-defined shape. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, 18(9), 2220-2227.
- Hess, R. F., Hayes, A., & Field, D. J. (2003). Contour integration and cortical processing. *J Physiol Paris*, 97(2-3), 105-119.

- Hess, R. F., Wang, Y. Z., & Dakin, S. C. (1999). Are judgements of circularity local or global? *Vision Research*, *39*, 4354-4360.
- Koenderink, J. J., & Richards, W. (1988). Two-dimensional curvature operators. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, *5*(7), 1136-1141.
- Koenderink, J. J., & Van Doorn, J. A. (1992). Surface shape and curvature scales. *image and vision computing*, *10*(8), 557-564.
- Kramer, D., & Fahle, M. (1996). A simple mechanism for detecting low curvatures. *Vision Research*, *36*(10), 1411-1419.
- Larsson, J., Landy, M. S., & Heeger, D. J. (2006). Orientation-selective adaptation to first- and second-order patterns in human visual cortex. *J Neurophysiol*, *95*(2), 862-881.
- Ledgeway, T., Hess, R. F., & Geisler, W. S. (2005). Grouping local orientation and direction signals to extract spatial contours: empirical tests of "association field" models of contour integration. *Vision Res*, *45*(19), 2511-2522.
- Lin, L. M., & Wilson, H. R. (1996). Fourier and non-Fourier pattern discrimination compared. *Vision Res*, *36*(13), 1907-1918.
- Mareschal, I., & Baker, C. L. J. (1998). A cortical locus for the processing of contrast-defined contours. *nature neuroscience*, *1*(2), 150-154.
- Sperling, G., Chubb, C., Solomon, J. A., & Lu, Z. L. (1994). Full-wave and half-wave processes in second-order motion and texture. *Ciba Found Symp*, *184*, 287-303; discussion 303-288, 330-288.

- Sutter, A., & Hwang, D. (1999). A comparison of the dynamics of simple (Fourier) and complex (non-Fourier) mechanisms in texture segregation. *Vision Res*, 39(11), 1943-1962.
- Tyler, C. W. (1973). Periodic vernier acuity. *J Physiol*, 228(3), 637-647.
- Wang, Y. Z., & Hess, R. F. (2005). Contributions of local orientation and position features to shape integration. *Vision Res*, 45(11), 1375-1383.
- Watson, A. B., & Pelli, D. G. (1983). QUEST: a Bayesian adaptive psychometric method. *Percept Psychophys*, 33(2), 113-120.
- Weibull, W. (1951). Statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics*, 18, 292-297.
- Wilson, H. R. (1985). Discrimination of contour curvature: data and theory. *Journal of the Optical Society of America. A.*, 2(7), 1191-1198.
- Wilson, H. R., & Richards, W. A. (1989). Mechanisms of contour curvature discrimination. *Journal of the Optical Society of America. A.*, 6(1), 106-115.
- Wilson, H. R., & Richards, W. A. (1992). Curvature and separation discrimination at texture boundaries. *J Opt Soc Am A*, 9(10), 1653-1662.

Acknowledgements

This research was supported by the NSERC-Essilor Industrial Research Chair and the Canadian Institutes of Health Research (CIHR) grant.

Chapitre III

Article 2

Curvature perception in aging

Abstract

It has been argued that curvature perception requires the integration of receptive fields sensitive to different orientations. It has also been proposed that aging primates are less efficient at orientation discrimination when compared to their younger counterparts. The purpose of the present study was to assess whether normal aging affects curvature perception, given that curvature is believed to involve the integration of differently oriented filters. Stimuli consisted of curvatures with three different shapes. The three shapes were derived with a mathematical function and the distinguishing features were that one was bell shaped, the second looked like a quadratic and the third appeared as a compressed arc. Ten young and ten older healthy observers participated in this study. Individual contrast thresholds were obtained to adjust for stimuli visibility. The thresholds were obtained with a 2ATFC paradigm with a constant stimuli method where the observers had to indicate in which interval the curvature was presented versus a straight line. The dependent variable observed was curvature amplitude. Results show

that both aging and young observers showed differences in sensitivity for the different shapes. The older observers showed higher thresholds for the quadratic and compressed arc shapes, while they were similar to the younger observers for the bell-shaped function. These data suggest that alternate processes are required for different shaped curves and that some shapes require more processing than others resulting in higher age-related deficits.

Introduction

Some visual functions are known to decrease during normal aging. Older adults show decreased performance for visual acuity, contrast and color sensitivity, motion perception, symmetry perception and binocular vision (Carter, 1982; Faubert, 2002b; Kline & Scialfa, 1996; Pitts, 1982). However, older adults can also perform as well as younger observers on different task such as certain hyperacuity tasks (Lakshminarayanan & Enoch, 1995). Very few studies have evaluated tasks involving the impact of aging on the perception of curvature, which is an essential characteristic of objects surrounding us in the real world. One study on radial frequency deformation patterns showed that older adults performed similarly to young adults (Wang, 2001). The purpose of the present study was to evaluate if aging influences curvature detection and whether there is an interaction between aging effects and curvature shape.

Experiments on aging monkeys have shown that visual neurons of older monkeys respond less efficiently to stimuli orientation and direction than those of younger monkeys (Schmolesky et al., 2000). Moreover, they found an age-related reduction of cortical selectivity and inhibition resulting in an increased response to all orientations. After an injection of a inhibitory neurotransmitter (GABA) agonist, the researchers found that old monkeys now performed like young monkeys. The authors suggest that the reduction of GABAergic inhibition occurs with age and decreases the orientation and direction selectivity, consequently decreasing the inhibition selectivity to all orientations

(Leventhal et al., 2003; Schmolesky et al., 2000). Similar experiments on cats have replicated the Leventhal group's results (Hua et al., 2006). A natural extension of this is that human observers should also have a decrease in orientation and direction selectivity. A recent behavioural study lends support to this hypothesis (Betts et al., 2005). They found that older adults required briefer stimuli durations than the younger group to extract information from a task where lateral inhibition is assumed to play an important role. They proposed that older adults demonstrated better performance on their task because, like older monkeys, they have less inhibition and have higher spontaneous firing rate to various orientations.

