

Etude des capacités en vision périphérique chez le sujet sain et contribution de la pathologie (maculopathies)

Miguel Thibaut

► **To cite this version:**

Miguel Thibaut. Etude des capacités en vision périphérique chez le sujet sain et contribution de la pathologie (maculopathies). Médecine humaine et pathologie. Université du Droit et de la Santé - Lille II, 2015. Français. <NNT : 2015LIL2S032>. <tel-01291654>

HAL Id: tel-01291654

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01291654>

Submitted on 21 Mar 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Université Droit et Santé, Lille 2

Ecole doctorale Biologie-Santé, Lille Nord de France

UFR Médecine

Laboratoire SCALab UMR CNRS 9193

Etude des capacités en vision périphérique chez le sujet sain et contribution de la pathologie (maculopathies)

Thèse présentée et soutenue en vue de l'obtention du titre de
Docteur de l'université de Lille 2 – Ecole Doctorale Biologie-Santé

Spécialité : Neurosciences

par Miguel Thibaut

Soutenue publiquement le 22 Septembre 2015 devant la commission d'examen

Membres du Jury :

Dr Carole Peyrin, Université Pierre Mendès-France, Grenoble (France)	Rapporteur
Pr Nicolas Poirel, Université Paris Descartes (Paris 5), Paris (France)	Rapporteur
Dr Mickael Crossland, Moorfields Eye Hospital, Londres (United-Kingdom)	Examineur
Pr Jean-François Rouland, Hôpital Claude Huriez, Lille (France)	Examineur
Dr Muriel Boucart, CNRS Université de droit et santé de Lille (Lille 2), Lille (France)	Directrice
Dr Thi-Ha-Chau Tran, Hôpital Saint-Vincent de Paul, Lille (France)	CoEncadrante

“ Science sans conscience n'est que ruine de l'âme. ” François Rabelais

” La connaissance s'acquiert par l'expérience, tout le reste n'est que de l'information.. ” Albert Einstein

“Je ne peux rien pour qui ne se pose pas de questions.” Confusius

“Etre conscient de son ignorance, c'est tendre vers la connaissance.” Benjamin Disraeli

“A la source de toute connaissance, il y a une idée, une pensée, puis l'expérience vient confirmer l'idée.” Claude Bernard

Remerciements

Je tiens à remercier Muriel Boucart ma directrice de thèse de m'avoir fait confiance en m'offrant l'opportunité de faire ma thèse au sein de son équipe. Merci Muriel pour ta très grande disponibilité, mais aussi pour tes conseils et ton soutien qui m'ont permis d'avancer ces trois dernières années. Merci de m'avoir offert la possibilité d'être formé aux côtés d'autres chercheurs, de participer à des congrès mais aussi de réaliser une partie de ma thèse à l'étranger. Tout cela m'a permis de voyager en France et à l'étranger, d'apprendre, mais surtout de m'ouvrir sur le plan scientifique et personnel.

Je souhaite également remercier le Dr Thi-Ha-Chau Tran, chef du service d'ophtalmologie adulte de l'hôpital Saint-Vincent de Paul de Lille, sans qui je n'aurai pas eu accès aux patients DMLA, qui constituent l'essentiel de mon travail. Merci également de m'avoir fait partager vos conseils et connaissances sur le plan clinique. Merci également au Dr Sabine Defoort et membres du service d'exploration de la vision et neuro-ophtalmologie de l'hôpital Roger Salengro de Lille, qui m'ont permis d'avoir accès à l'essentiel des patients atteints de la maladie de Stargardt que j'ai pu rencontrer.

Un très grand merci à Maria, Brigitte, Sandrine, Amélie, Claudie, Marion, Danielle, Dr Anne-Charlotte Jonville, Dr Daena Hobeika et le Dr Saïd Bouakaz membres (anciens et actuels) du service d'ophtalmologie du Dr Tran, qui m'ont épaulé, guidé, conseillé et soutenu durant cette thèse.

Je voudrais également remercier très chaleureusement le Dr Heidi Baseler de m'avoir accueillie pour travailler à ses côtés au sein de l'équipe vision du département de psychologie de l'université de York (Royaume-Uni). Merci d'avoir partagé votre expérience et de m'avoir tant appris sur l'IRMf. Merci également de m'avoir aidé à monter un projet, avec le Dr Karla Evans, pour vos conseils et votre gentillesse à toutes les deux. Je garde de très bons souvenirs de ce séjour passé au sein de votre équipe.

Je tiens à remercier l'ensemble des membres du jury, le Dr Carole Peyrin, le Pr Nicolas Poirel, le Dr Michael Crossland et le Pr Jean-François Rouland d'avoir accepté d'évaluer mes travaux de thèse.

Un grand merci tout particulier à l'ensemble des patients et des personnes ayant accepté de donner de leur temps pour participer aux expériences, sans eux rien n'aurait été possible.

Merci également aux membres du laboratoire pour leur accueil. Je pense tout particulièrement à Anny Wartel (Ancienne secrétaire du labo), Sébastien Szaffarczyk

(Ingénieur du labo) et Céline Delerue (Ancienne PostDoc) pour votre gentillesse, vos conseils, votre aide et votre soutien sans failles.

Je remercie ma mère qui par son soutien et sa confiance, m'a permis d'en arriver où j'en suis aujourd'hui. Merci également à ma sœur, mes neveux, mes amis et ma belle-famille de m'avoir soutenu et m'ont permis de garder le cap malgré les obstacles. J'ai une pensée toute particulière pour ma belle-mère, que je considère comme une deuxième mère et qui m'a toujours soutenu, toujours le sourire mais qui est malheureusement partie beaucoup trop tôt.

Enfin merci à toi qui partage ma vie, même si ça n'a pas toujours été facile pendant c'est trois ans, tu es là pour moi malgré les épreuves et tu me soutiens jusqu'au bout.

Publications sur les travaux de thèse:

➤ Publications :

Thibaut M, Tran THC, Delerue C & Boucart M. Misnaming a tennis racket as keys: scene and object identification in people with age-related macular degeneration (AMD). *Ophthalmic and physiol opt.* 2015; 35(3): 336-44.

Thibaut M, Tran THC, Szaffarczyk S & Boucart M. "The contribution of central and peripheral vision in scene categorization: A study on people with central vision loss." *Vis Res.* 2014; 98: 46-53.

Boucart M, Moroni C, Thibaut M, Szaffarczyk S & Greene M. "Scene categorization at large visual eccentricities". *Vis Res.* 2013; 86 : 35-42.

Boucart M, Delerue C, Thibaut M, Szaffarczyk S, Hayhoe M & TRAN THC. "Impact of central vision loss on daily life activities: a study with AMD patients". *Invest Ophthalmol Vis Sci.* (Sous-presse)

Thibaut M, Delerue C Boucart M & Tran THC. Visual exploration of objects and scenes in people with macular degeneration. *JFO* (Sous-presse)

Thibaut M, Baseler H & Evans K. Visual processing of objects and faces in the peripheral vision. (En preparation)

➤ Communications orales à des congrès internationaux :

Thibaut M, Tran THC & Boucart M. " Searching objects in panoramic scenes with a central scotoma: a study on AMD patients ". Conférence à ESLRR (European Society for Low Vision Research and Rehabilitation), le 27 septembre 2015 (Oxford, Royaume-Uni).

Boucart M, **Thibaut M** & Tran THC. "Object search in realistic panoramic conditions in people with central vision loss". Conférence invitée à ARVO (Association for Research in Vision and Ophthalmology) Low Vision Cross-sectional Group symposium, le 6 mai 2015 (Denver, USA).

➤ Communication orale à des congrès nationaux :

Thibaut M, Tran THC, Defoort S & Boucart M. "Capacités visuelles périphérique chez les sujets sains et atteints de maculopathie". CR-UCL, 27 mai 2015 (Lille, France).

➤ Communications affichées à des congrès internationaux :

Thibaut Miguel, Tran Thi-Ha-Chau, Delerue Céline, Boucart, Muriel. "Object and scene exploration with Stargardt Disease". Vision Science Society 2013, mai 2013 (Naples, Floride, USA).

Delerue Céline, Hayhoe Mary, **Thibaut Miguel**, Tran Thi-Ha-Chau, Boucart, Muriel. "Instrumental activities of daily life in individuals with central visual field loss". Vision Science Society 2013, mai 2013 (Naples, Floride, USA).

Thibaut Miguel, Delerue Céline, Tran Thi-Ha-Chau, Boucart, Muriel. "Object and scene exploration with Age-related Macular Degeneration (AMD)". 35th European Conference on Visual Perception, septembre 2012 (Alghero, Sardaigne, Italie).

Delerue Céline, **Thibaut Miguel**, Tran Thi-Ha-Chau, Boucart, Muriel. "Instrumental activities of daily life in Age-related Macular Degeneration (AMD)". 35th European Conference on Visual Perception, septembre 2012 (Alghero, Sardaigne, Italie).

Boucart Muriel, **Thibaut Miguel**, Moroni Christine, Greene Michelle and Szaflarczyk Sebastien. "Scene categorization at large visual eccentricities". 35th European Conference on Visual Perception, septembre 2012 (Alghero, Sardaigne, Italie).

Boucart Muriel, **Thibaut Miguel**, Tran Thi-Ha-Chau. "Object and scene perception in age-related macular degeneration". 34th European Conference on Visual Perception, septembre 2011 (Toulouse, France).

- Communications affichées à des congrès nationaux :

Thibaut Miguel, Tran Thi-Ha-Chau, Sabine Defoort & Boucart Muriel. "Peripheral visual capabilities in healthy subjects and patients with maculopathy". Prix CR-UCL, 27 mai 2015 (Lille, France).

Thibaut Miguel, Tran Thi-Ha-Chau, Sabine Defoort & Boucart Muriel. "Objects and scenes perception in maculopathies". 14ème Journée Andrée Verbert 2014, 11 septembre 2014 (Lille, France).

- Prix :

Premier prix de thèse CR-UCL, le 27/05/2015 Lille

Résumé :

Contrairement à la vision fovéale qui assure une perception détaillée de notre environnement visuelle, la périphérie ne permet qu'une vision globale. C'est pourquoi, nous bougeons nos yeux en permanence afin que l'image visuelle soit localisée sur la fovéa, où la résolution spatiale est la meilleure. Cependant, certaines pathologies sont à l'origine d'une perte de la vision centrale et provoquent de nombreuses difficultés dans la vie quotidienne notamment pour lire, conduire, identifier un visage, un objet ou encore naviguer dans l'espace. Contrairement à la lecture, peu d'études ont été réalisées sur la perception des objets et de l'espace dans ces maculopathies où ne persiste que la vision périphérique. Nous nous sommes intéressés à l'étude des capacités de la vision périphérique dans la perception des scènes et des objets.

Dans un premier temps, nous avons étudié les capacités de la vision périphérique chez le sujet sain. Nous avons montré qu'en dépit de sa faible résolution spatiale, il était possible de reconnaître des objets et des scènes même à grande excentricité.

Dans un second temps, nous nous sommes focalisés sur les effets de la perte de la vision centrale sur la reconnaissance des objets et des scènes. Nous montrons que l'absence de vision centrale induit une plus faible stabilité de fixation associée à un déficit marqué sur l'identification des objets et des scènes, ainsi que sur la recherche visuelle, notamment en condition d'encombrement.

Ces études contribuent à comprendre la contribution de la vision centrale et de la vision périphérique sur la reconnaissance des objets et des scènes mais aussi sur le rôle de l'information contextuelle et comment les patients ayant perdu la vision centrale perçoivent le monde réel.

Mots clé : Vision périphérique, objets, scènes, perception visuelle, maculopathie, DMLA, scotome central, exploration visuelle.

Abstract:

Unlike foveal vision that allows a detailed perception of our visual environment, the periphery only allows a coarse vision. This is why we have to move our eyes all the time in order to localize the image on the fovea, where spatial resolution is better. However, some diseases induce a loss of central vision and cause many difficulties in everyday life especially in reading, driving, face recognition and spatial cognition in general. Unlike word and face perception scene and object perception have had little investigations in maculopathies in which people have to rely on peripheral vision. This thesis is based on the study of the capabilities of peripheral vision in scenes and objects perception.

In the first part we studied scene perception at very large eccentricities in normally sighted young people. We show that, in spite of its low resolution, peripheral vision is efficient to recognize objects and scenes even at very large eccentricities (above 50°).

In the second part, we investigated on effects of central vision loss on object and scene perception in identification and visual search tasks on small or realistic panoramic displays. We report a series of experiments showing that central vision loss induced a lower fixation stability which had a strong impact on object and scene and on visual search, especially in crowded conditions.

These studies contribute to the understanding of the contribution of central and peripheral vision on object and scene gist recognition but also on the role of contextual information and how patients with central vision loss perceive real-world scenes.

Key words: Peripheral vision, objects, scenes, visual perception, maculopathy, AMD, central scotoma, visual exploration.

Table des matières :

Problématique	12
Partie 1 : Introduction	14
Chapitre 1 : Physiologie du système visuel	15
1.1 De l'œil au cortex visuel	15
1.1.1 La rétine	16
1.1.2 Voies et centres visuels extra-rétiniens	23
a. Les cibles du nerf optique	24
b. Cortex visuel et aires extra-striées	33
1.2 L'œil en mouvement	39
1.2.1 Les divers types de mouvements oculaires	39
a. Les mouvements d'orientation	39
b. Les mouvements de stabilisation	40
1.2.2 Neuroanatomie des mouvements oculaires	41
1.2.3 Attention et mouvements oculaires	43
Chapitre 2 : Perception visuelle des objets et des scènes	46
2.1 Reconnaissance des objets et des scènes et effet du contexte	46
2.2 La recherche visuelle	51
Chapitre 3 : Les maculopathies	55
3.1 La DMLA	55
3.1.1 Physiopathologie	55
3.1.2 Les différentes formes de DMLA	57
3.1.3 Atteintes fonctionnelles	59
a. La perception des couleurs	60
b. La perception des contrastes	61
c. La perception lumineuse	62
d. Fréquences spatiales	62
e. La perception du mouvement	63
f. La lecture	63
g. La perception des visages	66
h. La locomotion	67
3.1.4 Etiologie	68

3.1.5	<i>Diagnostic</i>	69
3.2	<i>La maladie de Stargardt</i>	71
3.2.1	<i>Etiologie</i>	71
3.2.2	<i>Altérations anatomiques et fonctionnelles</i>	73
3.2.3	<i>Diagnostic</i>	74
3.3	<i>Plasticité liée à la présence d'un scotome central</i>	75
3.3.1	<i>Modifications anatomique</i>	75
3.3.2	<i>Réorganisation fonctionnelle</i>	77
	Partie 2 : Travail expérimental	81
	Chapitre 4 : Études sur les capacités de la vision périphérique	82
	<i>Étude 1 : Catégorisation des scènes en grande excentricité.</i>	83
	<i>Étude 2 : Le rôle du contexte dans le traitement des objets et des visages en vision périphérique.</i>	109
	Chapitre 5 : Études chez les personnes n'ayant que la vision périphérique	131
	<i>Étude 3 : La contribution de la vision centrale et périphérique dans la categorization des scènes : une étude chez les personnes avec perte de la vision centrale.</i>	132
	<i>Étude 4 : Stratégies d'exploration visuelle lors de l'identification des objets et des scènes chez les patients atteints de maculopathie juvénile (maladie de Stargardt) et lié à l'âge (DMLA).</i>	153
	<i>Étude 5 : Perception des scènes et recherche visuelle des objets en condition d'encombrement chez les patients souffrant de DMLA.</i>	204
	<i>Étude 6 : Capacités de recherche visuelle de patients avec scotome central dans des environnements panoramique.</i>	224
	Chapitre 6 : Discussion générale et perspectives	243
	Bibliographie	249
	Annexes	268

Problématique

La vision est divisée en deux « entités » distinctes mais complémentaires qui sont, la vision centrale et la vision périphérique. La vision centrale est impliquée dans la vision des détails, tandis que la vision périphérique est la vision dite « du mouvement ». Elle assure une vision plus grossière de notre environnement visuel. Cette distinction s'explique par la répartition des différents types de photorécepteurs (cônes et bâtonnets) au niveau de nos rétines. La vision dite centrale est assurée par une zone de la rétine que l'on appelle la macula et qui correspond aux 20 premiers degrés de notre champ visuel, au-delà on parle de vision périphérique. Afin de placer l'image visuelle dans la partie fovéale (e.g. les deux degrés centraux), où la résolution spatiale est la meilleure, nous bougeons nos yeux en permanence (environ 100.000 fois/jour).

