

Université de Montréal

**La mémoire visuelle à court terme et
la perception visuelle dans le vieillissement**

Par

Anne Bellefeuille

Département de Psychologie

Faculté des arts et des sciences

**Thèse présentée à la Faculté des études supérieures
En vue de l'obtention du grade de
Philosophiae Doctor (Ph.D.)
En psychologie – recherche et intervention
option neuropsychologie clinique**

Août 1999

©Anne Bellefeuille, 1999





**National Library
of Canada**

**Acquisitions and
Bibliographic Services**

**395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada**

**Bibliothèque nationale
du Canada**

**Acquisitions et
services bibliographiques**

**395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada**

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-52128-1

Canada

Page d'identification du jury

**Université de Montréal
Faculté des études supérieures**

**Cette thèse est intitulée:
La mémoire visuelle à court terme
et la perception visuelle dans le vieillissement**

**Présentée par:
Anne Bellefeuille**

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes:

**Maurice Ptito, Ph.D..... Président du jury
Jocelyn Faubert, Ph.D.....,.....Directeur de recherche
Jacques Gresset, Ph.D..... Membre du jury
Olga Overbury, Ph.D..... Examinatrice externe
Martin Arguin, Ph.D..... Représentant du doyen**

Thèse acceptée le:

Sommaire

Nous avons étudié la mémoire visuelle à court terme (MVCT) et la perception visuelle dans le vieillissement. Plusieurs études ont documenté des difficultés de mémoire à court terme chez la personne âgée lors de tâches de mémorisation de matériel verbal ou de matériel visuo-spatial. Toutefois, peu d'études ont étudié la mémoire à court terme pour du matériel purement visuel. Un protocole possible pour étudier la mémoire visuelle consiste à utiliser des stimuli visuels simples pour lesquels des voies ou régions cérébrales ont été proposées. Cette démarche est intéressante puisqu'elle permet de lier la mémoire visuelle à des régions cérébrales spécifiques. De plus, ce genre de recherche nous renseigne sur la perception visuelle. Des seuils de discrimination, c'est-à-dire la plus petite différence perceptible entre deux stimuli, sont généralement mesurés à divers intervalles de temps. Si les seuils demeurent semblables malgré le passage du temps, l'information est considérée bien maintenue en MVCT. Nous avons donc comparé des seuils de discrimination obtenus chez des sujets âgés pour des réseaux de fréquences spatiales, mesurés à divers intervalles inter-stimulus, à ceux obtenus chez des sujets plus jeunes. Dans une première étude, les seuils ont d'abord été mesurés à des intervalles inter-stimulus d'une, trois et 10 secondes. Dans une deuxième condition, les seuils ont été mesurés de nouveau à l'intervalle inter-stimulus de trois secondes alors qu'un masque était présenté pendant l'intervalle. Enfin, dans la dernière condition, les seuils ont été mesurés encore une fois alors que le masque était orienté et que les sujets devaient rapporter l'orientation du masque. Dans une deuxième étude, les seuils ont été mesurés à des intervalles inter-stimulus d'une et 10 secondes pour des fréquences spatiales définies par la couleur ou la luminance. Dans un premier temps, les seuils étaient mesurés dans des conditions intra-attribut, c'est-à-dire que les deux stimuli à comparer étaient définis par le même attribut soit la

luminance ou la couleur. Dans un deuxième temps, les seuils étaient mesurés dans des conditions inter-attributs, c'est-à-dire que les deux stimuli à comparer étaient définis par un attribut différent soit 1) par la luminance et 2) par la couleur. Dans les deux études, les seuils de discrimination obtenus aux divers intervalles étaient semblables et ce, tant chez les sujets jeunes que chez les sujets âgés. Cependant, les seuils des sujets âgés étaient plus élevés que ceux du groupe contrôle. Ces résultats suggèrent que le vieillissement affecte les habiletés de discrimination visuelle mais pas la mémoire visuelle comme telle. L'information de fréquence spatiale est donc bien maintenue en mémoire visuelle à court terme peu importe l'attribut qui la définit. De plus, les ajouts d'un masque n'ont pas eu d'effet sur les seuils mesurés. Les seuils de discrimination étaient plus élevés dans la condition d'inter-attributs chez tous les sujets probablement parce que cette tâche demande plus de ressources de traitement. Toutefois, l'augmentation des seuils était plus importante dans cette condition chez les sujets âgés. Ce résultat suggère que les sujets âgés sont plus affectés que les jeunes dans les tâches qui nécessitent plus de ressources de traitement.

Enfin, nous proposons que les mécanismes de rétention en mémoire visuelle à court terme ne sont pas affectés par l'âge. Les déficits se retrouvent plutôt dans les tâches de perception ou de discrimination de stimuli.

Table de matières

Sommaire.....	I
 Chapitre 1	
Introduction.....	1
1. La perception visuelle.....	2
1.1 Le système visuel.....	2
1.2 Définition et analyse d'un stimulus visuel.....	7
2. La mémoire visuelle à court terme.....	8
3. Le vieillissement.....	14
3.1 Perception visuelle et vieillissement.....	14
3.2 Cerveau âgé.....	19
3.3 Mémoire visuelle à court terme et vieillissement.....	22
4. Approche expérimentale et hypothèses.....	24

Chapitre 2

Premier article: Retention of spatial frequency information in visual short-term memory: older versus younger subjects.....	27
1. Introduction.....	30
2. Methods.....	34
3. Experiment 1.....	35
3.1 Contrast threshold determination.....	35
3.2 Procedure	36
3.3 Results & Discussion.....	36
4. Experiment 2.....	38
4.1 Discrimination thresholds at various ISIs.....	38
4.2 Results & Discussion.....	40
5. Experiment 3.....	40
5.1 Discrimination thresholds with a memory masker.....	40
5.2 Subjects.....	42
5.3 Procedure.....	42
5.4 Results & Discussion.....	44
6. Experiment 4.....	44
6.1 Discrimination thresholds with an oriented memory masker.....	44
6.2 Results & Discussion.....	46

Chapitre 3

Deuxième article: Intra- and inter-attribute spatial frequency information for luminance and color, aging, and short-term memory	54
1. Introduction.....	57
1.1 VSTM and Aging.....	60
2. Methods	62
3. Results.....	65
4. Discussion.....	68

Chapitre 4

Discussion générale.....	77
--------------------------	----

Chapitre 5

Conclusion et nouvelles avenues.....	86
--------------------------------------	----

Bibliographie.....	88
---------------------------	-----------

Annexe.....XII

Remerciements.....XIV

Liste des figures

Chapitre 2

- Figure 2.1 Mean log contrast sensitivity for 1.25 and 5 cpd gratings.....37
- Figure 2.2 Scheme of the stimuli presentation for experiment 2.....39
- Figure 2.3 Mean discrimination thresholds for experiment 2
as a function of ISI.....41
- Figure 2.4 Scheme of the stimuli presentation for experiment 3.....43
- Figure 2.5 Mean discrimination thresholds for experiment 3
as a function of masking conditions for an ISI of 3 seconds.....45
- Figure 2.6 Scheme of the stimuli presentation for experiment 4.....47
- Figure 2.7 Mean discrimination thresholds for experiment 4
as a function of masking conditions for an ISI of 3 seconds.....48

Chapitre 3

Figure 3.1 Mean discrimination thresholds for the luminance, color and inter-attribute conditions as a function of ISI.

Figure 3.1 a) for the younger group.....66

Figure 3.1 b) for the older group.....66

Figure 3.2 Mean discrimination thresholds for the younger and older groups as a function of ISI.

Figure 3.2 a) luminance condition.....69

Figure 3.2 b) color condition.....69

Figure 3.3 c) Inter-attribute condition.....69

Figure 3.3 Difference in mean discrimination thresholds between the older and younger subjects obtained in each condition.....71

Listes des sigles et abréviations

° : Degré

“ : Pouce

cd/m² : Candella par mètre carré, unité de mesure d'intensité lumineuse

CIE : Commission Internationale de l'Eclairage

CGL : Corps genouillés latéraux, structures qui se situent dans le thalamus.

Cpd : Cycle par degré

DT : Seuil de discrimination

ERG : Électrorétinogramme

Hz : Hertz, correspond à cycle par seconde, mesure de vitesse.

ISI : Intervalle inter-stimulus

Magno ou M: Magnocellulaire

MCT ou STM: Mémoire à court terme

Msc : Milli-seconde

MVCT ou VSTM: Mémoire visuelle à court terme

MT : Aire extrastrée, se situe dans le cortex temporal médian

Parvo ou P: Parvocellulaire

PET : Tomographie par émission de positrons

RGB : Rouge/Vert/Bleu

V1 : Cortex visuel primaire, se situe dans le lobe occipital

V2 : Aire associative visuelle (aire extrastrée), se situe dans le lobe occipital

V3 : Aire associative visuelle (aire extrastrée), se situe dans le lobe occipital

À Michael et Cassandra

Chapitre 1

Introduction

Le but de cette thèse est d'étudier la mémoire visuelle à court terme (MVCT) et la perception en fonction du vieillissement. La MVCT implique d'abord la perception et l'analyse d'un stimulus visuel puis son maintien dans le système de mémoire. La première section vise donc à décrire la perception et l'analyse d'un stimulus faites par le système visuel ainsi que les propriétés d'un stimulus visuel. La deuxième section porte sur les mécanismes de mémoire à court terme (MCT) en général et résume les connaissances à ce jour de la MVCT. Comme nous nous intéressons plus particulièrement au vieillissement, la troisième section traite du vieillissement et de la MCT. Un résumé des connaissances sur la perception visuelle chez la personne âgée est présenté à la section 3.1 suivi d'un résumé sur le cerveau âgé à la section 3.2. La section 3.3 donne un aperçu de la MCT dans le vieillissement et discute d'hypothèses cognitives qui peuvent affecter la MCT. Enfin, nous décrivons notre approche expérimentale pour étudier la MVCT dans le vieillissement et nos hypothèses de recherche à la quatrième section.

1. La perception visuelle

1.1 Le système visuel

Le système visuel, de la rétine jusqu'aux aires visuelles primaire et associatives, est construit de façon à représenter le monde extérieur (Roland & Gulyas, 1994). L'oeil, tout d'abord, détecte la présence de la lumière. Au niveau de la rétine, les photorécepteurs, les bâtonnets et les cônes, réagissent à cette lumière. L'information des bâtonnets et des cônes est transmise aux cellules ganglionnaires par une réaction chimique et des connections assurées par les cellules bipolaires, amacrines et horizontales. Ces cellules ont des champs récepteurs concentriques, c'est-à-dire qu'une stimulation au centre de la cellule produira une réponse excitatrice cellulaire et une stimulation en pourtour du centre produira une réponse inhibitrice de la cellule (et vice versa). De plus, les champs récepteurs sont de différentes tailles, soit les champs récepteurs larges et les champs récepteurs petits. Cette morphologie cellulaire rend possible la transmission d'information de points lumineux entourés de noirceur ou de points sombres entourés de lumière. Ces cellules répondent donc aux différences de contraste et aux différentes longueurs d'onde.

Chez le primate, la majorité des cellules ganglionnaires transmettent, par influx nerveux, l'information contenue dans la lumière jusqu'aux corps genouillés latéraux (CGL). En effet, la proportion des fibres quittant la rétine par le nerf optique et se dirigeant vers le CGL est de 90 % (Perry & Cowey, 1984; Croner & Kaplan, 1995). Le 10% des cellules restantes (Koniocellulaires ou konio) se projettent soit aux collicules supérieurs puis au pulvinar et au cortex visuel, ou alors ces cellules forment synapse directement au pulvinar et ensuite au cortex visuel (Nagakama & Tanaka, 1984; Casagrande & Norton, 1991).

Parmi les cellules ganglionnaires se dirigeant vers le CGL, deux différents types ont été identifiés, les cellules de type A qui projettent aux couches ventrales, dites magnocellulaires (M), du corps genouillé latéral (CGL) et les cellules de type B qui projettent aux couches dorsales, dites parvocellulaires (P), du CGL (Leventhal, Rodieck & Dreher, 1981). Les cellules M ont une bande spectrale large, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas sélectives aux différentes longueurs d'onde. Par contre, ces cellules répondent bien mieux aux petites différences de contraste, déchargent à de plus fortes fréquences et possèdent des axones de diamètre plus large permettant une conduction plus rapide de l'information, qui, hypothétiquement, servirait à coder le mouvement. Les cellules P ont des champs récepteurs plus petits que ceux des cellules M. Ces cellules ont une résolution spatiale élevée et sont sensibles à la couleur. Elles donnent donc de l'information sur les détails fins et le contraste de haut niveau. Ces deux types de cellules sont à la base des deux voies visuelles parallèles et plus ou moins indépendantes du système visuel, soit les voies magnocellulaire et parvocellulaire (Livingstone & Hubel, 1987, 1988).

L'hypothèse de voies parallèles responsables de différents types d'analyse est également appuyée par les études de lésions chez les singes. Schiller, Logothetis et Charles (1990a,b) en effectuant des lésions aux couches dorsales ou ventrales du CGL ont montré que lorsque les couches dorsales étaient lésées, touchant la voie parvocellulaire, la vision des couleurs, la perception des hautes fréquences spatiales et la stéréopsie fine étaient affectées. Les lésions aux couches ventrales, touchant la voie magnocellulaire, affectaient la résolution des stimuli papillotants à une vitesse élevée et la perception du mouvement, sans produire d'effet sur la stéréopsie. La perception des fréquences spatiales basses, la stéréopsie ainsi que la perception de la luminance n'étaient pas affectées par une ou l'autre des lésions. Les études de Lynch, Silviera, Perry et Merigan

(1992), Merigan et Maunsell (1990), Merigan, Katz et Maunsell (1991) ainsi que Merigan et Eskin (1986) montrent également que la sensibilité aux stimuli de hautes fréquences temporelles et de basses fréquences spatiales dépendent de la voie magnocellulaire tandis que la sensibilité aux stimuli de basses fréquences temporelles et de hautes fréquences spatiales dépendent de la voie parvocellulaire.

Ces différentes cellules du CGL projettent à différentes aires du cortex visuel primaire. Plusieurs types de cellules ont été identifiés. Hubel et Wiesel (1977) ont enregistré chez le singe des cellules répondant seulement à certaines orientations, d'autres qui répondent non seulement à une certaine orientation mais également aux discontinuités du stimulus. De Valois, Albrecht et Thorell (1978) ont identifié chez le singe des cellules sensibles aux réseaux de fréquences spatiales (arrangements de barres rectangulaires qui varient en luminance). Il y aurait donc des cellules qui répondent sélectivement à différentes fréquences spatiales. Récemment, Von Der Heydt, Peterhaus et Durstler (1992) ont enregistré une nouvelle classe de neurones. Ceux-ci répondraient sélectivement à des réseaux de fréquences spatiales et d'orientations distinctes. Au cortex visuel primaire, plusieurs neurones sont binoculaires, c'est-à-dire qu'ils répondent à une information d'un ou l'autre des deux yeux (Poggio & Poggio, 1984). De plus, chaque oeil reçoit une stimulation quelque peu différente en termes de location, appelée disparité rétinienne. Les études de Poggio et Poggio (1981, 1984) chez le singe macaque ont démontré que 60 à 70% des neurones du cortex visuel primaire sont sensibles à la disparité. Les neurones jusqu'au cortex visuel primaire répondraient donc aux propriétés visuelles de luminance et de couleur qui peuvent donner lieu à la disparité binoculaire, au mouvement, à l'orientation et aux fréquences spatiales.

Ainsi, l'information visuelle est reçue et analysée par les voies parvo et magnocellulaire jusqu'au cortex visuel primaire. Les aires associatives suivraient également deux voies d'analyse (Ungerleider & Mishkin, 1982; Baizer, Ungerleider & Desimone, 1993), bien que cette ségrégation des voies ne soit pas absolue. En général, l'information concernant la localisation, le "où", serait analysée par la voie magno jusqu'au lobe pariétal postérieur et l'information concernant l'identification, le "quoi", serait analysée par la voie parvo jusqu'au lobe temporal inférieur. La plupart des chercheurs croit que le cerveau est organisé en modules. Par exemple, Zeki (1977, 1980) décrit la région V4 du singe comme étant spécialisée pour la couleur. La région V5 serait responsable de la perception du mouvement (Siegel & Anderson, 1986). Récemment, Van Essen, Anderson et Felleman (1992) ont documenté plus de 25 régions et sous-régions distinctes du cortex visuel qui seraient organisées de façon hiérarchique.

Les études neuropsychologiques avec des patients cérébrolésés et les études de PET supportent l'hypothèse de modules et des voies responsables d'analyse d'attributs. En effet, chez l'humain des lésions corticales spécifiques ont produit des pertes visuelles distinctes. Damasio, Yamada, Damasio, Corbett et McKee (1980) ainsi que Rizzo, Nawrot, Blake et Damasio (1992) ont décrit des patients avec une lésion dans une région équivalente à l'aire V4 du singe qui souffraient d'achromatopsie (impossibilité de distinguer les couleurs alors que les mécanismes périphériques sont intacts). Zihl, von Cramon et Mai (1983) ont décrit un patient incapable de percevoir le mouvement ("motion blind") alors que son champ visuel était intact. Cette perte a été attribuée à une lésion au cortex temporal postérieur (Hess, Baker & Zihl, 1989). Une perte de vision binoculaire a aussi été rapportée (Benton & Hécaen, 1970). De plus, Rovamo, Hyvärinen et Hari (1982) ont rapporté un cas présentant une atteinte au système de contraste (luminance) alors que le système de couleur était normal. Regan,

Giaschi, Sharpe et Hong (1992) ont décrit des patients avec des lésions pariéto-occipitales ayant des difficultés lors d'une tâche d'identification de lettres et ce, seulement lorsque la lettre était définie par le mouvement. Lorsque la même lettre était définie par la luminance, leurs performances étaient normales. A l'aide du PET, Zeki, Watson, Lueck, Friston, Kennard, et Frackowiak (1991) ont identifié une région qui se démarquait lors des tâches de discrimination de couleur. Les études de Haxby, Grady, Horwitz, Ungerleider, Mishkin, Carson, Herscovitch, Schapiro, et Rapoport (1991) ont montré l'activation sélective du débit sanguin de deux régions distinctes, selon la tâche utilisée. Une tâche d'appariement de visage produit une hausse d'activation bilatérale au cortex occipito-temporal alors que la performance d'une tâche de localisation de points produit une hausse au cortex pariéto-occipital. De plus, les potentiels évoqués enregistrés au cortex visuel primaire ont démontré des temps de réponse différents pour des stimuli chromatiques et achromatiques (Fylan, Holliday, Singh, Anderson & Harding, 1995).

Bien que certaines régions ou modules corticaux semblent être spécialisés pour analyser certains types d'information, l'organisation modulaire ne semble pas absolue. En effet, plusieurs études récentes démontrent qu'il existe beaucoup de convergence des voies magno et parvo au cortex visuel primaire (Lachica, Beck, & Casagrande, 1992; 1993; Yoshioka, Levitt & Lund 1994) et beaucoup moins de spécificité quant aux paramètres qui stimulent les différentes aires corticales (voir Bullier & Nowak, 1995; Lennie, 1998 pour une revue de la question). Par exemple, la région V4 chez le singe, en plus de répondre à la couleur, répondrait également au mouvement (Cheng, Hasegawa, Saleem, Tanaka, 1994); un paramètre qui, auparavant, était considéré comme étant analysé seulement par MT. De plus, les études de lésions corticales chez le singe, démontrent qu'à long terme, le déficit perceptif n'est pas très important

(Schiller, 1993; Pasternak & Merigan, 1994, Heywood, Gadotti & Cowey, 1992).

Le système visuel est donc composé de voies parallèles et serait plus ou moins modulaire. Les différentes propriétés d'un stimulus visuel seraient analysées par un ou différents modules et généralement de façon hiérarchique. La prochaine section explique les différentes propriétés d'un stimulus visuel.

1.2 Définition et analyse d'un stimulus visuel

La première tâche lors de la perception d'un objet est de définir ses contours afin de pouvoir extraire cet objet du fond. Les différences entre la surface de l'objet par rapport au fond permettent de définir l'emplacement d'une image (Cavanagh, Arguin & Treisman, 1990). Une surface peut être composée par divers attributs dont cinq ont été identifiés jusqu'à maintenant: la couleur, la luminance, la texture, la disparité binoculaire et le mouvement. Ainsi un contour nécessaire à la formation d'une image peut être défini seulement à l'aide d'un de ces attributs. Par exemple, Julesz (1971) a démontré qu'une forme peut se distinguer d'un fond grâce à la disparité binoculaire seulement. Treisman (1988) explique que chaque attribut de surface peut être qualifié comme un médium et la forme comme le message. Ainsi un attribut peut changer tout en générant le même message. Un carré qu'il soit défini par la couleur ou la texture restera toujours un carré. Tel que décrit précédemment, ces différents attributs seraient analysés par des modules ou voies visuelles différentes. Selon Treisman (1988), les images définies par les différents attributs ne peuvent faire surface au même niveau dans le système visuel. Deux attributs sont de premier niveau, soit la luminance et la couleur et les trois autres sont de deuxième niveau. Ces derniers sont construits à partir des informations spatiales, temporelles et interoculaires,

codées à l'aide des informations de premier niveau (luminance et couleur). Gregory (1977) a proposé que la luminance serait l'attribut le plus efficace pour définir les contours.

Les données physiologiques résumées plus haut nous ont suggéré des voies visuelles parallèles et un système plus ou moins modulaire. Les données psychophysiques appuient cette hypothèse. Par exemple, il est bien connu qu'après une période d'adaptation à un réseau spatial, l'apparence d'un deuxième réseau change. Favreau et Cavanagh (1981) ont démontré qu'après une période d'adaptation à un réseau défini par la luminance, la fréquence spatiale d'un réseau défini par la couleur ne semblait pas changée, et vice versa, suggérant que le système visuel code l'information de couleur et de luminance séparément pour l'analyse des fréquences spatiales. Bien que l'information semble codée séparément, du moins pour la luminance et la couleur, elle doit être réunie à un endroit commun pour créer une perception (voir par exemple, Rivest & Cavanagh 1996; Rivest, Boutet & Intriligator 1997). Par exemple, la position d'un contour défini par un attribut influence la position d'un second contour défini par un attribut différent, indiquant que l'information des différents attributs doit être réunie afin de donner la localisation d'un contour (Rivest & Cavanagh 1996).

2. La mémoire visuelle à court terme

La mémoire peut être divisée en plusieurs parties ou sous-systèmes. Une distinction possible consiste à subdiviser la mémoire selon la durée de rétention du matériel. Ainsi, il existe au moins trois types de mémoire: iconique, court terme ou de travail, et long terme. La mémoire iconique serait de très courte

durée (moins de 500 msc), la MCT serait de capacité limitée et de courte durée tandis que la mémoire à long-terme serait de capacité illimitée et de longue durée. Une autre distinction de mémoire consiste à la subdiviser selon le type de matériel à mémoriser. Ainsi la mémoire peut être, par exemple, de type verbal, spatial, ou visuel.