If older adults are subject to decreases of selectivity to various orientations, it follows that, in a curvature detection task that implicates orientation detectors, older observers would show higher thresholds. Moreover, a recent study by Legault, Allard and Faubert (2005) showed that curvature perception varies depending on shape characteristics. They suggested that the different shapes solicit different complexity levels of processing. Taken together, one should expect an age-related effect on curvature perception because it is assumed that curvature mechanisms solicit oriented receptors (Wilson, 1985; Wilson & Richards, 1989) and there should also be an age x shape interaction given that the complexity levels are different for the different shapes (Faubert, 2002b; Legault et al., 2005)

Method

Observers

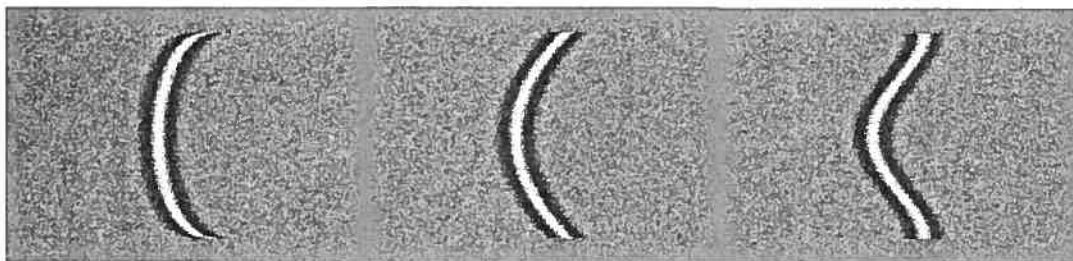
One of the authors (IL) and nine young observers (mean age 27.6 ± 1.35 years, range 25-29 years old) and 12 older observers (mean age 68.8 ± 3.04 years, range 64-74 years old), all naïve to the purpose of the experiment, participated in this study. All subjects in the older group had corrected visual acuity of 20/25 or better. To compensate for accommodation at the testing distance of 114 cm, 0.87 diopters was added to their own correction. In the younger group, all had a visual acuity of 20/20 or better. Testing was binocular, except for one older amblyopic subject who, nevertheless, showed results similar to these of other participants. Older observers completed the Mini-Mental State Exam (MMSE), a screening measure for cognitive impairment. All subjects' scores were within the normal range (range: 26-30/30; subject mean was 29.6/30) (Crum, Anthony, Bassett, & Folstein, 1993). Furthermore, the majority of the older subjects had university-level education and all were highly autonomous and came to the laboratory on their own. Therefore, they were all considered cognitively healthy.

Apparatus

All stimuli were presented on a 21-inch Dell P1130 monitor with a refresh rate set to 60 Hz. An AMD Athlon 1GHz computer combine with an Aopen Mx200 graphics card were used to compute and display all the stimuli. The mean luminance of the display was 29cd/m^2 . Gamma-correction was verified on a regular basis to ensure linearity of the guns.

Stimuli

The stimuli were luminance-defined shapes derived with a mathematical function. Distinguishing features were that one was bell shaped, the second looked like a quadratic and the third appeared as a compressed arc (see Figure 10).



a (0.5)

b (1)

c (2)

Figure 10. Curve shapes used a) Compress arc; b) arc; c) bell

The stimuli were defined by luminance:

$$LLM(x, y) = L_0(M(x, y) + N(x, y))$$

where $M(x, y)$ and $N(x, y)$ represent the signal and noise modulation respectively, and L_0 is the mean luminance background. Uniform noise was used where the difference between the maximum and the minimum were 50 percent ($-0.5 < N(x, y) < 0.5$)

The modulation profile was the fourth normalized Gaussian derivative

$$M(x, y) = c \left[1 - \frac{D(x, y)^2}{\sigma^2} + \frac{D(x, y)^4}{12 * \sigma^4} \right] * \exp \left[\frac{-D(x, y)^2}{2\sigma^2} \right]$$

where σ is the standard deviation, which was fixed to 0.25 dva, c is the modulation contrast which was adjusted for each subject, and $D(x, y)$ represents the horizontal distance from the center of the line which was defined by

$$D(x, y) = a * \left[\left(1 - \left(\frac{y}{h} \right)^2 \right)^f - 0.5 \right] + j$$

where a represents the amplitude of the curvature. In this Experiment, a was the dependant variable corresponding to the distance between the extremity and the center of a curvature on the x axis (Figure 2); h (height) represents the distance between one extremity and the center of the curvature on the y axis; f modulates the shape of the curvature. In this case, f had 3 values, 0.5, 1 and 2. Finally, j , is the positional jitter that varied randomly between -0.25 and 0.25 dva. This results in shifting the curve from left to right to avoid the use of positional cues by the subjects.

The stimulus was 4 degrees of visual angle (dva) long and 0.25 dva wide when viewed from a distance of 114cm. Each pixel size was $\frac{1}{64} \times \frac{1}{64}$ dva. Curvature orientation was

vertical and was curved to the right or to the left. Stimulus position was jittered randomly by 0.25° dva from the center of the screen on the x -axis.

Procedure

A temporal two-alternative forced-choice (2ATFC) constant stimuli procedure was used. Observers were asked to identify which of the 2 intervals contained the target (line or curvature) by pressing one of two keys and response feedback was provided. The presentation time and inter-stimulus delay were both 500 ms. In order to present stimuli at perceptually equivalent contrasts (c) for all observers, a detection was first performed task in which the observer had to identify the interval containing the straight line in noise versus an interval containing only noise. Forty trials established the detection thresholds. The experimenter fixed the stimulus contrast to the lowest level that permitted the observer to correctly detect the stimulus 100% of the time. A block of trials (one run) was composed of 30 trials of one type of curvature with seven amplitude levels presented pseudo randomly. A Weibull function (Weibull, 1951) was fitted to the data to determine thresholds at a 75%-correct level of performance on the amplitude (a) detection parameter for each curvature shape and for each subject.