L'exploration visuelle ainsi que les interactions visuo-motrices sont des processus complexes mis en œuvre au quotidien pour trouver et saisir les objets, pour se déplacer dans un environnement plus ou moins encombré... Les mécanismes cognitifs impliqués dans la cognition spatiale déclinent avec le vieillissement normal (Iachini et al, 2009). Ceci est encore plus vrai lorsqu'ils sont amplifiés par un déficit touchant le système visuel.

Certaines pathologies telles que la dégénérescence maculaire liée à l'âge (ou DMLA) entraînent une perte progressive de la vision centrale. Ceci engendre progressivement l'apparition d'une tâche noire appelée scotome dans le champ visuel central et, à terme, il ne persistera plus que la vision périphérique. Ceci entraîne des difficultés au quotidien notamment pour la lecture mais aussi pour la reconnaissance des visages, en particulier l'identité et l'expression faciale qui nécessite une vision détaillée, la reconnaissance des objets et de l'espace (navigation spatiale dans des environnements familiers ou non).

Contrairement à la lecture (Bowers et al, 2001 ; Calabrèse et al, 2010) et la perception des visages (Barnes et al, 2011 ; Boucart et al, 2008a; Tejeria et al, 2002) qui constituent les deux principales plaintes des patients, la perception des objets et de l'espace n'a été que très peu étudiée dans cette population. Les patients souffrant de déficits de la vision centrale ne disposent plus que de leur vision périphérique or les capacités de la vision

périphérique sont peu connues chez le sujet avec vision normale au-delà de 20° d'excentricité. Il est donc nécessaire de mieux comprendre la vision périphérique chez le sujet sain afin de mieux l'appréhender chez des personnes ayant perdu la vision centrale. À terme, cela devrait permettre une meilleure compréhension des adaptations visuo-motrices de ces patients et de remédier plus efficacement aux difficultés quotidiennes engendrées par les maculopathies.

C'est pourquoi ce travail a été divisé en deux grands axes d'études : Le premier traitera des capacités visuelles en vision périphérique chez le sujet sain. Le second traitera des capacités visuelles chez des personnes ayant perdu la vision centrale en raison d'une maculopathie liée à l'âge (DMLA) ou d'une maculopathie juvénile (maladie de Stargardt).

Dans la première partie de ce manuscrit nous aborderons les aspects théoriques avec : la physiologie du système visuel, la perception visuelle des objets et des scènes ainsi que les maculopathies.

La seconde partie traitera des aspects expérimentaux avec la présentation de six études dont les objectifs sont les suivants :

- Axe 1 : (1) Evaluer les capacités de la vision périphérique (jusqu'à 80° d'excentricité) pour la reconnaissance des scènes et (2) déterminer si, le traitement contextuel, bien documenté en vision centrale (Davenport et al, 2007 ; Davenport and Potter, 2004 ; Rémy et al, 2013 et 2014) résiste à l'excentricité.
- Axe 2 : Définir si l'altération de vision centrale entraîne (1) une amélioration des capacités visuelles périphériques pour la reconnaissance des scènes, (2) réduit les capacités d'identification et de recherche visuelle des objets et (3) évaluer si des conditions réalistes (recherche d'objets dans une scène panoramique sans contrainte de temps) améliorent la performance des patients avec une maculopathie.

Les données de ces études devraient permettre de mieux comprendre les rôles respectifs de la vision centrale et de la vision périphérique en prenant avantage de la pathologie, mais aussi de comprendre les modifications de l'exploration visuelle engendrées par la perte de vision centrale.

Partie 1 : Introduction

Chapitre 1 : Physiologie du système visuel

La vision est, chez l'Homme, un sens clé qui nous permet d'interagir avec autrui et avec l'environnement qui nous entoure. Cependant, le système visuel est certainement le système sensoriel le plus complexe par son architecture anatomique. Il assure la reconstruction d'une image en 3 dimensions de notre environnement visuel après une série d'étapes de traitement du signal lumineux par les différentes structures qui le compose en commençant par l'œil pour finir au niveau des aires visuelles cérébrales supérieures occipito-temporale et occipito-pariétale. Ces traitements se font par des mécanismes à la fois exogène (bottom-up) et endogène (top-down).

1.1 De l'œil au cortex visuel :

L'environnement extérieur émet des rayons lumineux qui sont captés par *l'œil*. Celui-ci se compose de plusieurs éléments permettant de filtrer (iris) et de focaliser (cornée et cristallin) les rayons lumineux afin qu'ils convergent au fond de l'œil où se situe la rétine (**Figure 1.1**) avec un minimum de déformations optiques. La rétine est tapissée de cellules dites photosensibles que sont les photorécepteurs (cônes et bâtonnets). Les cellules qui composent la rétine assurent le traitement préliminaire de l'information lumineuse permettant de la transformer en un message électrique/nerveux. Ce dernier sera ensuite transmis au cerveau par le biais du *nerf optique et des voies visuelles* afin d'être analysé et interprété par le *cortex visuel* au niveau du lobe occipital.

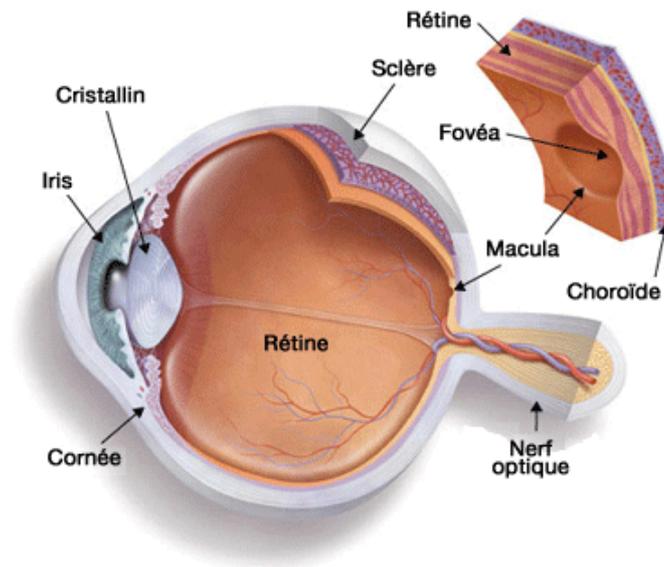


Figure 1.1 : Anatomie de l'œil et de la rétine en coupe sagittale (tiré de www.constances.fr/assets/pdf/14_CECILE-DELCOURT.pdf)

1.1.1 La rétine

Histologiquement, la rétine est un disque de tissu neuronal (42 mm de diamètre) non renouvelable et très fin. C'est le prolongement de notre système nerveux central (SNC) qui tapisse la face interne du globe oculaire (Behar-Cohen et al, 2009) où a lieu la première phase du traitement de l'information lumineuse.

Elle repose sur une assise pigmentaire appelée épithélium pigmentaire rétinien (ou EPR) qui a pour rôle de piéger la lumière en évitant une diffusion latérale. Il assure également la nutrition des structures de la rétine et permet d'éliminer les déchets produits par les réactions biologiques qui y ont lieu. On distingue généralement la rétine centrale et la rétine périphérique. La rétine centrale est constituée de trois zones :

- la fovéola, zone de 0.35 mm de diamètre (couvrant environ 1° du champ visuel) au sein de laquelle on ne trouve qu'un seul type de photorécepteurs, les cônes. Cette zone est la plus fine de la rétine avec environ 100 µm d'épaisseur.

– la fovéa, petite dépression d'à peine 1,5 mm de diamètre (couvrant environ 3° du champ visuel) centrée sur la rétine. Sa vascularisation est assurée par la choroïde (par le biais de l'EPR) et en périphérie par les autres vaisseaux de la rétine. À ce niveau on ne retrouve que des cônes. La fovéa est le point de la rétine où se concentrent les rayons lumineux, à l'origine de sa forte sensibilité à l'énergie lumineuse.

– la macula mesure environ 6 mm de diamètre couvrant 21.5° du champ visuel (Jackson et al, 2002). À partir d'ici, la rétine atteint son épaisseur maximale (500 µm) et se compose de plusieurs couches de cellules ganglionnaires. En 1945, Wald a montré que le pigment de la macula était semblable à la xanthophylle. Celui-ci permet de filtrer les courtes longueurs d'onde et agit comme anti-oxydant.

Au-delà de cette zone, on parle de rétine périphérique, composée essentiellement de bâtonnets.

La rétine tapisse la face interne de l'œil et est en contact avec la choroïde par sa face postérieure ainsi qu'avec le corps vitré par sa face antérieure. Elle est composée de deux feuillets complémentaires, l'un dit externe ou pigmenté (EPR : épithélium pigmentaire rétinien) et l'autre dit interne ou neurosensoriel.

L'EPR est essentiel au bon fonctionnement du neuro-épithélium rétinien (Salvi et al, 2006), notamment à celui des photorécepteurs. En effet, il assure différentes fonctions (nourricière, protectrice, de recyclage, métabolique...) essentiel à la survie de ces cellules (Fritsche et al, 2014 ; Jackson et al, 2002). La rétine neurosensorielle (feuille interne) correspond à la partie sensorielle de la rétine, c'est-à-dire celle qui va convertir le signal lumineux en un signal électrique. Cette partie de la rétine se compose cinq couches, chacune comportant un ou plusieurs types cellulaires spécifiques (Behar-Cohen et al, 2009).

Comme cité précédemment, il existe deux types de photorécepteurs (**Figure 1.2**). Ces derniers assurent la transformation de l'information lumineuse en un signal nerveux, qui sera ensuite transmis le long des couches cellulaires rétiniennes, et correspond à la première étape de traitement du signal visuel. Ce phénomène est appelé **phototransduction**

(Kawamura et Tachibanaki, 2008 ; Lamb et Pugh, 2006). Les photorécepteurs sont agencés à la manière d'une mosaïque, et ils se différencient par leurs aspects structurels et fonctionnels.

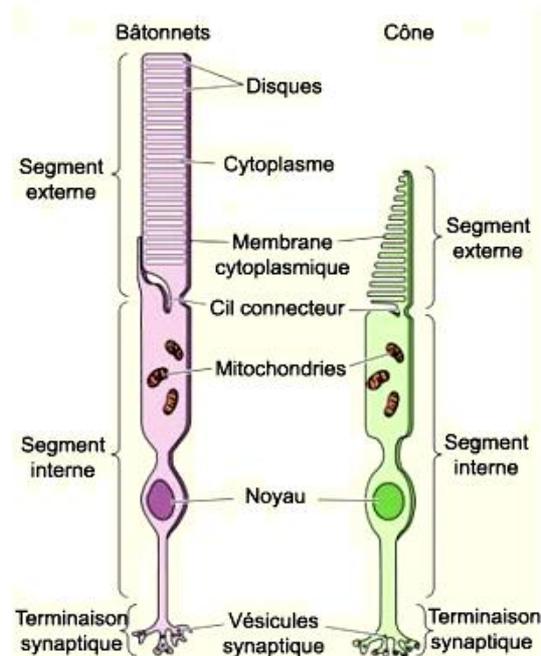


Figure 1.3 : Schéma d'un bâtonnet (gauche) et d'un cône (à droite) (tiré de <http://lecerveau.mcgill.ca>)

La rétine de chaque œil compte, chez l'Homme, environ 4.6 millions de cônes (Curcio et al, 1990) (soit 5% des photorécepteurs) alors que le nombre de bâtonnets est vingt à trente fois plus important, soit 120 millions (soit 95% des photorécepteurs). De plus, **la répartition des photorécepteurs est inégale sur la surface de la rétine (Figure 1.4 et 1.5)**. Les cônes ont une distribution maximale au niveau de la fovéa (150000/mm²), tandis que la densité des bâtonnets y est nulle. Avec la périphérie, la distribution des cônes décroît rapidement pour se stabiliser à environ 5000/mm² à partir de 20° d'excentricité (Snowden et al, 2012). Ils sont donc plus espacés et sont entourés par de nombreux bâtonnets dont la densité est maximale à 20° d'excentricité (160000/mm²) puis, au-delà elle décroît de manière progressive (Curcio et al, 1987 et 1990 ; Hirsh et Curcio, 1989). On distingue une zone de la rétine où il n'y a pas de photorécepteurs, on parle de « tâche aveugle » (ou blind spot). Il s'agit du disque optique, correspondant au point d'émergence des axones des cellules

ganglionnaires (environ 1 million de fibres optiques) formant le nerf optique qui envoie les informations visuelles à destination des centres supérieurs. Ceci illustre le fort degré de convergence entre les photorécepteurs (125 millions) et les cellules ganglionnaires (1 million) à l'origine de ces fibres. Mais cette convergence n'est pas uniforme sur l'ensemble de la rétine. Au centre de la fovéa le « câblage » est direct, c'est-à-dire qu'un cône est relié à une cellule bipolaire qui elle-même est reliée à une cellule ganglionnaire. Cette faible convergence des cônes au niveau de la macula assure ainsi une vision à haute résolution visuelle permettant de distinguer les détails fins (Curcio et al, 1990). Au-delà de la fovéa, le câblage est convergent : un groupe de photorécepteurs est connecté à une cellule bipolaire, plusieurs d'entre elles font synapse avec une même cellule ganglionnaire (Sterling et al, 1988). Ceci est d'autant plus important avec l'augmentation de la périphérie (100 bâtonnets qui convergent vers 17 cellules bipolaires, **convergeant** elles-mêmes sur une seule cellule ganglionnaire). Cette forte convergence des bâtonnets associés à leurs aspects fonctionnels assure une perception visuelle de faible résolution spatiale (Curcio et al, 1990). En effet, la répartition des photorécepteurs entre rétine centrale et périphérique est associée à des différences fonctionnelles car les cônes et les bâtonnets n'assurent pas les mêmes rôles.

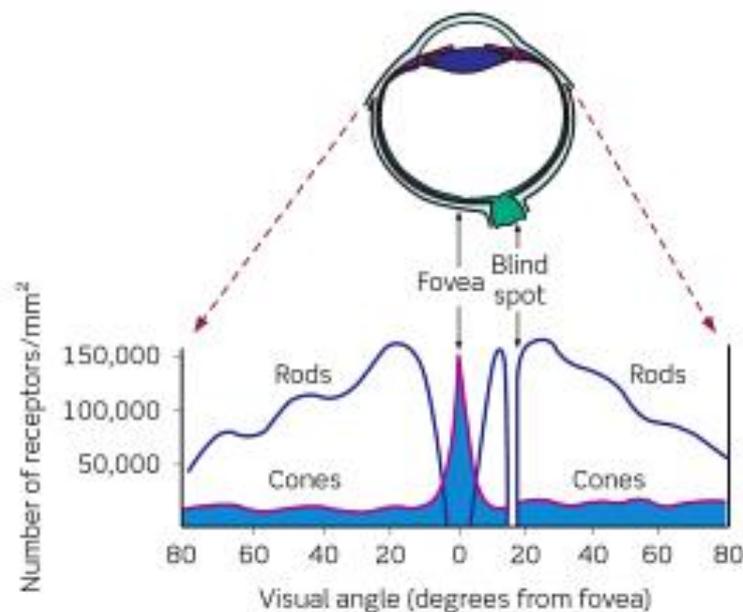


Figure 1.4 : Distribution des cônes et des bâtonnets le long de la rétine (tiré de Snowden et al, 2012).