La MCT est le sujet de nombreuses études. Certains l'ont renommée mémoire de travail, alors que d'autres semblent la considérer comme une subdivision de la mémoire de travail. La conception de la mémoire de travail, mise de l'avant par Baddeley (voir, par exemple, Baddeley, 1986), divise la mémoire de travail en deux parties: un administrateur central qui peut traiter et transformer l'information et des systèmes esclaves qui stockent l'information sensorielle pour une courte période de temps. Dans le modèle de Baddeley, deux systèmes esclaves sont décrits: la boucle phonologique, pour le matériel verbal, et le calepin visuo-spatial, pour le matériel visuel et spatial. Toutefois, les nouvelles données suggèrent plutôt plusieurs systèmes esclaves pour les différentes modalités telles verbales, spatiales, visuelles et auditives (voir Jonides & Smith 1997, pour une revue de la question). Nous considérons donc que la MVCT serait un système esclave mais distinct de la mémoire de travail.

Les chercheurs ont distingué deux types de mémoire visuelle de courte durée : la mémoire iconique et la mémoire visuelle à court terme (MVCT). La mémoire iconique concerne l'enregistrement passif d'une stimulation visuelle et cet enregistrement serait perceptif et très peu analysé. L'existence de cet enregistrement visuel date surtout des études de rapport partiel de Sperling en 1960. Il a démontré qu'après la présentation d'une matrice (de 3 lignes et 4 colonnes) les sujets pouvaient rapporter généralement 40% des stimuli de la matrice. Par contre, lorsqu'une ligne à rapporter était indiquée, 75% des stimuli

de cette ligne pouvaient être rapportés, peu importe la ligne demandée. Les sujets avaient donc de disponible en mémoire 75% de la matrice. Toutefois, après un délai de temps supérieur à 250 msec, cette supériorité de rappel en indiquant une ligne disparaissait. Sperling a proposé l'existence d'une mémoire visuelle de type sensoriel dans laquelle l'information se dégradait rapidement. Cette mémoire appelée iconique persisterait pendant environ 500 msec.

Dans une série d'études Phillips (Phillips & Baddeley 1971; Phillips 1974) ont suggéré une MVCT différente de la mémoire iconique. Ils ont présenté des matrices composées de carrés noirs ou blancs et ont demandé aux sujets de les comparer à d'autres matrices semblables ou qui différaient par un carré noir. Les matrices variaient en grandeur, soit 4x4 ou 8x8 carrés, et pouvaient apparaître à différentes localisations. Lorsque le temps entre chaque présentation, l'intervalle entre les stimuli (ISI), était petit, les comparaisons étaient parfaites. Il n'y avait pas d'effet de grandeur de la matrice. Par contre, lorsque la matrice de comparaison était déplacée par rapport à la matrice de référence, un effet de grandeur était obtenu. En augmentant le ISI (à plus de 500 msec), les comparaisons devenaient plus difficiles et un effet de la grandeur de la matrice était observé. Toutefois, aucun effet de déplacement n'était observé. La MVCT serait donc d'une durée plus longue que la mémoire iconique et basée sur des coordonnées plus abstraites. La capacité de la MVCT serait limitée et conséquemment elle serait affectée par la complexité des stimuli à mémoriser. Récemment, Luck et Vogel (1997) en utilisant un protocole similaire à celui de Phillips ont démontré que cette MVCT stockait une représentation d'un objet intégré plutôt qu'une série d'attributs définissant l'objet. Dans leur étude, des matrices de référence composées de 1 à 12 carrés de couleur étaient présentées. La présentation d'une matrice de référence était suivie d'un bref intervalle de temps puis d'une matrice test identique à la matrice de référence à l'exception de

la couleur d'un carré. La performance des sujets était presque parfaite lorsque la matrice comportait 3 items ou moins alors que celle-ci diminuait systématiquement à plus de 4 items. Leurs résultats suggèrent que les sujets pouvaient retenir en MVCT jusqu'à quatre couleurs. L'addition d'une tâche verbale n'affectait pas les résultats. Lorsque la matrice était composée de lignes colorées orientées et la matrice test différait en terme d'orientation de lignes, une capacité d'environ 4 items a aussi été obtenue. Toutefois, lorsque les objets composant la matrice test différaient en couleur et en orientation, la capacité était encore de 4 items, suggérant un stockage en MVCT d'un objet intégré plutôt que des attributs séparés. La MVCT se retrouverait dans ce que Baddeley et Hitch (1974) appellent le calepin visuo-spatial dans leur modèle de mémoire de travail. Ils décrivent ce calepin comme l'équivalent d'une tablette sur laquelle l'information visuo-spatiale peut être gardée temporairement. En général, les études qui se sont intéressées à la MVCT (ou au calepin visuo-spatial) ont utilisé soit des stimuli alphanumériques, des images d'objets ou bien des images de scènes visuelles (voir Humphreys & Bruce, 1989 et Monnier & Roulin, 1994 pour des résumés) où peuvent intervenir d'autres composantes mnésiques comme le groupement conceptuel ou l'encodage sémantique. Ces stimuli peuvent difficilement être reliés à des régions cérébrales spécifiques.

Certaines études récentes ont tenté de joindre la mémoire visuelle au traitement sensoriel visuel. A cette fin, ces études ont examiné la rétention en MVCT d'attributs visuels simples pour lesquels des voies ou aires physiologiques ont été proposées. Pour ces études, des seuils de discrimination ont généralement été utilisés, c'est-à-dire la différence minimale nécessaire entre deux stimuli pour qu'ils soient jugés perceptivement différents. Les deux stimuli à comparer étaient présentés à divers intervalles de temps et les seuils de discrimination étaient mesurés. Vogels et Orban (1986) ont étudié les capacités

de rétention de lignes en MVCT jusqu'à 10 secondes et ont trouvé que les valeurs des seuils de discrimination augmentaient dans le temps. Des études sur la rétention de contraste et l'acuité vernier ont également montré une augmentation des seuils dans le temps (Lee & Harris, 1996; Fahle & Harris, 1992). L'orientation de lignes, le contraste et l'acuité vernier ne semblent donc pas être gardés de façon fidèle en MCT. Regan (1985), en utilisant des réseaux de fréquences spatiales, a trouvé que les seuils de discrimination demeuraient près de 5% aux différents ISI et ce, jusqu'à 20 secondes. L'information concernant les fréquences spatiales était donc gardée relativement intacte. Par contre, Harvey (1986), en utilisant une méthode similaire, a rapporté une rétention parfaite seulement pour des fréquences spatiales de 2 à 4 cycles par degré (cpd). Toutefois, Magnussen, Greenlee, Aspund et Dyrnes (1990) ont obtenu des résultats semblables à ceux obtenus par Regan. De plus, ils ont testé beaucoup plus de fréquences spatiales de réseaux parallèles ou orthogonaux. Les seuils de discrimination restant stables jusqu'à au moins 30 secondes tant pour les réseaux parallèles qu'orthogonaux, ils ont proposé que la discrimination spatiale et la mémoire spatiale seraient basées sur des représentations communes.

Afin de vérifier son hypothèse, Magnussen, Greenlee, Aspund et Dyrnes (1991) ont examiné la rétention de fréquences spatiales lorsque le stimulus d'une fréquence spatiale donnée était suivi d'un masque précédant la présentation du stimulus de comparaison. Ils ont trouvé que la présentation du masque affectait les seuils de discrimination seulement lorsque le masque était fait de fréquences spatiales qui différaient d'au moins une octave du stimulus de référence. Ce modèle d'interférence du masque est comparable avec le modèle de canaux de fréquences spatiales multiples proposés par Olzak et Thomas (1986). Des résultats similaires ont été obtenus pour des réseaux en mouvement, c'est-à-dire

qu'un masque affecte les seuils de discrimination dans le temps seulement lorsque celui-ci a une vitesse de valeur différente à celle du stimulus de référence (Magnussen & Greenlee, 1992). Ces résultats appuient l'hypothèse qu'une image est représentée en mémoire visuelle en analogie partielle à sa représentation sensorielle par des mécanismes parallèles ou encore, qu'il existe un rapport étroit entre les représentations mnésiques et les représentations sensorielles (Magnussen & Greenlee, 1992). Cette hypothèse est également soutenue par les études neurophysiologiques chez le singe de Miyashita et Chang (1988) qui suggèrent que l'information emmagasinée dans la MVCT est codée par le même ensemble neuronal (dans les aires visuelles associatives) responsable du traitement de l'information visuelle. Une autre étude de Magnussen, Greenlee et Thomas (1996) suggère également cette hypothèse. Dans cette étude, les sujets devaient comparer en MVCT un stimulus de contraste et de fréquence spatiale donnés, à un autre stimulus différant soit par son contraste ou par sa fréquence. Dans une première condition (simple attribut) les sujets étaient informés de la caractéristique qui allait différer. Ils n'avaient donc qu'à encoder un attribut du stimulus. Dans une deuxième condition (double attributs) les sujets ne savaient pas à l'avance quelle caractéristique des stimuli allait différer. Ils devaient donc encoder les deux attributs du stimulus. La performance des sujets était aussi bonne (en considérant l'augmentation normale des seuils due à l'incertitude) lorsque les sujets encodaient les deux attributs que lorsqu'ils n'encodaient qu'un attribut, suggérant des mécanismes parallèles et indépendants de MVCT pour la fréquence spatiale et le contraste.

3. Le vieillissement

3.1 La perception visuelle dans le vieillissement

En vieillissant plusieurs habiletés visuelles déclinent (voir Spear, 1993; Owsley & Sloane, 1988; Fozard, 1990, pour des résumés). Les personnes âgées se plaignent de nombreuses difficultés visuelles telles que reconnaître les visages, lire les écriteaux ou ajuster les appareils électroniques (Sleight, 1991). Certaines de ces plaintes s'expliquent par des changements s'opérant au niveau de l'optique alors que d'autres sont attribuables à des perturbations au niveau de la rétine ou des voies visuelles.

Au niveau de l'optique, on observe une perte d'amplitude au niveau de l'accommodation (presbytie), un rétrécissement de la pupille ("miosis" sénile), une augmentation de la densité du cristallin, une plus grande diffusion de la lumière ainsi que le jaunissement du cristallin.

Au niveau de la psychophysique, plusieurs déficits ont été documentés. L'acuité visuelle statique, c'est-à-dire le plus petit détail qui peut être résolu dans une situation stationnaire et de haut contraste, décline avec l'âge (Gittings & Fozard 1986; Yang, Elliot & Whitaker, 1993). Ce déclin d'acuité est encore plus prononcé lorsque le niveau de luminance baisse. Cette baisse d'acuité s'explique en partie par des facteurs optiques, puisqu'elle s'améliore lorsque ceux-ci sont contournés. Toutefois, les facteurs optiques ne peuvent rendre compte de la totalité de la baisse d'acuité. En se basant sur des calculs d'effets d'un rétrécissement de la pupille et d'une augmentation de la divergence de la lumière, Weale (1975, 1978, 1982) a présenté des résultats ne supportant pas que ces effets soient suffisants pour créer cette baisse d'acuité. De plus, Adams,

Wong, Wong et Gould (1988) ainsi qu'Owsley, Sloane, Shalka et Jackson (1990) ont démontré que l'acuité à bas contraste chez un groupe de personnes âgées était affectée même dans le cas où l'acuité à haut contraste était intacte. Des facteurs neuronaux doivent donc être impliqués.

La sensibilité au contraste, c'est-à-dire le contraste nécessaire afin de discerner une fréquence donnée, diminue également avec l'âge. Pour les fréquences spatiales, on note une baisse progressive de sensibilité pour les fréquences moyennes et hautes (2-3 cpd et plus) tandis que la sensibilité aux basses fréquences spatiales demeure généralement la même, et ce, tant en champ périphérique que fovéal (voir par exemple, Crassini, Brown & Bowman, 1988; Owsley, Sekuler & Siemsen, 1983). Pour les stimuli modulés de façon temporelle, une baisse de sensibilité entre 2 et 50 Hz est également notée (Tulunay-Keesey, ver Hove & Terkla-McGrane, 1988; Tyler 1989; Wright & Drasco, 1985). En ce qui a trait aux interactions spatio-temporelles, c'est-à-dire lorsqu'on mesure la sensibilité au contraste pour des fréquences spatiales qui papillotent à différentes vitesses, une baisse de sensibilité chez les sujets âgés a également été décrite. A fréquence temporelle élevée, une baisse de sensibilité se retrouve à toutes les fréquences spatiales (basses jusqu'à hautes) tandis qu'à basse fréquence temporelle la sensibilité est affectée surtout aux fréquences spatiales intermédiaires et élevées (Elliott, Whitaker & MacVeigh, 1990; Sloane, Owsley & Alvarez, 1988; Mestre, Blin, Serratrice & Pailhous, 1990). Dans les conditions supraliminaires, c'est-à-dire lorsque le contraste dépasse largement le contraste nécessaire à la détection du stimulus, les seuils de discrimination de contraste sont plus élevés chez les sujets âgés (Leat & Millodot 1990; Tulunay-Keesey et al. 1988). Tout comme pour la baisse d'acuité, les facteurs optiques ne suffisent pas à produire cette baisse de sensibilité au contraste et des facteurs sensori-neuraux doivent également être impliqués.

Une perte de vision des couleurs, notamment pour les longueurs d'onde plus courtes, a également été rapportée. Cette perte est directement liée au jaunissement de la lentille qui augmente l'absorption de ces longueurs d'ondes (Weale, 1986).

Le champ visuel réel rapetisse avec les années, passant de 180 degrés à 140 degrés vers l'âge de 70 ans (Johnson, 1986, cité dans Birren & Schaie, 1996). De plus, le champ visuel utilisé "useful field of view" diminue également, ce qui veut dire que bien que la vision soit normale dans cette partie du champ visuel, la personne âgée utilise une plus petite partie de son champ pour effectuer des tâches visuelles (voir par exemple, Scialfa & Kline, 1988; Sekuler & Ball, 1986).

La discrimination de direction du mouvement (Ball & Sekuler, 1986), l'estimation du mouvement apparent (Warren, Blackwell & Morris, 1989) ainsi que la sensibilité au mouvement global (Trick & Silverman, 1991) ont également été documentées comme étant déficitaires dans le vieillissement. La sensibilité au mouvement est intéressante puisqu'elle reflète une intégration neuronale de l'information. Les facteurs optiques ne peuvent donc, à eux seuls, expliquer cette perte de sensibilité. Récemment, Porciatti, Fiorentini, Morrone et Burr (1999) ont mesuré les temps de réaction pour détecter le mouvement chez des sujets jeunes et âgés. Les stimuli étaient définis soit par la luminance ou par la couleur et se déplaçaient lentement ou rapidement. Les temps de réaction des sujets âgés étaient beaucoup plus élevés que ceux des sujets plus jeunes, la différence étant plus marquée pour les stimuli se déplaçant à faible vitesse, et ce, tant pour les stimuli définis par la luminance que ceux définis par la couleur. Puisqu'il existait une différence de temps de réaction chez les sujets âgés liée à

la vitesse du stimulus, les auteurs ont conclu qu'en plus d'un ralentissement moteur, les sujets âgés avaient également une perte de vitesse de traitement visuel.

Les capacités d'attention et de recherche visuelle diminuent également avec l'âge. Plusieurs études ont suggéré que la personne âgée avait plus de difficulté à ignorer l'information non pertinente dans une tâche de recherche visuelle, et par ce fait était plus dérangée par les distracteurs dans une tâche (voir par exemple, Rabbitt, 1965; Sekuler & Ball, 1986). Plusieurs hypothèses ont été proposées pour expliquer cette baisse d'attention et cette difficulté en recherche visuelle, telle que l'augmentation du bruit interne chez la personne âgée (Allen, Groth, Weebbe & Maldden, 1993 ainsi que Baracat & Marquié 1992); une vitesse de comparaison plus lente (Scialfa & Thomas, 1994); ou encore une activation des mauvais canaux (Harpur, Scialfa & Thomas, 1995; Zeef & Kok, 1993). De plus, la performance de la personne âgée s'améliore beaucoup plus que celle d'une personne plus jeune lorsque l'attention est dirigée correctement avant la tâche, alors qu'elle est beaucoup plus dérangée lorsque l'attention est dirigée incorrectement avant une tâche (Madden, 1992).

Les mouvements de poursuite oculaire et les saccades deviennent moins efficaces en vieillissant, par rapport à leur vitesse, leur latence et leur précision (Morrow & Sharpe, 1993; Huaman & Sharpe, 1993). La moins bonne efficacité des mouvements de poursuite ainsi que la réduction du champ visuel utilisé accroissent le nombre de saccades nécessaires pour atteindre les stimuli, ce qui, par le fait même, augmente la vitesse de traitement d'un stimulus.

Il est à noter que la perception de la profondeur, telle qu'évaluée à l'aide de seuils de stéréopsie, ne semble pas être affectée par l'âge (voir par exemple, Wright & Wormald, 1992; Gittings & Fozard, 1986).

De plus, l'hyperacuité, la capacité d'effectuer des discriminations fines de positionnement, demeure relativement inchangée avec l'âge lorsque les stimuli sont statiques (Lakshminarayanan, Aziz, & Enoch, 1992; Whitaker, Elliott & MacVeigh, 1992) et ce, indépendamment du contraste utilisé, tandis qu'elle diminue considérablement avec l'âge lorsque les stimuli sont en mouvement (Kline, Culham, Bartel & Lynk, 1994). Puisque les discriminations sont si fines, quelques secondes d'arc, plus fines encore que le diamètre d'un cône en fovéa (Weistheimer, 1975), l'hyperacuité doit dépendre d'une intégration neuronale. La sommation binoculaire, semble également déficitaire chez les personnes âgées (Owsley & Sloane, 1990). Celle-ci réfère à la supériorité de performance obtenue lors d'une tâche effectuée avec les deux yeux comparativement à celle obtenue avec un oeil. Elle reflète obligatoirement une intégration neuronale, et probablement corticale, de l'information obtenue des deux yeux, lorsqu'on tient compte de la sommation de probabilité (Blake & Fox 1973, Blake, Sloane & Fox 1981).

Tel que décrit précédemment, le vieillissement est accompagné de nombreuses baisses d'habiletés visuelles. Ces changements visuels ne peuvent s'expliquer totalement par les changements optiques. Ils doivent donc être amplifiés ou causés par d'autres changements au niveau de la rétine, de la voie geniculo striée ou du cortex. La prochaine section fait la révision des connaissances à ce jour sur les changements anatomiques et physiologiques du cerveau âgé.

3.2 Le cerveau âgé

Au niveau de la rétine humaine, une perte cellulaire impliquant surtout les bâtonnets a été rapportée (Curcio & Crucker, 1993; Gao & Hollyfield, 1992). Par contre, les champs récepteurs des bâtonnets sont plus grands, ce qui veut dire que la surface couverte par les récepteurs reste inchangée. En d'autres termes, la quantité de lumière pouvant être captée par la rétine reste la même chez les personnes âgées (Spear, 1993). Jusqu'à l'âge de 90 ans, la perte de cônes à la fovéa semble négligeable, toutefois, une perte de cônes d'environ 23% en périphérie a été rapportée (Curcio & Crucker, 1993; Gao & Hollyfield, 1992). Les résultats des études sur le nombre de cellules ganglionnaires ou d'axones de cellules ganglionnaires suggèrent que le vieillissement produit une légère perte de cellules ganglionnaires et que cette perte est extrêmement variable (voir Spear, 1993 pour une revue de la question). Les études physiologiques d'électrorétinogramme (ERG) produisent elles aussi des résultats variables. Certaines études n'ont trouvé aucun effet dû à l'âge (Tomoda, Celesia, Brigell & Toleikis, 1991) alors que d'autres ont trouvé une hausse de la latence des ERG dépendamment de la fréquence spatiale (grandeur des carreaux) (Celesia, Kaufman & Cone, 1987) ou encore une perte d'amplitude (aucun changement au niveau de la latence) à toutes les fréquences spatiales (Porciatti, Burr, Morronne & Fiorentini, 1992, Trick, Trick & Haywood, 1986) ou plus importante aux fréquences moyennes et élevées (Porciatti, Falsini, Scalia, Fadda & Fontanesi, 1988). Ces résultats différents pourraient s'expliquer par une grande variabilité entre les sujets âgés, tel que suggéré par les études anatomiques. En conclusion, les changements à la rétine reliés à l'âge ne sont probablement pas très importants.

Les études sur les effets du vieillissement sur le CGL chez le singe et chez le rat montrent qu'il n'y existe pas de perte significative de neurones au CGL (Ahmad & Spear, 1993, Satorre, Cano & Reinoso-Suarez 1985). De plus, les enregistrements électrophysiologiques au CGL chez le singe âgé n'ont trouvé aucune perte de décharge neuronale sur un ensemble de mesures telles le traitement de contraste et le traitement spatio-temporel (Spear, 1993). Au cortex visuel primaire de l'humain, Haug, Kuhl, Mecke, Sass, & Wasner (1984) ainsi que Leuba et Garer (1987), n'ont pas trouvé de perte de densité neuronale, ce qui est consistant avec les résultats obtenus chez le singe âgé (Vincent, Peter & Tigges, 1989). Par contre, des indices de dégénérescence dendritique, de perte de myéline et de boutons terminaux dans le cortex strié du singe ont été rapportés (Vincent et al. 1989). De plus, les études de SPECT (Waldemar, Hasselbalch, Andersen, Delecluse, Petersen, Johnsen, & Paulsen, 1991) ainsi que celles de PET (Grady, Haxby, Horwitz, Schapiro, Rapoport, Ungerleider, Mishkin, Carson & Herscovitch, 1992) n'ont pu démontrer de différences d'activation au cortex visuel primaire et aux aires associatives entre les sujets jeunes et âgés, au repos ou lors de tâches d'appariement de visages ou de localisation de points. Par contre, les études de potentiels évoqués montrent une baisse d'amplitude et une augmentation de la latence avec l'âge (Beck, Dustman et Schenkenberg, 1975), avec des changements plus marqués pour les stimuli de hautes fréquences spatiales et presque inexistantes pour les stimuli de basses fréquences spatiales (Bobalk, Bodis-Wollner, Guillory, Andersen, 1989). Une augmentation de latence avec l'âge a également été documentée avec des stimuli aux contrastes supraliminaires qu'ils soient définis par la luminance ou la couleur (Fiorentini, Porciatti, Morrone & Burr, 1996).

Les premières études visant à expliquer les changements cognitifs ou visuels chez la personne âgée ont proposé une perte neuronale dans les diverses

aires corticales (Brody, 1955, 1976; Devaney & Johnson, 1980); depuis les études s'accordent sur le fait qu'une perte neuronale n'existe que dans certaines régions comme la substance noire (McGeer, McGeer & Suzuki, 1977) et l'hippocampe (Cotman & Peterson, 1989; Ishimaru, Ogawa, Fugi, Fukuta, Kameyama & Nabeshima, 1991; West, 1993). Les résultats des études animales démontrent plutôt vers un moins bon fonctionnement des circuits neuronaux, soit au niveau d'une baisse du nombre de récepteurs (Gazzaley, Thakler, Hof & Morrison, 1997), d'une perte de myéline (qui est importante dans la vitesse de transmission des signaux) (Vincent et al. 1989; Peters, Leahu, Moss & Mc Nally, 1994; Peters, Rosene, Moss, Kemper, Abraham, Tigges & Albert, 1996) ou encore d'une baisse de prolifération des cellules (Rubin, 1997).