Results

A 2X3 split-plot ANOVA; age (between variable) x curvature (within variable) revealed a main effect of age, $F(1,20) = 5.439, p = 0.03$, and main effect of curvature condition, $F(1,20) = 67.411, p < .001$. There was also a significant age x curvature interaction, $F(1,20) = 5.689, p = 0.027$ (see Figure 11). It is clear that no significant difference was found between observers for the bell shaped curve. However, the significant age by curvature shape interaction comes from the group differences in the other two shapes. Older observers' detection thresholds increased by 25% relative to the younger group for the non-bell shaped curves.

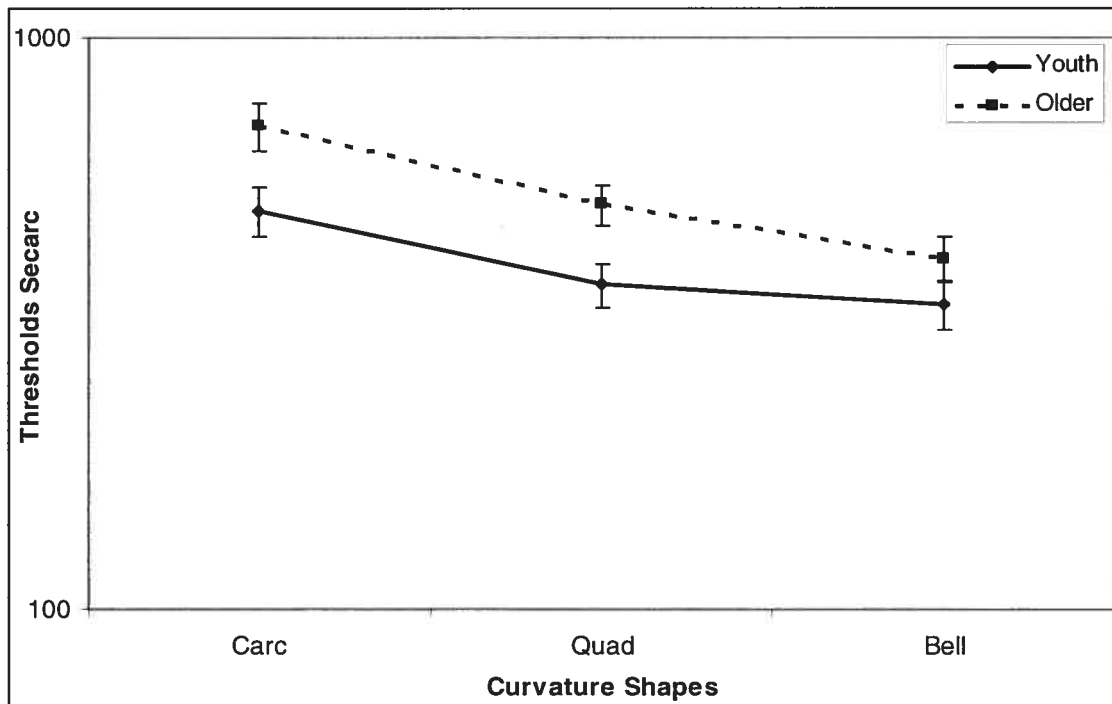


Figure 11 : Curvature detection as a function of curve shape for younger and older observer

Discussion

The results of the present study showed differences between curve shapes for both young and older observers. A first study by Legault, Allard, and Faubert (2005) on the effect of curvature shape on detection in young normal observers also shows an effect of shape. As proposed by Hess and collaborators (Field et al., 1993; R. F. Hess et al., 2003; Ledgeway et al., 2005; Wang & Hess, 2005), elements in a collinear visual pattern are harder to perceive when abrupt changes or abrupt angles occur between elements. Legault and collaborators suggests that the steep changes in the compressed arc trajectory could account for the increased thresholds. However, Hess and collaborators used Gabor patch elements to form their trajectory and they suggest that colinearity of such elements is processed at a low cortical level, in V1. Legault and collaborators demonstrate similar thresholds on curve shape perception in both first and second order defined stimuli when equated for visibility. It is now generally assumed that the processing of images composed of second order information requires higher cortical level processing and cannot be the exclusive process of V1 (Allard & Faubert, 2006; Baker, 1999; Larsson et al., 2006; Lin & Wilson, 1996). This suggests two things: that common curvature mechanisms are used whether images are defined by first and second order information and that tasks involving the collinear alignment of Gabor patches and complete line elements such those used in the present study are happening at different cortical levels.

In a previous study, it was shown that sensitivities to periodic line stimuli with one or more visible cycles of distortion produced similar sensitivity profiles, suggesting that the central detector mechanisms for curvature is optimal at one cycle (Legault et al., 2005). This result was robust to other parameter changes such as whether the stimuli were defined by 1st or 2nd order properties, or when line width and window size was manipulated. The bell-shaped curve, corresponding to the periodic line containing one cycle of distortion in the previous experiment, generated results congruent with the previous periodic line stimuli. That is, no effect of age was found for these two very similar looking curvatures. Furthermore, congruent with our findings, Wang (2005) found no difference in sensitivity between young and older adults when viewing radial frequency patterns at low frequencies.

A previous study has demonstrated that Vernier and similar spatial discrimination tasks are unaffected by age (Enoch & Lakshminarayanan, 2002; Lakshminarayanan et al., 1992; Lakshminarayanan & Enoch, 1995; Latham & Barrett, 1998). It is possible, therefore, that our bell-shaped stimuli and the one-cycle periodic line stimuli are processed in a similar way as Vernier type tasks. However, thresholds obtained for the curve in this study are higher than what is expected in classical hyperacuity tasks. This may reflect that the present curves were tested in noise and implied a certain distance between the anchorage points (extremities) and the central portion of the curve (larger gap). It is known that noise, gap size and contrast influence hyperacuity tasks (Bradley & Skottun, 1987; Lakshminarayanan et al., 1992).