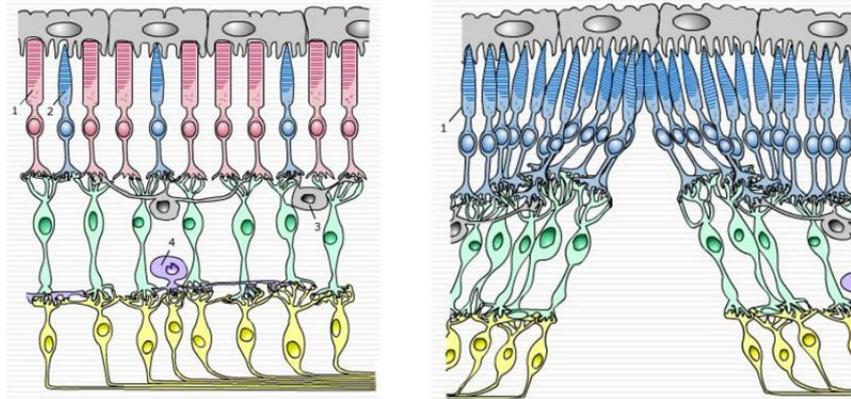


Figure 1.5 : Rétine périphérique à gauche et rétine centrale à droite (tiré de <http://acces.ens-lyon.fr/acces/ressources/neurosciences>)

Les cônes et les bâtonnets se distinguent par leur implication dans le traitement de l'information chromatique. Ils possèdent un pigment appelé rhodopsine, constituée d'une protéine transmembranaire, l'opsine, qui est associée à un dérivé de la vitamine A. Les bâtonnets ne possèdent qu'un seul type d'opsine, ne permettant qu'une vision achromatique (ils ne permettent pas de distinguer les couleurs, pic d'absorption : 498 nm ; Carroll, 2008), tandis qu'il en existe trois dans les cônes, chacun étant sensible à un spectre lumineux en particulier, ce qui assure un codage de la couleur (Brown et Wald, 1963). Par conséquent, on peut distinguer trois types de cônes (Carroll, 2008 ; Dacey, 2000 ; Solomon et Lennie, 2007) : les cônes S (*short-wavelength*), sensibles au bleu (pic d'absorption : 420 nm) ; les cônes M (*middle-wavelength*), sensibles au vert (pic d'absorption : 530 nm) et les cônes L (*long-wavelength*), sensibles au rouge (pic d'absorption : 560 nm) (Figure 1.6). La proportion de ces derniers est cependant inégale : la moitié serait sensible au vert, un tiers au rouge et le reste au bleu (5 à 10% ; Dacey, 2000 ; Marc et Sperling, 1977 ; Roorda et Williams, 1999 ; Solomon et Lennie, 2007).

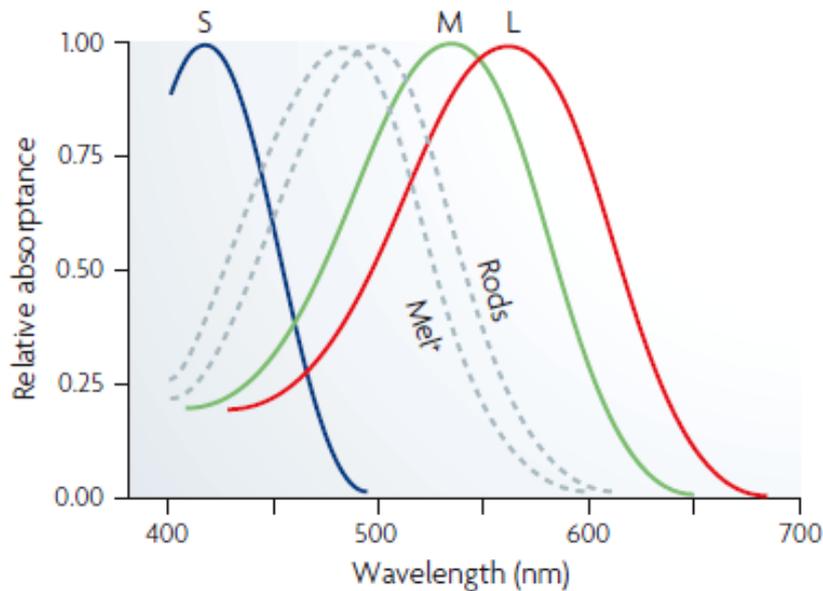


Figure 1.6 : Sensibilité spectrale des différents types de cônes (S, M et L) ainsi que celle des bâtonnets (tiré de Solomon et Lennie, 2007).

Les photorécepteurs se distinguent également par leur sensibilité à la lumière, classée selon trois niveaux : faible ou **scotopique**, moyenne ou **mésopique**, forte ou **photopique** (Figure 1.7 ; Stockman et Sharpe, 2006).

Lorsque les conditions de luminosité sont faibles (scotopique/nocturne), la quantité de photons qui atteint la rétine est très faible. Dû fait de leur grand nombre mais aussi de la grande sensibilité, les bâtonnets sont capables de détecter la présence d'un photon suffit à les exciter et à amplifier le signal (Baylor et al, 1979). Dans des conditions mésopiques, le nombre de photons qui atteint la rétine étant plus important, ils sont détectés par les cônes et les bâtonnets et fonctionnent conjointement. Enfin, dans des conditions photopiques (diurne/jour), la grande quantité de photon sature très rapidement les bâtonnets, ce qui signifie qu'ils ne peuvent plus détecter des changements de luminosité lorsqu'elle devient trop importante. Ils sont surtout impliqués dans la vision crépusculaire. À l'inverse, les cônes, étant moins sensibles à la lumière, sont les seuls à pouvoir détecter ces changements puisqu'ils sont extrêmement sensibles aux variations de luminosité en cas de forte intensité lumineuse et s'activent très rapidement. Ce sont donc les principaux acteurs de la vision en plein jour.

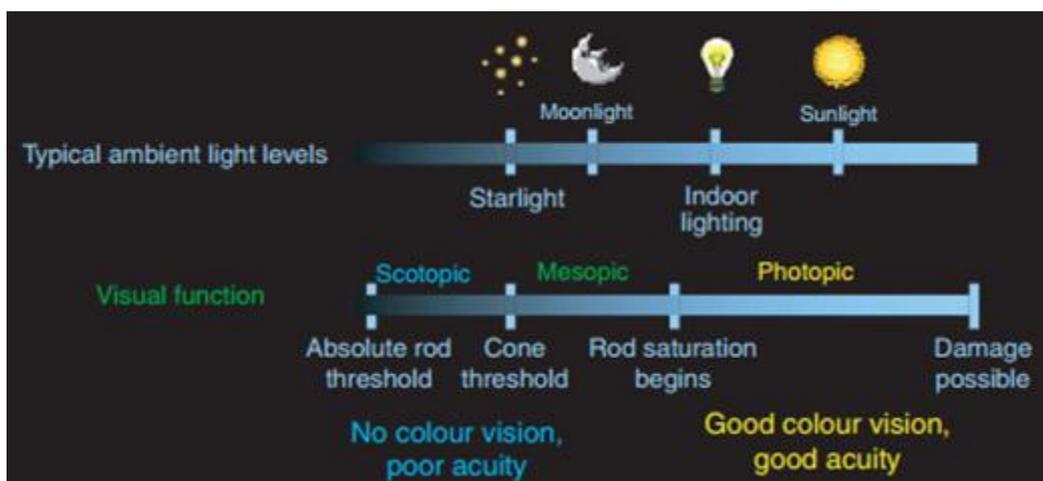


Figure 1.7 : Niveaux de lumière ambiante comparés aux fonctions visuelles (modifié Stockman et Sharpe, 2006)

La neurorétine est donc organisée différemment selon où l'on se situe sur la rétine, ce qui permet de distinguer chacune des fonctions visuelles à une portion de la rétine en fonction de la proportion entre cônes et bâtonnets (**Tableau 1.1**). D'où l'importance de distinguer la vision centrale de la vision périphérique. En résumé, la vision centrale est assurée par la macula (15/20° du champ visuel central) au sein de laquelle se trouve la fovéa (2° du champ visuel central), dépression de la rétine où se concentre la majorité des cônes. De plus, seul un cône est connecté avec une cellule ganglionnaire rétinienne, au-delà de 10° ce n'est plus le cas. Ses caractéristiques lui confèrent une perception visuelle de haute résolution spatiale. Au-delà de la macula, on parle de rétine périphérique où l'on trouve essentiellement des bâtonnets. Les photorécepteurs de la rétine périphérique, comme dit précédemment, sont plusieurs à être connecté à une cellule ganglionnaire rétinienne. Tout ceci ne permet qu'une perception visuelle de faible résolution spatiale et constitue la vision dite périphérique.

Cette distinction entre vision centrale et vision périphérique est d'une importance capitale, notamment dans le cadre de pathologies pouvant affecter tous les niveaux du traitement visuel (rétine, CGL, cortex visuel primaire,...). Dans notre cas, ce sont les

pathologies de la vision centrale (telles que la DMLA et la maladie de Stargardt) qui nous intéresse.

	Cônes	Bâtonnets
Nombre par rétine	5 millions	120 millions
Sensibilité à la lumière	Faible, donc besoin d'une intensité élevée	Forte, donc sensible à de faibles stimulations lumineuses
Sensibilité à la couleur	Chromatique	Achromatique
Type de vision	Diurne/ Photopique (luminance > 10^{-3} cd.m ⁻²)	Nocturne/ Scotopique (luminance < 10 cd.m ⁻²)
Acuité visuelle	Meilleure, donc procure des performances supérieures pour les tâches visuelles	Faible

Tableau 1.1 : Récapitulatif des fonctions associées aux cônes et aux bâtonnets

1.1.2 Voies et centres visuels extra-rétiniens

La perception visuelle débute dans la rétine et s'accomplit en 2 étapes :

- La lumière qui traverse la cornée atteint le fond de l'œil où elle est convertie en signal électrique par la rétine.
- L'information visuelle, maintenant traduite en influx nerveux, se propage le long du nerf optique pour se rendre jusqu'aux différentes structures cérébrales responsables de l'analyse du signal visuel.

C'est cette deuxième étape qui va être étudiée dans cette partie sur les voies et centres visuels extra-rétiniens.

a) Les cibles du nerf optique :

L'ensemble des axones des cellules ganglionnaires de la rétine se rassemblent pour former le nerf optique qui va quitter l'œil pour rejoindre les relais thalamiques via la papille optique. Les nerfs optiques de chacun des deux yeux vont se réunir au niveau d'une zone appelée **chiasma optique**, situé juste en avant de l'hypophyse. Le chiasma optique permet la décussation d'un certain nombre d'axones en provenance de la rétine. Ceci ne concerne que les fibres provenant de la partie nasale de chacune des rétines. De ce fait, les informations en provenance de chacun des hémichamps visuels sont alors dirigées dans l'hémisphère cérébral controlatéral (**Figure 1.8**). On dit que les fibres temporales sont ipsilatérales car elles ne décussent pas et restent donc du même côté, à l'inverse les fibres nasales décussent c'est-à-dire qu'elles changent de côté. Elles sont dites controlatérales.

Après avoir passé le chiasma optique les fibres sont regroupées sous le terme de tractus ou bandelettes optiques. La majeure partie des fibres (80%) vont atteindre le Corps Geniculé Latéral (CGL) situé dans la partie dorsale du thalamus. C'est le relais principal qui mène au cortex visuel primaire (V1) via les radiations optiques (c'est la **voie rétino-géniculocorticale**).

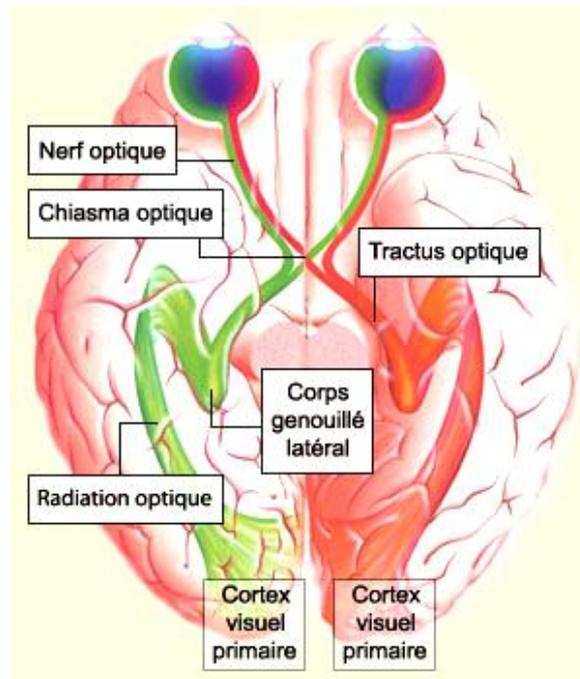


Figure 1.8 : Décussation des fibres optiques de la rétine jusqu'au cortex visuel primaire. En vert, les fibres impliquées dans la perception du champ visuel droit en direction de l'hémisphère gauche et inversement pour les fibres rouges (d'après du site www.lecerveau.mcgill.ca).

Mais une partie des informations provenant de la rétine (20%) ne passent pas par le CGL. Avant d'atteindre les CGL, les tractus optiques détachent une racine médiale (**Figure 1.9**) qui va rejoindre différentes structures que sont :

- Le colliculus supérieur (tectum/toit du mésencéphale): ceci concerne environ 10% des fibres provenant de la rétine (Perry et Cowey 1984). Ces fibres permettent de recadrer la position des yeux et de la tête de manière à garder les images pertinentes sur la fovéa. Il est impliqué dans les saccades oculaires. Une partie des fibres vont vers le pulvinar, un noyau situé dans la région postérieure du thalamus, et jouerait un rôle important dans l'attention visuelle et dans la perception du mouvement. Le pulvinar contribuerait au maintien de la stabilité de notre environnement visuel en compensant l'effet des mouvements du corps sur le positionnement des images sur la rétine. Les fibres en direction de ses deux structures que sont le colliculus supérieur et le pulvinar forment la **voie rétinotectale**.

- Le prétectum: il s'agit d'une structure voisine du colliculus, responsable des réflexes pupillaires et photomoteurs, on parle de **voie rétinopréectale**.

- Le noyau suprachiasmatique (hypothalamus): cette structure joue un rôle majeur dans notre horloge biologique interne donc dans les rythmes circadiens, c'est la **voie rétinohypothalamique**.

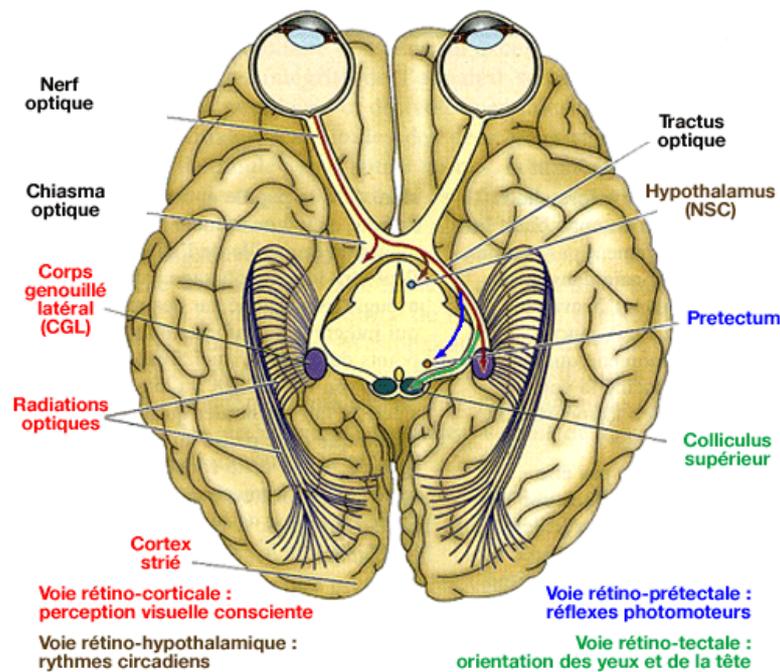


Figure 1.9 : Tractus optique et voies visuelles (tiré du site www.vetopsy.fr)

Seules les les 2 voies principales seront abordées ici, il s'agit de (**Figure 1.10**):

- la voie retino-geniculo-striée ou rétinocorticale : transmission de l'information de la rétine au cortex via le corps genouillé latéral (CGL)
- et la voie retino-tectale : qui projette l'information depuis la rétine vers le colliculus supérieur et le pulvinar.

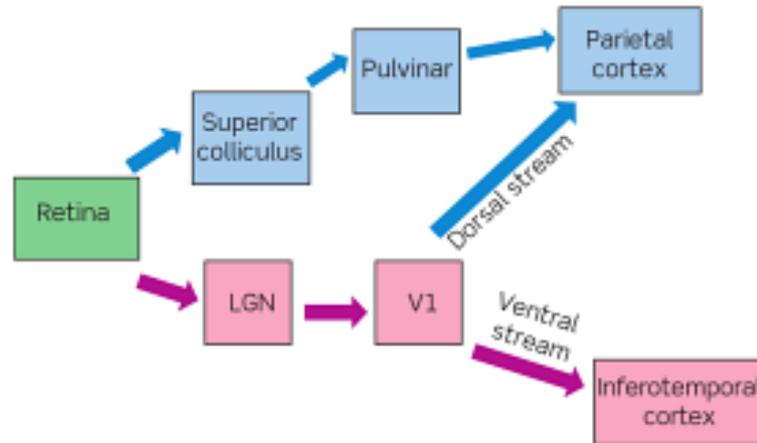


Figure 1.10 : Voies visuelles ventrale et dorsale (tiré de Snowden et al, 2012).