Il semble donc qu'au niveau cortical, il n'existe pas de perte neuronale mais plutôt un moins bon fonctionnement des circuits. Les études de PET appuie cette hypothèse. Les études de Grady et al. (1992) montrent la même région d'activation chez les sujets jeunes et âgés lors de tâches d'appariement de visages (cortex occipito-temporal) ou de localisation de points (cortex pariétal). Par contre, les sujets âgés démontraient, en plus d'une hausse d'activation dans la région spécialisée dans la tâche, une hausse d'activation dans l'autre région. C'est-à-dire que la différence d'activation entre les deux voies était beaucoup plus petite chez les sujets âgés que chez les sujets jeunes, suggérant que la ségrégation fonctionnelle est moins marquée dans le vieillissement. Grady et collaborateurs proposent que les aires corticales responsables d'un traitement spécifique sont moins efficaces en vieillissant; pour compenser le système fait alors appel à plusieurs aires pour augmenter les ressources de traitement.

3.3 La mémoire visuelle à court terme dans le vieillissement

En vieillissant les personnes âgées ont généralement des difficultés de mémoire de travail (voir Craik & Jennings, 1992 ou Van der Linden, 1993, pour une revue de la question). Il y a plusieurs facteurs qui peuvent expliquer cette baisse d'habileté de MCT: 1) une réduction des ressources de traitement, 2) une vitesse de traitement plus lente, et 3) une difficulté à ignorer de l'information non pertinente (Van der Linden & Hupert, 1994). La première hypothèse de réduction des ressources de traitement, propose qu'avec le vieillissement il y a une baisse de ressources pour traiter l'information. Ce qui veut dire qu'en augmentant la complexité d'une tâche ou d'un stimulus, on augmente la quantité de ressources nécessaires à la réalisation de la tâche, ce qui réduit la quantité de ressources disponibles au maintien de l'information en MCT. La deuxième hypothèse, vitesse de traitement plus lente, suggère que le temps de traitement pour traiter de l'information est plus long en vieillissant. Donc, les sujets âgés requièrent plus de temps que les sujets jeunes pour traiter la même quantité d'information. Ceci affecte la MCT de deux façons. Premièrement, les sujets âgés n'ont peut-être pas assez de temps pour traiter l'information adéquatement et la stocker en MCT. Deuxièmement, ils ne peuvent pas traiter et stocker autant d'information, ce qui se traduit par un déficit quant à la capacité de stockage. La troisième hypothèse, difficulté à ignorer de l'information non pertinente, propose que les personnes âgées ne peuvent trier l'information non pertinente et traitent toute l'information qui leur est présentée. Les sujets âgés se trouvent à utiliser de l'espace pour l'information non pertinente et, puisque la MCT est de capacité limitée, il reste moins d'espace disponible pour traiter le reste de l'information et l'information pertinente peut ne pas être stockée. De plus, traiter l'information non pertinente augmente la quantité de ressources et le temps de traitement. Ces hypothèses ne sont pas exclusives et le déclin en MCT s'explique sûrement par

une combinaison de facteurs. La contribution de chaque facteur dépend sûrement de la tâche utilisée. De plus, ces facteurs n'affectent pas seulement la MCT mais bien un ensemble d'habiletés. En effet, ces facteurs ont également été impliqués comme contribuant aux déficits dans les tâches visuelles, tel que rapporté à la section 3.1.

Bien qu'il soit clair que des difficultés de mémoire de travail existent dans le vieillissement, il n'est pas clair quels sous-systèmes de la mémoire de travail sont touchés: s'agit-il de l'administrateur central seulement ou d'un ou plusieurs des systèmes esclaves de stockage. Un effet marqué de l'âge est trouvé lorsque les sujets doivent traiter d'autres informations tout en effectuant une tâche d'empan (Salthouse, 1990), suggérant un déficit à l'administrateur central. Par contre, dans les tâches d'empan passif, certaines études ont trouvé des différences reliées à l'âge alors que d'autres n'en ont pas trouvé (Van der Linden, 1993). De plus, Foos (1989) ainsi que Foos et Wright (1992) ont comparé les capacités de stockage et de manipulation d'informations en mémoire de travail chez des sujets jeunes et âgés. Leurs résultats montrent que les capacités de stockage (nécessitant un système esclave) sont réduites chez les sujets âgés alors que les habiletés de traitement ne l'étaient pas nécessairement. Les résultats mentionnés plus haut soulèvent donc la possibilité d'une atteinte des capacités de stockage des systèmes esclaves, telles la mémoire verbale ou visuelle à court terme dans le vieillissement.

La majorité des études sur la MCT et le vieillissement porte sur du matériel verbal, soit des listes de mots, de lettres ou de chiffres. Certaines études ont utilisé du matériel plus visuel. Par exemple, des différences reliées à l'âge ont été rapportées dans des tâches de localisation spatiale (Debbey, Dew & Kihlström, 1992; Cherry, Park & Donaldson, 1993; Uttl & Graf, 1993), de

mémorisation de chemin (Lipman & Caplan, 1992), de visages (Crook & Larrabee, 1992) ainsi que des images abstraites (Frieske & Park, 1993; Smith, Park, Cherry & Berkovsky, 1990). Ils ont donc conclu que la MVCT était affectée dans le vieillissement. Cependant, tel que décrit précédemment, les stimuli utilisés ne sont pas purement visuels. Ils peuvent contenir une composante spatiale ou être facilement verbalisés. Peu d'études se sont intéressées à la mémoire purement visuelle à court terme de la personne âgée. A ce jour, la rétention en MVCT d'acuité vernier, d'intervalles spatiaux et de carrés définis par la luminance, évaluée à l'aide d'un protocole semblable à celui décrit dans la section précédente, semble être intacte dans le vieillissement (Fahle & Daum, 1997; Latham & Barrett, 1998; Sara & Faubert, 1999).

4. Approche expérimentale et hypothèses

Le but de cette thèse est d'explorer la MVCT et la perception visuelle dans le vieillissement. La MVCT implique obligatoirement la perception visuelle d'un stimulus. Étant donné les nombreux déficits visuels dans le vieillissement, il est important de compenser pour ces déficits afin d'isoler la MVCT. Sinon, les différences trouvées pourraient être dues à des différences sensorielles plutôt qu'à des différences quant au mécanisme de la MVCT. De plus, afin de bien isoler la modalité visuelle, il est important de choisir un stimulus purement visuel.

Afin d'étudier la rétention d'information en MVCT, nous avons mesuré des seuils de discrimination de fréquences spatiales à divers intervalles, en nous assurant que l'entrée sensorielle était équivalente pour chaque sujet (en utilisant des valeurs de contraste individuelles). Des seuils de discrimination qui

augmentent dans le temps suggèrent que l'information se dégrade avec le temps tandis que des seuils de discrimination qui restent stables, suggèrent que l'information est bien gardée en MCT. En se basant sur les résultats des études démontrant une bonne rétention en MVCT d'acuité vernier, d'intervalles spatiaux et de carrés définis par la luminance (Fahle & Daum, 1997; Latham & Barrett, 1998; Sara & Faubert, 1999), nous nous attendons à ce que l'information de fréquences spatiales soient également bien préservée chez les personnes âgées. En effet, nos stimuli sont aussi simples et la tâche est semblable.

Comme des effets perturbateurs de masque ont été documentés chez les sujets jeunes, nous avons également étudié ces effets dans le vieillissement. Nous avons donc ajouté entre les deux présentations de stimuli à comparer, un autre stimulus servant de masque. La fréquence du stimulus masque était soit similaire aux fréquences de comparaison ou très différente. Étant donné les difficultés dans le vieillissement rapportées au niveau de l'inhibition des stimuli non pertinents ainsi que la baisse de ressources de traitement, nous nous attendons à ce que les personnes âgées soient plus affectées que les jeunes dans les tâches impliquant le masque.

Nous avons également exploré le traitement et la rétention en MVCT de deux attributs visuels. Nous avons mesuré des seuils de discrimination à deux intervalles de temps entre deux stimuli définis soit par la luminance ou soit par la couleur de façon à stimuler l'une ou l'autre des voies de traitement visuel. Certains auteurs ont tenté de lier les déficits visuels à l'une ou l'autre des voies. Leurs résultats sont toutefois contradictoires quant à l'atteinte sélective d'une ou l'autre des voies. Cependant, le système de luminance a été proposé comme étant plus efficace pour définir les contours (Gregory, 1977) donc il serait

probablement plus résistant. Nous pouvons donc penser que si un des systèmes doit être atteint celui de la couleur serait un meilleur candidat.

Finalement, nous avons étudié la rétention lorsque les deux stimuli à comparer étaient définis par des attributs différents soit un par la luminance et l'autre par la couleur. Étant donné que le traitement est plus complexe dans cette tâche et fait appel aux deux voies, augmentant ainsi les ressources de traitement, nous nous attendons à ce que la performance des sujets âgés soit plus affectée dans cette tâche.

Chapitre 2

Premier article

La rétention de fréquences spatiales en mémoire visuelle à court terme chez les sujets âgés.

Cette étude a été soumise comme article sous le nom : " Retention of spatial frequency information in visual short-term memory: Older versus younger subjects" au Journal Vision Research. (Bellefeuille & Faubert, 1999).

Ce chapitre est une reproduction exacte du texte de cet article.

Résumé

La mémoire visuelle à court terme de fréquences spatiales dans le vieillissement a été évaluée en comparant des seuils de discrimination mesurés chez un groupe de sujets âgés à ceux obtenus chez un groupe de sujets contrôles (plus jeunes). Des seuils de discrimination d'une fréquence spatiale de 5 cycles par degré ont été mesurés à l'aide d'un protocole à choix forcé temporel dans trois conditions différentes: 1) à des intervalles inter-stimulus de 1, 3 et 10 secondes; 2) avec un masque apparaissant à mi-temps pendant l'intervalle inter-stimulus de 3 secondes; 3) avec un masque orienté apparaissant à mi-temps pendant l'intervalle inter-stimulus de 3 secondes et où les sujets devaient rapporter verbalement l'orientation du masque. Dans les trois conditions, les seuils des sujets âgés étaient plus élevés que ceux du groupe contrôle. Toutefois, les seuils ne différaient pas selon les divers intervalles inter-stimulus. Ces résultats suggèrent que la discrimination spatiale est affectée avec l'âge mais non la rétention de fréquences spatiales. Les masques n'affectaient pas la rétention et de plus, l'ajout d'une tâche de discrimination d'orientation n'affectait pas la rétention chez aucun des groupes de sujets.

Abstract

Visual short-term memory for spatial frequency information was assessed by measuring discrimination thresholds using a two-interval forced choice paradigm in younger and older observers. Discrimination thresholds for a spatial frequency Gabor grating of 5 cycles/degree were measured in three different conditions. 1) Discrimination thresholds were measured at ISIs of 1, 3 and 10 seconds. 2) Thresholds were measured with the addition of a "memory masker" appearing midway during an ISI of 3 seconds. 3) Thresholds were measured with an oriented memory masker where subjects had to report the stimulus orientation. Thresholds were higher for the older subjects but not statistically different in the various ISI conditions, suggesting that spatial discrimination but not retention is affected by aging. Memory maskers did not consistently affect retention. Furthermore, the addition of an oriented memory mask with an additional oriented judgement task did not disrupt the retention in either group.

1. Introduction

Most older adults complain about their memory with increasing age (Ryan, 1992; Wilson, Bennett & Swartzendruber, 1997). Memory can be decomposed into three stages based on the length of retention: iconic, short-term (or, alternatively, working) and long-term. Iconic memory refers to the passive encoding of unlimited visual information and persists for a very short period of approximately 300 msec (Sperling, 1960). Short-term memory (STM) is of somewhat longer duration but of limited capacity (Phillips & Baddeley, 1971; Phillips, 1974) and long-term memory is, as its name implies, of longer duration. All three have been shown to become impaired with increasing age to some degree, with STM affected the most (for review, see Smith, 1996; Van der Linden, 1993).

Some studies have found age differences in STM using passive span techniques while others have found none (Van der Linden, 1993). However, a marked age effect was found when subjects had to process other information while maintaining information in STM (Salthouse, 1990). There are three possible explanations to account for a reduction of STM in aging: 1) reduction of processing resources, 2) slower processing abilities, and 3) difficulty to inhibit irrelevant information (Van der Linden & Hupert, 1994). The first explanation, reduction of processing resources, proposes that with aging there are fewer resources available to process information. Increasing the complexity of a memory task or of the stimuli, increases the demand for resources necessary to process the information. This, in turn, lowers the amount of resources available to maintain the information in STM, and thus decreases the ability to maintain information in STM. The second explanation, slower processing abilities, suggests that the time required to process information is increased in aging.

Older observers would require more time than younger observers to process the same visual information. This affects STM in two ways. First, older observers may not have enough time to process information and, therefore, would not be able to store it properly. Second, they will not be able to process as much information in the same time period, showing a deficit in STM skills as compared to younger subjects. The third explanation, difficulty to inhibit irrelevant information, suggests that older subjects might not ignore irrelevant information but rather would process all information presented to them. Since STM is of limited capacity, older observers may be utilizing space for irrelevant information, leaving less space for the important information to be retained, decreasing the STM skills. In addition, not inhibiting irrelevant information increases the processing demand and time. It is unclear which of these three possibilities best explain the decline of STM during aging. It should be noted that these three explanations are not mutually exclusive. Thus, it is possible that each of these explain in part STM decline. The relative contributions of each is likely to vary depending upon the task.

Another memory distinction regards the material to be remembered rather than the length of retention time. Material can be of verbal type and of nonverbal "visual" type. Visual short-term memory (VSTM) is part of the visuo sketch pad in Baddeley and Hitch's (1974) model of working memory. Studies on aging have mostly focused on verbal material such as word lists or numbers. Studies have found age differences using spatial location tasks (Debbey, Dew & Kihlström, 1992; Cherry, Park & Donaldson, 1993, Uttl & Graf, 1993), remembering routes (Lipman & Caplan, 1992), faces (Crook & Larrabee, 1992) and abstract visual scenes (Frieske & Park, 1993; Smith, Park, Cherry & Berkovsky, 1990). Although the aforementioned material is in essence nonverbal, it is still semantically rich and could be easily verbalized. In fact,

most studies on visual memory use numeric stimuli, picture of objects or complex visual scenes (Humphreys & Bruce, 1989; Monnier & Roulin, 1994). It is, therefore, difficult to link those stimuli with basic visual processing.

There is much evidence that there are overall changes in the processing of visual information with increasing age. For example, there is a change or reduction in visual attention with increasing age (Ball, Owsley, Sloane, Roenker & Bruni, 1993; Steinman, Steinman, Trick & Lehmkuhle, 1994). Deficits are found for a number of basic visual functions (for reviews see Kline & Scialfa, 1996; Owsley & Sloane, 1988; Spear, 1993; Werner, Peterzell, & Scheetz, 1990). Anatomical, psychophysical, and electrophysiological deficits have also been found in the aging visual system (Kline & Scialfa, 1996; Ordy, Wengenack & Dunlap, 1991; Owsley & Sloane, 1988; Pitts, 1982; Spear, 1993; Sturr & Hannon, 1991; Werner, Peterzell, & Scheetz, 1990).

One strategy to link STM studies to basic neural processing is to examine how a stimulus defined by a simple visual attribute is maintained in memory. Such studies usually measure discrimination thresholds at varying ISIs. The assumption is that the first stimulus has to be stored, maintained and retrieved in order to compare it to the second one (Regan, 1985). Using this approach, there is now evidence that spatial frequency information and velocity information, are well preserved in STM for periods up to 10 seconds, while contrast information and oriented lines show some slight decay during such a time interval (Regan, 1985; Magnussen, Greenlee, Asplund & Dyrnes, 1990; Magnussen & Greenlee, 1992; Lee & Harris, 1996; Vogels & Orban, 1986). Magnussen, Greenlee, Asplund and Dyrnes (1991) described the disruption of STM for spatial frequency with the presentation of a memory mask during the retention interval. Higher discrimination thresholds were obtained when the spatial frequency of

the mask differed from the reference grating by 1-1.5 octaves or greater. Discrimination thresholds were equal when the mask and reference grating were of similar spatial frequency. Orientation, duration, and presentation time of the mask had no effect on thresholds. Magnussen et al. (1991) attributed this effect as strong suggestion that VSTM shared the same representation as sensory information. Bennett & Cortese (1996) confirmed Magnussen et al. (1991) findings and further reported that the effect of the mask was based on distal and not proximal frequency. Subsequent work demonstrated that masking velocity information produced similar results (Magnussen & Greenlee, 1992).

To date, the literature on aging and visual STM with a simple visual attribute is limited. Recently, Sara and Faubert examined how size information was maintained in STM within a group of older adults (Faubert & Sara, 1996; Sara & Faubert, 1997). Size discrimination thresholds of luminance-defined squares were measured for intervals up to 10 seconds. No difference in the retention of size information as a function of age was observed. There was, however, an effect of aging on the simultaneous discrimination of stimuli. They suggested that VSTM per se is not affected during aging, but rather the visual processing itself is affected when information regarding several stimuli has to be processed simultaneously. The deficits in aging found with VSTM would thus be associated with difficulty processing the information when two stimuli are presented at the same time. If not adequately processed, the information would not be encoded properly. In contrast, when the information is presented sequentially, older observers could process the information and encode it properly, thus showing no deficits with VSTM.

In this study, we examined VSTM for spatial frequency information in a group of older adults. A special emphasis was placed on appropriate control of

the stimulus parameters so that any differences in performance between the young and older groups were not a consequence of individual differences in sensory input or other factors such as reaction time. We further examined whether the addition of a memory mask would affect the retention of spatial frequency information.

2. Methods

Subjects

Twenty-six subjects participated in this study. The experimental group consisted of 6 male and 7 female volunteers aged 64.5 to 81 years old (mean age of 71.08 +/- 6.17). Five subjects had previously participated in studies in our laboratory but all were naive with regards to this task. The control group consisted of 6 men and 7 women aged 22 to 32 years old (mean age of 26.69 +/- 4.48) recruited from the student body of the university. Five of them were trained psychophysical observers. Subjects wore their best refractive correction for distance. All subjects had good ocular health based on an optometry examination and good general health.

General Procedure (Apparatus and Stimuli)

A Macintosh IIfx computer interfaced with a standard 13" Macintosh RGB calibrated monitor was used to present stimuli and collect data. The monitor was the only source of light and the mean luminance of the background was 60 cd/m².

The stimuli for all experiments had the same general appearance. They consisted of a Gabor spatial frequency gratings with a standard deviation of 1.32 presented within a truncated 1 second temporal envelope with a standard deviation of 0.25 seconds. That is, the temporal Gaussian window had a plus and minus 2 standard deviation range. This means that the initial contrast onset and offset were abrupt but only for 2.5% of the tested contrast value each time. The stimulus smoothly increased and decreased for 95% of the tested contrast for a given trial with a 0.25 second standard deviation. This has no effect on the sensitivity values but reduces the presentation time for 0.5 seconds for each trial.

Viewing distance was three meters (to minimize any effect of loss of accommodation in the older group) and testing was binocular. A brief demonstration and practice session (8 trials) were always done prior to testing to familiarize the subjects with the task. A tone would signal the first interval and a second tone would signal the second interval. Once both intervals had been presented, no time restriction was imposed for the subject's response. Subjects pressed a key to respond. The next trial was initiated immediately after the subject's response.

3. Experiment 1

3.1 Contrast threshold determination

In the first experiment, we established contrast detection thresholds for two spatial frequencies (1.25 & 5 cpd) for each observer. The results of this experiment were used to establish an equivalent sensory input level for each observer in subsequent experiments.

3.2 Procedure

Detection threshold was determined using a two-alternative temporal forced choice staircase with eight reversals. Contrast was initially set above threshold, based on values determined with a modified ascending adjustment method. The average of the last six reversals was taken as the threshold value. Four trials were performed at a contrast level which constituted one step in the staircase. If no mistake was made in one block (100% correct), then a new block with a lower contrast was presented. If one mistake occurred (75%), a block using the same value was presented and this block counted as an inversion. If two mistakes were made (50% correct), a new block with higher value was presented. Contrast changed by 0.175, 0.125, 0.0875, 0.0625 or 0.05 log units respectively. Thresholds were calculated as the mean of the last 6 values where the staircase reversed. Usually, threshold could be established within 40 trials. Staircases for different spatial frequencies were embedded in the same session. The subject's task was to press 1 or 2 to indicate whether the stimulus appeared in the first or second interval.

3.3 Results & Discussion

The results of contrast sensitivity are presented in Figure 2.1. There is a difference in contrast sensitivity between the young and older group for a 5 cpd spatial frequency and not for the 1.25 cpd. An ANOVA for independent measures revealed a significant interaction between age and spatial frequency ($F= 4.366, p= 0.046$).

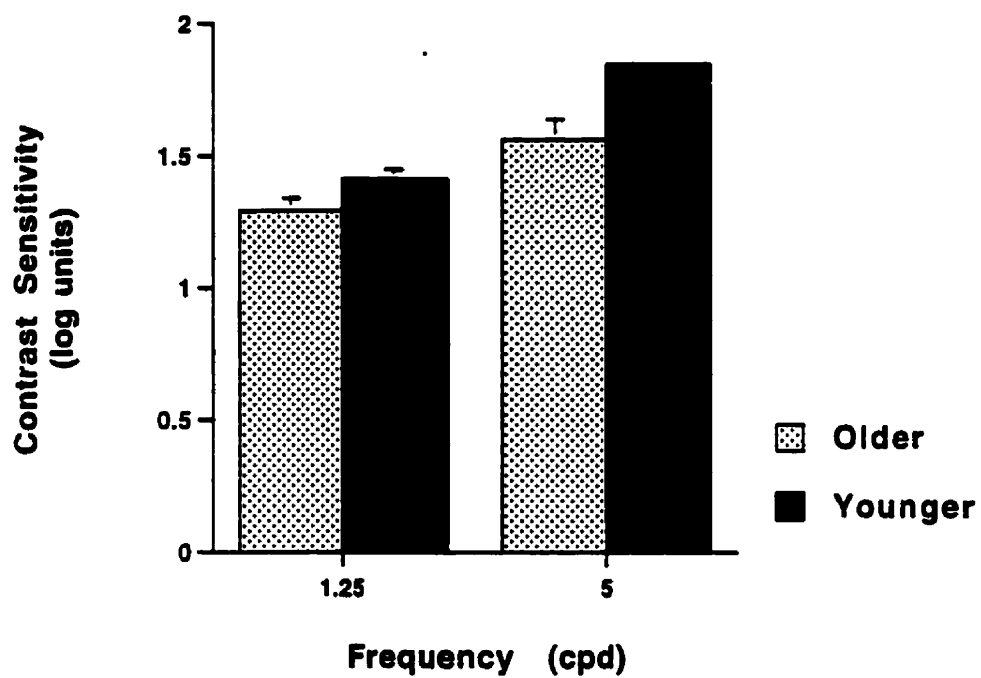


Figure 2.1: Mean log contrast sensitivity obtained for the younger and older groups for 1.25 and 5 cpd gratings. Error bars indicate standard error of the mean for each group.

The results of experiment 1 indicate a loss of sensitivity for the 5 cpd spatial frequency and not for the 1.25 cpd in the older group. This is consistent with previous reports of a greater loss of sensitivity for high and medium spatial frequencies with aging (Owsley, Sekuler & Siemsen, 1983).