It has been suggested that higher mammals with well developed visual systems should show a reduction in selectivity to orientation and direction with aging (Hua et al., 2006; Leventhal et al., 2003). Moreover, the present results on compressed arc and arc curve shapes are consistent with results found by Betts and al.(2005). Their results suggest the reduction of inhibition and the increase of spontaneous firing in older adults in orientation selective cells. If the perception of the curves used in this study requires the integration of different oriented receptors, the Leventhal proposition can account for the present data. The results support the idea that higher mammals with developed visual systems show a diminution of orientation selectivity with aging.

It is also proposed that the increased age-related thresholds for the different curve shapes supports the notion that these shapes imply greater processing requirements (Faubert, 2002b). It has been demonstrated that age-related deficits are increasingly obvious when the processing requirements of visual information increases (Faubert, 2002b). Since a significant age by curvature interaction was found, where the most difficult curvatures to perceive for the young normal observers become even more difficult to perceive for the older observers, one can assume that this effect is due to increased processing demands.

Finally, these results may have an impact in understanding how older observers deal with visual distortions. Many methods for correcting age-related presbyopia (loss of ability to focus at near distances) induce visual distortions in the form of curvature (Faubert, 2002a). It is important, therefore, to understand how well older and younger presbyopic adults can perceive curvature. This may lead to better predictions of when

observers will or will not be bothered by optically induced visual distortions, which could subsequently influence ophthalmic lens design.

Acknowledgements

This research was supported by the NSERC-Essilor Industrial Research Chair and the Canadian Institutes of Health Research (CIHR) grant.

References

- Allard, R., & Faubert, J. (2006). Same calculation efficiency but different internal noise for luminance- and contrast-modulated stimuli detection. *J Vis*, 6(4), 322-334.
- Baker, C. L., Jr. (1999). Central neural mechanisms for detecting second-order motion. *Curr Opin Neurobiol*, 9(4), 461-466.
- Betts, L. R., Taylor, C. P., Sekuler, A. B., & Bennett, P. J. (2005). Aging reduces center-surround antagonism in visual motion processing. *Neuron*, 45(3), 361-366.
- Bradley, A., & Skottun, B. C. (1987). Effects of contrast and spatial frequency on vernier acuity. *Vision Res*, 27(10), 1817-1824.
- Carter, J. H. (1982). The Effect of Aging on Selected Visual Functions: Color Vision, Glare Sensitivity, Field of Vision, and Accommodation. In *Aging and human visual function* (pp. 121-130). New York: A.R. Liss.
- Crum, R. M., Anthony, J. C., Bassett, S. S., & Folstein, M. F. (1993). Population-based norms for the Mini-Mental State Examination by age and educational level. *Jama*, 269(18), 2386-2391.
- Enoch, J. M., & Lakshminarayanan, V. (2002). Comments on: variation in vernier acuity with age. *Vision Res*, 42(9), 1211-1212.
- Faubert, J. (2002a). The influence of optical distortions and transverse chromatic aberrations on motion parallax and stereopsis in natural and artificial environments. . In F. O. E. S. V. B. Javidi (Ed.), *Three-dimensional Television, Video and Display Technologies* (Physics Edition ed., pp. 359-396).

- Faubert, J. (2002b). Visual perception and aging. *Canadian journal of experimental psychology*, 56(3), 164-176.
- Field, D. J., Hayes, A., & Hess, R. F. (1993). Contour integration by the human visual system: evidence for a local "association field". *Vision Res*, 33(2), 173-193.
- Hess, R. F., Hayes, A., & Field, D. J. (2003). Contour integration and cortical processing. *J Physiol Paris*, 97(2-3), 105-119.
- Hua, T., Li, X., He, L., Zhou, Y., Wang, Y., & Leventhal, A. G. (2006). Functional degradation of visual cortical cells in old cats. *Neurobiol Aging*, 27(1), 155-162.
- Kline, D. W., & Scialfa, C. T. (1996). Handbook of the psychology of aging. In *Handbooks of aging* (4th ed., pp. 181-190). San Diego ; Toronto: Academic Press.
- Lakshminarayanan, V., Aziz, S., & Enoch, J. M. (1992). Variation of the hyperacuity gap function with age. *Optom Vis Sci*, 69(6), 423-426.
- Lakshminarayanan, V., & Enoch, J. M. (1995). Vernier acuity and aging. *Int Ophthalmol*, 19(2), 109-115.
- Larsson, J., Landy, M. S., & Heeger, D. J. (2006). Orientation-selective adaptation to first- and second-order patterns in human visual cortex. *J Neurophysiol*, 95(2), 862-881.
- Latham, K., & Barrett, B. T. (1998). No effect of age on spatial interval discrimination as a function of eccentricity or separation. *Curr Eye Res*, 17(10), 1010-1017.
- Ledgeway, T., Hess, R. F., & Geisler, W. S. (2005). Grouping local orientation and direction signals to extract spatial contours: empirical tests of "association field" models of contour integration. *Vision Res*, 45(19), 2511-2522.