❖ La voie rétino-géniculo-striée

La voie rétino-géniculo-striée est la voie visuelle principale, responsable de notre vision consciente. Il est largement reconnu de nos jours qu'en plus d'être un relais de l'information visuelle, il joue également un rôle dans l'analyse du signal.

Le CGL est le relais thalamique de la vision entre la rétine et le cortex visuel primaire. Sa structure est organisée en 6 couches de neurones notées de 1 à 6 (Snowden et al, 2012) allant de la plus superficielle (ou dorsale) à la plus profonde (ou ventrale) (Figure 1.11) signifiant que des aspects distincts de l'information visuelle en provenance de la rétine sont traités séparément au niveau du CGL. Les couches ventrales (1 et 2) sont composées de cellules ganglionnaires formées d'un gros corps cellulaire, appelées couches **magnocellulaires** ou M. Les 4 autres couches, plus dorsales, sont composées de cellules ayant un petit corps cellulaire et sont appelées couches **parvocellulaires** ou P. Chaque couche n'est reliée qu'à un seul œil : les fibres de l'œil ipsilatéral se terminent dans les couches 2, 3 et 5, alors que celles issues de l'œil controlatéral finissent au niveau des couches 1, 4, et 6 (Snowden et al, 2012). Enfin, dans la partie ventrale de chaque couche du CGL se trouve des terminaisons de neurones qui ne sont ni M ni P, on parle de couches de neurones intralaminaires dites **koniocellulaires** ou K (Snowden et al, 2012).

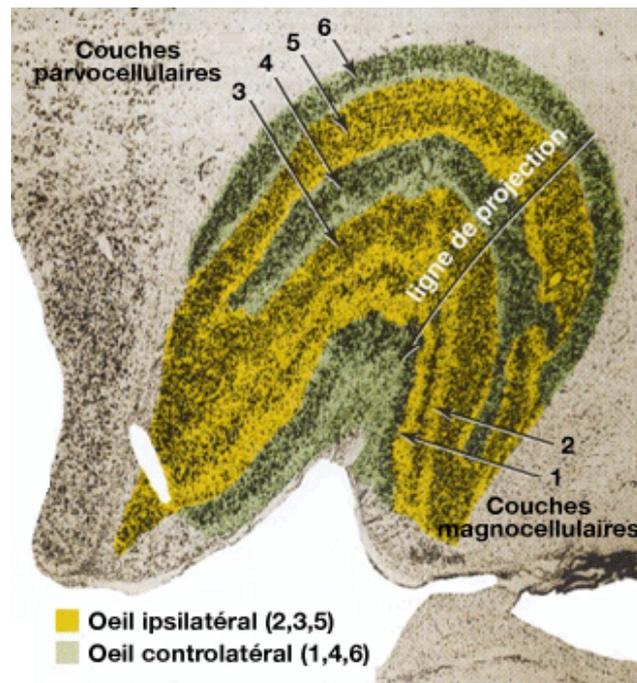


Figure 1.11 : Organisation tissulaire du corps genouillé latéral humain (tiré du site www.vetopsy.fr)

Les cellules ganglionnaires rétiniennes sont dénommées M et P (ou alpha et bêta) car elles projettent respectivement au niveau des couches M et P du CGL. Les cellules P forment 80 % des cellules du CGL et les cellules M 10 % (Calkins et Sterling, 1999 ; Leventhal et al, 1981). Parmi les 10 % de cellules restantes, celles du type koniocellulaire forment des couches intercalées entre les couches parvocellulaires et magnocellulaires et projettent directement dans des régions de l'aire visuelle primaire (V1). Les différentes couches du CGL projettent dans différentes couches de V1 qui, en retour, se connectent aux couches géniculées par l'intermédiaire d'interneurones inhibiteurs permettant de moduler l'activité neuronale du CGL (O'Connor et al, 2002). 80% des afférences du CGL proviennent de V1, ce qui permet au cortex de moduler et sélectionner les informations lui parvenant en fonction de leur pertinence. Le CGL est également contacté par des neurones du tronc cérébral associé à l'attention et à la vigilance.

Le rôle principal des CGL est une fonction de relais de l'information entre la rétine et le cortex visuel primaire (V1). Les cellules ganglionnaires issues de la rétine (alpha, bêta et gamma), qui traitent différents types d'informations visuelles, projettent respectivement sur ces trois types de couches cellulaires M, P et K (Leventhal et al, 1985; Rodieck et al, 1985),

assurant ainsi une certaine ségrégation de l'analyse du signal qui sera maintenue jusqu'au cortex visuel primaire car les cellules P et M projettent dans des couches distinctes de cette aire. (Livingstone et Hubel, 1987 et 1988). La proportion de cellules ganglionnaires de type bêta est plus importante dans la partie centrale de la rétine (Dacey, 1993; Malpeli et al, 1996). Par conséquent, la vision centrale implique majoritairement la voie visuelle parvocellulaire, la voie magnocellulaire est donc plus activée par la périphérie (Livingstone et Hubel, 1987 ; Malpeli et al, 1996 ; Meissirel et al, 1997). Il existe donc des similitudes entre les cellules ganglionnaires rétiniennes et les cellules du CGL sur lesquelles elles projettent (Rodieck et al, 1985) (**Figure 1.12**). Comme les cellules ganglionnaires alpha, les cellules de la couche M possèdent un gros corps cellulaire, sont achromatiques, sensibles à de faibles contrastes ainsi qu'aux basses fréquences spatiales (BFS), et présentent une réponse transitoire et rapide. Les cellules P ont au contraire un petit corps cellulaire, sont sélectives à la couleur, sensibles aux hautes fréquences spatiales (HFS), ont une réponse plus phasique et une conductivité plus lente (**Tableau 1.2**) que les cellules M (Gouras, 1968 ; Lee et al, 1989 ; Livingstone et Hubel 1987 et 1988 ; Reid et Shapley, 1992). Le système parvocellulaire est donc impliqué dans le traitement des informations plus « fines ».

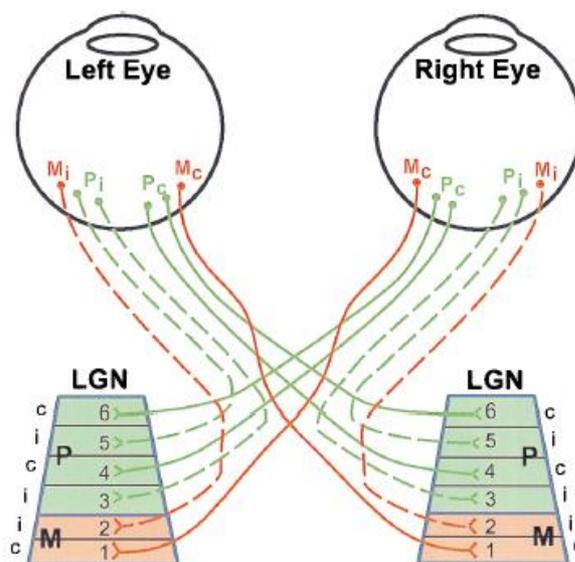


Figure 1.12: Représentation schématique des connexions neuronales des cellules ganglionnaires P et M rétiniennes vers les différentes couches du CGL ainsi que la déviation des fibres en controlatéral (c) ou ipsilatéral (i) (tiré de Meissirel et al, 1997).

Les fonctions des deux types cellulaires peuvent être résumées ainsi : les cellules P ont une plus grande résolution spatiale et une réponse plus soutenue que les cellules M, alors que celles-ci ont une sensibilité au contraste plus élevée et des fibres dont la vitesse de conduction est plus rapide.

Table 1. Physiological properties of the magno and parvo geniculate divisions

Property	Geniculate subdivision	
	Parvocellular	Magnocellular
Color	Yes (color-opponent)	No (broadband)
Contrast sensitivity	Low (threshold >10%)	High (threshold <2%)
Spatial resolution	High	Lower (by 2–3-fold at a given eccentricity)
Temporal resolution	Slow (sustained responses, low conduction velocity)	Fast (transient responses, high conduction velocity)

Tableau 1.2: Propriétés physiologiques des couches magno et parvocellulaires du CGL dans le traitement des informations visuelles (tiré de Livingstone et Hubel 1987).

Les fibres du CGL en direction du cortex visuel primaire (également appelé V1, cortex strié ou aire 17 de Brodmann) empruntent les radiations optiques (Snowden et al, 2012). Le cortex visuel primaire se situe au niveau du lobe occipital, à l'arrière de la tête, et s'étend sur les deux lèvres de la scissure calcarine (**Figure 1.13**). On distingue alors 2 principales voies de sortie du CGL : la voie magnocellulaire, formée par les axones des cellules M et la voie parvocellulaire issue des quatre couches parvocellulaires (cellules P) du CGL. La voie P prendrait en charge les informations de forme et de couleur alors que la voie M traiterait les informations achromatiques et de mouvement (Livingstone et Hubel, 1988). Les voies P et M projettent ensuite dans différentes parties de V1, première étape du traitement cortical des informations visuelles.

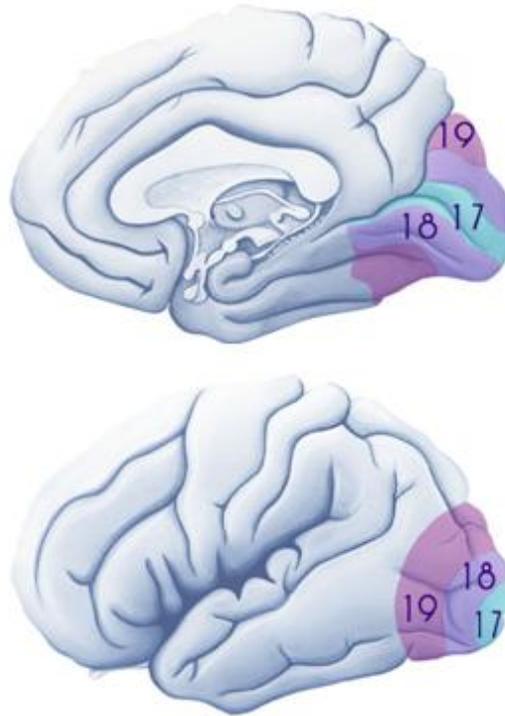


Figure 1.13 : Aires 17, 18 et 19 de Brodmann correspondant respectivement à V1, V2 et V3/V4 (tiré de <http://www.chups.jussieu.fr/>).

❖ La voie rétino-tectale

Environ 10% des axones provenant des cellules ganglionnaires rétiniennes, projettent en direction du colliculus supérieur. Ce dernier joue un rôle dans l'attention ainsi que dans l'orientation spatiale par le biais des informations visuelles. Cependant, il utilise la convergence d'informations multimodales (Bisley, 2011 ; Jay et Sparks, 1984 ; Stein et al, 2009). En effet, le colliculus supérieur est divisé en 2 régions, l'une superficielle composée des couches 1 à 3 uniquement unisensorielles de nature visuelle et répondant à des stimuli en mouvement sur un large champ. L'autre région dite profonde, composée des couches 4 à 7 et qui sont multisensorielles, pouvant répondre à des stimuli visuels, auditifs et somatosensoriels, ainsi que des neurones multisensoriels capables de répondre à plusieurs types de stimuli (Stein et al, 2009 ; Wurtz et al, 2011). La convergence de l'ensemble de ces informations sensorielles, pouvant être issues d'un même objet, peut générer un comportement d'orientation en direction de cet objet. De ce fait, les signaux sortant du colliculus supérieur, provenant des couches profondes, vont se diriger vers les systèmes pré-

moteur et moteur à l'origine de mouvements des yeux et de la tête (Meredith et Stein, 1985). Le colliculus supérieur est donc activé pendant les saccades oculaires car il joue un rôle essentiel dans le guidage de l'attention visuelle (Bisley, 2011 ; Marendaz et al, 2007 ; Snowden et al, 2012). Nous allons aborder son rôle dans les mouvements des yeux un peu plus loin.

Concernant le pulvinar, il a été moins étudié que le colliculus supérieur car son implication dans le traitement de l'information visuelles est restée longtemps méconnue. En effet, les connexions en provenance de la rétine ont été découvertes bien plus tardivement que dans le cas du CGL (Boire et al, 2004). L'architecture du pulvinar se compose de quatre noyaux, selon Benevento et Standage (1983) (**Figure 1.14**) : le plus rostral appelé pulvinar oral (ou antérieur) qui est fortement lié aux aires cérébrales somatosensorielles et pariétales, les noyaux latéral et inférieur tout deux purement visuels et enfin le noyau médial impliqué dans le traitement des signaux visuels et multisensoriels (Kaas et Lyon, 2007). Les noyaux inférieur et latéral reçoivent des afférences du cortex visuel primaire (V1) et les noyaux latéral et médial qui reçoivent des signaux en provenance des aires pariétale et temporale (Grieve et al, 2000). Il reçoit également des afférences venant du colliculus supérieur, du prectectum ainsi que de l'ensemble des aires corticales visuelles (Abramason et Chalupa, 1985 ; Boussaoud et al, 1991 ; Webster et al, 1993).

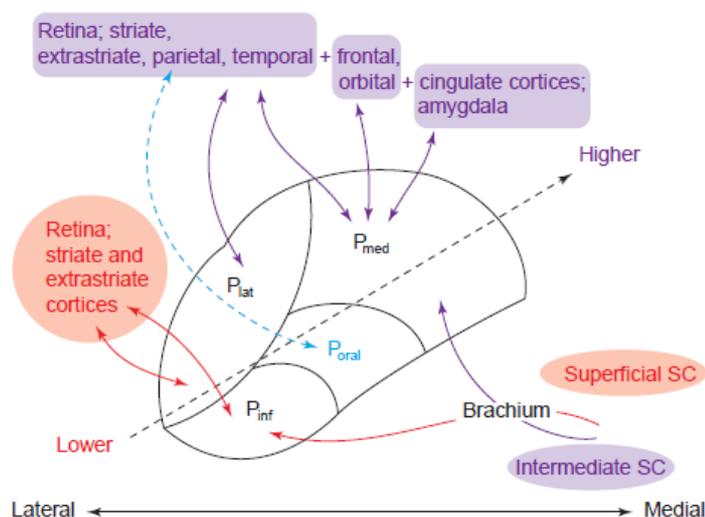


Figure 1.14 : Connexions corticales et sous-corticales avec les différents noyaux du pulvinar (tiré de Grieve et al, 2000).

Le pulvinar jouerait un rôle important dans l'attention visuelle de par l'activité des neurones qui le compose (Bender et Youakim, 2001). Ainsi Petersen et al (1987) ont montré que si l'on injecte un agoniste GABAergique dans la partie dorsomédiale du pulvinar (ou pulvinar médial) d'un primate non-humain, le temps de réaction était réduit lors d'une tâche d'attention visuo-spatiale. À l'inverse, lorsqu'on injecte un antagoniste l'effet inverse est observé. Comparé au pulvinar inférieur et latéral, le dorsomédial présente une latence visuelle plus longue due au fait qu'il possède un champ récepteur plus étendu que les deux autres parties (Robinson et Petersen, 1992). D'après Robinson et Petersen (1992), de par ses connexions multiples avec d'autres aires cérébrales, le pulvinar médial serait plutôt impliqué dans l'attention visuo-spatiale tandis que le pulvinar inférieur et latéral, qui ont plutôt une organisation rétinotopique, seraient plutôt liés aux mouvements oculaires. Par ailleurs, le pulvinar contribue à déterminer la saillance visuelle des objets puisqu'il est capable de discriminer ce qui est pertinent de ce qui ne l'est pas, par exemple détecter un stimulus en présence de distracteur(s) (Morris et al, 1997 ; Petersen et al, 1987 ; Robinson et Petersen, 1992). Par conséquent, une lésion du pulvinar induit des déficits quant à la capacité à mobiliser l'attention visuelle vers une cible (Michael et al, 2001 ; Rafal et Posner, 1987).

Le pulvinar est donc un intermédiaire dans le traitement des signaux notamment visuels car il reçoit des signaux des différentes aires cérébrales majoritairement du cortex visuel (de la voie ventrale et dorsale), mais il reçoit également des informations provenant du colliculus supérieur (CS). Ces signaux sont « modulés » puis renvoyés en direction de la voie visuelle ventrale ou de la voie visuelle dorsale selon le type d'information (Kaas et Lyon, 2007). Il joue, de ce fait, un rôle majeur dans la communication entre les différentes aires cérébrales, notamment visuelles.

b) Cortex visuel et aires extra-striées:

Après que l'information visuelle a été traitée au niveau du CGL, elle est envoyée en direction de la partie médiane du cortex occipital, plus précisément au niveau du cortex visuel primaire (V1), autour de la scissure calcarine, via les radiations optiques. C'est ici que débute le traitement dit de haut niveau du signal visuel. Ce traitement se poursuit au fur et à mesure aux aires visuelles voisines : aire visuelle secondaire (V2), aires visuelles plus intégrées (V3, V4, MT/V5)... (Figure 1.15).