4. Experiment 2

4.1 Discrimination thresholds at various ISIs

To examine the retention of spatial frequency information discrimination thresholds were measured at three different ISIs: 1, 3 and 10 seconds. Discrimination thresholds were established using a two alternative temporal forced choice. The staircase procedure described previously was used. Steps of varying Weber fractions were used (usually 0.1, 0.05, 0.025, 0.01). All stimuli were presented at 0.5 log units above threshold for each observer based on the initial individual values obtained in the previous experiment. A 5 cpd reference stimulus was presented for 1 second, followed by an ISI of either 1, 3 or 10 seconds and a comparison stimulus of 5 cpd + ΔF of 1 second (Figure 2.2). The presentation of the reference and comparison stimulus was in random order. The frequency, phase, and contrast of the reference stimulus was varied by +/- 10% to prevent subjects from making a long term representation of the stimulus (Magnussen, Greenlee, Asplund & Dyrnes, 1991). The subject had to press 1 or 2 to indicate whether the stimulus of the higher spatial frequency (finer bars) was presented in the first or second interval. One ISI and spatial frequency condition was tested at a time. Experiment 1 and 2 for one spatial frequency, combined, lasted about three hours. Subjects usually completed the two experiments in one session separated by breaks between the experiments.

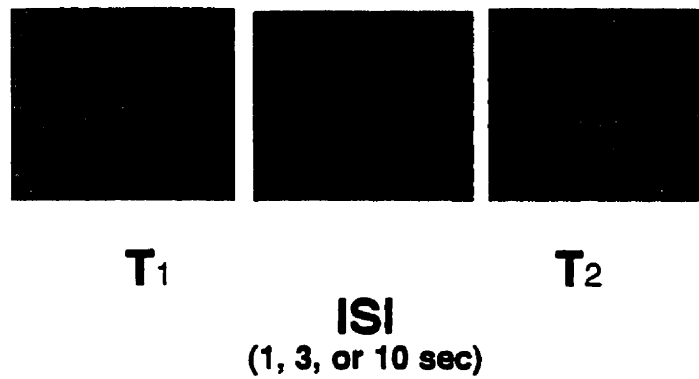


Figure 2.2: Scheme of the stimuli presentation for experiment 1. The contrast was adjusted to a 0.5 log unit supra threshold level for each individual, based on results of the contrast detection experiment. Two stimuli were presented, separated by an ISI of 1, 3, or 10 seconds. The task was to determine in which time interval, T₁ or T₂, the higher spatial frequency stimulus was presented.

4.2 Results & Discussion

Group discrimination thresholds expressed in Weber fractions are plotted in Figure 2.3 as a function of ISI. We can see that the thresholds tend to be higher for the older subjects regardless of the ISI. A 2x3 between-within repeated measures ANOVA confirmed this tendency revealing a main effect of group ($F = 5.164$, $p = 0.032$). Neither an effect of ISI ($F = 0.694$, $p = 0.5047$) nor a significant interaction were found ($F = 1.077$, $p = 0.349$).

These results are slightly different from previous studies (Faubert & Sara, 1996; Sara & Faubert, 1997). On the one hand, they confirm that aging does not affect VSTM per se. If VSTM was affected, the capacity to retain information should decrease with increasing ISIs. However, they are different in the sense that even by presenting stimuli at 0.5 log units above the subjects individual thresholds, we were not able to compensate for the perceptual loss due to aging. The stimuli used in the present study (Gabor) were very different than the stimuli used in the previous study (luminance-defined squares in random dot noise background). This may account for the difference observed.

5. Experiment 3

5.1 Discrimination thresholds with a memory masker

Experiment 2 confirmed previous findings that spatial frequency information was well retained in STM. Furthermore it showed that aging does

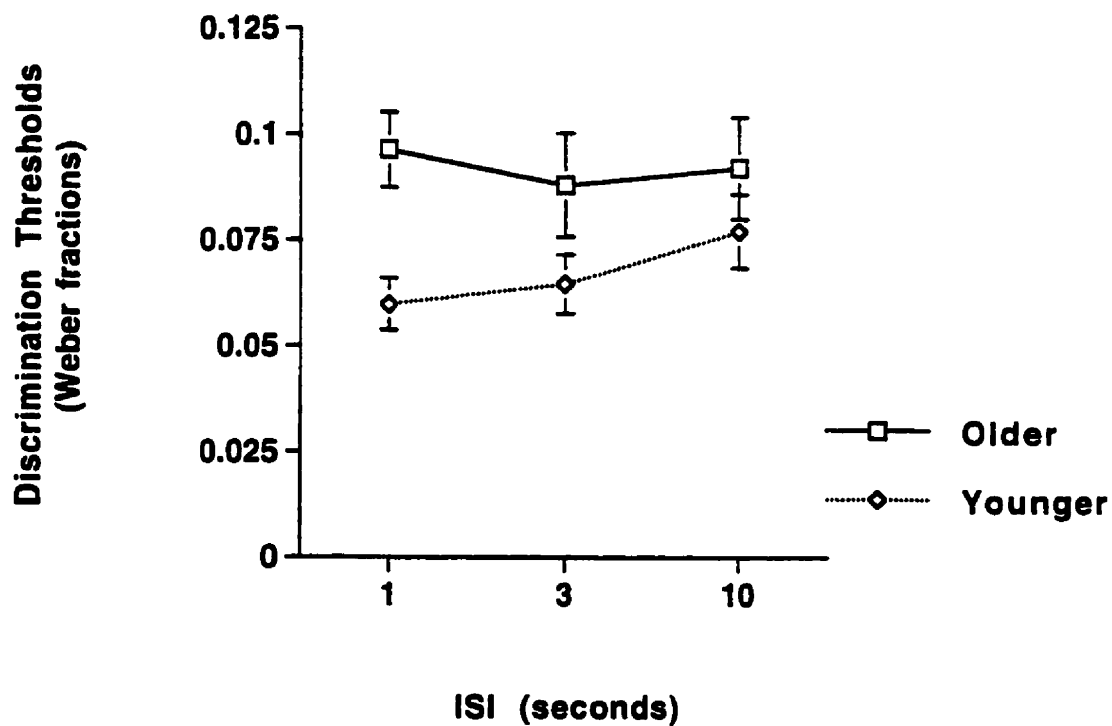


Figure 2.3: Mean discrimination thresholds expressed in Weber fractions obtained in experiment 2 for the younger group (closed circles) and the older group (open squares) as a function of ISI. Error bars indicated standard errors of the mean for each group.

not affect the short-term retention of spatial frequency information per se (not related to increasing ISIs), rather aging affects the discrimination abilities of spatial frequency. Magnussen et al. (1991) had found that a memory masker disrupted the retention of spatial and velocity information if the masker was at least one octave different from the reference stimulus. In Experiment 3, we examined the effect of the addition of the memory masker on retention for our subjects.

5.2 Subjects

Twenty subjects participated in this study. The experimental group consisted of 4 men and 6 women aged 65 to 80 years (mean age of 69.9 +/- 5.45). The control group consisted of 5 men and 5 women aged 22 to 34 years (mean age of 28.2 +/- 4.61). All subjects from the experimental group and 6 subjects from the control group had participated in Experiment 1 and 2.

5.3 Procedure

The general procedure and threshold determination were the same as in Experiment 2, with the exception that a third stimulus, "memory masker", was added midway during the ISI (Figure 2.4). The "memory masker" consisted of a grating of either 1.25 or 5 cpd. Preliminary data on three older and three younger subjects suggested no main effect of the length of ISI, so an ISI of 3 seconds was used in this experiment.

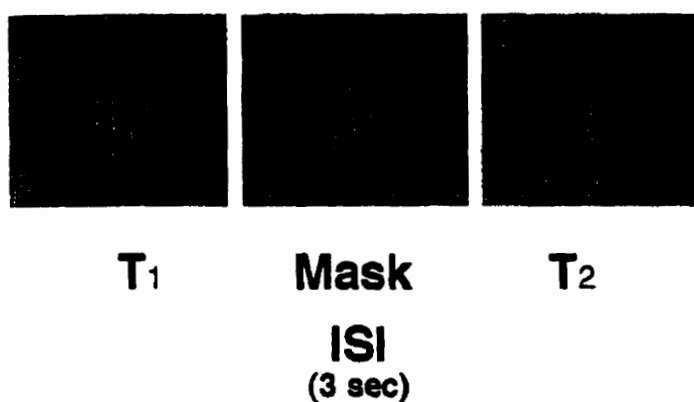


Figure 2.4: Scheme of the stimuli presentation for experiment 3. Two stimuli were presented, with an ISI of 3, seconds. A mask consisting of a grating of either 1.25 or 5 cpd was presented midway. The task was to look at all three stimuli but to determine in which interval, T1 or T2, the higher spatial frequency stimulus was presented.

5.4 Results & Discussion

Group discrimination thresholds expressed in Weber fractions are plotted in Figure 5 as a function of masking conditions with a no memory masker condition serving as control. As we can see in Figure 2.5, all conditions seem to produce similar thresholds in the older group, whereas in the younger group there is a tendency for thresholds to increase with masking. A 2x3 between-within repeated measures ANOVA revealed a statistically significant interaction between group and masking conditions ($F= 3.421, p= 0.044$). No main effect of group ($F = 0.449, p= 0.511$) or masking condition ($F= 2.109, p= 0.136$) was found.

Although these data show some trend for an effect of masking on VSTM we did not find a significant main effect of masking. However, the data showed that there was no effect at all in the older group while there appeared to be an effect of masking for the younger group as evidenced by the significant interaction. It is possible that this difference was obtained because the subjects did not properly encode the masker stimulus. To test this hypothesis, we designed an additional experiment.

6. Experiment 4

6.1 Discrimination thresholds with an oriented memory masker

In Experiment 3, we found that only the younger group had a trend for higher thresholds with the addition of the memory masker. This result was puzzling for the older group. Older subjects are usually more affected by

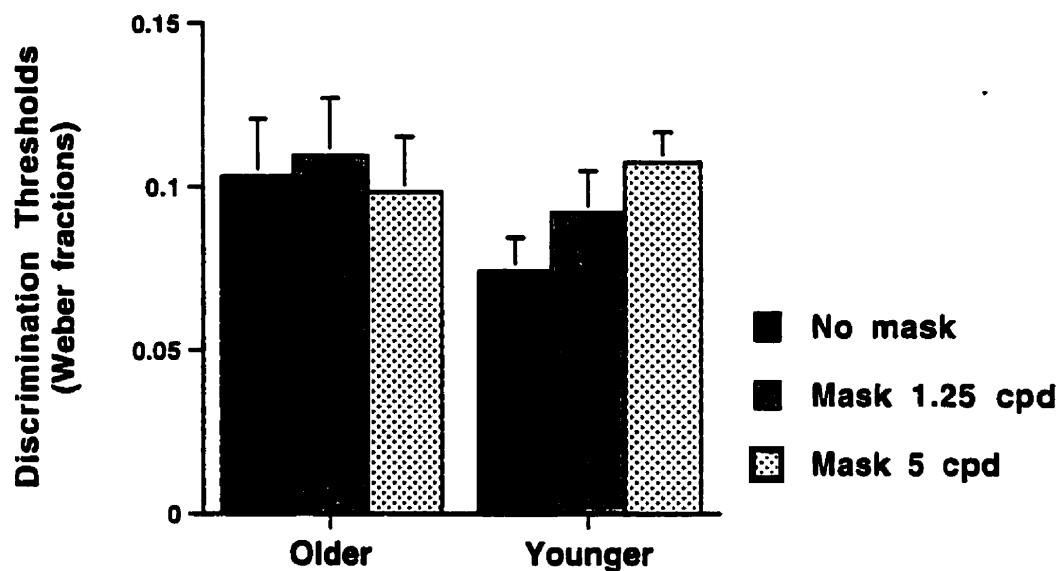


Figure 2.5: Mean discrimination thresholds expressed in Weber fractions obtained in experiment 3 for the young and older group as a function of a 5 cpd masker, a 1.25 cpd masker and the no mask condition serving as control for an ISI of 3 seconds. The results for the older subjects are grouped to the left side of the figure and the results for the younger subjects are group to the right side of the figure. Error bars indicated standard errors of the mean for each group.

interference. Perhaps the reason that we failed to obtain an effect was because the stimulus serving as a memory masker was simply not encoded by our older subjects. So in Experiment 4, to ascertain that the memory masker was encoded, a judgment task was added.

The same subjects and procedure as in Experiment 3 were used with the exception that the memory masker stimulus was oriented 5 degrees clockwise or counterclockwise from vertical (Figure 2.6). Subjects had to verbally report the orientation of the memory masker while performing the discrimination task. The observers had no difficulty performing this task and were generally 100% correct at making the orientation judgments. It was previously demonstrated that orientation of the frequencies did not change the masking effect on the memory task (Magnussen et al., 1991). By designing this task we could determine the effect of the memory masker while being certain that the observers actually processed the masker stimulus.

6.2 Results & Discussion

Group discrimination thresholds expressed in Weber fractions are plotted in Figure 2.7 as a function of masking conditions. A 2x3 between-within repeated measures ANOVA revealed no statistically significant difference for either group ($F = 2.371$, $p = 0.141$) or masking condition ($F = 1.020$, $p = 0.371$).

The results in this experiment confirmed that the lack of masking in the previous experiment in the older observers was not due to the fact that the masker stimulus was not encoded. Furthermore, the results of this experiment and the previous one show that the effect of masking is very weak, if present, even in the young observers.

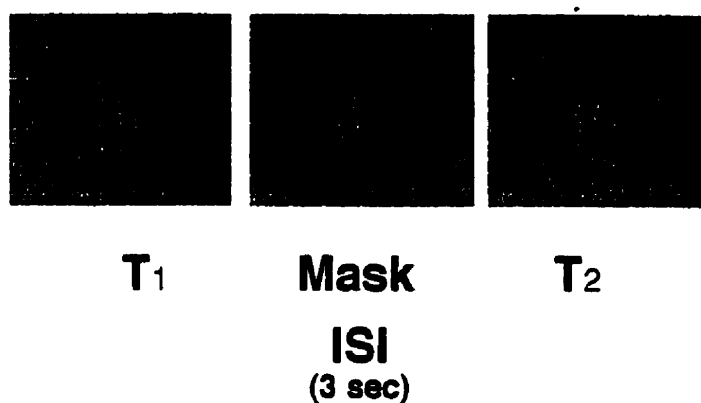


Figure 2.6: Scheme of the stimuli presentation for experiment 3. The task was to look at all three stimuli, report verbally whether the second stimulus was oriented to the right or to the left, and to determine in which interval, T1 or T2, the higher spatial frequency stimulus was presented.

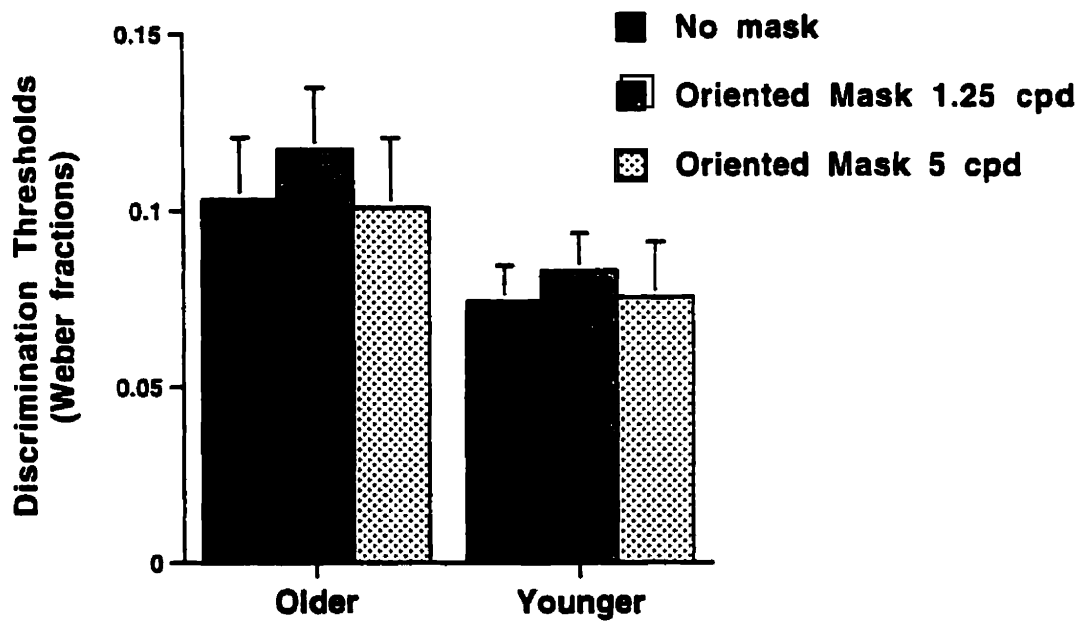


Figure 2.7: Mean discrimination thresholds expressed in Weber fractions obtained in experiment 4 for the young and older group as a function of the oriented maskers with the no mask condition serving as control for an ISI of 3 seconds. Error bars indicated standard errors of the mean for each group.

7. General Discussion

To examine how spatial frequency information is maintained in VSTM in aging, we measured discrimination thresholds for 5 cpd gratings at 1, 3 and 10 second intervals for younger and older subjects. First, we found that discrimination thresholds were higher for the older group across the various ISI conditions. Older subjects required a greater difference between two gratings in order to discriminate which one had the smallest spatial frequency. This suggests that there is a perceptual deficit in aging when making spatial frequency judgements with these type of stimuli. Secondly, we found that, for both the younger and older groups, discrimination thresholds remained similar across time intervals suggesting that there is no loss of spatial frequency information for a period of at least 10 seconds. For the younger group, this is not surprising; these results replicate previously published findings (Regan, 1985; Magnussen et al., 1990; Magnussen et al., 1991). Interestingly, however, the observation that the older group did not show a selective decline with increasing ISIs suggests that there is no progressive decline with aging on the storage and retention of spatial frequency information. While perceptually there is a deficit, i.e. older subjects require a greater difference between two gratings to discriminate them, there is no deficit in storage and retrieval. It should be noted that the stimulus contrast was determined individually so that the sensory input was equivalent for all subjects. In addition, each stimulus was presented within a 1 second temporal envelope. This stimulus duration should have provided enough time for the older subjects to adequately process the information. Older subjects have slower visual processing abilities (Ball & Owsley, 1993; Owsley, Ball, McGwin, Sloane, Roenker, White, Overley, 1998), therefore, the longer duration should have eliminated the potential effect of slower processing abilities. Furthermore, to compensate for the older subjects' presumed reduction of processing abilities,

we chose a simple and passive task. Spatial frequency gratings stimulate the most basic form of visual processing evident in the receptive fields of simple cells found in early cortical structures. Retrieval was passive in the sense that the stimuli did not need to be compared in a modified form. In Baddeley's model of STM, information can be manipulated and modified, which increases the processing demands of a task and, in turn, can affect older subjects' abilities. Passive span studies (where subjects have to maintain series of digits or words in STM) show that older subjects perform as well as younger subjects in passive retention and recall (Dobbs & Rule, 1989; Wingfield, Stine, Lahar & Aberdeen, 1988). In this view, passive STM, visual as well as verbal, would be intact in aging. In sum, our data indicate that when the sensory input is equivalent, when the stimulus duration allows proper encoding and when the task is passive, older subjects show no progressive loss of retention of spatial frequency information as a function of increasing ISIs.

Experiment 3 examined the effect of a memory masker on retention of spatial frequency information during the 3 second interval. We found that the addition of a memory masker during the retention interval did not significantly affect retention capacity although there appeared to be a trend for the younger group. With the addition of the mask, our younger subjects obtained higher thresholds that were equivalent to the ones obtained in our older group. Memory masking effects have been reported previously in young observers (Magnussen et al., 1991; Bennett et al., 1996). In our study, the younger subjects obtained higher thresholds with both the 5cpd (similar to the reference stimulus) and the 1.25cpd (significantly different from the reference stimulus) masks. This is different from what would be predicted from Magnussen's model, i.e., masking apparent only with a mask of one octave or more from the reference stimulus. In the older group, no masking effect was found. We hypothesized that we failed

to obtain the reported masking effects because our subjects were not encoding the mask properly. We examined this possibility in Experiment 4, in which subjects had to report the direction of the mask, hence encoding the stimulus. Again, we failed to show the masking effect. The masking effect trend observed in our younger group in Experiment 3 was not replicated in Experiment 4 with the oriented memory masker. Magnussen and colleagues demonstrated that orientation of the masks did not have an effect on performance, therefore, our differences should not be attributed to orientation. Therefore, either the orientation of the masker does have an effect on masking or the masking effects observed in these types of stimuli are not very robust, which argues against a low-level encoding model for VSTM of spatial information. Other researchers have also failed to report masking effects on VSTM experiments. For instance, Thompson, Stone and Walton (1996) reported failure to replicate masking effects with velocity judgments for motion stimuli unlike what was reported by Magnussen and colleagues (Magnussen et al., 1992).

The lack of masking effect in the older group is contrary to what would have been expected with regard to the inhibition hypothesis. The inhibition hypothesis states that the difficulty in disregarding irrelevant information increases with aging. It would suggest that our subjects should have showed some difficulty discriminating stimuli with the addition of memory masker which was irrelevant to the task and should have interfered with the processing. In fact, our older subjects showed no difficulty at all. In Experiment 4, we made sure that the memory masker stimulus was encoded and thus increased interference. Even then, we failed to show an effect. We believe that the explanation of this lack of ISI effect on retention lies within the passivity of the task, which does not require extensive processing.

Before any conclusion on VSTM abilities and aging is possible, one important point has to be addressed: subject selection. In order to assess the purely visual part of STM with the proper control, we had to select only subjects who had good vision (20/25 or better). Salthouse, Hancock, Meinz and Hambrick (1996) recently reported that age-related influences on many cognitive functions is mediated through a single common factor reflecting overall reduction in central nervous system functioning. This hypothesis suggests that a decline in VSTM would not occur independently of decrements of sensory processes. In other words, if vision is good in aging subjects, VSTM is probably also good. Our subjects would, therefore, show good retention capacity in VSTM because they have good vision. However, the argument becomes circular, if vision and perception are affected, then the visual stimuli may not be encoded properly and may not be retained. This hypothesis also suggests that all functions are interrelated and may decline together (common cause hypothesis) and not as a result of one another. Furthermore, difficulties with STM are correlated with general cognitive functioning (Lindenberger & Baltes, 1994). Our older group was high functioning, showing no cognitive decline and being active in their daily activities, which may explain why they showed no decay in VSTM. Although VSTM has never been separately assessed, it appears that it follows the same particularities as verbal material.

Recently, Lages and Treisman (1998) have raised an interesting point regarding retention. They suggest that what is maintained in STM is a decision criterion rather than the spatial information per se. They compared discrimination thresholds for spatial frequency gratings in the presence of the reference stimuli with the thresholds obtained without the presentation of the reference stimuli. They found similar discrimination thresholds supporting their hypothesis that the discrimination over a period of time results from the

operation of a criterion-setting process rather than a long-term sensory retention. Whether decision criterion or spatial processing is responsible for our discrimination results remains unclear. Although, some form of spatial information has to be stored. In fact, we asked our subjects after the experiment to mentally visualize the stimulus, they reported doing so without difficulty. The fact remains that our older subjects showed the same trend as the younger subjects in relation to ISI, suggesting no difference in the setting of a decision criterion and equivalent retention of this information in VSTM.