- Legault, I., Allard, R., & Faubert, J. (2005a). Detecting curvature in first and second-order periodic line stimuli. *Journal of Vision*, 5(8), 464-464.
- Legault, I., Allard, R., & Faubert, J. (2005b). *Detecting curvature in first and second-order periodic line stimuli*. Paper presented at the Vision sciences society. from <http://journalofvision.org/5/8/464/>
- Leventhal, A. G., Wang, Y., Pu, M., Zhou, Y., & Ma, Y. (2003). GABA and its agonists improved visual cortical function in senescent monkeys. *Science*, 300, 721-722.
- Lin, L. M., & Wilson, H. R. (1996). Fourier and non-Fourier pattern discrimination compared. *Vision Res*, 36(13), 1907-1918.
- Pitts, D. G. (1982). The Effects of Aging on Selected Visual Functions: Dark Adaptation, Visual Acuity, Stereopsis, and Brightness Contrast. In *Aging and human visual function* (pp. 131-159). New York: A.R. Liss.
- Schmolesky, M. T., Wang, Y., Pu, M., & Leventhal, A. G. (2000). Degradation of stimulus selectivity of visual cortical cells in senescent rhesus monkeys. *Nat Neurosci*, 3(4), 384-390.
- Wang, Y. Z. (2001). Effects of aging on shape discrimination. *Optom Vis Sci*, 78(6), 447-454.
- Wang, Y. Z., & Hess, R. F. (2005). Contributions of local orientation and position features to shape integration. *Vision Res*, 45(11), 1375-1383.
- Wilson, H. R. (1985). Discrimination of contour curvature: data and theory. *Journal of the Optical Society of America. A.*, 2(7), 1191-1198.
- Wilson, H. R., & Richards, W. A. (1989). Mechanisms of contour curvature discrimination. *Journal of the Optical Society of America. A.*, 6(1), 106-115.

Chapitre IV

Discussion

Lors du premier article, des courbes définies par le premier et le deuxième ordre ayant différentes fréquences spatiales ont été comparé. Il a été démontré que, lorsque l'on présente une ligne périodique comportant de 1 à 8 modulations (fréquences) par image, les sujets obtenaient des résultats similaires pour chacune des modulations. La quantité de modulations incluses dans la ligne ne semblait pas influencer la détection de celle-ci. L'idée de départ stipulait que le nombre de modulations aurait un effet de sommation, c'est-à-dire que les seuils de sensibilité des sujets diminueraient lorsque le nombre de modulations augmenteraient, puisqu'il y avait plus d'information disponible. De plus, Tyler (1973) a rapporté que lors d'une tâche de discrimination de lignes périodiques, les observateurs deviennent plus sensibles avec l'augmentation des fréquences spatiales, jusqu'à 3 cycles par degrés. Par contre, les présents résultats ont clairement démontré qu'aucun effet de sommation n'est impliqué lors du processus de lignes modulées. L'absence de différence dans ces résultats, entre les différentes modulations, peut signaler que la tâche s'apparente à une tâche de discrimination spatiale (différence de localisation spatiale entre deux stimuli, que pour traiter ce type de stimuli, le système

visuel utilise seulement les parties extrêmes de ceux-ci. Pour vérifier cette hypothèse, une tâche utilisant des pièces de Gabor disposées aux deux extrémités ainsi qu'une au centre de la courbe de 1 cycle par image, a été utilisée. Les résultats ont révélé des seuils de détection plus élevés avec les pièces de Gabor, comparativement aux seuils de détection rapportés sur la courbe de 1 cycle. Ces données suggèrent que le système visuel utilise plus d'information que seulement les points extrêmes du stimulus, suggérant ainsi que la courbe entière soit intégrée et traitée.

Par la suite, la présente étude a tenté de déterminer si des lignes périodiques comprenant différentes fréquences, déterminées par le premier ou le deuxième ordre, obtenaient des résultats différents. Les idées de base stipulaient que le deuxième ordre obtiendrait des seuils de sensibilité plus élevés, comparativement aux seuils de sensibilité obtenus avec des stimuli de premier ordre. Par contre, il s'est avéré que nos présomptions de base étaient erronées. Aucune différence significative n'a été discernée entre les stimuli de premier et de deuxième ordre. Certains auteurs ont démontré que les mécanismes sous-jacents à la perception du premier et du deuxième ordre sont similaires lors de la dernière étape du traitement (Allard & Faubert, 2006; Chubb & Sperling, 1989). Il a été démontré que le premier ordre requiert moins d'étapes que le traitement de deuxième ordre qui, de son côté, requiert un processus de rectification pour établir une réponse. Cette deuxième étape suggère un plus long processus et qui, dans plusieurs tâches, apporte une augmentation des seuils de sensibilité (R. F. Hess et al., 2001). Il semblerait que dans la présente tâche, le traitement de deuxième ordre se fait sans nécessiter de traitement supplémentaire au système visuel. Par ailleurs, lors de la première étape de

l'expérimentation, un niveau de modulation de contraste différent pour chacun des sujets fut établi. Cette étape permet de s'assurer que les stimuli sont perceptiblement équivalents pour chacun des sujets et que le premier et le deuxième ordre sont équivalents, l'un par rapport à l'autre. Cette étape permet de compenser pour une différence d'intensité qui pourrait survenir entre les stimuli. Ce contrôle de contraste peut expliquer l'absence de différence obtenue entre les stimuli puisque l'intensité du signal nécessaire pour les déceler était ajustée au départ. De plus, les résultats de Hess et ses collègues semblaient s'expliquer par la différence de contraste entre les deux catégories de stimuli. De plus, considérant que les mécanismes qui les traitent seraient similaires pour les deux, on peut supposer que leurs réponses seraient analogues et procédées efficacement dans les deux cas.

Lors de la deuxième partie de l'expérimentation du premier article, l'expérimentation tentait de déterminer chez les jeunes si différentes géométries de courbes apporteraient des seuils de sensibilité distincts selon la forme. Trois formes différentes (arc compressé, quadratique et cloche) dont une d'entre elles découlait de l'expérimentation 1 (cloche) ont été créées. Les résultats ont démontré que la forme d'une courbe peut avoir une influence sur la perception de celle-ci. Des augmentations de seuils chez les sujets sur notre courbe appelée arc compressé ont été observées, lorsque celle-ci était comparée aux deux autres (quadratique et cloche). Différents modèles peuvent adéquatement expliquer les différences encourues entre les différentes formes. Par exemple, le modèle de Wilson et Richards (Wilson & Richards, 1989) indique que, lorsque des courbes de basses amplitudes sont présentées au système visuel, celui-ci fait l'estimation de la

courbe à l'aide de trois récepteurs disposés les uns aux côtés des autres sur la partie la plus courbée du stimulus. Ensuite, la distance (delta) entre les deux récepteurs situés aux extrémités et le récepteur central, est calculée et une tangente est évaluée. Pour la courbe arc compressé qui a obtenu les seuils les plus élevés, la courbure de celle-ci est située dans les extrémités, les récepteurs sont plus loin du point central et le delta est plus élevé comparativement aux deux autres courbes. Par conséquent, cette courbe demande davantage d'énergie pour être perçue. Les courbes prénommées quadratique et cloche ont obtenu des seuils similaires. Encore une fois, avec le modèle de Wilson & Richards (1989), la distance (delta) entre les récepteurs est semblable pour les deux courbes et engendre des seuils similaires.