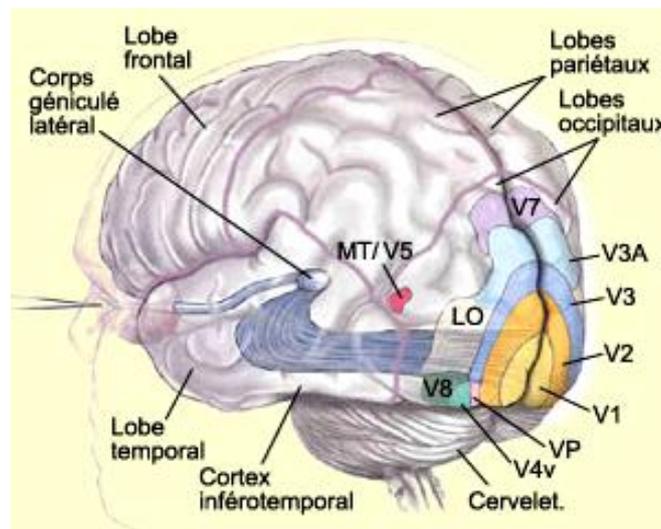


Figure 1.15 : Répartition des aires visuelles cérébrale le long du cortex occipital (tiré de <http://lecerveau.mcgill.ca>).

L'aire V1 est un néocortex de type récepteur, dont la cytoarchitecture est composée de 6 couches de neurones entre la surface et la substance blanche sous-jacente (Brodmann, 1909). La couche 4 est elle-même subdivisée en 3 sous-couches nommées IV A, IV B et IV C. La couche IV C a elle-même été subdivisée à son tour en IV C α et IV C β . La première reçoit des projections en provenance des couches magnocellulaires du CGL, tandis que la seconde reçoit des projections des couches parvocellulaires du CGL. Il semble que les cellules koniocellulaires émettent leurs axones vers les couches II et III de V1 (Hendry et Koshioka, 1994 ; Merigan et Maunsell, 1993).

Au sein de V1, les neurones sont organisés en colonnes perpendiculaires à la surface corticale répondant à un type de stimuli visuels (tel que la couleur, l'orientation, les

fréquences spatiales...) et une alternance de bandes cellulaires correspondant à l'un ou l'autre des deux yeux. On parle respectivement de colonne d'orientation et de colonne de dominance oculaire (Horton et Adams, 2005 ; Hubel et Wiesel, 1974 ; Malach et al, 1993). Chaque colonne contient, de ce fait, des informations de la voie magnocellulaire et parvocellulaire, sur deux couches dissociées qui se poursuivent vers V2 et au-delà. V2 envoie également des connexions vers V1, dites de retour. Tout comme V1, V2 s'organise en colonnes, assurant la séparation du signal nerveux visuel en fonction de différentes caractéristiques que sont la couleur, la forme, l'orientation ou encore le mouvement.

De plus, les aires visuelles, notamment V1 et V2, sont organisées de manière rétinotopique c'est-à-dire qu'elles sont structurées de manière à distinguer chaque portion du champ visuel. Le champ visuel est divisé en quatre quadrants pour chaque œil (**Figure 1.16**) centré sur la fovéa, permettant de distinguer le champ visuel nasal du temporal et le champ supérieur du champ visuel inférieur. Il faut savoir que le cortex visuel primaire de chaque hémisphère encode l'hémichamp visuel controlatéral (l'hémisphère droit pour le champ visuel gauche et inversement) (Wandell et al, 2007). En vision binoculaire, le champ visuel des deux yeux se recouvre jusqu'à un certain degré d'excentricité où la vision devient monoculaire. Il faut noter également que, proportionnellement à la taille qu'il occupe au niveau de la rétine, le champ visuel central occupe une place prépondérante au niveau du cortex visuel par rapport à la vision périphérique puisqu'il occupe la moitié (caudale) de V1 (Wandell et al, 2007). On remarque donc que, bien que la fovéa ne corresponde qu'aux 2 degrés centraux, elle est sur-représentée au niveau de V1. Ce qui démontre bien l'importance de la vision centrale dans le décodage du signal visuel et pourquoi les cônes sont concentrés au centre de la rétine.

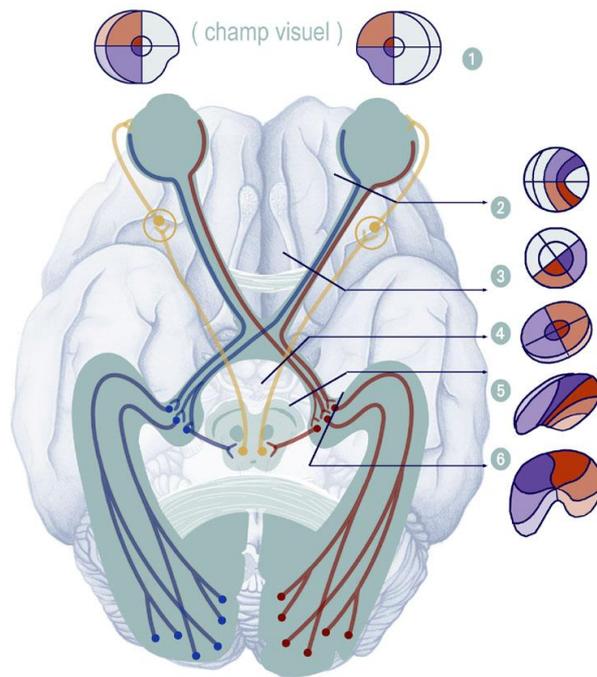


Figure 1.16 : Organisation du traitement de l'information visuelle en fonction du champ visuel, de la rétine jusqu'au cortex visuel primaire (tiré de <http://www.chups.jussieu.fr/>).

Ce traitement rétinotopique du signal visuel se poursuit le long des différentes aires visuelles selon un mode semi-séquentiel et hiérarchisé, assurant une analyse de plus en plus approfondie (complexe et spécialisée). Cependant, il y a des projections de retour entre les aires consécutives qui permettent de moduler le traitement du signal visuel.

Le traitement de l'information visuelle se sépare en deux voies distinctes, mais interconnectées, à partir de V2 (aire 18 de Brodmann, **Figure 1.13**) : la voie ventrale qui rassemble les aires liées au cortex occipito-temporal et la voie dorsale qui rassemble les aires liées au cortex occipito-pariétal (Merigan et Maunsell, 1993 ; Mishkin et al, 1983 ; Ungerleider et Haxby, 1994).

❖ **La voie ventrale :**

La voie ventrale est une extension de la voie parvocellulaire (Livingstone et Hubel, 1988). Après V2, elle transite par l'aire V3 puis V4 avant d'atteindre le cortex inféro-temporal au niveau duquel des connexions vont s'établir avec les aires TEO et TE (Distler et al, 1993 ; Gattass et al, 1997 ; Nakamura et al, 1993). Également appelée voie du « quoi » (Snowden et al, 2012), elle a pour rôle de permettre la **perception consciente, la reconnaissance et l'identification des objets** en traitant leurs propriétés visuelles « intrinsèques » tel que la forme, la couleur, la texture... Ceci assure une perception des choses détaillée assurant ainsi la **reconnaissance des objets** et des scènes visuelles (Lê et al, 2002 ; Livingstone et Hubel, 1988 ; Merigan et Maunsell, 1993).

❖ La voie dorsale :

La voie dorsale est une extension de la voie magnocellulaire (Livingstone et Hubel, 1988). Elle passe par l'aire V3 puis par l'aire temporelle moyenne (MT/V5), aire à partir de laquelle le signal va partir en direction des aires temporo-médiale supérieure (MST) et intrapariétoventrale (VIP) localisées au niveau du cortex pariétal (Ungerleider et Desimone, 1986). Le signal sera ensuite envoyé vers d'autres aires supérieures polysensorielles telles que l'aire intrapariétale latérale (LIP) (Boussaoud et al, 1990). Également appelée voie du « où/comment » (Snowden et al, 2012), elle joue un rôle dans le **contrôle visuo-moteur** sur les objets en traitant leurs propriétés « extrinsèques », essentielles pour leur saisie, leur localisation spatiale, leur orientation... par le biais de modulations du colliculus supérieur via le pulvinar (Kaas et Lyon, 2007). Elle est donc impliquée dans la **perception spatiale c'est-à-dire à la détection du mouvement et à la localisation des objets** (Lê et al, 2002 ; Livingstone et Hubel, 1988 ; Merigan et Maunsell, 1993). Rizzolatti et Matelli (2003) vont plus loin en suggérant une division de la voie dorsale en ventro-dorsale et dorso-dorsale. La première jouerait un rôle dans la perception de l'espace et l'organisation de l'action et la seconde dans la reconnaissance de l'action.

Cette ségrégation voie ventrale – voie dorsale se poursuit jusque dans le cortex frontal (Boussaoud et al, 1990 ; Distler et al, 1993 ; Gattass et al, 1997 ; Ungerleider et Desimone, 1986), impliquée notamment dans la programmation de l'action (Rizzolatti et Matelli, 2003).

Comme nous l'avons vu précédemment, il existe une organisation rétinotopique du traitement de l'information visuelle dans les différentes aires impliquées. De ce fait, il existe des différences anatomo-fonctionnelles du traitement visuel dans chacune des aires selon la portion du champ visuel (central vs. périphérique) activée (Gattass et al, 1997 ; Merigan et Maunsell, 1993). Peu d'études ont exploré les capacités en vision périphérique dans le traitement des objets et des scènes. Cependant, ceci semble important notamment dans le cadre de pathologies qui induisent une perte de la vision centrale et qui n'ont donc plus de ce fait que la vision périphérique. Une meilleure connaissance de la vision périphérique amènera à développer de nouveaux programmes de rééducation visuelle dans ces pathologies.

❖ **Lien entre voie ventrale/dorsale et vision centrale/périphérique:**

La voie ventrale (parvocellulaire) se caractérise donc par une perception de haute résolution spatiale et chromatique, tout comme les photorécepteurs de la vision centrale (cônes). À l'inverse, la voie dorsale (magnocellulaire) se caractérise par une haute résolution temporelle. Par conséquent, ces deux voies présentent des caractéristiques temporo-spatiales différentes ; la voie magnocellulaire étant plus rapide que la voie parvocellulaire (Bair et al, 2002 ; Bullier et al, 1996 ; Stephen et al, 2002). La première peut donc avoir une influence sur le traitement visuel de la seconde par le biais de connexions rétrogrades (dites « feed-back ») (Schmolesky et al, 1998). Certains auteurs ont suggéré que la vision centrale serait associée à la voie ventrale et la vision périphérique à la voie dorsale (Boussaoud et al, 1990 ; Ungerleider et Desimone, 1986).

Cette distinction n'est toutefois pas parfaite car il existe des connexions entre les aires de la voie ventrale et de la voie dorsale (Boussaoud et al, 1990 ; Distler et al, 1993 ;

Ungerleider et Desimone, 1986) et de fait, il y a des connexions qui s'opèrent entre vision centrale et périphérique.

1.2 L'œil en mouvement

L'œil n'a pas qu'une fonction perceptive, comme vu ci-dessus, il est également pourvu d'une fonction motrice afin d'amener le regard au niveau de zones d'intérêts (Marendaz et al, 2007). De ce fait, l'orientation de notre regard, par le biais de mouvements oculaires, joue aussi un rôle prépondérant dans l'interaction avec le monde extérieur. Les mouvements oculaires nous permettent d'explorer notre environnement et d'orienter notre regard en direction de zones d'intérêts. Ceci dans le but d'acquérir et d'identifier un ensemble d'informations indispensables dans l'interaction avec ce qui nous entoure.

Nous allons donc aborder dans cette partie les bases anatomo-fonctionnelles nécessaires à la compréhension de l'exploration visuelle.

1.2.1 Les divers types de mouvements oculaires

Au début du XXe siècle, Dodge (1903) a mis en évidence 5 classes de mouvements oculaires dont le but est de (re)diriger ou stabiliser l'image visuelle sur la fovéa. Trois d'entre eux assurent les mouvements dits d'orientation du regard (saccades, mouvement de poursuite et vergence) qui sont volontaires et assurent la réorientation du regard, et les deux autres les mouvements dits de stabilisation (réflexe vestibulo-oculaire et réflexe optocinétique) qui sont involontaires et permettent de maintenir une image stationnaire sur la rétine compensant ainsi les mouvements de la tête.

a) Les mouvements d'orientation :

Les saccades oculaires sont des mouvements rapides (jusqu'à 900°/s) et très communs utilisés pour examiner une scène ou pour rediriger/maintenir le regard sur un objet cible pour amener l'image sur la fovéa (Henderson et Hollingworth, 1999). La latence d'initiation d'une saccade est en moyenne de 300 ms mais peut être inférieure à 100 ms pour une amplitude pouvant aller jusqu'à 135°. Les saccades assurent le mouvement de l'œil entre deux périodes où l'œil est stable ; ce que l'on nomme fixation, période durant laquelle l'information visuelle est extraite et analysée (Liversedge et al, 2011). La fixation fait référence à une période de suppression saccadique (Matin, 1974 ; Snowden et al, 2012) qui dure en moyenne 330 ms (Henderson et Hollingworth, 1999).

Les mouvements de poursuite sont plus lents (moins de 100° par seconde) utilisés pour suivre une cible en mouvement (Liversedge et al, 2011 ; Snowden et al, 2012).

Enfin, les mouvements de vergence (convergence/divergence) assurent la rotation des yeux dans des directions opposées pour fixer une cible en fonction de la distance en profondeur. Ce sont également des mouvements lents (moins de 60° par seconde) (Liversedge et al, 2011).

b) Les mouvements de stabilisation :

Le réflexe vestibulo-oculaire permet de garder une image visuelle stable sur la rétine lorsque la tête est en mouvement dans notre vie quotidienne comme dans la marche. Il fait donc intervenir des informations vestibulaires (Liversedge et al, 2011).

À l'inverse, le réflexe optocinétique, est un réflexe de guidage visuel utilisé pour stabiliser la vision lorsque la tête est stable. Ce réflexe a pour point de départ, la rétine périphérique, riche en capteurs de mouvement. Il est également lié au système vestibulaire (Liversedge et al, 2011).

1.2.2 Neuroanatomie des mouvements oculaires :

De nombreuses zones du cerveau sont impliquées dans le (non)déclenchement des mouvements oculaires. Ces dernières s'organisent en boucles neuronales interactives (Pierrot-Deseilligny et al, 2004) dont les différentes structures qui les composent sont illustrées sur la **FIGURE 1.17** ci-dessous.