In conclusion, our data are consistent with preserved abilities in aging for maintaining spatial frequency information in VSTM. We propose that when compensating for losses associated with aging such as reduced sensory and perceptual ability, speed and limited processing capacity, with the use of relatively long exposure times and simple stimuli, there is no aging decline in VSTM.

Chapitre 3

Deuxième article

Effets d'intra et d'inter- attributs sur les fréquences spatiales définies par la couleur et la luminance dans le vieillissement et la mémoire visuelle à court terme.

Cette étude a été soumise comme article sous le nom : " Intra- and inter-attribute spatial frequency information for luminance and color, aging, and short-term memory " au Journal Vision Research. (Bellefeuille & Faubert, 1999).

Ce chapitre est une reproduction exacte du texte de cet article.

Résumé

La mémoire visuelle à court terme de fréquences spatiales définies soit par la couleur ou la luminance a été évaluée dans des conditions d'intra-attribut et d'inter-attributs. Des seuils de discrimination ont été mesurés à l'aide d'un protocole à choix forcé temporel à des intervalles inter-stimulus de une et 10 secondes chez un groupe de sujets âgés et un groupe de sujets contrôles (plus jeunes). Des seuils de discrimination d'une fréquence spatiale de 1.25 cycle par degré ont été mesurés dans trois conditions différentes: 1) le stimulus de référence et le stimulus de comparaison étaient tous deux définis par la luminance (intra-attribut); 2) le stimulus de référence et le stimulus de comparaison étaient tous deux définis par la couleur (intra-attribut); 3) le stimulus de référence et le stimulus de comparaison étaient définis respectivement par la luminance et la couleur et vice versa (inter-attributs). Les résultats démontrent que l'information de fréquences spatiales en mémoire visuelle à court terme est bien maintenue peu importe les attributs définissant le stimulus. Les seuils étaient plus élevés dans la condition inter-attributs. Ce résultat suggère que la luminance et la couleur sont traitées en parallèle dans le système visuel et que cette tâche nécessite plus de ressources de traitement. Les seuils des sujets âgés étaient plus élevés que ceux du groupe contrôle dans toutes les conditions, pointant vers un déficit au niveau de la perception plutôt qu'en mémoire visuelle à court terme. Toutefois, la différence entre les seuils des sujets âgés et des sujets jeunes était plus importante dans la condition d'inter-attributs suggérant que les sujets âgés sont plus affectés que les jeunes lors d'une tâche qui requiert plus de ressources de traitement.

Abstract

Visual short-term memory (VSTM) for color-, luminance- and color-luminance-defined spatial frequency information was assessed by measuring discrimination thresholds using a two-interval forced choice paradigm for younger and older observers at interstimulus-intervals (ISIs) of 1 and 10 seconds. Discrimination thresholds for 1.25 cycles per degree (cpd) stimuli were measured in three different conditions: 1) reference and comparison stimuli were defined by luminance; 2) reference and comparison stimuli were defined by color; 3) reference and comparison stimuli were respectively defined by color and luminance (or vice-versa), an inter-attribute condition. Results show that retention of spatial frequency information in VSTM is robust for both the younger and older group regardless of the defining attribute. Thresholds were significantly higher in the inter-attribute condition, indicating increased processing demands for this task and suggesting that these attributes are initially processed in parallel. Compared to the younger observers, older observers showed higher discrimination thresholds for all conditions at both ISIs, indicating a deficit in perceptual abilities rather than in VSTM. The difference in thresholds for the older group was more important in the inter-attribute suggesting that older observers are more impaired than younger observers on visual tasks with increased processing demands.

1. Introduction

There has been recent growing interest in short-term memory (STM), or working memory, a brain system that provides temporary storage of information and manipulates this information to perform cognitive tasks. STM, as described by Baddeley (1986), has a sensory storage buffer in which information can be held for a short period of time and a central executive system responsible for performing computations and transformations. Evidence suggests the existence of multiple STM buffers: verbal, spatial and visual and probably one for every sensory input (see Jonides & Smith, 1997 for review).

Studies on STM have traditionally focused on verbal and visuospatial material. Recently, researchers have examined STM for purely visual material providing a link between STM and basic visual processing by examining how a stimulus, defined by a simple visual attribute, is maintained in memory. Discrimination thresholds, the smallest difference perceivable between two stimuli, are usually measured at varying inter-stimulus intervals (ISI). The assumption is that the first stimulus has to be stored, maintained and retrieved in order to compare it to the second one (Regan, 1985). Comparing discrimination thresholds at various ISIs, studies have found that luminance-defined spatial frequency and velocity information, are well preserved in STM for periods up to, at least, 10 seconds (Regan, 1985; Magnussen, Greenlee, Asplund & Dyrnes, 1990; Magnussen & Greenlee, 1992). In contrast, oriented lines, contrast information, and vernier offsets show a slight decay during such a time interval (Vogels & Orban, 1986; Lee & Harris, 1996; Fahle & Harris, 1992). Thus, it appears that some visual attributes produce a more robust memory trace than others do. Hole (1996) proposes that memory for simple stimuli (e.g. spatial

frequency) might be based on some lower level mechanism than that of the more complex stimuli and thus is more resistant to the passage of time.

There is evidence that there are some independent, parallel special-purpose memory stores, each devoted to a particular attribute of a visual stimulus. For example, Magnussen, Greenlee and Thomas (1996) showed subjects a spatial frequency grating of a given contrast and asked them to compare it, in VSTM, to another grating that differed either in frequency or in contrast. In the single attribute condition, subjects were told along which dimension the second stimulus would vary. Subjects were then just attending to one attribute. In the double attribute condition, subjects were not informed along which dimension the second stimulus would differ, thus requiring an encoding of both attributes. When taking into account the increased threshold predicted by the uncertainty case, subjects performed as well when attending to a single attribute or the two attributes combined, suggesting independent parallel STM processing of contrast and spatial frequency.

Contours of visual information can be defined by one or a combination of several surface attributes, such as luminance, color, motion, texture and binocular disparity. Luminance and color are considered to be 1st order characteristics because they are sufficient to generate a contour. The other attributes are considered 2nd order characteristics since they are constructed from spatial, temporal and interocular information, coded from color or luminance (Cavanagh, 1988). Luminance information is believed to be more efficient in providing contour information (Gregory, 1977).

It is now generally accepted that visual information is carried via two initial anatomical pathways: one more sensitive to luminance information (magno pathway) and one more sensitive to color information (parvo pathway) (Schiller & Colby, 1983). Attribute information is further processed via different modules (e.g. Livingston & Hubel, 1988; Maunsell & Newsome, 1987; Zeki, Watson, Lueck, Friston, Kennard, & Frackowiak, 1991). For example, a cortical region in the middle temporal area (MT) is believed to be more specialized for the analysis of motion information. Supporting the physiological evidence of two initial pathways, is the identification of brain-lesioned patients with specific loss of color vision (Damasio, Yamada, Damasio, Corbett & McKee, 1980; Rizzo, Nawrot, Blake & Damasio, 1992) or luminance vision (Rovamo, Hyvärinen & Hari, 1982).

Psychophysical evidence also indicates that attributes are processed independently. For example, after adapting to a luminance-defined grating, the spatial frequency of a color-defined grating does not appear to change and vice versa (Favreau & Cavanagh, 1981) indicating that the visual system codes color and luminance information separately for spatial frequency analysis. Although information about different attributes appears to be coded separately, it seems to be integrated at a common site (e.g. Rivest & Cavanagh, 1996; Rivest, Boutet & Intriligator, 1997). For example, the position of a contour defined by one attribute influenced the position of another contour defined by a different attribute, suggesting that the information from the different attributes united at a common site to provide the localization of a contour (Rivest & Cavanagh, 1996).

1.1 VSTM and Aging

It is generally agreed upon that older individuals experience difficulties with working memory (see Craik & Jennings, 1992; Van der Linden & Hupert, 1994 for reviews). Factors that have been proposed to account for a reduction of STM in aging include a reduction of processing resources, slower processing abilities, and increased difficulty to inhibit irrelevant information (Van der Linden & Hupert, 1994). The first hypothesis, reduction of processing resources, proposes that, with aging there are fewer resources available to process information. Increasing the complexity of a memory task or of the stimuli to be remembered increases the demand for resources necessary to process the information. This, in turn, lowers the amount of resources available to maintain the information in STM, and, thus, decreases the amount of information maintained in STM. The second hypothesis, slower processing abilities, suggests that the time required to process information increases with aging. Older observers would require more time than younger observers to process the same visual information. This affects STM in two ways. Firstly, older observers would not have enough time to process information and, therefore, would not be able to store it properly. Secondly, they would not be able to process as much information in the same time period and would thus show a deficit in STM skills. The third hypothesis, difficulty to inhibit irrelevant information, suggests that older subjects might not ignore irrelevant information but, rather, would process all information presented to them. Since STM is of limited capacity, older observers may utilize space for irrelevant information, leaving less space for the important information to be retained, decreasing the STM skills. In addition, not inhibiting irrelevant information increases the processing demand and time. It is unclear which of these three possibilities best explains the decline of STM during aging. It should be noted that these three

explanations are not mutually exclusive. Thus, it is possible that each of these explains STM decline partially. The relative contributions of each are likely to vary depending upon the task.

There is much evidence for overall changes in the processing of visual information with increasing age. For example, there is a change or reduction in visual attention with increasing age (Ball, Owsley, Sloane, Roenker & Bruni, 1993; Steinman, Steinman, Trick & Lehmkuhle, 1994). Deficits are found for a number of basic visual functions (for reviews see Kline & Scialfa, 1996; Owsley & Sloane, 1988; Spear, 1993; Werner, Peterzell, & Scheetz, 1990). Anatomical, psychophysical, and electrophysiological deficits have also been found in the aging visual system (Kline & Scialfa, 1996; Ord, Wengenack & Dunlap, 1991; Owsley & Sloane, 1988; Pitts, 1982, Spear, 1993; Sturr & Hannon, 1991; Werner, Peterzell, & Scheetz, 1990).

To date, studies on aging and visual STM for simple visual attributes report no loss of information for vernier acuity (Fahle & Daum, 1997), spatial interval (Latham & Barrett, 1998), luminance-defined squares (Sara & Faubert, 1999) and luminance-defined spatial frequency information (McIntosh, Sekuler, Penpeci, Rajah, Bennett, Grady & Sekuler, 1998; Bellefeuille & Faubert, 1999). There is, however, in some studies, an elevation in discrimination thresholds for the older observers, suggesting a perceptual processing deficit rather than a deficit in VSTM (Sara & Faubert, 1999, Bellefeuille & Faubert, 1999).

In this study, the retention of spatial frequency was measured in VSTM using discrimination thresholds (DT). The stimuli to compare were defined by the same attribute (color or luminance) or by different attributes, inter-attribute, (color and luminance) for ISI of 1 and 10 seconds. A special emphasis was

placed on appropriate control of the stimulus parameters so that any differences in performance were not a consequence of individual differences in sensory input or other factors such as processing time or reaction time. We found that DTs remained relatively stable over the 10-second delay for all attribute conditions. DTs obtained for the older group were elevated in comparison to the ones of the younger group. Furthermore, DTs increased in the inter-attribute condition for all subjects, however, the increase was more pronounced for the older subjects.

2. Methods

Subjects

Twenty subjects participated in this study. The experimental group consisted of five men and five women volunteers between 62 and 80 years of age (mean age of 70.4 +/- 4.99). The control group consisted of 4 men and 6 women between 24 and 33 years of age (mean age of 29.6 +/- 2.80). Five subjects from the experimental group and four from the control group had previously participated in studies in our laboratory but all were naive to this task. Subjects wore their best refractive correction. All subjects had good ocular health and normal or corrected to normal vision (20/25 or better). Color vision was also normal as assessed by the HRR pseudoisochromatic plates.

General Procedure (Apparatus and Stimuli)

A Macintosh IIfx computer interfaced with a standard 13" Macintosh RGB calibrated monitor was used to present stimuli and collect data. The

monitor was the only source of light and the mean luminance of the background was 18.5 cd/m^2 . The same general calibration procedures were used as described by Faubert (1991). Three colors were used: red, green and yellow. The first two, red and green, represent the guns of the monitor with CIE $u'v'$ coordinates of 0.44 and 0.53 for red, 0.12 and 0.56 for green. The third color, yellow, is a mixture between the red and green gun with a CIE $u'v'$ coordinate of 0.20 and 0.55. The spectroradiometric composition of the red and green guns used have been previously described by Faubert (1994). Luminance- (yellow) or color- (red/green) defined gratings were presented on a yellow background. The color-defined gratings consisted of red/green isoluminant gratings. Isoluminance was measured for each observer using heterochromatic flicker photometry. Briefly, two flickering gratings (one red and one green) were superimposed at a rate of 15 Hz. The luminance of the red grating remained fixed (at 100% contrast) and the observer adjusted the luminance of the green grating until the impression of flicker was minimized. This value was then used for the equiluminance condition. The luminance-defined grating consisted of a yellow/dark-yellow grating adjusted for the equiluminance values at a contrast of about 15%. The contrast used for the luminance grating corresponded to an equivalent cone excitation to that of the isoluminant gratings. The same method has been used in a previous study (Bilodeau & Faubert, 1999).

Other than the color or luminance-defining attribute, the stimuli had the same general appearance. They consisted of 1.25cpd Gabor gratings with a standard deviation of 1.7° presented in a 1-second temporal envelope with a standard deviation of .3 second. Observers were seated 57cm away from the monitor with their head and chin supported by a rest. Testing was binocular. To compensate for the loss of accommodation of the aging lens a 1.75 diopter correction was added for the older observers. A brief demonstration and practice

session (8 trials) were always carried out prior to testing in order to familiarize the subjects with the task. A tone signaled the first interval and a second tone signaled the second interval. Once both intervals had been presented, no time restriction was imposed for the subject's response. Subjects pressed a key to respond. The next trial was initiated immediately after the subject's response.

Procedure

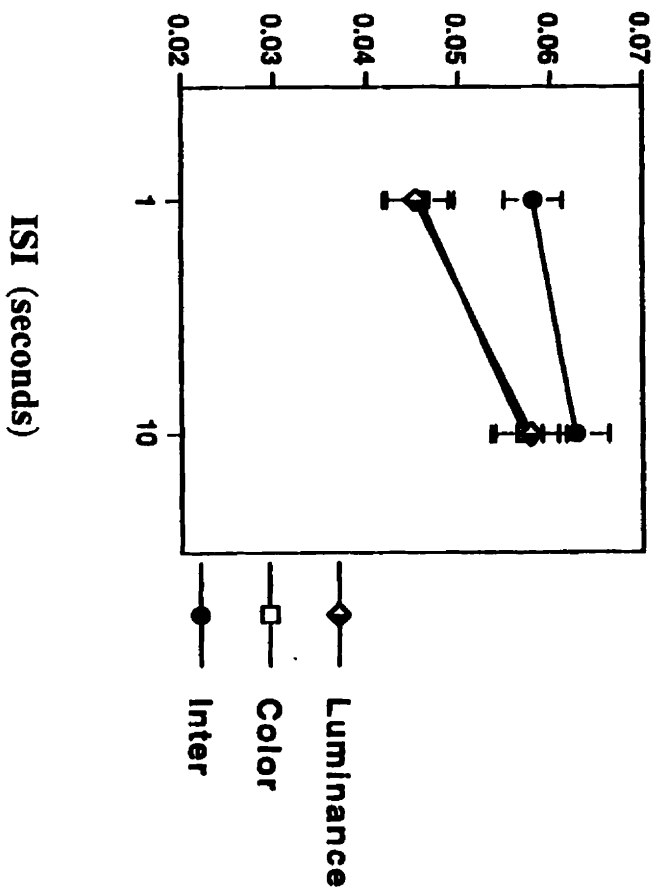
Discrimination thresholds were established using a modified (two up-four down) two-alternative temporal forced choice staircase with eight reversals. The average of the last six reversals was taken as the threshold value. Four trials were performed at a given level, which constituted one step in the staircase. If no errors were made on one block (100% correct), then a new block with a smaller value (in this case, value refers to a frequency difference between the two gratings) was presented. If one mistake was made (75%), a block using the same value was presented and this block counted as an inversion. If two mistakes (or more) were made (50% correct or less), a new block with a higher value was presented. Usually, threshold could be established after 60 trials. Steps of varying Weber fractions were used (usually 0.1, 0.05, 0.025, 0.01). A 1.25 cpd reference stimulus was presented for 1 second, followed by an ISI of either 1 or 10 seconds and a comparison stimulus of 1.25 cpd + ΔF of 1 second. The presentation of the reference and comparison stimulus was in random order. The frequency, phase, and contrast of the reference stimulus was varied by $\pm 10\%$ to prevent subjects from making a long term representation of the stimulus (Magnussen, Greenlee, Asplund & Dyrnes, 1991). The subject had to indicate the interval (first or second) in which the stimulus of the higher spatial frequency (finer bars) was presented. One ISI and one attribute condition was tested at a time.

To compare how information was remembered, discrimination thresholds were measured at ISIs of 1 and 10 seconds. To examine the influence of attribute definition on VSTM, three conditions were tested. In the first condition, the reference and comparison stimuli were both defined by luminance (LL condition), whereas in the second condition, the reference and comparison stimuli were both defined by color (CC condition). In the third condition, (Inter-attribute condition), the reference and comparison stimuli were respectively defined by a different attribute (color-luminance or luminance-color). All conditions were repeated three times. The complete experiment lasted about five hours. Subjects typically completed all conditions in two or three sessions.

3. Results

To examine how spatial frequency information defined by a single attribute, either luminance or color or by the two attributes, is maintained in VSTM, we measured discrimination thresholds for 1.25 cpd gratings at 1 and 10-second intervals. For each individual, the DTs from the three trials were averaged. Group discrimination thresholds expressed in Weber fractions for the three conditions, LL, CC and Inter, are plotted as a function of ISI. Figure 3.1 a) shows the data obtained for the younger group. We can see in Figure 3.1 a) that the LL and CC conditions produced similar thresholds whereas the Inter-attribute condition produced higher thresholds than the ones obtained from the two other conditions. Figure 3.1 b) shows the data obtained for the older group. As for the younger group, similar thresholds were obtained for the LL and CC conditions, whereas higher thresholds were obtained in the inter-attribute condition.

b) Discrimination Thresholds
(Weber fractions)



b) Discrimination Thresholds
(Weber fractions)

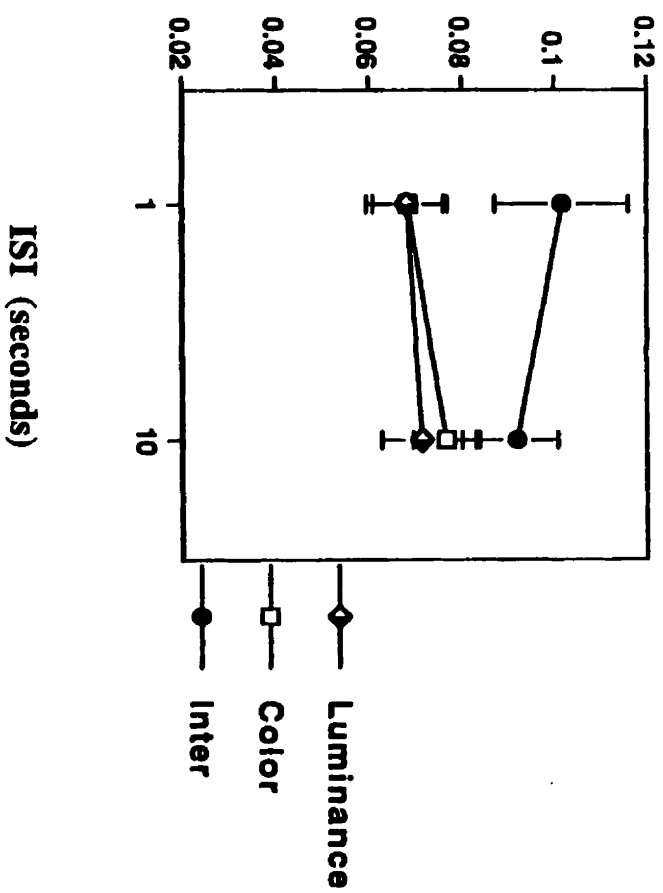


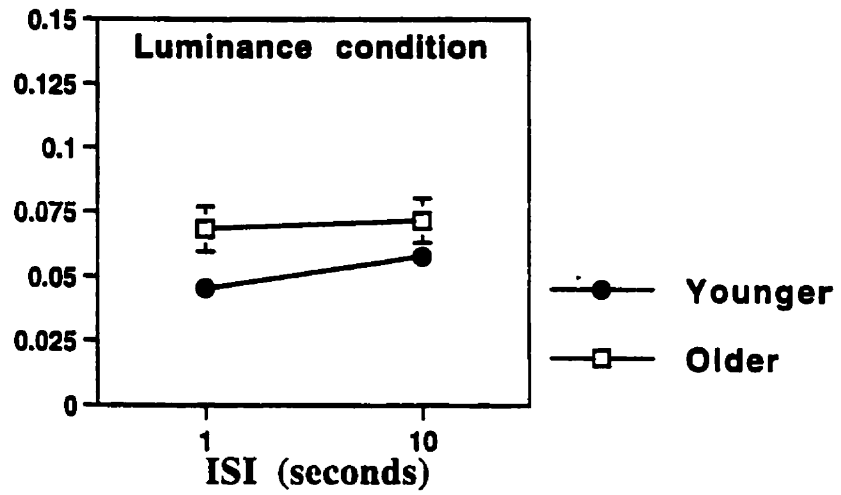
Figure 1: Mean discrimination thresholds expressed in Weber fractions obtained in the luminance (diamond), color (open square) and Inter-attribute (closed circle) conditions as a function of ISI. Error bars indicate standard error of the means for each condition. Figure 1a) shows the data obtained for the younger group and Figure 1b) shows the data for the older group.

In Figure 3.2 a), b) and c), the data are shown for both groups for each condition, LL, CC and Inter. In Figure 3.2, it appears that older subjects consistently obtained higher thresholds than younger subjects did, regardless of ISI. There seems to be a tendency, in both figures 3.1 and 3.2, for thresholds to increase with time especially for the younger subjects. This tendency was also reported by Regan (1985) but, as in this study, failed to reach statistical significance. A 2x2x3 repeated measures ANOVA revealed a main effect of age ($F = 13.34$, $p = 0.002$), and a main effect of conditions ($F = 8.53$, $p = 0.001$). Neither an effect of ISI ($F = 1.51$, $p = 0.24$) nor a significant interaction between age, conditions and time were found ($F = 0.27$, $p = 0.77$). Figure 3.3 shows the average difference in thresholds between the older and younger observers for each condition. We can see that the thresholds obtained by the older observers were, on average, about twice as large for the inter-attribute condition and about 1.5 times larger for the single-attribute conditions than the ones of the younger subjects.