Dans le premier chapitre, il a été expliqué que les courbes pourraient être perçues comme une succession d'éléments plutôt que comme une ligne continue. Certains chercheurs ont démontré que, lorsqu'une trajectoire formée d'éléments observait un changement brusque, les seuils de sensibilité se voyaient augmenter comparativement à une trajectoire dont une petite déviation constante était induite (Field et al., 1993; R. F. Hess et al., 2003; Ledgeway et al., 2005; Wang & Hess, 2005). Appliquée aux courbes, la trajectoire de l'arc compressé subit des changements abrupts dans ses extrémités, comparativement aux deux autres qui observent davantage des changements faibles et continus. Donc, l'arc compressé obtient des seuils plus élevés, provoqué par une trajectoire plus abrupte.

Au cours du deuxième article, l'intérêt était d'évaluer la perception des courbes chez les jeunes et les personnes âgées. Pour ce faire, les trois courbes de géométries différentes créées pour la deuxième expérience du premier article ont été réutilisées. Les résultats ont démontré un patron différent entre les jeunes et les personnes âgées. Chez les jeunes, seulement l'arc compressé obtenait des seuils supérieurs, comparativement aux deux autres courbes. Chez les personnes âgées, l'arc compressé rapportait également des seuils plus élevés comparativement aux deux autres courbes. Par contre, la quadratique a également obtenu un seuil plus élevé que la courbe cloche, comparativement à ce qui était observé chez les jeunes où des seuils similaires étaient observés pour ces deux courbes.

Lorsque l'on compare le groupe de jeunes et le groupe de personnes âgées, on observe que les seuils sont significativement supérieurs chez les personnes âgées pour l'arc compressé et pour la quadratique. Par contre, aucune différence significative n'est observée entre les groupes pour la cloche. Comme mentionné lors du premier chapitre, des chercheurs ont démontré que les primates âgés perdaient de la sensibilité aux différentes orientations et, de plus, que leurs neurones augmentaient leur mise à feu à d'autres orientations qui ne constituent pas l'orientation « préférée » de ce neurone (Leventhal et al., 2003; Schmolesky et al., 2000). Ils ont expliqué ce phénomène par une diminution de l'inhibition corticale. Des études sur les humains ont également obtenu des résultats allant dans le même sens (Betts et al., 2005). Les présents résultats sur les courbes semblent également appuyer ces résultats. De plus, Wilson & Richards (1989) ont démontré que la perception des courbes nécessitait l'implication de cellules sensibles

à l'orientation. On a supposé que les animaux, ayant des systèmes visuels développés tel l'humain, observaient une diminution de leur sensibilité aux différentes orientations. Donc, considérant ces deux idées, on semble avoir des résultats qui soutiennent l'idée que le vieillissement engendre une diminution de la sensibilité aux différentes orientations et que les courbes nécessitent l'implication de cellules orientées.

En revanche, ces hypothèses n'expliquent pas l'absence de différence observée entre les deux groupes avec la courbe cloche. Cette courbe faisait partie de la première expérimentation, où l'on a démontré que le nombre de cycles inclus dans une ligne avait peu d'importance, car les seuils demeuraient stables. On a supposé que la courbe était davantage procédée comme une tâche de discrimination spatiale, telle l'hyperacuité. L'expérience utilisant des Gabor situés aux extrémités a démontré que les seuils étaient plus élevés lorsque seulement des Gabor étaient utilisés. Ces données suggèrent que l'ensemble de la courbe est utilisé pour la détection. Tout de même, l'hypothèse que cette courbe s'apparentait davantage aux attributs des tâches d'hyperacuité chez lesquelles aucun déficit apparent chez les personnes âgées n'est observé, a été émise (Lakshminarayanan et al., 1992; Lakshminarayanan & Enoch, 1995). Cette catégorisation de la tâche courbe cloche vers une tâche d'hyperacuité permettrait d'expliquer l'absence de différence entre nos deux groupes testés sur celle-ci. Nous présumons que l'ensemble de la courbe est intégré, mais que les différentes orientations ont un poids moins important lors de son traitement, comparativement aux courbes tels l'arc compressé et la quadratique.

De plus, le modèle de Wang (2001) avait démontré que les personnes âgées n'observaient pas de diminution de performance lors de tâche de détection de différentes fréquences radiales induites dans une forme circulaire. Lors de notre première expérimentation, nous avons démontré que lors d'une tâche de détection de lignes périodiques de différentes fréquences spatiales, les participants obtenaient des seuils de sensibilités similaires. Dans un deuxième temps, nous avons testé une de ses fréquences, notre courbe cloche, sur nos personnes âgées. Avec cette courbe, nous avons obtenu des seuils similaires entre les jeunes et les personnes âgées. Ces résultats semblent confirmer l'hypothèse du système visuel optimal dans le traitement de ce type de stimulus sinusoïdale peu importe si la cible est ouverte (dans le cas présent) ou fermé (Wang).

Chapitre V

Conclusion

Lorsqu'un stimulus prend la forme d'une ligne et que l'on y induit des modulations de différentes fréquences spatiales, le nombre de fréquences induit n'influence pas les seuils de détection qui tendent à rester stables. De plus, lorsque ces mêmes stimuli sont définis par le premier ou encore par le deuxième ordre, les seuils demeurent équivalents entre les différentes fréquences, ainsi qu'entre les deux modulations de contraste. Cette étude a également démontré que la perception des courbes pouvait être influencée par leurs formes. Dans un dernier temps, les résultats ont illustré les personnes âgées étaient moins performantes, comparativement aux jeunes, lors de tâches de discrimination de courbes et que leur performance variait selon la courbe à détecter.