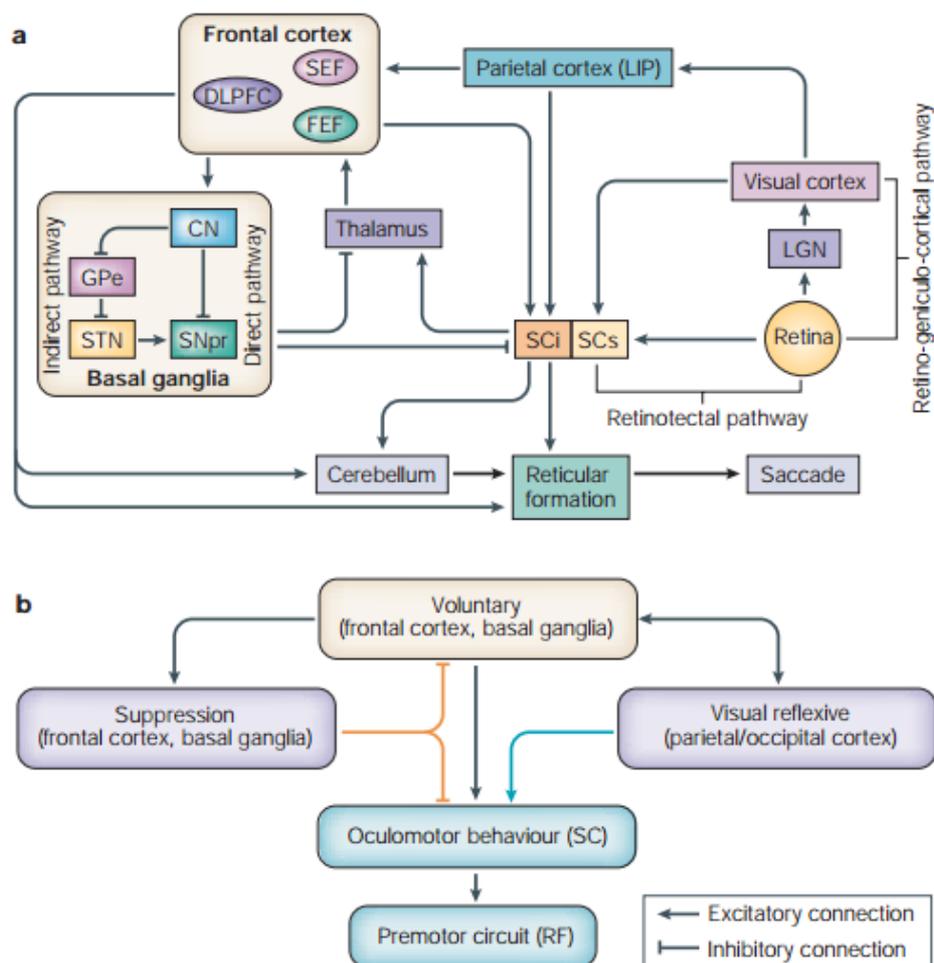


Figure 1.17: Réseau neuronal participant au contrôle du regard (a) et implication fonctionnelle de chacune des aires qui le compose (b). DLPFC : cortex préfrontal dorsolatéral ; SEF : champ oculaire supplémentaire ; FEF : champ oculaire frontal ; LIP : aire intrapariétale latérale ; SCi et SCs : colliculus supérieur intermédiaire et superficiel ; LGN : corps génouillés latéraux (tiré de Munoz et Everling, 2004).

Le colliculus supérieur (CS) est le point d'intégration principal des afférences corticales (sensorielles, motrices et cognitives) à l'origine de la mise en place des mouvements oculaires. Il reçoit à la fois des afférences excitatrices, provenant du cortex visuel primaire (V1), du cortex pariétal postérieur (notamment l'aire intra-pariétale latérale) (Lynch et al, 1985) et du cortex frontal (champ orbito-frontal et champ oculaire supplémentaire et du cortex préfrontal dorsolatéral) (Goldman et Nauta, 1976 ; Huerta et Kaas, 1990 ; Kunzle et al, 1976 ; Shook et al, 1990 ; Stanton et al, 1988 et 1995), mais aussi inhibitrices en provenance des ganglions de la base. Les neurones de l'aire intrapariétale latérale (IPL) possèdent des propriétés visuelles et motrices, jouant ainsi un rôle dans l'attention spatiale (Bisley et Goldberg, 2003 ; Wardak et al, 2002). Les projections frontales assurent un contrôle de plus haut niveau sur le CS. Il est donc critique dans le contrôle du comportement oculomoteur (Liversedge et al, 2011 ; Marendaz et al, 2007). En ce qui concerne les aires du cortex frontal, chacune joue un rôle particulier. Le champ orbito-frontal joue un rôle dans le contrôle des mouvements oculaires de poursuite (Fukushima et al, 2002). Il est impliqué dans la préparation et le déclenchement des saccades intentionnelles (Connolly et al, 2002 ; DeSouza et al, 2003 ; Pierrot-Deseilligny et al, 2003 b), il est donc actif avant l'initiation d'une saccade. Ceci implique de ce fait, l'inhibition des saccades dites « réflexes » qui s'opère grâce au cortex préfrontal dorsolatéral (CPF DL) directement sur le CS (Pierrot-Deseilligny et al, 1991 b, 2003 a et 2003 b). Le CPF DL joue un rôle dans le processus de régulation du comportement oculomoteur. Il est également impliqué dans les processus de mémoire spatiale à court terme et, de ce fait, dans le guidage mémoriel des saccades (Pierrot-Deseilligny et al, 1991 a, 2003 a et 2003 b ; Sakai et al, 2002). Lorsque cela implique la mémoire spatiale à long terme, le DLPFC est relayé par le cortex parahippocampique (CPH) (Nyffeler et al, 2002 et 2004 ; Ploner et al, 2000). Enfin, le champ oculaire supplémentaire est engagé dans la programmation motrice à l'origine d'une saccade combinée à un mouvement du corps ou à une séquence de plusieurs saccades successives (Pierrot-Deseilligny et al, 2003 b).

Le CS envoie également des efférences vers le thalamus, le cervelet ainsi qu'à la formation réticulée qui innerve les motoneurones des muscles extra-oculaires responsables des mouvements des yeux (Marendaz et al, 2007). L'action d'initiation saccadique est sous

le contrôle d'un système inhibiteur constitué des neurones « pauseurs » situés dans la partie médiane de la formation réticulée (Liversedge et al, 2011 ; Marendaz et al, 2007). De ce fait, une saccade ne peut être initiée que lorsque les neurones « pauseurs » cessent d'être actifs.

1.2.3 Attention et mouvements oculaires :

Lors de la perception visuelle, des informations de haute qualité sont acquises mais uniquement par une portion limitée du champ visuel (fovéa). Au-delà, la qualité de l'information visuelle qui est perçue diminue rapidement et de manière continue. C'est pourquoi nous bougeons nos yeux en permanence (3 fois par seconde en moyenne) afin de réorienter la fovéa pour extraire le maximum d'informations en haute résolution lors de périodes de fixation (suppression saccadique) (Henderson, 2003). Chaque endroit où se pose le regard correspond à une zone de focalisation attentionnelle. Il y a donc une sélection qui s'opère afin de traiter les informations les plus pertinentes. Cette sélection est influencée par deux types de processus qui guident notre regard afin de placer la fovéa au niveau des zones les plus saillantes de la scène visuelle explorée. Il s'agit des processus ascendants (bottom-up) et des processus descendants (top-down) :

- Processus bottom-up :

Les processus bottom-up (ou ascendants) sont des mécanismes de nature exogène, c'est-à-dire basés sur la stimulation induite par l'image donc de facteurs extérieurs à l'observateur et qui attirent l'œil de ce dernier (Henderson, 2003 ; Theeuwes et al, 1998). Ces processus sont guidés par les propriétés physiques des stimuli présents dans le champ visuel, on parle de saillance visuelle. Ces « zones saillantes » sont les mêmes quel que soit l'individu. Le traitement bottom-up est effectué très rapidement, de manière automatique et involontaire.

- Processus Top-down :

Les processus top-down (ou descendants) sont des mécanismes de nature endogène c'est-à-dire basés sur les connaissances, les intérêts, la motivation générée par le système visuo-cognitif propre à l'individu, en dépit de la saillance visuelle du signal (Henderson, 2003). Ils sont, de ce fait, mis en jeu lors d'une tâche (tels qu'identifier ou rechercher quelque chose) et nécessitent un contrôle volontaire et cognitif des mouvements oculaires afin d'explorer du regard le ou les élément(s) d'intérêt, comme cela a été démontré par Yarbus (1967). Il a montré que la trajectoire suivie par le regard diffère selon les instructions données (**Figure 1.8**), l'attention est donc dirigée sur certaines régions de l'image plutôt que d'autres en fonction du but de l'observateur.

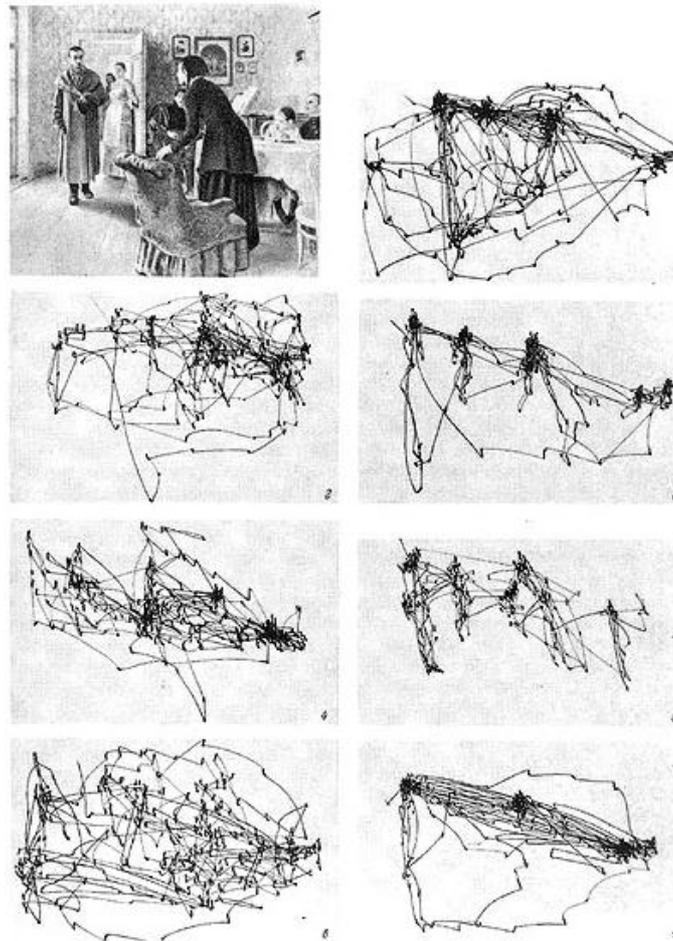


Figure 1.18 : L'influence de la tâche sur les mouvements oculaires. La tâche 1 était une exploration libre. Dans la tâche 2 il fallait évaluer la situation matérielle de la famille. Dans la tâche 3 il fallait estimer l'âge des personnages. Dans la tâche 4 il fallait prévoir ce que la famille avait fait avant l'arrivée du visiteur. Pour la tâche 5 il fallait mémoriser les vêtements portés par les personnes. Dans

la tâche 6 il fallait mémoriser la position des personnages et des objets. Dans la tâche 7 il fallait estimer combien de temps le visiteur a été loin de la famille (Tiré de Yarbus, 1967).

Les mouvements oculaires sont donc importants pour la perception visuelle car ils permettent d'extraire les informations pertinentes en se posant à différents points de la scène, ceci est sous l'influence de l'attention visuelle via les mécanismes bottom-up et top-down (Henderson, 2003). Ceci assure une sélection de l'information visuelle ordonnée. Comme nous venons de le voir les processus guidés par l'individu (top-down) sont plus longs à mettre en place que ceux guidés par les « objets » (bottom-up), cependant ils durent plus dans le temps.

Les mouvements oculaires représentent donc un indice comportemental discret, sensible et en temps réel du traitement visuocognitif du signal visuel (Henderson, 2003). Ce type de comportement peut être étudié grâce à l'oculométrie cognitive. Il s'agit d'une technique permettant d'enregistrer les mouvements oculaires en temps réel. Ceci permet d'obtenir des informations spatio-temporelles de l'attention lors d'une tâche cognitive (Manor & Gordon, 2003), puisque l'on sait où se place le regard lors de l'exploration visuelle d'une scène par exemple (Brockmole et Henderson, 2006). C'est pourquoi, nous avons choisi d'utiliser cette technique dans certaines de nos études.

Chapitre 2 : Perception visuelle des objets et des scènes

Le traitement du signal visuel peut être subdivisé en deux composantes principales, l'une dite de bas niveau et l'autre dite de haut niveau. Les processus de bas niveau correspondent à un traitement précoce de l'information visuelle, dépendant de facteurs exogènes, c'est-à-dire propres au stimulus visuel (appelé processus bottom-up) tels que la couleur, le contraste, la luminosité, l'orientation, la fréquence spatiale... Les processus dits de haut niveau sont plus longs à se mettre en œuvre car dépendant de facteurs endogènes, autrement dit propre à l'individu (appelé top-down), permettant d'identifier précisément ce qui est perçu par rapport aux représentations stockées dans notre mémoire (Henderson et Hollingworth, 1999).

Avant d'entrer plus en détail sur la perception visuelle, il est important de définir ce que sont une scène et un objet. Une scène peut être définie comme « *une vue de l'environnement du monde réel à partir d'un point de vue particulier* » (Liversedge et al, 2011). Celle-ci est composée d'un fond et de multiples éléments que l'on nomme objets, le tout étant arrangé spatialement et avec une cohérence sémantique (Henderson et Hollingworth, 1999). Le fond couvre un large champ et est fixe tandis que les objets couvrent un champ plus petit et représentent des entités manipulables, pouvant être en mouvement et pouvant être perçu différemment selon un axe de rotation interne sans changer notre point de vue (Henderson et Hollingworth, 1999 ; Liversedge et al, 2011). Dans ce travail, toute entité, qu'il s'agisse d'un animal, un aliment, un visage... est considéré comme objet au même titre qu'un objet manufacturé.

1. Reconnaissance des objets et des scènes et effet du contexte

Le système visuel est extrêmement rapide et efficace pour détecter et catégoriser des objets (Potter, 1976 ; Rousselet et al, 2003 ; Thorpe et al, 2001) et des scènes (Macé et al, 2005 ; Oliva et Schyns, 1997 ; Schyns et Oliva, 1994). Selon Biederman (1972), un simple coup d'œil (moins de 100 ms) peut suffire à extraire l'essentiel des informations visuelles permettant de catégoriser l'objet. Thorpe et al (1996) ont été les premiers à estimer le temps minimum nécessaire (MinRT) lors d'une tâche de catégorisation visuelle rapide. Ce temps de réaction minimum est défini lorsque le taux de bonne réponse est significativement supérieur à celui des mauvaises réponses. Pour estimer ce MinRT, ils ont utilisé une tâche de go/no-go pour discriminer des cibles « animales vs non animales » flashées seulement 20 ms. En dépit de la difficulté de la tâche, Ils ont montré qu'une catégorisation était possible avec des réponses données moins de 300 ms après l'apparition du stimulus. Ces résultats étaient corrélés aux données EEG avec une augmentation de la latence pour les distracteurs de l'ordre de 150 ms. Cet effet robuste pour différentes catégories d'objets, tel que les animaux, dus à leur haute valeur biologique ancestrale comparée à des objets manufacturés plus récents (New et al, 2007). Ce MinRT a également pu être retrouvé dans le cadre de la catégorisation de scènes naturelles vs artificielles (Joubert et al, 2007).

De par ces résultats, l'hypothèse est que la catégorisation rapide des objets et des scènes serait sous la dépendance de la voie visuelle magnocellulaire dont les informations arrivent environ 20 ms avant celles de la voie parvocellulaire (Nowak et al, 1995). En effet, la couleur ne jouerait aucun rôle lors d'une catégorisation visuelle rapide (Delorme et al, 2000 et 2010), puisque son effet se manifeste après 400 ms environ (Delorme et al, 2004). Dans le même temps, Macé et al (2005 et 2010) ont montré que notre système visuel était très robuste à de fortes diminutions de contraste lors de tâches de catégorisation. De plus, en dépit de la faible résolution spatiale de la vision périphérique, nous sommes capables de catégoriser très rapidement jusqu'à de très grandes excentricités (70 degrés) avec une performance de l'ordre de 60% de bonnes réponses (Thorpe et al, 2001). Cependant, l'information n'est pas accessible à la conscience visuelle (Boucart et al, 2010). La voie magnocellulaire serait, de ce fait, impliquée dans la détection (ultra-rapide) et la localisation puisqu'elle est associée au traitement des informations grossières, achromatiques et est extrêmement rapide. Le traitement visuel ventral (parvocellulaire), plus lent, permet, sous

l'influence de la voie dorsale, d'affiner le traitement des informations visuelles chromatiques et des hautes fréquences spatiales permettant une reconnaissance plus précise (Bullier, 2001 ; Macé et al, 2005 ; Pennick et Kana, 2011). Mais, la voie ventrale est également sous l'influence du cortex orbito-frontal ayant pour rôle de déclencher et faciliter le traitement attentionnel top-down des objets (Bar et al, 2006 ; Peyrin et al, 2010).