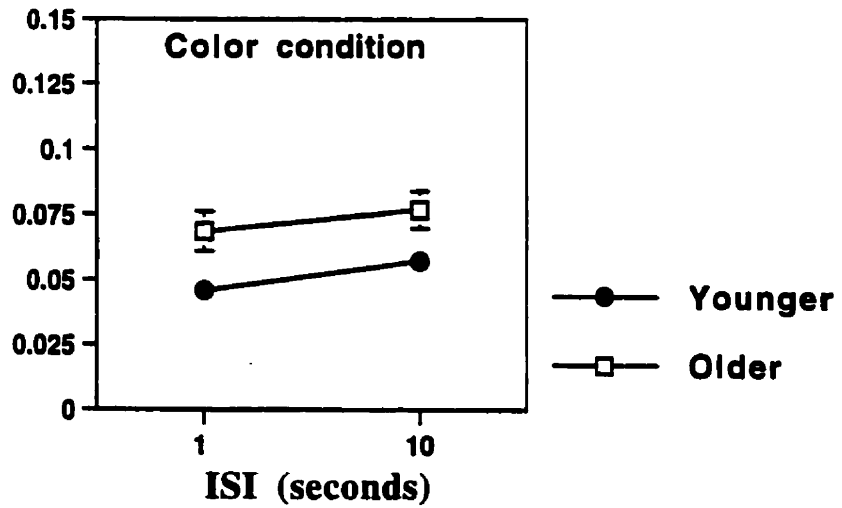
4. Discussion

The results of this study indicate that there is no loss of spatial frequency information with a delay of 10 seconds, regardless of the defining attribute. When the stimuli were solely defined by luminance, i.e. the LL condition, this is not surprising, since previous studies using similar luminance-defined stimuli have found perfect retention of spatial frequency information (Regan, 1985; Magnussen et al., 1990). Thresholds obtained when the stimuli were defined only by color, CC condition, were very similar to the ones obtained with luminance-defined stimuli as shown in Figure 3.1. This suggests that color is as efficient as luminance for encoding, storage and retrieval of visual information.

a)

Discrimination Thresholds
(Weber fractions)

b)

Discrimination Thresholds
(Weber fractions)

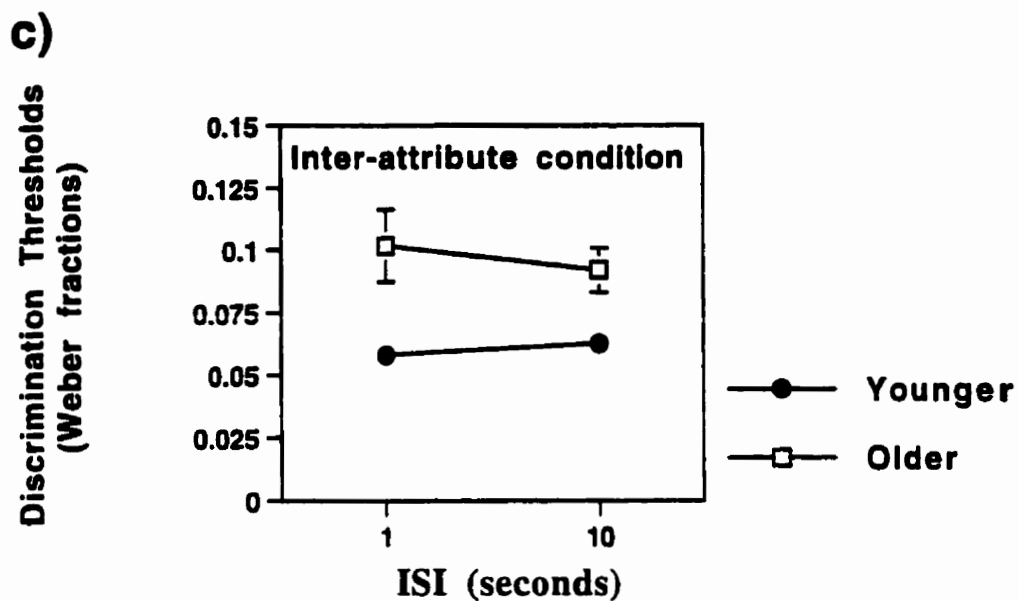


Figure 3.2: Mean discrimination thresholds expressed in Weber fractions obtained for the younger (closed circle) and older group (open square) in the luminance (figure 3.2a), color (figure 3.2b) and Inter-attribute (figure 3.2c) conditions as a function of ISI. Error bars indicate standard error of the means for each group. The error bars for the younger group were at times smaller than could be shown with the graphic software.

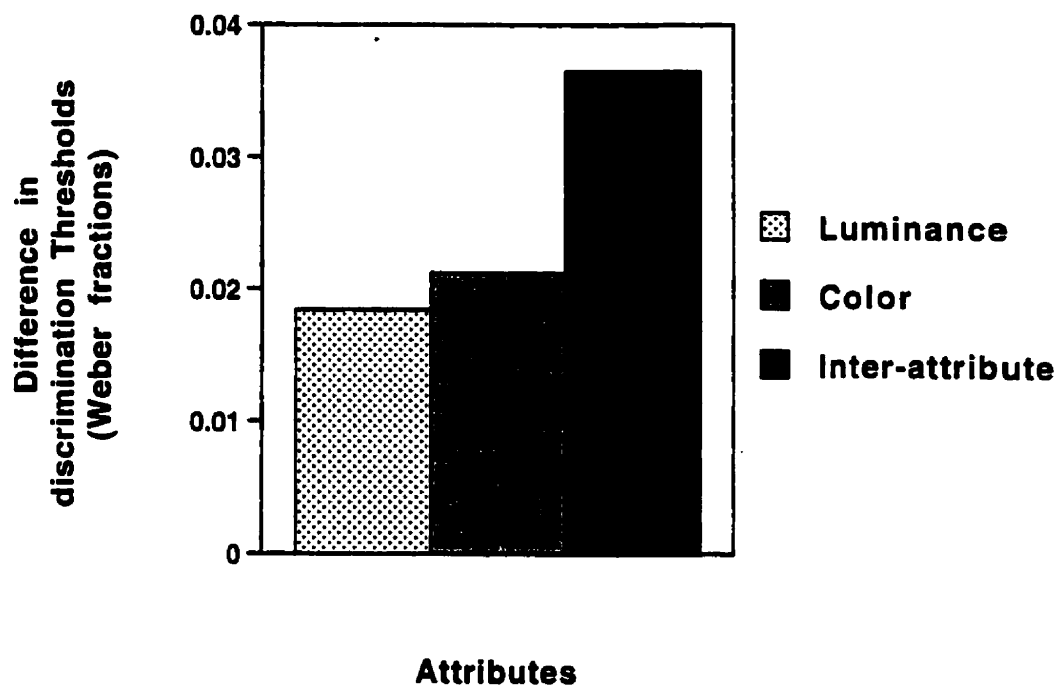


Figure 3.3: Difference in mean discrimination thresholds expressed in Weber fractions between the older and younger subjects obtained in each condition.

This is interesting for two reasons. First, some visual information, such as contrast, has been shown to decay faster than spatial frequency or velocity information (Magnussen et al., 1996). Secondly, Gregory (1977) had suggested that luminance was the most efficient defining attribute, therefore, the discrimination thresholds should be smaller for luminance gratings. In this study, we compared color with luminance for equivalent cone excitation conditions and found no difference between the discrimination thresholds for spatial frequency information defined by a single attribute. One possible explanation for the equivalent efficiency in defining spatial frequency information and retention is that color and luminance attributes are the most basic attributes and require the lowest level of processing. It is also possible that, because we have equated for cone excitation, we then have adjusted for the relative input strength of both the luminance and color signal, indicating that the differences reported previously are attributable to unequal input strength in the stimuli used in those studies.

In addition to measuring thresholds when stimuli to compare were defined by the same attribute, LL and CC conditions, we also measured them when the stimuli to compare were defined by two different attributes, inter-attribute condition. Thresholds in the inter-attribute condition were significantly higher than in the LL and CC conditions, however, the thresholds remained relatively stable between one and 10 second intervals. In this task, the first stimulus, defined by luminance or color, is stored; the second stimulus is then compared to the stored representation of the first stimulus. Comparisons were performed equally well for delays of both one and 10 seconds, suggesting that the stored representations did not decay. It supports our previous findings that color and luminance are each well-preserved in VSTM. The elevation in thresholds obtained, relative to the LL and CC conditions, suggests that the

comparison between reference and test stimuli is more complex and requires more processing resources. This suggests that, physiologically, the neuronal network required is larger because the two mechanisms responsible for processing luminance and color information are used to perform this task.

Lages and Treisman (1998) have suggested that a decision criterion be maintained in STM rather than the spatial frequency information. These authors compared discrimination thresholds for spatial frequency gratings in the presence of the reference stimuli to thresholds obtained without the presentation of the reference stimuli. They found similar discrimination thresholds, supporting their hypothesis that discrimination over a period of time results from the operation of a criterion-setting process rather than a long-term sensory retention. Their argument, however, cannot account for our results in this particular study. If a criterion-setting process is what operates on thresholds, then similar thresholds should have been obtained when our test and reference stimuli were defined by a different attribute. Our thresholds were significantly higher in this condition, indicating that, at least in this context, some form of sensory representation was stored.

Our results also have implications in regard to how inter-attribute information is processed at different levels. Rivest and colleagues have found that information defined by different attributes can be used equally well for border formation (Rivest & Cavanagh, 1996) or for orientation discrimination (Rivest et al., 1997). It appears that, for both these tasks, the inter-attribute information is compared at a common site. In contrast, our results show that when the spatial characteristics themselves are defined by different attributes, the information is not used at a common site, suggesting that these lower level mechanisms are initially processed in parallel. Similar results have been found

in studies with the motion induction illusion (Faubert & von Grünau, 1995; von Grünau & Faubert, 1994). It was demonstrated that a single primer defined by an attribute could induce the motion illusion of a bar defined by another attribute. The motion illusion was easily perceived across different attributes *** indicating that the information necessary to generate this illusion was easily transferred between attributes and processed at a common site (von Grünau & Faubert, 1994). However, when more than a single primer was used (split-priming experiments), the attribute characteristics of the primers and the bar were crucial for generating the motion illusion (Faubert & von Grünau, 1995). In their series of experiments, Faubert and von Grünau further demonstrated that the single priming condition was probably generated by higher-level attentional processes while in the split-priming condition, there were lower-level factors influencing the illusion such as attribute characteristics, eye of origin (dichoptic experiments) and spatial configurations. Therefore, the motion induction studies demonstrate that when lower-level mechanisms are involved, attribute characteristics influence the results, implying that the attributes are initially processed in different locations. When higher-level factors are involved, information from different attributes are compared at a common site. Similarly, the results of our present study imply that for a low-level comparison, such as spatial frequency discrimination, the attributes are operating at different sites. In contrast, when higher-level tasks such as border formation are evaluated, the information from the different attributes is subsequently compared at a common site (Rivest & Cavanagh, 1996).

To examine the effect of age on VSTM for spatial frequency information defined by single or different attributes; we compared the performance of older subjects with that of younger subjects for each of the attribute pairs. We found that older subjects performed as well as younger subjects for the retention of

spatial frequency gratings, regardless of the defining attribute. In other words, there was no decay of spatial information in VSTM in aging. This result is supported by previous findings (Sara & Faubert, 1999; Bellefeuille & Faubert, 1999; McIntosh & Sekuler, 1998). The performance with color-defined stimuli was similar to the one obtained with luminance-defined stimuli. We equated the sensory input for each individual by using their equiluminance value. Older subjects typically required higher green to red contrast ratio. Nonetheless, our results indicate that, when sensory input is controlled, the color pathway is not selectively compromised in aging. Nguyen-Tri, Overbury & Faubert (1999) have also reported an intact color pathway in aging with chromatic motion sensitivity experiments. As in this study, there were substantial differences between young and older observers for equiluminance values, there were no significant differences in motion thresholds between age groups when the individual differences in equiluminance were accounted for. In the present study, older subjects consistently obtained higher thresholds than younger subjects for spatial frequency discriminations. This result, which was also obtained in our previous study (Bellefeuille & Faubert, 1999), points to a perceptual deficit in aging rather than a STM deficit.

In agreement with results obtained from the younger observers, we found, with the older observers, that thresholds increased in the inter-attribute condition. Like for the young observers, it suggests that the processing resources are increased, thus elevating thresholds. There was a greater effect of the threshold elevation in the older group for the inter-attribute condition. The thresholds in the inter-attribute condition were approximately twice the ones obtained with the younger group, whereas they were about 1.5 higher than the ones for the younger group in the single attribute conditions (CC and LL) (Figure 3.3). Other studies have also reported this type of perceptual deficit in

aging. Habak and Faubert (1999) found that thresholds for the perception of first and second order stimuli were elevated for older observers. Similar results were obtained in studies of global motion (Trick & Silverman, 1991). The finding that the older observers were more affected in the inter-attribute condition may be explained by the reduction of processing resources hypothesis. As discussed earlier, this task was more complex, thus increased the processing demands. Since older subjects have presumably fewer processing resources available than younger subjects do, it follows that their performance should be significantly worse than in the single attribute conditions.

In summary, our findings indicate that, color, luminance and inter-attribute information are well maintained in VSTM and VSTM is not affected by aging. Stimuli defined by different attributes increased the discrimination thresholds in both the one- and 10-second ISIs, suggesting that this task requires more processing resources than the single-attribute conditions. This also suggests that, although the initial processing for spatial frequency information appears equally efficient between luminance and color, they are not processed at a common site. Once the information is processed by each attribute mechanism, it can then be compared at a common site as evidenced by the border judgment and the motion induction experiments. Furthermore, older observers were more affected in the inter-attribute condition supporting the reduction of processing resources hypothesis in aging.

Chapitre 4

Discussion

Tel que décrit au premier chapitre, le but de cette thèse est d'étudier la MVCT et la perception visuelle dans le vieillissement. Plus précisément, nous avons étudié: 1) la rétention d'information visuelle simple en MVCT; 2) les effets d'un masque sur la rétention en MVCT; 3) la rétention de l'information dans des conditions intra-attribut, soit définie par la luminance ou la couleur ou les conditions inter-attributs, soit l'information définie par la luminance et la couleur.

Afin d'étudier la capacité de rétention en MVCT dans le vieillissement, nous avons mesuré des seuils de discrimination de fréquences spatiales à divers intervalles de temps chez un groupe de sujets âgés ainsi que chez un groupe de sujets jeunes. Dans la première étude, décrite au chapitre 2, les fréquences spatiales étaient de 5 cpd présentées à 3 mètres et les délais entre les présentations de stimuli étaient de 1, 3 et 10 secondes. Dans la deuxième étude, décrite au chapitre 3, les fréquences spatiales étaient de 1,25 cpd présentées à 57 cm et les délais entre les présentations de stimuli étaient de 1 et 10 secondes. Des résultats semblables ont été obtenus dans les deux études. Aucun effet de temps n'a été trouvé, et ce, tant chez les sujets jeunes que chez les sujets âgés. En d'autres termes, les seuils de discrimination restaient sensiblement les mêmes que les stimuli soient séparés par des intervalles de 1, 3 ou 10 secondes. Chez les jeunes, nos résultats ont répliqué ceux obtenus par d'autres chercheurs (Regan, 1985 ainsi que Magnussen et al., 1990, 1991, 1996). Toutefois, il est

intéressant de constater que les personnes âgées ont démontré d'aussi bonnes capacités d'encodage et de rétention que les jeunes. Ces résultats indiquent que l'information de fréquences spatiales est bien maintenue en MVCT et que les capacités de rétention restent sensiblement les mêmes avec l'âge.

Toutefois, dans les deux études, les personnes âgées ont obtenu des seuils de discrimination plus élevés que ceux obtenus par les sujets jeunes. Les sujets âgés nécessitaient une différence plus grande entre les deux stimuli afin de les différencier, ce qui suggère un déficit perceptif. Un déficit au niveau des habiletés de discriminations visuelles chez les sujets âgés n'est pas surprenant compte tenu des nombreux déficits perceptifs déjà connus et résumés au premier chapitre. Comme les seuils de discrimination étaient en général plus grands chez la personne âgée, il était important de comparer la performance de chaque sujet à lui-même aux différents ISI, pour analyser la rétention dans le temps. En effet, si la performance avait été analysée seulement à 10 secondes, la conclusion que les personnes âgées retiennent moins bien l'information visuelle eut été proposée. Toutefois, en tenant compte de la performance de base de chaque sujet, tel que mesurée à une seconde, nous pouvons vraiment comparer la rétention comme telle. Alors, bien qu'au niveau perceptif il semble y avoir un déficit, aucun déficit n'a été observé au niveau de l'encodage et de la rétention.

Nous devons préciser que, dans nos études, nous nous sommes assurés que l'entrée sensorielle était équivalente pour chaque sujet. Pour ce faire, nous avons mesuré les seuils de détection individuellement et utilisé ce seuil augmenté de 0,5 unité log comme unité de contraste dans la première étude et dans la deuxième étude nous avons mesuré les seuils d'équiluminance pour chaque sujet. Les personnes âgées avaient besoin de plus de contraste pour détecter une fréquence spatiale définie par la luminance et d'un ratio vert/rouge

plus grand pour atteindre l'équiluminance. En utilisant les seuils individuels, nous compensons pour les différences sensorielles entre les sujets et nous nous assurons que la force de la stimulation est équivalente pour chaque sujet. De plus, comme le champ visuel réel ainsi que le champ visuel utilisé ont été documentés comme étant plus petits chez la personne âgée, nous avons donc présenté les stimuli en champ central afin d'éliminer tout effet possible dû au rétrécissement du champ. Comme la vitesse de traitement visuel est plus lente chez les sujets, nous avons présenté les stimuli dans une enveloppe temporelle de 1 seconde, ce qui devrait être amplement suffisant pour que les personnes âgées puissent traiter le stimulus. Nous avons donc compensé pour l'effet de traitement visuel plus lent. De plus, comme les sujets âgés ont probablement moins de ressources de traitement disponibles et seraient plus affectés par des stimuli complexes, nous avons choisi des stimuli simples. En effet, les fréquences spatiales sont à la base de tout traitement visuel et sont traitées très tôt dans le système visuel.

Comme nous voulions étudier les capacités de rétention simples, c'est-à-dire un système esclave dans le modèle de mémoire de travail de Baddeley, nous avons choisi une tâche d'encodage et de rétention qui ne requiert pas de manipulations ou de transformations des stimuli. Notre tâche était considérée passive puisque les stimuli devaient être comparés sous la même forme qu'ils avaient été présentés. Les tâches passives d'empan verbal, lorsque les sujets doivent maintenir une série de chiffres ou de mots en MCT, ont montré que les sujets âgés retiennent et récupèrent aussi bien que les sujets plus jeunes lorsque la tâche est passive (Dobbs & Rule, 1989; Wingfield, Stine, Lahar & Aberdeen, 1988). De façon similaire, nous avons démontré que dans une tâche passive de MCT visuelle, les sujets âgés réussissent aussi bien que les jeunes. Ce qui

suggère que la MCT visuelle, ou le tampon sensoriel visuel, aurait les mêmes caractéristiques que le tampon verbal.

En résumé, nos résultats démontrent que, lorsque l'entrée sensorielle est équivalente, lorsque la durée de présentation est assez longue pour les sujets âgés, et lorsque les stimuli à comparer ne doivent pas être modifiés (tâche passive), les sujets âgés ne démontrent pas de perte d'information de fréquences spatiales avec le temps.

Nous voulions étudier l'effet de la présentation d'un masque durant l'intervalle de rétention d'une fréquence spatiale. L'étude de Magnussen et al. (1991) ainsi que celle de Bennett et al. (1996) avaient décrit des effets de masque, lorsque le masque différait significativement du stimulus de référence chez un groupe de sujets jeunes. Tel que décrit au premier chapitre, un masque de 1,25 cpd (différant de plus d'octave des stimulus de référence) ou 5 cpd (similaire au stimulus de référence) était présenté entre la présentation du premier stimulus et la présentation du deuxième stimulus. Dans la troisième partie de l'étude 1, nous n'avons pas trouvé d'interférence due au masque chez les sujets âgés, c'est-à-dire que les seuils de discrimination étaient sensiblement équivalents lorsque mesurés avec la présentation d'un masque ou sans masque. Il est à noter que les seuils des sujets jeunes avaient tendance à augmenter avec la présentation du masque. Toutefois, les seuils augmentaient peu importe le masque utilisé. Ce résultat étant différent de celui rapporté par Magnussen et collaborateurs, c'est-à-dire un effet de masque présent seulement lorsque le masque diffère d'une octave ou plus du stimulus de référence. Nos résultats, tant chez les jeunes que chez les sujets âgés, étaient intrigants. Nous avons proposé que les masques n'étaient tout simplement pas bien encodés par nos sujets. Afin d'examiner cette possibilité, nous avons, dans la quatrième partie de

l'étude 1, ajouté une tâche de discrimination d'orientation du masque, nous assurant de cette façon que le masque était encodé. Toutefois, étant donné la baisse de ressources de traitement chez les personnes âgées, nous avons choisi une tâche perceptive très facile, ne demandant pas beaucoup de ressources de traitement. Tout comme dans la troisième étude, les résultats obtenus à la quatrième étude n'ont pas démontré d'effet de masque. De plus, la tendance observée chez les jeunes, dans la troisième étude n'a pas été répliquée. Magnussen et collaborateurs avaient démontré que l'effet du masque ne dépendait pas de son orientation mais bien juste de sa fréquence spatiale. Notre différence de résultats chez les jeunes ne serait donc pas due au fait que les masques étaient orientés. Nous pensons plutôt que les effets de masques avec ce type de stimuli sont très variables. De plus, des études contrôles subséquentes mesurant les seuils de discrimination chez les sujets jeunes pendant plusieurs jours ont démontré que l'effet varie énormément (voir la figure présentée en annexe). D'autres études n'ont pu également démontrer des effets de masque en MVCT (Thompson, Stone & Walton, 1996; Bilodeau, Bellefeuille & Faubert, 1998).

Nos résultats démontrant qu'il n'y a pas d'effet de masque dans ce type de tâche chez les personnes âgées ne concordent pas à ce qui serait prédit par l'hypothèse d'une difficulté d'inhibition. Cette hypothèse propose que le vieillissement est accompagné d'une difficulté d'ignorer les informations non pertinentes. Cette hypothèse suggère donc, que les personnes âgées démontrent plus d'effet d'interférence que les jeunes. Avec un protocole comme le nôtre, ceci devrait se traduire par une augmentation des seuils lorsqu'un masque est présenté. Toutefois, nos sujets âgés n'ont démontré aucun effet d'interférence dans cette tâche, bien qu'ils aient encodé le masque.

Il est cependant possible que les sujets âgés n'aient pas inhibé cette information sans, toutefois, affecter leur performance. En effet, tel que discuté au premier chapitre, une diminution des habiletés d'inhibition va de pair avec une diminution des ressources de traitement. Si la tâche requiert peu de ressources de traitement même en ajoutant une tâche d'interférence, les sujets âgés peuvent avoir assez de ressources pour accomplir les deux tâches. Une tâche d'interférence plus difficile aurait donc pu affecter les sujets.