Les expériences effectuées dans les deux articles présentés dans ce travail aident à comprendre les mécanismes sous-jacents aux courbes, ainsi que l'importance de la forme de celles-ci. On peut donc dire que la forme d'un objet est importante, lors du

processus de détection, et qu'elle doit être prise en compte lors de l'élaboration d'une tâche.

Lors de l'introduction, il a été mentionné que les verres progressifs, portés par des personnes souffrant de presbytie liée à l'âge, induisent des déformations visuelles sous forme de courbure (Faubert, 2002b). Il a été déterminé que le moyen le plus efficace, selon nous, pour évaluer cette sensibilité à la distorsion, était l'évaluation de la perception des courbes. Les résultats de la présente étude peuvent avoir une incidence pour déterminer comment les gens âgés traitent les déformations produites par leurs verres. Dans un projet futur, il serait intéressant d'évaluer si la distorsion induite par les verres correspond à un type de courbes particulier. Si la distorsion engendre des courbes similaires aux courbes cloches, ceci suppose dès lors que les jeunes et les personnes âgées seront importunés par cette distorsion. De plus, les jeunes perçoivent les courbes de façon plus adéquates que les personnes âgées, ils seront davantage perturbés par les différents modèles de courbes que peuvent être induit dans un verre. Il s'agira de travailler avec les fabricants pour s'assurer que la distorsion des verres progressifs tend davantage vers un type de courbures moins bien perçu, tel l'arc compressé, dans le but de diminuer l'inconfort occasionné par ces verres. L'évaluation du type de distorsion induite par les différents modèles de verres progressifs pourrait être évaluée en mesurant la perception de lignes droites, par des nouveaux porteurs, en leur demandant d'indiquer la forme perçue.

Il serait également intéressant d'évaluer la perception de la sensibilité aux courbes dans un domaine plus écologique telle que la réalité virtuelle. La détection de courbes

incluses à l'intérieur de divers objets de notre vie quotidienne pourrait être mesurée ainsi que l'impact de ce qui nous entoure sur la perception des formes. Par exemple, une scène, tel un salon pourrait être créé, des courbes pourraient être induites dans des cadres ou encore dans des coussins sur un divan. Une tâche de discrimination de courbes pourrait être effectuée.

Références

- Allard, R., & Faubert, J. (2006). Same calculation efficiency but different internal noise for luminance- and contrast-modulated stimuli detection. *J Vis*, 6(4), 322-334.
- Attneave, F. (1954). Some informational aspects of visual perception. *Psychol Rev*, 61(3), 183-193.
- Baker, C. L., Jr. (1999). Central neural mechanisms for detecting second-order motion. *Curr Opin Neurobiol*, 9(4), 461-466.
- Betts, L. R., Taylor, C. P., Sekuler, A. B., & Bennett, P. J. (2005). Aging reduces center-surround antagonism in visual motion processing. *Neuron*, 45(3), 361-366.
- Bradley, A., & Skottun, B. C. (1987). Effects of contrast and spatial frequency on vernier acuity. *Vision Res*, 27(10), 1817-1824.
- Carter, J. H. (1982). The Effect of Aging on Selected Visual Functions: Color Vision, Glare Sensitivity, Field of Vision, and Accommodation. In *Aging and human visual function* (pp. 121-130). New York: A.R. Liss.
- Cavanagh, P., & Mather, G. (1989). Motion: the long and short of it. *Spat Vis*, 4(2-3), 103-129.
- Chubb, C., & Sperling, G. (1989). Two motion perception mechanisms revealed through distance-driven reversal of apparent motion. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 86(8), 2985-2989.

- Crum, R. M., Anthony, J. C., Bassett, S. S., & Folstein, M. F. (1993). Population-based norms for the Mini-Mental State Examination by age and educational level. *Jama*, *269*(18), 2386-2391.
- Dobbins, A., Zucker, S. W., & Cynader, M. S. (1987). Endstopped neurons in the visual cortex as a substrate for calculating curvature. *Nature*, *329*(6138), 438-441.
- Dobbins, A., Zucker, S. W., & Cynader, M. S. (1989). Endstopping and curvature. *Vision Res*, *29*(10), 1371-1387.
- Enoch, J. M., & Lakshminarayanan, V. (2002). Comments on: variation in vernier acuity with age. *Vision Res*, *42*(9), 1211-1212.
- Fahle, M. (1991). Parallel perception of vernier offsets, curvature, and chevrons in humans. *Vision Research*, *31*(12), 2149-2184.
- Faubert, J. (2002a). The influence of optical distortions and transverse chromatic aberrations on motion parallax and stereopsis in natural and artificial environments. . In F. O. E. S. V. B. Javidi (Ed.), *Three-dimensional Television, Video and Display Technologies* (Physics Edition ed., pp. 359-396).
- Faubert, J. (2002b). Visual perception and aging. *Canadian journal of experimental psychology*, *56*(3), 164-176.
- Field, D. J., Hayes, A., & Hess, R. F. (1993). Contour integration by the human visual system: evidence for a local "association field". *Vision Res*, *33*(2), 173-193.
- Foster, D. H., & Savage, J. C. (2002). Uniformity and asymmetry of rapid curved-line detection explained by parallel categorical coding of contour curvature. *Vision Research*, *42*, 2163-2175.