Il faut bien distinguer les différents niveaux d'identification : (1) la catégorisation super ordonnée (Animaux, véhicules, meubles...), (2) la catégorisation de base (chien, oiseau, voiture,...), (3) la catégorisation subordonnée (lévrier, Renault Clio...) et (4) catégorisation « item unique » (= identification) (ma maison, Tina mon labrador...) (Fabre-Thorpe, 2011). Plus on avance dans les niveaux de catégorisation, plus l'information est détaillée, ce qui implique une analyse plus fine et donc plus de temps. Par exemple pour passer d'une catégorisation super ordonnée à une catégorisation de base, le système visuel a besoin de 40 à 65 ms de plus (Joubert et al, 2007 ; Loschky et Larson, 2010 ; Macé et al, 2009). En effet, nous nous faisons une représentation grossière de la scène perçue avant même que l'objet ou la scène ne soit reconnu, ce qui implique un traitement en parallèle de la scène et de l'objet (Greene et Oliva, 2009 ; Henderson and Hollingworth, 1999 ; Hollingworth et Henderson, 1998 ; Oliva et Torralba, 2001 et 2006 ; Rousselet et al, 2003 ; Schyns et Oliva, 1994) à partir des caractéristiques physiques (de bas niveau) tels que les basses fréquences spatiales, la couleur, le contraste, la luminosité, l'orientation... Plus l'analyse de l'information visuelle s'affine plus le coût temporel est important, notamment en termes de récupération de la référence lexicale, mais ceci est plutôt pour des tâches de nomination (subordonnée) plutôt que des tâches de catégorisation rapide pour lesquels les représentations visuelles sont non conscientes (Boucart et al, 2010 ; Thorpe et al, 2001). Jolicoeur et al (1984) expliquent que les niveaux de catégorisation d'objets particuliers doivent être cartographiés dans une seule représentation en mémoire, dépendante des caractéristiques perceptuelles (e.g. la forme) et cognitives (le contexte). L'intégration progressive des informations perceptuelles au cours du temps permet d'atteindre les différents niveaux de catégorisation du plus grossier (super ordonné) au plus fin (subordonné). À l'inverse d'une catégorisation de base, les représentations plus fines nécessitent plus de temps pour extraire les informations perceptuelles et les intégrer afin d'activer les neurones plus sélectifs (Sugase et al, 1999), et nécessitent également une certaine attention visuelle. Poncet et Thorpe (2014)

montrent que l'avantage de la catégorisation super ordonnée n'est pas le résultat d'une information dégradée en faveur de représentations grossières, car il est robuste à une augmentation du temps de présentation.

Cependant, le traitement du signal visuel dépend de la capacité d'analyse des fréquences spatiales (FS) qui est sous la dépendance d'une organisation rétinotopique et latéralisée (Musel et al, 2013). Les hautes fréquences spatiales (HFS) sont associées à la vision centrale, médiatisées par le système parvocellulaire, vers les portions caudale et latérales du cortex occipital permettant de distinguer les détails (e.g. les contours...). À l'inverse, les basses fréquences spatiales (BSF) associées à la vision périphérique, médiatisées par le système magnocellulaire, vers les portions médiale et antérieur du cortex occipital permettent une vision plus grossière telle que la forme (Musel et al, 2013 ; Peyrin et al, 2003 ; Ramanoël et al, soumis ; Sasaki et al, 2001). De même, il a été montré que l'hémisphère droit répondait plus favorablement aux BSF et le gauche en faveur des HFS (Iidaka et al, 2004 ; Peyrin et al, 2004 et 2006). Certains auteurs suggèrent que, les BSF sont transmises plus rapidement que les HFS, via la voie magnocellulaire, aux cortex occipital et aux aires visuelles d'ordre supérieures de la voie dorsale qui assure une perception grossière du signal visuel. L'analyse est ensuite être complétée avec les HFS, dont la transmission est plus lente, par la voie parvocellulaire à la voie ventrale qui assure la reconnaissance du signal permettant d'affiner la réponse (Bullier, 2001 ; Schyns et Oliva, 1994).

De nombreux travaux ont étudié le traitement des fréquences spatiales pour des stimuli complexes tels que les scènes ou les visages. Schyns et Oliva (1994) ont montré que le traitement des fréquences spatiales diffère selon l'analyse du visage qu'il est demandé de faire. Si l'on demande de déterminer si un visage est expressif ou non, le recourt aux HFS sera préféré tandis que, s'il faut déterminer la nature émotionnelle d'un visage (joie, peur, surprise...), les BSF seront favorisées (Schyns et Oliva, 1999). Pour les scènes, il a largement été démontré que ce sont les BSF qui sont favorisées dans un premier temps, et ensuite, si le temps le permet, les HFS pour affiner la réponse, c'est le principe du traitement dit « coarse to fine » (Schyns et Oliva, 1994), prédominant sur le traitement « fine to coarse » (Musel et al, 2012 ; Peyrin et al, 2010). Torralba et Oliva (2003), ont confirmé ces résultats en montrant que les basses et moyennes fréquences spatiales étaient suffisantes pour catégoriser des scènes. Ces résultats sur les visages et les scènes sont en accord avec les

travaux Levy et al (2001) et Goffaux et al (2011). En effet, ils montrent que les visages sont associés à un traitement par les représentations fovéales du cortex occipital, tandis que les constructions, qui requièrent une information large champ (donc globale) sont associées à un traitement par les représentations périphériques du cortex occipital. Au niveau des aires visuelles d'ordre supérieur, il a été montré que le gyrus parahippocampal était associé au traitement des propriétés de bas niveau telle que les BSF (Peyrin et al, 2004), tandis que l'aire parahippocampale (PPA, partie postérieure du cortex parahippocampal ou PHC) répond préférentiellement aux hautes fréquences spatiales (Rajimehr et al, 2011 ; Zeidman et al, 2012) associées à la navigation ou encore à l'association contextuelle (Aminoff et al, 2007 ; Bar et al, 2004 ; Bar et aminoff, 2003 ; Vass et Epstein, 2013)

Dans la vie quotidienne, nous avons tendance à retrouver certains objets plus spécifiquement dans certains environnements associés à d'autres objets (e.g. une cafetière dans une cuisine) et d'autres beaucoup plus rarement voir pas du tout (e.g. une vache dans un salon). De ce fait, on peut se demander si le contexte peut influencer la reconnaissance des objets et des scènes.

Biederman et al (1982), ont montré que le contexte de la scène peut interférer sur la détection d'un objet. En effet, le système visuel est très efficace pour extraire des stimuli réguliers autrement dit cohérents, mais lorsque les règles de la scène sont transgressées (incohérence) la précision est directement réduite et la latence augmentée (Boucart et al, 2013 ; Boyce et Pollatsek, 1992 ; Fize et al, 2011 ; Joubert et al, 2008 ; Rémy et al, 2013 ; Tran et al, 2011). Certains auteurs (Bar et Ullman, 1996 ; Palmer, 1975) suggèrent que notre cerveau associe certains objets à des contextes particuliers lorsqu'ils sont perçus ensemble de manière répétée au cours de notre vie. De ce fait, lorsque l'un des deux est perçu, cela induit des attentes en provenance de ce qui est stocké en mémoire et va donc influencer le traitement du signal visuel. En fait, cette influence peut se faire dans les deux sens, c'est-à-dire que la scène peut influencer le traitement de l'objet, mais également la saillance de l'objet qui influe sur le traitement de la scène (Bullier, 2001 ; Davenport, 2007 ; Davenport et Potter, 2004 ; Henderson et al, 1999 ; Joubert et al, 2007 et 2008 ; Oliva et Torralba, 2006 ; Rémy et al, 2013 et 2014) avec un retard de l'ordre de 30 ms en cas d'incohérence. En 2004, Bar propose un modèle qui suggère que le traitement grossier d'une scène flashée active le(s) objet(s) les plus probablement attendus dans cette scène par le biais de la voie dorsale.

Dans le cadre d'une association cohérente entre l'objet et la scène, des populations neuronales respectives sont normalement activées et renforcent leurs interconnexions à l'origine d'une facilitation de la reconnaissance (Biederman et al, 1982 ; Boyce et Pollatsek, 1992 ; Crouzet et al, 2012 ; Davenport et Potter, 2004 ; Joubert et al, 2008 ; Henderson et al, 1997 ; Palmer, 1975). À l'inverse lorsqu'il y a incohérence entre l'objet et la scène, il y a un « conflit » entre les populations neuronales qui répondent à la scène avec ceux répondant à l'objet car elles ne sont pas habituellement co-activées, ce qui conduit à un retard du traitement visuel. Cette incohérence est également à l'origine d'une attention plus importante car nous fixons plus longtemps un objet en cas d'incohérence avec le fond qu'en cas de cohérence (De Graef et al, 1990 et 1992). Ces résultats peuvent s'expliquer par des difficultés d'intégration d'un objet à identifier dans une représentation contextuelle incohérente (Henderson, 1992), mais aussi par les instructions données aux participants sur les difficultés à identifier les objets, ou encore par l'intérêt plus grand que portent les participants aux objets incohérents (Biederman et al, 1982). Des études chez le primate non humain ont permis de retrouver les mêmes résultats (Fize et al, 2011).

2. La recherche visuelle

La recherche visuelle d'un objet dans une scène peut-être guidée à la fois par les processus top-down et bottom-up. Koch et Ullman (1985) ont élaboré un modèle qui permet de prédire où l'attention d'un sujet va se porter sur une scène donnée en fonction des caractéristiques physiques telles que la couleur, on parle de « carte de sillance visuelle ». Lorsqu'une cible est hautement saillante, on va avoir un effet dit « pop-out » c'est-à-dire qu'elle va ressortir par rapport au contexte qui l'entoure, notre regard va donc directement se diriger dessus et par conséquent notre attention (Bruce et Tsotsos, 2009 ; Findlay, 1997 ; Neider et Zelinsky, 2006).

Dans notre vie de tous les jours, nous recherchons des objets « familiers » dans des endroits qui nous sont familiers (e.g. un marteau dans un garage), voire pas ou peu familiers (e.g. un marteau dans le garage d'un ami ou d'un inconnu). Le traitement des objets se

faisant par le cortex occipitolatéral (LOC ; Grill-Spector et al, 2001) et celui de la scène par les cortex rétrosplénial (RSC) et parahippocampal (PHC) (Henderson et al, 2008), nous sommes plus rapides lorsque nous sommes dans un contexte familier. Il a donc des influences top-down à partir du contexte (Hidalgo-Sotelo et al, 2005), celles-ci pouvant provenir soit des connaissances sémantiques globales de la scène (e.g. le garage d'un ami) ou des caractéristiques visuelles spécifiques (e.g. mon propre garage). Certaines études sont en faveur des connaissances sémantiques et d'autres plutôt en faveur des caractéristiques visuelles.

De nombreux travaux ont étudié les effets du contexte des scènes sur l'orientation de la recherche. Dès 1967 Yarbus a démontré l'importance du contexte et de l'attention sur l'orientation du regard. Des travaux plus récents ont trouvé les mêmes résultats (Castelhana et Henderson, 2007 ; Ehinger et al, 2009 ; Torralba et al, 2006). Cependant, les explications des influences top-down restent floues car elles peuvent provenir de l'influence des connaissances sémantiques, des caractéristiques spatiales, des détails visuels de la scène ou même de l'association des objets avec la scène avec l'objet cible. Les influences contextuelles de la scène sont souvent attribuées aux connaissances sémantiques (Castelhana et Henderson, 2007 ; Friedman, 1979 ; Tatler, 2009), qui facilitent la recherche en se basant sur un traitement de l'information où la probabilité de trouver la cible recherchée est forte (e.g. un piéton sur le trottoir) (Castelhana et Henderson, 2007 ; Henderson et al, 1999 ; Torralba et al, 2006). Un objet cible cohérent est toujours plus rapidement fixé qu'un objet cible incohérent avec le contexte de la scène (Henderson et al, 1999 ; Neider et Zelinsky, 2006). Lorsqu'il y a incohérence, après avoir regardé aux endroits où la cible devrait apparaître, l'observateur finit toujours par regarder au niveau de localisations incohérentes (Neider et Zelinsky, 2006). Torralba et al (2004) montrent que la catégorisation contextuelle induit des attentes pré-attentionnelles puisque plus de 80 % des premières fixations se retrouvent au niveau de régions contextuelles spécifiques, modulées par la force de la relation contextuelle objet-scène (Hidalgo-Sotelo et al, 2005). Les informations sémantiques permettent donc de diminuer significativement les localisations possibles à explorer pour un objet cohérent et donc de le retrouver plus rapidement. Ce traitement serait réalisé au niveau du sillon intrapariétal (Preston et al, 2013). Toutefois, le contexte d'une scène est comme une association apprise entre la localisation d'un objet

cible et les caractéristiques de la scène selon le modèle de « guidance contextuelle » (Oliva et al, 2003 ; Torralba et al, 2006), et donc les connaissances sémantiques ne seraient pas utiles. Mais une interprétation intermédiaire est possible, c'est-à-dire que les connaissances sémantiques de la scène seraient importantes afin de se remémorer des expériences passées, mais que les détails visuels seraient nécessaires pour déterminer la localisation exacte à laquelle notre attention doit se focaliser directement.

Il y a donc peut-être une influence des deux composantes dans la recherche visuelle dans les scènes du monde réel. C'est ce qui a fait l'objet du travail de Castelhana et al (2010). Pour ce faire, ils ont présenté soit l'image soit le nom exact de la scène et l'image ou le nom exact de l'objet-cible avant l'initiation de la recherche. En plus des performances et du temps de réponse, ils ont manipulé : (1) la guidance attentionnelle qui correspond au temps entre l'apparition de l'image et la première fixation sur la cible et, (2) la vérification qui représente le temps entre la première fixation sur l'objet-cible et la réponse donnée par le sujet, pouvant inclure des fixations sur d'autres objets. Leurs résultats montrent que la présentation d'une image plutôt que le nom de l'objet préalablement à la recherche visuelle la rend plus efficace car le temps de réponse est significativement réduit. De même, la présentation préalable d'une image de la scène améliore les performances de recherche. Les détails visuels aident donc plus que les connaissances sémantiques. Ces résultats sont en accord avec des travaux antérieurs qui montraient que la présentation d'un objet cible (Castelhana et al, 2008 ; Wolfe et al, 2004) ou d'une scène avec la même configuration spatiale (Chun et Jiang, 1999) préalablement à la recherche visuelle, permettait d'augmenter l'efficacité comparée à la présentation simple du nom. Vickery et al (2005) ont même montré que la présentation préalable de l'objet dans une configuration spatiale différente (rotation) n'altérait en rien l'augmentation de l'efficacité de la recherche visuelle. Lorsque les deux types d'information sont disponibles, il y a une plus grande spécificité sur la localisation de la cible ainsi qu'une amélioration de la « guidance attentionnelle » et une diminution du temps de vérification. Les connaissances seules de la scène ne suffisent pas, elles peuvent donc être véhiculées par des informations visuelles spécifiques de la scène. Par exemple, pour retrouver le marteau dans le garage, il faut connaître comment il est agencé pour savoir précisément où regarder afin d'utiliser par la suite les connaissances sémantiques et visuelles (Castelhana et Henderson, 2007 ; Friedman, 1979 ; Henderson et al,

1999). Au niveau cérébral, c'est l'activation à la fois du LOC (pour l'objet), du RSC (pour la scène) et de l'IPS (pour l'attention) qui permet de guider la recherche visuelle (Preston et al, 2013) et en plus le PHC permet l'encodage contextuel permettant de déterminer si la configuration est cohérente ou non (Bar, 2004 ; Bar et Aminoff, 2003).

Chapitre 3 : Les maculopathies

3.1 La Dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) :

3.1.1 Physiopathologie

Avec l'âge, le nombre de photorécepteurs a tendance à diminuer notamment dans la portion extra-fovéale, en raison d'une mort cellulaire par apoptose. Plus précisément, il s'agit d'une diminution de la densité des bâtonnets de l'ordre de 30% sur la portion centrale de la vision, mais ils restent qualitativement normaux (Curcio, 2001 ; Curcio et al, 1993 ; Fritsche et al, 2014). Cette diminution du nombre de bâtonnets engendre par conséquent une altération fonctionnelle de la rétine qui s'exprime par une perception visuelle scotopique et photopique amoindrie (d'environ 0.5log ; Adler et al, 1999), une diminution de l'acuité visuelle (AV), une moindre sensibilité aux contrastes... (Curcio et al, 1993 ; Salvi et al, 2006). Pour compenser cette perte en bâtonnets et pour limiter la perte fonctionnelle, il y aurait une augmentation de la quantité de rhodopsine dans les bâtonnets restants (Curcio et al, 1993). On observe également un moins bon fonctionnement de la phagocytose des cellules de l'EPR. Tout ceci a pour conséquence une augmentation de la concentration en lipofuscine au niveau de la couche des photorécepteurs ainsi qu'une diminution de la concentration en mélanine. Ce qui induit une accumulation de débris cellulaire entre la membrane basale de l'EPR et la membrane de Bruch appelés dépôts laminaires basaux ou drusens, corrélées à la diminution de la densité en photorécepteurs (Atmani et al, 2009 ; Curcio et al, 1993; Feeney-Burns et al, 1984; Salvi et al, 2006). On observe également des altérations au niveau de la membrane de Bruch qui se manifestent par une accumulation de débris et particules lipoprotéïques, ce qui engendre la formation d'un « mur lipidique » entre l'EPR et la membrane de Bruch modifiant ainsi sa perméabilité et altérant les échanges

(oxygène, nutriments, métabolites...) entre la couche choriocapillaire et l'EPR (Atmani et al, 2009 ; Fritsche et al, 2014 ; Johnson et al, 2007) augmentant ainsi le stress oxydatif (Lecerf et Desmettre, 2010). Ces altérations induisent une inflammation localisée conduisant à une neurodégénérescence de la rétine plus particulièrement au niveau de la zone maculaire (Fritsche et al, 2014 ; Johnson et al, 2007).