Nous avons également étudié comment l'information visuelle définie par divers attributs était retenue dans le temps dans le vieillissement. Pour ce faire, nous avons mesuré, dans la deuxième étude, des seuils de discrimination entre deux fréquences spatiales définies par le même attribut, soit luminance ou couleur, ou par deux attributs différents, soit luminance et couleur, à 1 et 10 secondes chez deux groupes de sujets. Tel que mentionné plus haut, aucun effet de temps n'a été trouvé tant chez les sujets jeunes que chez les sujets âgés, suggérant une bonne rétention d'information de fréquences peu importe l'attribut utilisé pour définir l'information. Les seuils obtenus dans les deux groupes aux deux intervalles de temps pour la luminance et la couleur étaient semblables. Ces résultats suggèrent que la couleur est aussi efficace que la luminance pour définir l'information spatiale et pour encoder et maintenir cette information en mémoire. Il est à noter que, dans notre étude, nous avons utilisé des stimuli aux contrastes de couleur et de luminance équivalents au niveau de l'excitation des cônes qu'ils produisent. L'implication pour les sujets âgés est que la voie de traitement de la couleur n'est pas affectée par l'âge. Il est important de rappeler que l'entrée sensorielle pour chaque sujet a été contrôlée en utilisant des valeurs individuelles d'équiluminance. Les sujets âgés ont tous nécessité un plus grand ratio vert/rouge que les sujets plus jeunes. Toutefois, lorsque l'entrée sensorielle est équivalente, le traitement de la couleur n'est pas affecté. La même

conclusion a été proposée par Nguyen-Tri, Overbury et Faubert (1999). Tout comme dans notre étude, ils ont utilisé les seuils d'équiluminance individuels, donc contrôlé pour une entrée sensorielle équivalente. Ils ont démontré que les sujets âgés obtenaient des seuils de contraste pour annuler le mouvement chromatique équivalents à ceux des jeunes.

Nous abordons ici le sujet des voies parvo et magno puisque plusieurs auteurs ont tenté d'attribuer les déficits visuels des personnes âgées à l'une des deux voies initiales de traitement (voir Spear, 1993 pour une revue de la question). Rappelons que de façon générale, la voie magno serait responsable de l'analyse de la luminance et la voie parvo de l'analyse de la couleur. Dans notre étude, les sujets âgés nécessitaient plus de contraste de vert que les jeunes pour atteindre l'équiluminance. Ce résultat est directement causé par le jaunissement du cristallin et n'indique donc pas une atteinte à la voie parvo. En augmentant le contraste du vert, nous avons contourné l'effet du cristallin âgé. Des seuils de discrimination équivalents ont été trouvés que les stimuli soient définis par la luminance ou la couleur. Nos résultats suggèrent donc, si nous voulons les relier aux voies parvo et magno, qu'une voie n'est pas plus affectée que l'autre, du moins jusqu'au cortex visuel primaire. Nos résultats supportent ceux obtenus par Fiorentini, Porciatti, Morrone et Burr (1996), pour les potentiels évoqués visuels. Leurs résultats n'indiquaient pas de déclin spécifique à l'une ou l'autre des voies.

En ce qui a trait à la condition inter-attributs, c'est-à-dire quand les deux stimuli à comparer dans le temps étaient définis par deux attributs différents, soit un par la luminance et l'autre par la couleur, les seuils obtenus étaient plus élevés que dans les conditions intra-attribut et ce, tant pour les jeunes que pour les sujets âgés. Toutefois, l'augmentation des seuils dans cette condition chez

les sujets âgés était plus importante que chez les sujets jeunes. En effet, les seuils des sujets âgés dans les situations intra-attribut étaient environ une fois et demie plus élevés que ceux des sujets jeunes, par contre, ils étaient environ deux fois ceux des sujets jeunes dans la condition inter-attributs, tel qu'illustré à la figure 3.3 au troisième chapitre. En général, l'élévation des seuils dans la condition inter-attributs s'explique par une augmentation des ressources de traitement ou par la complexité de la tâche. Physiologiquement, le traitement inter-attributs requiert plus de neurones puisque les deux mécanismes responsables du traitement de la couleur et de la luminance sont nécessaires à la réalisation de cette tâche. Nos résultats appuient la notion que ces deux attributs sont traités en parallèle, tel que démontré, entre autres, par Cavanagh et Favreau (1981).

Le fait que les sujets âgés aient une plus grande élévation de seuils dans cette condition par rapport aux jeunes démontrent qu'ils sont plus affectés dans cette tâche. D'autres études en perception visuelle ont également montré ce genre de déficit chez les sujets âgés. Par exemple, Habak et Faubert (1999) ont démontré que les seuils de discrimination de mouvement de premier ordre ainsi que de deuxième ordre étaient plus élevés chez les personnes âgées. Tout comme dans notre étude, la différence observée entre les seuils obtenus chez les sujets jeunes et âgés différaient, dépendamment de la condition. La différence de seuil était beaucoup plus importante pour le mouvement de deuxième ordre. Nous proposons que cette augmentation non-uniforme est due à la complexité de la tâche et à l'augmentation des ressources de traitement. Comme les sujets âgés ont hypothétiquement moins de ressources disponibles que les jeunes, une tâche nécessitant plus de ressources affecte d'autant plus leur performance que celle d'un sujet jeune.

Avant de conclure sur la MVCT et le vieillissement, nous devons discuter d'un point soulevé par Salthouse, Hancock, Meinz et Hambrick (1996). Ces auteurs ont proposé que les différences cognitives reliées à l'âge sont le produit d'un facteur général qui affecte une réduction globale du système nerveux. Selon leur hypothèse, des déficits en MCT ne se produiraient pas indépendamment des déficits sensoriels. En d'autres termes, tous les systèmes sont affectés en même temps. En ce qui a trait à la vision, ceci se traduirait par un déclin de la MCT seulement chez les sujets présentant des déficits visuels. Dans notre étude, comme un critère de sélection est une bonne vision (acuité visuelle de 20/25 ou plus), nos sujets ne présenteraient pas de déficits en MVCT. Toutefois, un déficit visuel se traduit par un encodage inadéquat d'une stimulation visuelle et un encodage inadéquat implique un mauvais rappel. Il est impossible dans ces situations de dissocier si c'est la MCT qui est affectée et-ou la perception. Pour étudier la rétention visuelle dans le vieillissement normal, il est donc important de s'assurer que les sujets ont une perception visuelle normale.

En résumé, nos résultats suggèrent que la rétention en MVCT pour les stimuli de bas niveau définis par la luminance ou la couleur n'est pas affectée dans le vieillissement. On observe plutôt des déficits perceptifs qui peuvent, lorsqu'ils ne sont pas contrôlés, affecter la performance de la MVCT. Les effets de masque en MVCT s'ils existent, sont négligeables, surtout chez les sujets âgés. De plus, il ne semble pas y avoir de déclin spécifique d'un mécanisme de traitement de la couleur ou de la luminance. Les sujets âgés, toutefois, ont plus de difficulté à réaliser des tâches qui nécessitent les deux mécanismes, probablement à cause de la baisse des ressources de traitement qui accompagnent le vieillissement.

Chapitre 5

Conclusion et nouvelles avenues

L'information visuelle, du moins celle de bas niveaux, semble bien maintenue en MVCT dans le vieillissement. Nous croyons que cette MVCT serait l'équivalent d'un système esclave de tampon sensoriel dans le modèle de mémoire de travail. Nos études suggèrent que ce tampon sensoriel chez la personne âgée n'est pas affecté. Les difficultés de mémoire de travail en modalité visuelle, si elles existent, doivent donc être présentes soit lorsque les stimuli sont plus complexes (de plus haut niveau) ou dans les tâches qui requièrent la manipulation ou la transformation des stimuli. Dans nos études, les stimuli étaient de bas niveau et la tâche était passive. Afin, d'augmenter la complexité du stimulus, et par ce fait augmenter les ressources de traitement nécessaires à l'encodage, des stimuli définis par deux attributs, tels que moitié luminance et moitié couleur, pourraient être utilisés. Cette étude différerait de notre étude précédente puisque dans notre étude les deux attributs étaient traités successivement tandis que dans l'étude proposée les deux attributs seraient traités simultanément. Un traitement simultané augmenterait les ressources de traitement nécessaires. Bien que la complexité serait augmentée, ce genre de tâche ne ferait pas appel à une manipulation de l'information hypothétiquement exécutée par l'administrateur central. Pour vraiment faire appel à l'administrateur central en modalité visuelle, une transformation des stimuli après l'encodage serait nécessaire. Une étude possible consisterait, par exemple, à faire additionner perceptivement par les sujets deux fréquences spatiales, tout en effectuant une tâche de discrimination de fréquence en MCT. Ces études

exploreraient davantage les mécanismes et déficits possibles de la MVCT dans le vieillissement.

Bibliographie

Adams, A.J., Wong, L.S., Wong, L. & Gould, B. (1988). Visual acuity changes with age: Some new perspectives. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 65, 403-406.

Ahmad, A. & Spear, P.D. (1993). Effects of aging on the size, density, and number of rhesus monkey lateral geniculate neurons. *Journal of Comparative Neurology*, 334 (4), 631-643.

Allen, P.A., Groth, K.E., Weber, T.A. & Madden, D.J. (1993). Influence of response selection and noise similarity on age differences in redundancy gain. *Journal of Gerontology: Psychological sciences*, 48, 189-198.

Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Oxford university Press.

Baddeley, A. (1992). *Working memory*. *Science*, 255, 556-559.

Baddeley, A. D. & Hitch, G. (1974). *Working memory*. In G. Bower (Ed.) *The psychology of learning and motivation*, VIII (47-89). New York: Academic Press.

Baizer, J.S., Desimone, R., & Ungerleider, L.G. (1993). Comparison of subcortical connections of inferior temporal and posterior parietal cortex in monkeys. *Visual Neuroscience*, 10(1), 59-72.

Ball, K. & Owsley C. (1993) The useful field of view test: a new technique for evaluating age-related declines in visual function. *Journal of the American Optometry Association*, 64(1):71-9

Ball, K., Owsley, C., Sloane, M.E., Roenker, D.L. & Bruni, J.R. (1993). Visual attention problems as a predictor of vehicle crashes in older drivers. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 34, 3110-3123.

Ball, K. & Sekuler, R. (1986). Improving visual perception in older observers. *Journal of Gerontology*, 41, 176-182.

Baracat, B., & Marquié, J.C. (1992). Age differences in sensitivity, response bias, and reaction time on a visual discrimination task. *Experimental Aging research*, 18, 59-66.

Beck, E.C., Dustman, R.E., & Schenkenberg, T. (1975). Life span changes in the electrical activity of the human brain as reflected in the cerebral evoked potential. In J.M. Ordy & K. Brizee (Eds). *Neurobiology of Aging*, New-York, Plenum Press.

Bellefeuille, A. & Faubert, J. (1999). Retention of spatial frequency information in visual short-term memory: older vs younger subjects. Submitted to *Vision Research*.

Bennett, P.J. & Cortese, F. (1996). Masking of spatial frequency in visual memory depends on distal, not retinal frequency. *Vision Research*, 36 (2), 233-238.

Benton, A.L. & Hécaen, N. H. (1970). Stereoscopic vision in patients with unilateral cerebral damage. *Neurology*, 20, 1084-1088.

Bilodeau, L., Bellefeuille, A. & Faubert, J. (1998). Visual short-term memory for luminance and color defined stimuli: lack of masking effect. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 39, S259.

Bilodeau, L. & Faubert, J. (1999). Global motion cues and chromatic mechanisms. *Journal of the Optical Society of America A*, 16, 1-5.

Birren, J. E. & Schaie, K.W. (1988). *Handbook of the psychology of aging* fourth edition, Academic Press.

Blake, R. & Fox, R. (1973). The psychophysical inquiry into binocular summation. *Perception and Psychophysics*, 14, 161-185.

Blake, R, Sloane, M.E. & Fox, R. (1981). Further development in binocular summation. *Perception and Psychophysics*, 30, 266-276.

Bobalk, P., Bodis-Wollner, I., Guillory, S. & anderson, R. (1989). Aging differentially delays visual evoked potentials to checks and gratings. *Clinical Vision Science*, 4, 269-274.

Brody, H. (1955). Organization of the cerebral cortex III: A study of aging in the cerebral cortex. *Journal of comparative neurology*, 102, 511-556.

Brody, H. (1976). An examination of cerebral cortex and brainstem in aging. In R.D. Terry & S. Gershon (Eds). *Neurobiology of aging*. Raven Press, New York.

Bullier, J. & Nowak, L.G. (1995). Parallel versus serial processing: new vistas on the distributed organization of the visual system. *Current Opinion in Biology*, 5, 497-503.

Casagrande, V.A. & Norton, T.T. (1991). Lateral geniculate nucleus: A review of its physiology and function. In A.G. Lennerstrand (Ed.). *Vision and Visual Dysfunction: The neural basis of visual function* (pp. 41-84). London: Macmillan Press.

Cavanagh, P. (1988). Pathways in early vision. In Z. Pylyshyn (Ed.) *Computational processes in human vision: an interdisciplinary perspective* (pp.245-289). Norwood, NJ: Ablex.

Cavanagh, P., Arguin, M & Treisman, A. (1990). Effect of surface medium on visual search for orientation and size features. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 16, 3, 479-491.

Cavanagh, P., Saida, S. & Rivest, J. (1995). The contribution of color to depth perceived from motion parallax. *Vision Research*, 35, 1871-1878.

Celesia, G.G., Kaufman, D. & Cone, S. (1987). Electroencephalogram and Clinical neurophysiology, 68 (3), 161-171.

Cheng, k., Hasegawa, T., Saleem, K.S. & Tanaka, K. (1994). Comparison of neuronal selectivity for stimulus speed, length, and contrast in prestriate visual cortical areas V4 and MT of the macaque monkey. *Journal of Neurophysiology*, 71, 2269-2280.

Cherry, K.E., Park, D.C. & Donaldson, H. (1993). Adult age differences in spatial memory: Effect of structural context and practice. *Experimental Aging Research*, 19, 333-350.

Cotman, C.W. & Peterson, C. (1989). Aging and the nervous system. In G.J. Siegel, B. Agranoff, R.W. Alberts and P. Molinoff, (Eds.). *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical aspects*, 4th edition. (pp.523-540). Raven press, New York.

- Craik, F.I.M. & Jennings, J.M. (1992). Human Memory. In F.I.M. Craik and T.A. Salhouse (Eds). *The handbook of aging and cognition*, pp51-110. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, N.J.
- Crassini, B., Brown, B. & Bowman, K. (1988). Age-related changes in contrast sensitivity in central and peripheral retina. *Perception*, 17, 315-332.
- Croner, L.J. & Kaplan, E. (1995). Receptive fields of P and M ganglion cells across the primate retina. *Vision Research*, 35(1), 7-24.
- Crook, T.H. & Larrabee, G.J. (1992). Changes in facial recognition memory across the adult lifespan. *Journal of the Gerontology: Psychological Sciences*, 47B, 138-141.
- Cursio, C. A. & Crucker, D.N. (1993). Retinal ganglion cells in Alzheimer's disease and aging. *Annals of Neurology*, 33(3), 248-257.
- Damasio, A., Yamada, T., Damasio, H., Corbett, J. & McKee, J. (1980). Central achromatopsia: Behavioural, anatomic, and physiologic aspects. *Neurology*, 30, 1064-1071.
- De Valois, R.L., Albrecht, D.G. et Thorell, L. (1978). Cortical cells: Bar detectors or spatial frequency filters?. Dans S.J. Cool & E.L. Smith (ed). *Frontiers in visual science*. Berlin: Springer-Verlag.
- Debbey, N.W., Dew, J.R., & Kihlström, J.F. (1992). An adult developmental study of encoding of spatial information. *Experimental Aging Research*, 18, 25-32.
- Devaney, K.O. & Johnson, H.A. (1980). Neuron loss in the aging visual cortex of man. *Journal of Gerontology*, 35, 836-841.
- Dobbs, A.R. & Rule, B.J. (1989). Adult age differences in working memory. *Psychology of Aging*, 4, 500-503.
- Elliott, D. B., Whitaker, D., & MacVeigh, D. (1990). Neural contribution to spatiotemporal contrast sensitivity decline in healthy ageing eyes. *Vision Research*, 30, 541-547.
- Fahle, M. & Daum, I. (1997). Visual learning and memory as functions of age. *Neuropsychologia*, 35, 1583-1589.

- Fahle, M. & Harris, J.P. (1992). Visual memory for vernier offsets. *Vision Research*, 32, 1033-1042.
- Faubert, J. (1991). Effect of target size, temporal frequency and luminance on temporal modulation visual fields. *Perimetry: Update 1990/1991*, Amsterdam/New YorkKugler. pp. 381-390.
- Faubert, J. (1994). Seeing depth in colour: more than just what meets the eyes. *Vision Research*, 34, 1165-1186.
- Faubert, J., & von Grünau, M. (1995) The role of two spatially distinct primers and attribute priming in motion induction. *Vision Research*. 35, 3119-3130.
- Faubert, J. & Sara, M. (1996). Effect of normal aging on the perception & retention of visual form. *Perception*, 25, 76.
- Favreau, O. E. & Cavanagh, P. (1981). Color and Luminance: Independent frequency shifts. *Science*, 212, 831-832.
- Fiorentini, A., Porciatti, V., Morrone, M.C. & Burr, D. C. (1996). Visual Ageing: unspecific decline of the response to luminance and colour. *Vision Research*, 36, 3557-3566.
- Foos, P.W. (1989). Adult age differences in working memory. *Psychology and Aging*, 4(3), 269-275.
- Foos, P.W. & Wright, L. (1992). Adult age differences in the storage of information in working memory. *Experimental Aging Research*, 18(1-2), 51-57.
- Fozard, J.L. (1990). Vision and Hearing in Aging. Dans J.E. Birren & K.W. Schaie. *Handbook of the Psychology of Aging*, (pp.150-182). Academic Press.
- Frieske, D.A. & Park, D.C. (1993). Effects of organization and working memory on age differences in memory for scene information. *Experimental Aging Research*, 19, 321-332.
- Fylan, F., Holliday, I.E., Singh, K.D., Anderson, S.J. & Harding, G.F.A. (1995). Evoked magnetic responses to chromatic and luminance patterns differ in area V1 in humans. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 36(4), 1053.

Gao, H. & Hollyfield, J.G. (1992). Aging of the human retina- differential loss of neurons and retinal pigment epithelial cells. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 33, 1-17.

Gazzaley, A.H., Thakler, M.M., Hof, P.R., & Morrison, J.H. (1997). Preserved number of entorhinal cortex layer II neurons in aged macaque monkeys. *Neurobiology of ageing*, 18, 549-553.

Gittings, N.S. & Fozard, J.L. (1986). Age changes in visual acuity. *Experimental Gerontology*, 21, 423-434.

Grady, C. L., Haxby, J.V., Horwitz, B., Schapiro, M.B., Rapoport, S.I., Ungerleider, L.G., Mishkin, M., Carson, R.E. & Herscovitch, P. (1991). Dissociation of object and spatial vision in human extrastriate cortex: Age-related changes in activation of cerebral blood flow measured with [¹⁵O]water and positron emission tomography. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4, 23-34.

Gregory, R. L. (1977). Vision with isoluminant colour contrast: A projection technique and observations. *Perception*, 6, 113-119.

Habak, C. & Faubert, J. (1999). Normal aging preferentially affects second order processing. *Vision Research*, In revision.

Haug, H., Kuhl, S., Mecke, E., Sass, N.L. & Wasner, K. (1984). The significance of morphometric procedures in the investigation of age changes in cytoarchitectonic structures of human brain. *Journal für Hirnforschung*, 25, 353-374.

Harpur, L.L., Scialfa, C.T. & Thomas, D.M. (1995). Age differences in feature search as a function of exposure duration. *Experimental Aging research*, 21, 1-15.

Harvey, L.D. (1986). Visual Memory: What is remembered?. In F. Klix & H. Hagendorf (Eds), *Human memory and cognitive abilities, Mechanisms and Performances*, 173-187. North-Holland: Elsevier.

Haxby, J.V., Grady, C. L., Horwitz, B., Ungerleider, L.G., Mishkin, M., Carson, R.E., Herscovitch, P., Schapiro, M.B. & Rapoport, S.I., (1991). Dissociation of spatial and object visual processing pathways in human extrastriate cortex. *Proceedings of the National Academy of Science*, 88, 1621-1625.

- Hess, R.H., Baker, C.L. & Zihl, J. (1989) The "motion-blind" patient: Low level spatial and temporal filters. *Journal of Neuroscience*, 9, 1628-1640.
- Heywood, C.A., Gadotti, A. & Cowey, A. (1992). Cortical area V4 and its role in the perception of color. *Journal of neuroscience*, 12, 4056-4065.
- Hole, G. J. (1996). Decay and interference effects in visuospatial short-term memory. *Perception*, 25, 53-64.
- Huaman, A.G. & Sharpe, J.A. (1993). Vertical saccades in senescence. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 34, 2588-2595.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1977). Functional architecture of macaque monkey visual cortex. *Proceedings of the Royal society of London*, 198, 1-59.
- Humphreys, G.W. & Bruce, V. (1989). *Visual Cognition. Computational, Experimental and Neuropsychological Perspectives*. London: Lawrence Erlbaum Associates inc.
- Ishimaru, H., Ogawa, S., Fugi, K, Fukuta, T., Kameyama, T. & Nabeshima, T. (1991). Age-related changes in learning and memory, choline acetyltransferase activity and number of neuronal cells in rats. *Journal of Pharmacobio-dynamics*, 14, 321-325.
- Jonides, J & Smith E.E. (1997). The architecture of working memory. In *Cognitive Neuroscience*, Michael D. Rugg (ed.), 243-276. The MIT Press, Cambridge, Massachussets.
- Julesz, B. (1971). *Foundations of cyclopean perception*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kline, D.W., Culham, J., Bartel, P. & Lynk, L. (1994). Aging and hyperacuity thresholds as a function of contrast and oscillation rate. *Canadian psychology*, 35(2a), 14.
- Kline, D.W. & Scialfa C.T. (1996). Visual and auditory aging. In J. E. Birren & K.W. Schaie (Editors), *Handbook of the psychology of aging fourth edition*, (pp.181-203), Academic Press Inc.
- Lachica, E.A., Beck, P.D. & Casagrande, V.A. (1992). Parallel pathways in macaque monkey striate cortex: anatomically defined columns in layer III. *Proceeding of the national academy of science*, 89, 3566-3570

- Lachica, E.A., Beck, P.D. & Casagrande, V.A. (1993). Intrinsic connections of layer III of striate cortex in squirrel monkey and bush baby: correlations with patterns of cytochrome oxidase. *Journal of comparative neurology*, 329, 163-187.
- Lages, M., & Treisman, M. (1998). Spatial discrimination: Visual long-term memory or criterion setting?. *Vision Research*, 38, 557-572.
- Lakshminarayanan, V., Aziz, S. & Enoch, J.M. (1992). Variation of the hyperacuity gap function with age. *Optometry and Vision Science*, 69, 423-426.
- Latham, K. & Barrett, B.T. (1998). No effect of age on spatial interval discrimination as a function of eccentricity or separation. *Current Eye Research*, 17, 1010-1017.
- Leat, S.J. & Millodot, M. (1990). Contrast discrimination in normal and impaired human vision. *Clinical vision sciences*, 5, 37-43.
- Lee, B., & Harris, J. (1996). Contrast transfer characteristics of visual short-term memory. *Vision Research*, 36, 2159-2166.
- Lennie, P. (1998). Single units and visual cortical organization. *Perception*, 27(8), 889-935.
- Leuba, G. & Garer, L.J., (1987). Evolution of neuronal numerical density in the developing and aging human visual cortex. *Human Neurobiology*, 6, 11-18.
- Lindenberger, U & Baltes, P.B. (1994). Sensory functioning and intelligence in old age: a strong connection. *Psychology of Aging*, 9 (3), 339-355.
- Lipman, P.D. & Caplan, L.J. (1992). Adult age differences in memory for routes: effects of instruction and spatial diagram. *Psychology and Aging*, 7(3), 435-442.
- Livingstone, M & Hubel, D. (1987). Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement and depth. *Journal of Neuroscience*, 7, 3416-3468.
- Livingstone, M & Hubel, D. (1988). Segregation of form, Color, Movement and Depth: Anatomy, Physiology, and Perception. *Science*, 240, 740-749.