- Goldstein, E. B. (2002). *Sensation and perception* (6th ed.). Pacific Grove: Brooks/Cole Pub.
- Habak, C., & Faubert, J. (2000). Larger effect of aging on the perception of higher-order stimuli. *Vision Research*, *40*, 943-950.
- Haxby, J. V., Grady, C. L., Horwitz, B., Ungerleider, L. G., Mishkin, M., Carson, R. E., et al. (1991). Dissociation of object and spatial visual processing pathways in human extrastriate cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *88*(5), 1621-1625.
- Hess, R. F., Achtman, R. L., & Wang, Y. Z. (2001). Detection of contrast-defined shape. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, *18*(9), 2220-2227.
- Hess, R. F., Hayes, A., & Field, D. J. (2003). Contour integration and cortical processing. *J Physiol Paris*, *97*(2-3), 105-119.
- Hess, R. F., Wang, Y. Z., & Dakin, S. C. (1999). Are judgements of circularity local or global? *Vision Research*, *39*, 4354-4360.
- Hua, T., Li, X., He, L., Zhou, Y., Wang, Y., & Leventhal, A. G. (2006). Functional degradation of visual cortical cells in old cats. *Neurobiol Aging*, *27*(1), 155-162.
- Kline, D. W., & Scialfa, C. T. (1996). Handbook of the psychology of aging. In *Handbooks of aging* (4th ed., pp. 181-190). San Diego ; Toronto: Academic Press.
- Koenderink, J. J., & Richards, W. (1988). Two-dimensional curvature operators. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, *5*(7), 1136-1141.
- Koenderink, J. J., & Van Doorn, J. A. (1992). Surface shape and curvature scales. *image and vision computing*, *10*(8), 557-564.

- Kramer, D., & Fahle, M. (1996). A simple mechanism for detecting low curvatures. *Vision Research*, 36(10), 1411-1419.
- Lakshminarayanan, V., Aziz, S., & Enoch, J. M. (1992). Variation of the hyperacuity gap function with age. *Optom Vis Sci*, 69(6), 423-426.
- Lakshminarayanan, V., & Enoch, J. M. (1995). Vernier acuity and aging. *Int Ophthalmol*, 19(2), 109-115.
- Larsson, J., Landy, M. S., & Heeger, D. J. (2006). Orientation-selective adaptation to first- and second-order patterns in human visual cortex. *J Neurophysiol*, 95(2), 862-881.
- Latham, K., & Barrett, B. T. (1998). No effect of age on spatial interval discrimination as a function of eccentricity or separation. *Curr Eye Res*, 17(10), 1010-1017.
- Ledgeway, T., Hess, R. F., & Geisler, W. S. (2005). Grouping local orientation and direction signals to extract spatial contours: empirical tests of "association field" models of contour integration. *Vision Res*, 45(19), 2511-2522.
- Legault, I., Allard, R., & Faubert, J. (2005). *Detecting curvature in first and second-order periodic line stimuli*. Paper presented at the Vision sciences society. from <http://journalofvision.org/5/8/464/>
- Leventhal, A. G., Wang, Y., Pu, M., Zhou, Y., & Ma, Y. (2003). GABA and its agonists improved visual cortical function in senescent monkeys. *Science*, 300, 721-722.
- Lin, L. M., & Wilson, H. R. (1996). Fourier and non-Fourier pattern discrimination compared. *Vision Res*, 36(13), 1907-1918.
- Mareschal, I., & Baker, C. L. J. (1998). A cortical locus for the processing of contrast-defined contours. *nature neuroscience*, 1(2), 150-154.

- Pitts, D. G. (1982). The Effects of Aging on Selected Visual Functions: Dark Adaptation, Visual Acuity, Stereopsis, and Brightness Contrast. In *Aging and human visual function* (pp. 131-159). New York: A.R. Liss.
- Schmolesky, M. T., Wang, Y., Pu, M., & Leventhal, A. G. (2000). Degradation of stimulus selectivity of visual cortical cells in senescent rhesus monkeys. *Nat Neurosci*, 3(4), 384-390.
- Scialfa, C. T., Kline, D. W., & Wood, P. K. (2002). Structural modeling of contrast sensitivity in adulthood. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, 19(1), 158-165.
- Spear, P. D. (1993). Neural bases of visual deficits during aging. *Vision Res*, 33(18), 2589-2609.
- Sperling, G., Chubb, C., Solomon, J. A., & Lu, Z. L. (1994). Full-wave and half-wave processes in second-order motion and texture. *Ciba Found Symp*, 184, 287-303; discussion 303-288, 330-288.
- Sutter, A., & Hwang, D. (1999). A comparison of the dynamics of simple (Fourier) and complex (non-Fourier) mechanisms in texture segregation. *Vision Res*, 39(11), 1943-1962.
- Tyler, C. W. (1973). Periodic vernier acuity. *J Physiol*, 228(3), 637-647.
- Volz, H., & Zanker, J. M. (1996). Hyperacuity for spatial localization of contrast-modulated patterns. *Vision Res*, 36(9), 1329-1339.
- Wang, Y. Z. (2001). Effects of aging on shape discrimination. *Optom Vis Sci*, 78(6), 447-454.
- Wang, Y. Z., & Hess, R. F. (2005). Contributions of local orientation and position features to shape integration. *Vision Res*, 45(11), 1375-1383.

- Watson, A. B., & Pelli, D. G. (1983). QUEST: a Bayesian adaptive psychometric method. *Percept Psychophys*, 33(2), 113-120.
- Watt, R. J., & Andrews, D. P. (1982). Contour curvature analysis: hyperacuties in the discrimination of detailed shape. *Vision Research*, 22, 449-460.
- Weibull, W. (1951). Statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics*, 18, 292-297.
- Wilson, H. R. (1985). Discrimination of contour curvature: data and theory. *Journal of the Optical Society of America. A.*, 2(7), 1191-1198.
- Wilson, H. R., & Richards, W. A. (1989). Mechanisms of contour curvature discrimination. *Journal of the Optical Society of America. A.*, 6(1), 106-115.
- Wilson, H. R., & Richards, W. A. (1992). Curvature and separation discrimination at texture boundaries. *J Opt Soc Am A*, 9(10), 1653-1662.
- Yu, S., Wang, Y., Li, X., Zhou, Y., & Leventhal, A. G. (2006). Functional degradation of extrastriate visual cortex in senescent rhesus monkeys. *Neuroscience*, 140(3), 1023-1029.