Leventhal, G.A., Rodieck, R.W., Dreher, B. (1981). Retinal ganglion cell classes in cat and Old World monkey: Morphology and central projections. *Science*, 213, 1139-1142.

Luck, S.J. & Vogel, E.K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390, 279-281.

Lynch, J.J., Silveira, L.C. L., Perry, V.H. & Merigan, W.H. (1992). Visual effects of damage to P-ganglion cells in macaques. *Visual neuroscience*, 8, 575-583.

Madden, D.J. (1992). Selective attention and visual search: Revision of an allocation model and application to age differences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 821-836.

Magnussen, S., Greenlee, M.W., Asplund, R. & Dymes, S. (1991). Stimulus-specific mechanisms of visual short-term memory. *Vision Research*, 31 (7-8), 1213-1219

Magnussen, S., & Greenlee, M.W. (1992). Retention and disruption of motion information in visual short-term memory. *Journal of experimental psychology: Learning, memory and cognition*, 2, 151-156.

Magnussen, S., Greenlee, M.W., Asplund, R. & Dymes, S. (1990). Perfect visual short-term memory for periodic patterns. *European journal of cognitive psychology*, 2 (4), 345-362.

Magnussen, S., Greenlee, M.W., & Thomas, J. P. (1996). Parallel processing in visual short-term memory. *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 22, 202-212.

Maunsell, J.H.R. & Newsome, W.T. (1985). Visual processing in monkey extrastriate cortex. *Annual review of neuroscience*, 10, 363-401.

McGeer, P.L., McGeer, E.G., Suzuki, J.S. (1977). Aging and extrapyramidal function. *Archives of Neurology*. 34, 33-35.

McIntosh, A.R., Sekuler, A.B., Penpeci, C., Rajah, M.N., Bennett, P.J., Grady, C.L. & Sekuler, R. (1998). Neural systems of visual memory in young and old observers. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 39, S862.

- Merigan, W.H., & Eskin, T.A. (1986). Spatio-temporal vision of macaques with severe loss of Pb retinal ganglion cells. *Vision Research* 26, 1751-1761.
- Merigan, W.H., & Maunsell, J.H.R. (1990). Macaque vision after magnocellular lateral geniculate lesions. *Visual neuroscience*, 5, 347-352.
- Merigan, W.H., Katz, L.M., & Maunsell, J.H.R. (1991). The effects of parvocellular lateral geniculus lesions on the acuity and contrast sensitivity of macaque monkeys. *Journal of Neuroscience*, 11, 994-1001.
- Mestre, D., Blin, O., Serratrice, G. & Pailhous, J. (1990). Spatio-temporal contrast sensitivity differs in normal aging and Parkinson's disease. *Neurology*, 40, 1710-1714.
- Monnier, C. & Roulin, J. L. (1994). A la recherche du calepin visuo-spatial en mémoire de travail. *L'Année Psychologique*, 94, 425-460.
- Morrow, M.J. & Sharpe, J.A. (1993). Smooth pursuit initiation in young and elderly observers. *Vision research*, 33, 203-210.
- Miyashita, Y., & Chang, H.S. (1988). Neuronal correlate of pictorial short-term memory in the primate temporal cortex. *Nature*, 331 (7), 68-70.
- Nakagawa, S. & Tanaka, S. (1984). Retinal projections to the pulvinar nucleus of the macaque monkey: a re-investigation using autoradiography. *Experimental Brain Research*, 57(1), 151-157.
- Nguyen-Tri, D., Overbury, O. & Faubert, J. (1999). Colour vision in normal and pseudophakic observers: Chromatic motion processing is spared with aging. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 40, S412.
- Olzak, L.A & Thomas, J.P. (1986). Seeing spatial patterns. In H.R. Boff, K. Kaufman, & J.P. Thomas. *Handbook of Perception and Human Performance*, (pp. 7, 1-56). New-York, Toronto: Wiley interscience Publication.
- Ordy, J.M., Wengenack, T.M. & Dunlap, W.P. (1991). Visual acuity, aging, and environmental interactions: A neuroscience perspective. In D. Armstrong, M.F. Marmor & J.M. Ordy (Eds). *The effects of aging and environment on vision*, (pp. 13-19). New York: Plenum Press.

Owsley C., Ball K., McGwin G. Jr, Sloane M.E., Roenker D.L., White M.F., Overley E.T. (1998). Visual processing impairment and risk of motor vehicle crash among older adults. *JAMA* 8;279(14):1083-8.

Owsley C., Sekuler R., Siemsen D. (1983). Contrast sensitivity throughout adulthood. *Vision Research*, 23 (7), 689-699.

Owsley, C., Sloane, M.E., Shalka, H.W. & Jackson, C.A. (1990). A comparison of the Regan low-contrast letter charts and contrast sensitivity testing in older patients. *Clinical vision Science*, 5, 325-334.

Owsley, C. & Sloane, M.E. (1988). Vision and aging. In F. Boller & J. Grafman (Ed.). *Handbook of Neuropsychology*, vol. 4, (pp.229-249). Amsterdam, Elsevier.

Pasternak, T. & Merigan, W.H. (1994). Motion perception following brain lesions of the superior temporal sulcus in the monkey. *Cerebral Cortex*, 4, 247-259.

Perry, V.H. & Cowey, A. (1984). Retinal ganglion cells that project to the superior colliculus and pretectum in the macaque monkey. *Neuroscience*, 12(4), 1125-1137.

Peters, A., Leahu, D., Moss, M.B., & Mc Nally, K. J. (1994). The effects of aging on area 46 of the frontal cortex of the rhesus monkey. *Cerebral Cortex*, 6, 621-635.

Peters, A., Rosene, D.L., Moss, M.B., Kemper, T.L., Abraham, C.R., Tigges, J. & Albert, M.S. (1996). Neurobiological bases of age-related cognitive decline in rhesus monkey. *Journal of Neuropathology and Experimental Neurology*, 55, 861-874.

Phillips, W.A. (1974). On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Perception and Psychophysics*, 16(2), 283-290.

Phillips, W.A. & Baddeley, A. (1971). Reaction time and short-term memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B*. 302, 295-309.

Pitts, D. G. (1982). The effects of aging on selected visual functions: Dark adaptation, visual acuity, stereopsis and brightness contrast. In R. Sekuler, D. Kline, & K. Dismukes (Eds), *Aging and human visual function* (pp.131-159). New York: Liss.

- Poggio, G.F. et Poggio, T. (1984). The analysis of stereopsis. *Annual review of Neuroscience*, 7, 379-412.
- Poggio, G.F & Albot, W.H. (1981). Mechanisms of static and dynamic stereopsis in foveal cortex of rhesus monkey. *Journal of Physiology*, 315, 469-492.
- Porciatti, V., Fiorentini, A., Morrone, M.C. & Burr, D. C. (1999). The effects of ageing on reaction times to motion onset. *Vision Research*, 30, 2157-2164.
- Porciatti, V., Burr, D. C., Morrone, M.C. & Fiorentini, A. (1992). The effects of ageing on the pattern electroretinogram and visual evoked potentials in humans. *Vision Research*, 32 (7), 1199-1209.
- Porciatti, V., Falsini, B., Scalia, G., Fadda, A. & Fonatnesi, G. (1988). The pattern electroretinogram by skin electrode: effects of spatial frequency and age. *Documental Ophthalmologica*, 70(1), 117-122.
- Rabbitt, P.M.A. (1965). An age decrement in the ability to ignore irrelevant information. *Journal of gerontology*, 20, 233-237.
- Regan D. (1985). Storage of spatial-frequency information and spatial-frequency discrimination. *Journal of the Optical Society of America*, 2 (4), 619-621.
- Regan, D., Giaschi, D., Sharpe, J.A., & Hong, X.H. (1992). Visual processing of motion-defined form: selective failure in patients with parietotemporal lesions. *Journal of Neuroscience*, 12(6), 2198-2210.
- Rivest, J. & Cavanagh, P. (1996). Localizing contours defined by more than one attribute. *Vision Research*, 36, 53-66.
- Rivest, J., Boutet, I. & Intriligator, PJ (1997). Perceptual learning of orientation discrimination by more than one attribute. *Vision Research*, 37, 273-281.
- Rizzo, M., Nawrot, M., Blake, R. & Damasio, A. (1992). A human visual disorder resembling area V4 dysfunction in the monkey. *Neurology*, 42. 1175-1180.
- Roland, P.E. & Gulyás, B (1994). Visual imagery and visual representation. *Trends in neuroscience*, 17 (7), 281-287.

- Rovamo, J., Hyvärinen, L. & Hari, R. (1982). Human vision without luminance-contrast system: selective recovery of the red-green colour-contrast system from acquired blindness. *Documenta Ophthalmologica Proceedings series*, 33, 457-468.
- Rubin, H. (1997). Cell ageing in vivo and in vitro. *Mechanism of Ageing and Development*, 98, 1.
- Ryan, E. B. (1992). Beliefs about memory changes across the adult life span. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 47, 41-61.
- Sara, M. & Faubert, J. (1999). Aging, perception, and visual short-term memory for luminance defined form. *Ophthalmic & Physiological Optics*, In Press.
- Salthouse, T.A. (1976). Age and tachistoscopic perception. *Experimental aging research*, 2, 91-103.
- Salthouse, T.A. (1990). Working memory as a processing resource in cognitive aging. *Developmental review*, 10, 101-124.
- Salthouse, T.A., Hancock, H.E., Meinz, E.J. & Hambrick, D. Z. (1996). Interrelations of age, visual acuity and cognitive functioning. *Journal of the Gerontology: Psychological Sciences*, 51B (6), 317-330.
- Sara, M. & Faubert, J. (1997). Simultaneous size discriminations for visual stimuli are selectively affected by aging. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 38, S67.
- Satorre, J., Cano, J., & Reinoso-Suarez, F. (1985). Stability of the neuronal population of the dorsal lateral geniculate nucleus (LGNd) of aged rats. *Brain Research*, 339, 375-377.
- Schiller, P.H. (1993). The effects of V4 and middle temporal (MT) lesions on visual performances in the rhesus monkey. *Visual Neuroscience*, 10, 717-746.
- Schiller, P.H. & Colby, C.L. (1983). The responses of single cells in the lateral geniculate nucleus of the rhesus monkey to colour and luminance contrast. *Vision Research*, 23, 1631-1641.
- Schiller, P.H., Logothetis, N.K. & Charles, E.R. (1990a). Role of the color-opponent and broad-band channels in vision. *Visual neuroscience*, 5, 321-326.

Schiller, P.H., Logothesis, N.K. & Charles, E.R. (1990b). Functions of the color-opponent and broad-band channels of the visual system. *Nature*, 343, 68-70.

Scialfa, C.T. & Kline, D.W. (1988). Effects of noise type and retinal eccentricity on age differences in identification and localization. *Journal of Gerontology: Psychological sciences*, 43, 91-99.

Scialfa, C.T. & Thomas, D.M. (1994). Age differences in same-different judgments as a function of multi-dimensional similarity. *Journal of Gerontology: Psychological sciences*, 49, 173-178.

Sekuler, R. & Ball, K. (1986). Visual localization: age and practice. *Journal of the Optical society of America A*, 3, 864-867.

Siegel, R.M. & Anderson, R.A. (1986). Motion perceptual deficits following ibitenic acid lesions of the middle temporal area (MT) in the behaving monkey. *Society for Neuroscience abstracts*, 12, 1183.

Sleight, W.E. (1991). Visual environmental impairment scan (V.E.I.S.). In D. Armstrong, M.F. Marmor & J.M. Ordy (Eds). *The effects of aging and environment on vision*, (pp. 13-19). New York: Plenum Press.

Sloane, M.E., Owsley, C. & Alvarez, S.L. (1988). Aging, senile miosis and spatial contrast sensitivity at low luminance. *Vision research*, 28, 1235-1246.

Smith, A.D. (1996). Memory. In J. E. Birren & K.W. Schaie (Editors), *Handbook of the psychology of aging fourth edition*, (pp.181-203), Academic Press Inc.

Smith, A.D., Park, D.C., Cherry, K. & Berkovsky, K. (1990). Age differences in memory for concrete and abstract pictures. *Journal of the Gerontology: Psychological Sciences*, 45B, 205-209.

Spear, P.D. (1993). Neural bases of visual deficits during aging. *Vision Research*, 33, 2589-2609.

Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs*, 74, 11.

- Steinman, S.B., Steinman, B.A., Trick, G. & Lehmkuhle, S. (1994). A sensory explanation for visual attention deficits in the elderly. *Optometry and Vision Science*, 71, 743-749.
- Sturr, J.F. & Hannon, D.J. (1991). Methods and models for specifying sites and mechanisms of sensitivity regulation in the aging visual system. In P. Bagnoli & W. Hodos (Eds), *The changing visual system* (pp.219-232). New York: Plenum Press.
- Thompson, P., Stone, R. & Walton, E. (1996). Short-term memory for speed. *Perception Abstracts*, 25 supplement, 34.
- Tomoda, H., Celesia, G.G., Brigell, M.G. & Toleikis, S. (1991). The effects of age on steady-state pattern electroretinograms and visual evoked potentials. *Documenta Ophthalmologica*, 77(3). 201-211.
- Treisman, A. (1988). Features and Objects: The Fourteenth Barlett Memorial Lecture. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40A (2), 201-237.
- Trick, G.L. & Silverman, S.E. (1991). Visual sensitivity to motion: age-related changes and deficits in senile dementia of the Alzheimer type. *Neurology*, 41, 1437-1440.
- Trick, G.L., Trick, L.R. & Haywood, K.M. (1986). Altered pattern evoked retinal and cortical potentials associated with human senescence. *Current Eye Research*, 5(10), 717-724.
- Tulunay-Keesey, U., ver Hoeve, J.N. & Terkla-McGrane, C. (1988). Threshold and suprathreshold spatiotemporal response throughout adulthood. *Journal of the Optical society of America A*, 5, 2191-2200.
- Tulving, E & Schacter, D. L. (1990). Priming and human memory systems. *Science*, 247, 303-306.
- Tyler, C.W. (1989). Two processes control variations in flicker sensitivity over the lifespan. *Journal of the Optical society of America A*, 6, 481-490.
- Ungerleider, L.G. & Miskin, M. (1982). Two cortical visual systems. dans D.J. Ingle, M.A. Goodale & R.J.W. Mansfield. *Analysis of visual behavior*. Cambridge Mass. MIT Press.

- Uttl, B. & Graf, P. (1993). Episodic spatial memory in adulthood. *Psychology and Aging*, 8, 257-273.
- Van der Linden, M. (1993). Le fonctionnement mnésique de la personne âgée. *Revue médicale de Liège*, XLVIII, 9-93.
- Van der Linden, M. & Hupert M. (1994). Le vieillissement cognitif. Presses Universitaires de France, Paris, 367 pp.
- Van essen, D.C., Anderson, C.H. & Felleman, D.J. (1992). Information processing in the primate visual system: an integrated systems perspective. *Science*, 255(5043), 419-431.
- Vincent, S.L., Peter, A. & Tigges, J. (1989). Effects of aging on neurons within area 17 of rhesus monkey cerebral cortex. *Anatomical Record*, 223, 329-341.
- Vogel, R. & Orban, G.A. (1986). Decision process in visual discrimination of line orientation. *Journal of Experimental psychology: Human perception and performance*, 12(2), 115-132.
- Von Der Heydt R., Peterhaus, E. & Dursteler, M.R. (1992). Periodic-pattern-selective cells in monkey visual cortex. *Journal of Neuroscience*, 12(4), 1416-1434.
- Von Grünau, M. & Faubert, J. (1994). Inter and Intra-attribute characteristics of attentional priming in motion induction. *Perception*. 23, 913-928.
- Waldemar, G., Hasselbalch, S.G., Andersen, A.R., Delecluse, F., Petersen, P., Johnsen, A. & Paulson, O.B. (1991). Tc-ppm-d, I-HMPAO and Spect of the brain of normal aging. *Journal of cerebral blood flow and Metabolism*, 11, 508-521.
- Warren, W.H., Blackwell, A.W. & Morris, M.W. (1989). Age differences in perceiving the direction of self-motion from optical flow. *Journal of Gerontology: Psychological sciences*, 44, 147-153.
- Weale, R.A. (1975). Senile changes in visual acuity. *Transactions of the Ophthalmological Society of the UK*, 95, 36-38.
- Weale, R.A. (1978). The eye and aging. *Interdisciplinary Topics in Gerontology*, 13, 1-13.

Weale, R.A. (1982). Senile ocular changes, cell death and vision. In R. Sekuler, D. Kline, & K. Dismukes (Eds), *Aging and human visual function* (pp.161-171). New York: Liss.

Weale, R.A. (1986). Senescence and Color Vision. *Journal of Gerontology*, 41, 635-640.

Weistheimer, G. (1975). Visual acuity and hyperacuity. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 14, 570-571.

Werner, J.S., Peterzell, D.H. & Scheetz, A.J. (1990). Light, Vision and Aging. *Optometry and Vision Science*, 67, 214-229.

West, M.J. (1993). Regionally specific loss of neurons in the aging human hippocampus. *Neurobiology of Aging*, 14, 287-293.

Whitaker, D., Elliott, D.B., & MacVeigh, D. (1992). Variations in hyperacuity performance with age. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 12, 29-32.

Wilson R.S., Bennett D. A., Swartzendruber A. (1997). Age-Related Change in Cognitive Function. In P.D. Nussbaum (Ed.), *Handbook of Neuropsychology of Aging* (pp.7-14).New York: Plenum Press.

Wingfield, A., Stine, E.L., Lahar, C.J. & Aberdeen, J.S. (1988). Does the capacity of working memory change with age? *Experimental Aging Research*, 14, 103-107.

Wright & Wormald (1992). Stereopsis and ageing. *Eye*, 6, 473-476.

Wright, C.E. & Drasco, N. (1985). The influence of age on the spatial and temporal contrast sensitivity function. *Documenta Ophthalmologica*, 59, 365-384.

Yang, K.C.H., Elliot, D.B. & Whitaker, D. (1993). Does log MAR VA change linearly with age?. *Investigative Ophthalmology & Visual science*, 34, 1422.

Yoshiaoka, T., Levitt, J.B., Lund , J.S. (1994). Independence and merger of thalamocortical channels within the macaque monkey primary visual cortex: anatomy and interlaminar projections. *Visual Neuroscience*, 11, 467-489.

Zeef, E.J. & Kok, A. (1993). Age related differences in the timing of stimulus and response processes during visual selective attention: Performance and

psychophysiological analyses. *Psychophysiology*, 30, 138-151

Zeki, S. M. (1980). The representation of colours in the cerebral cortex. *Nature*, 284, 412-418.

Zeki, S. M. (1977). Colour coding in the superior temporal sulcus of the rhesus monkey visual cortex. *Proceedings of the Royal Society of the Biological Sciences*, 197, 195-223.

Zeki, S., Watson, J.D., Lueck, C.J., Friston, K.J., Kennard, C. & Frackowiak, R.S. (1991). A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex. *Journal of Neuroscience*, 11(3), 641-649.

Zihl, J., von Cramon, D., Mai N. (1983). Selective disturbance of movement vision after bilateral brain damage. *Brain*, 106, 313-340.

Annexe

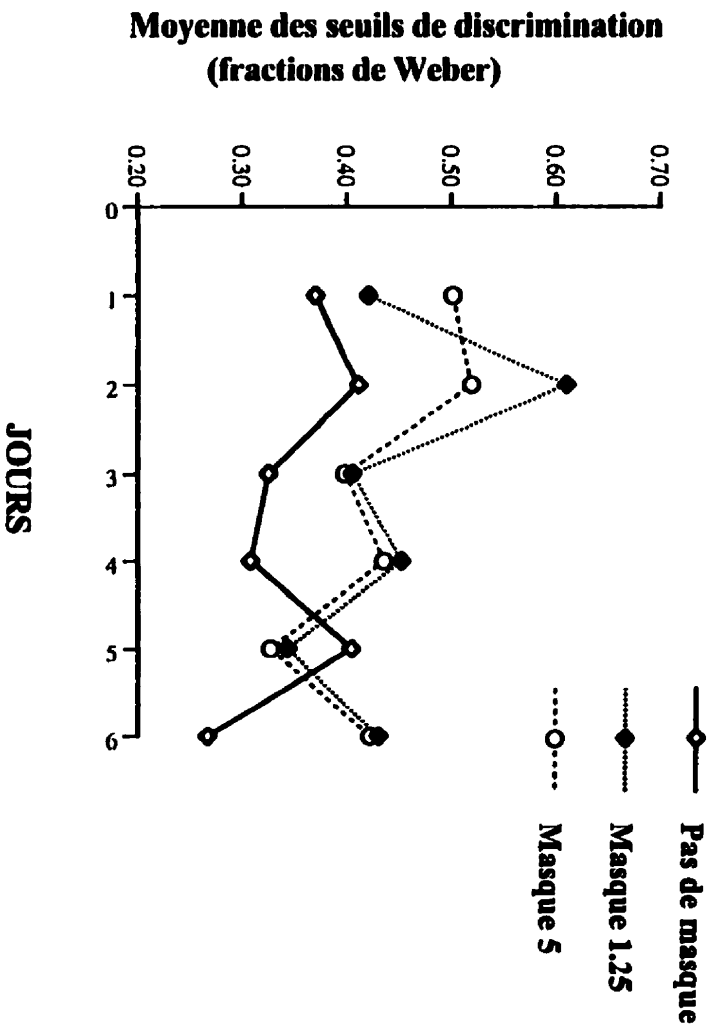


Figure A: Moyenne de seuils de discrimination obtenus chez 5 sujets pendant 6 jours.

Remerciements

Merci Jocelyn pour ta patience, ton soutien, tes conseils et tes critiques et aussi ta passion pour la science. J'ai aussi beaucoup apprécié ton enthousiasme et ta façon de vivre les événements. Le travail est toujours agréable avec toi.

Les remerciements vont également à tous les membres du laboratoire pour leur aide, leur temps, leur support et leurs réalisations techniques. Merci à Lynda, Vasile (qui sont là depuis le début), Michel et Claudine, pour votre amitié et générosité.

Merci à tous les membres de ma famille pour leur soutien durant toutes ces années et leurs nombreux services de gardiennage.

Enfin, merci à tous les sujets d'expérience pour leur assiduité, leur disponibilité et leur flexibilité.