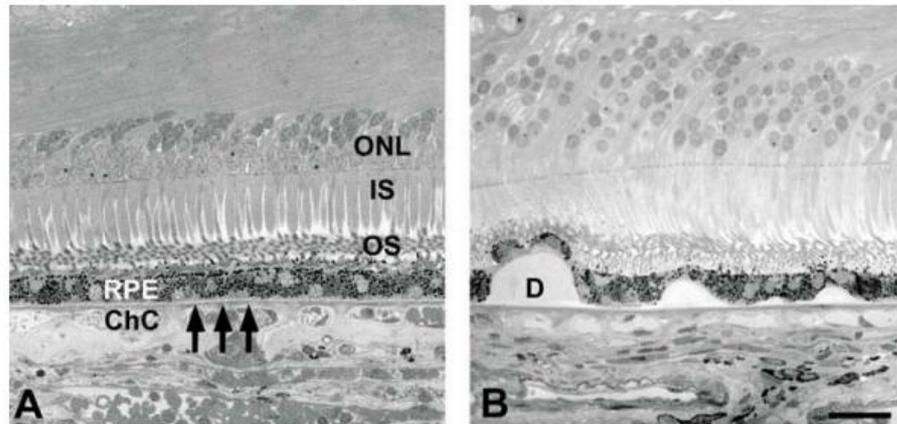


Figure 3.1 : Coupe histologique de macula d'un patient âgé « normale » (A) et chez un patient avec DMLA (B). ChC : couche choriocapillaire, RPE : épithélium pigmentaire rétinien, OS : segment externe des photorécepteurs, IS : segment interne des photorécepteurs, ONL : couche nucléaire des photorécepteurs, D : Drusen (Jackson et al, 2002).

La DMLA est une association de modifications tissulaires liées au vieillissement mais aussi d'ordre pathologique (Atmani et al, 2009 ; Salvi et al, 2006). Selon Curcio et al (1996), la perte de bâtonnets observée avec l'âge induit des dysfonctionnements au niveau de l'EPR, chez les personnes susceptibles de développer une DMLA, se manifestant par l'apparition de dépôts plus larges et/ou plus épais en plus grand nombre (Rudolf et al, 2008) (Figure 3.1). Par conséquent, la perte de bâtonnets périfovéolaire continue et on voit apparaître par la suite une dégénérescence des cônes avec quelques îlots fonctionnels, c'est le stade primaire de la DMLA. La perte des cônes ferait suite à celle des bâtonnets car les bâtonnets fournissent des facteurs trophiques aux cônes nécessaires à leur survie (Adler et al, 1999 ; Curcio, 2001). De ce fait, la diminution du nombre de bâtonnets induit une moindre production de facteurs trophiques et donc une survie des cônes moins importante. Ces

altérations physiopathologiques ont également des répercussions d'un point de vue fonctionnel, c'est-à-dire que la diminution de la sensibilité visuelle scotopique et photopique (principalement scotopique car la perte de bâtonnet est supérieure) se fait ressentir de plus en plus (Adler et al, 1999 ; Atmani et al, 2009). Ceci peut se poursuivre jusqu'à une perte totale des photorécepteurs si l'atrophie s'étend, c'est le stade avancé de la DMLA (Curcio et al, 1996 ; Jackson et al, 2002). Medeiros et Curcio (2001) montrent que cette perte des photorécepteurs induit par la DMLA induit la perte des cellules ganglionnaires rétiniennes. Mais ces dernières peuvent survivre un certain temps après la perte des cellules photoréceptrices, suffisamment pour supporter la transmission du signal visuel jusqu'au cerveau.

3.1.2 Les différentes formes de DMLA

Il existe deux formes principales de DMLA :

La DMLA dite **atrophique** (ou sèche), qui représente environ 80% des patients (<http://www.ophtalmologie.fr>). C'est une forme dont la progression est lente (Atmani et al, 2009 ; Medeiros et Curcio, 2001). Elle résulte de changements pigmentaires rétiniens et à la formation de drusens de type « hard » (petits et fermes) à l'origine d'une atrophie géographique due à la perte des cellules photoréceptrices et qui induit, à terme, à la formation d'un scotome dit absolu.

la DMLA dite **exsudative** (ou néo-vasculaire), qui est minoritaire (20% des cas ; www.ophtalmologie.fr). À l'inverse de la forme atrophique, sa progression est rapide et sévère, due à la prolifération de néovaisseaux (angiogenèse) choroïdiens sous l'EPR, qui s'ajoutent à la formation des drusens de type « soft » (étendu avec des bords indistincts et de couleur jaune pâle) (Medeiros et Curcio, 2001 ; Rudolf et al, 2008 ; Salvi et al, 2006). De ce fait, une déformation au niveau de la rétine (**Figure 3.2**) centrale apparaît à l'origine des métamorphopsies (distorsion des lignes droites) dans le champ visuel (Atmani et al, 2009) pouvant être détectées cliniquement grâce à la grille d'Amsler (**Figure 3.3**). Ces vaisseaux

peuvent provoquer des cicatrices fibrovasculaires. À terme, cela peut conduire à un décollement de l'EPR ou même à des hémorragies en l'absence de traitement.

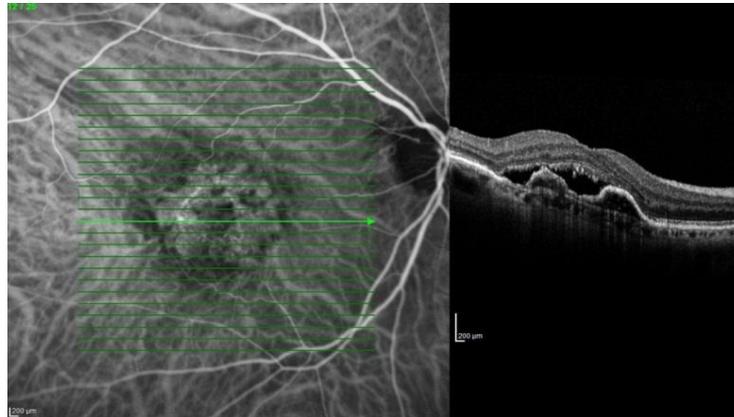


Figure 3.2 : Coupe de rétine à droite au niveau de la macula prise par un examen OCT (Optical Cohérence Tomographie) chez un patient ayant une DMLA exsudative.

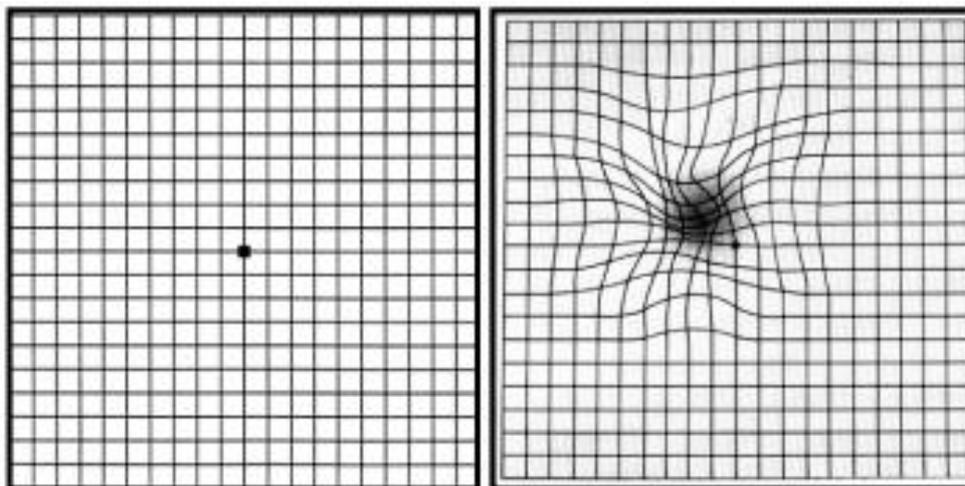


Figure 3.3 : Grille d'Amsler : 10 x 10 cm, quadrillée de 19 lignes horizontales et verticales espacées de 5 mm. A gauche avec vision normale, à droite chez un patient avec DMLA (tiré de www.nei.nih.gov/).

L'AREDS a mis en place une échelle permettant d'évaluer le risque de développer une forme avancée de la DMLA dans les cinq ans (Ferris et al, 2005). Cette échelle compte 5 niveaux (0 à 4) en fonction des différents facteurs de risque. Pour une personne n'ayant pas de DMLA avancée le risque d'atteindre ce stade est respectivement de 0.4%, 3.1%, 11.8%,

25.9%, et 47.3% pour chacun des niveaux (0 à 4). Si un œil est déjà au stade avancé le risque sont de 14.8%, 35.4% et 53.1% pour les niveaux 2, 3 et 4. Les niveaux 0 et 1 ne sont plus pris en compte puisqu'il y a déjà une DMLA avancé, le sujet a donc déjà un certain nombre de facteurs de risque.

3.1.3 Atteintes fonctionnelles

Au stade primaire, l'altération fonctionnelle n'est que peu ou pas ressentie. Puis, la DMLA se manifeste par une diminution de l'acuité visuelle de loin comme de près, une moindre sensibilité aux contrastes ainsi qu'une altération de la perception des couleurs, qui se manifeste par un jaunissement des couleurs. Au fur et à mesure les déficits situés sur le pourtour du point de fixation fovéale deviennent gênants, notamment lors de la lecture. Il s'ensuit la formation d'un scotome, c'est-à-dire une tâche sombre dans le champ visuel correspondant à une zone de la rétine moins sensible à la lumière (Cheung et Legge, 2005). Ce scotome est au début périfovéolaire et va progressivement atteindre la fovéa pour devenir central et dense, ce qui engendre à ce moment, une chute brutale de l'acuité visuelle et la formation d'un scotome absolu (Atmani et al, 2009) c'est-à-dire régulier et donc à l'absence totale de vision centrale (Medeiros et Curcio, 2001 ; Rudolf et al, 2008 ; Salvi et al, 2006) de loin mais surtout de près (Atmani et al, 2009). Il y a cependant quelques différences selon le type de DMLA (**Figure 3.4**) :

- Les néovaisseaux qui se développent dans la DMLA exsudative engendrent la formation de métamorphosies dans le champ visuel du patient, c'est-à-dire qu'il perçoit une distorsion des lignes droites. De plus, le scotome est dit relatif c'est-à-dire irrégulier avec une sensibilité résiduelle à la lumière à certains endroits.
- La forme atrophique induit une perte lente et progressive de l'acuité visuelle (Atmani et al, 2009 ; Medeiros et Curcio, 2001). Les plages d'atrophie vont s'étendre progressivement au cours du temps faisant apparaître de petits scotomes péricentraux. Cependant, dans ce cas la vision centrale peut-être maintenue assez longtemps en cas d'épargne fovéolaire.

La grille d'Amsler (**Figure 3.3**) permet de détecter les premiers symptômes de la DMLA décrit ci-dessus.

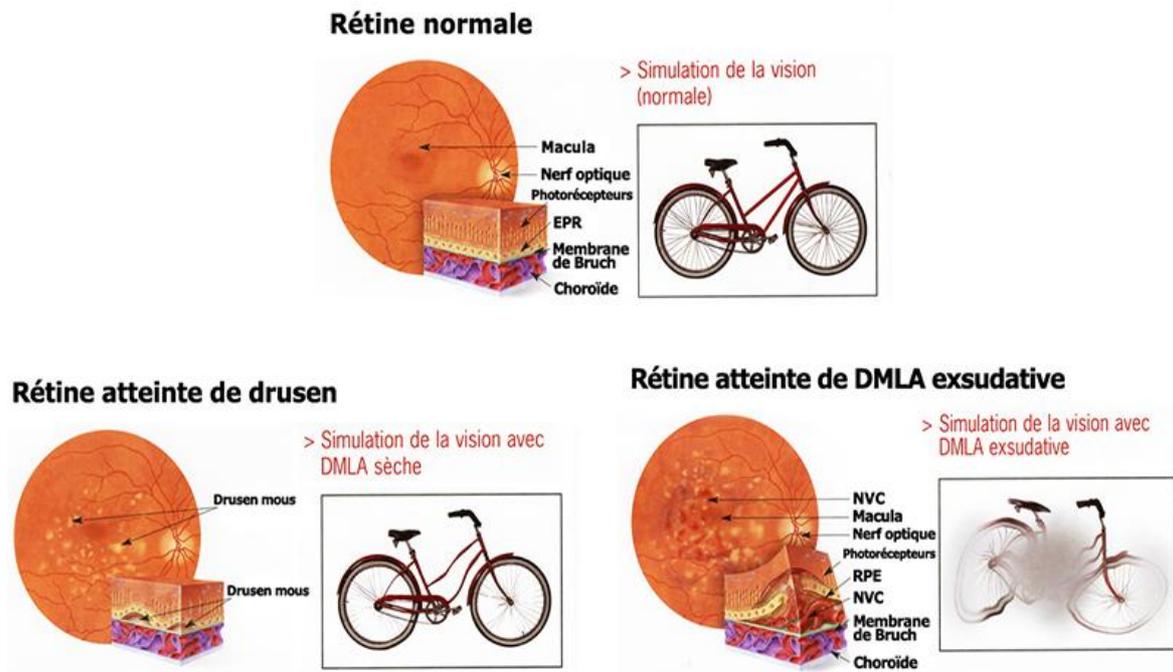


Figure 3.4: Altération anatomique de la rétine (gauche) et simulation visuelle associée (à droite) (tiré de www.magfacteursante.com)

De nombreuses études ont étudié l'impact de la perte de la vision centrale sur les différentes fonctions visuelles qui y sont associées.

a) La perception des couleurs :

La perception des couleurs ou vision chromatique, considérée comme spécifique de la vision centrale, du fait de la forte concentration des cônes au niveau de la fovéa, a fait l'objet d'études dans le cadre de la reconnaissance des scènes et des objets. Plusieurs études (Delorme et al, 2000 ; Goffaux et al, 2005 ; Oliva et Schyns, 2000 ; Tanaka et Presnell, 1999) ont montré que lorsqu'un objet ou une scène est présenté(e) en couleur, nous avons

tendance à les reconnaître plus facilement et plus rapidement qu'en nuances de gris ou dans des couleurs anormales. Gegenfurtner et Rieger (2000) explique cela par un traitement du signal visuel en deux étapes. La première précoce, où l'information de couleur permet une meilleure segmentation de l'image perçue. La seconde, plus tardive et d'ordre cognitif, où le signal additionnel que constitue la couleur permet de récupérer plus facilement l'information en mémoire.

Chez les patients atteints de maculopathie, la perception des couleurs est logiquement réduite. Cependant, ces patients ont tendance à être meilleurs pour reconnaître des objets ou des visages lorsqu'ils sont présentés en couleur, vraisemblablement parce que la couleur les aide à segmenter les surfaces (Boucart et al, 2008 b ; Wurm et al, 1993). Midená et al (1997) ont montré qu'à l'exception de la couleur, toutes les fonctions maculaires étaient déficientes (e.g. sensibilité aux contrastes ou aux hautes fréquences spatiales) chez des patients avec une DMLA débutante, permettant de comprendre qu'ils se fient d'autant plus à la couleur dans des tâches de catégorisation.

b) La perception des contrastes :

La sensibilité aux contrastes correspond à la capacité de discerner un objet par rapport à un/des autre(s) objets du fait de leurs différences de propriétés visuelles telles que la couleur ou la luminosité. C'est l'une des caractéristiques principales qui constitue l'acuité visuelle, composante de la vision centrale (Anstis, 1974). Chez les patients atteints de maculopathie, elle est fortement réduite (Midená et al, 1997). Tran et al (2012) ont montré qu'il y a une corrélation entre l'acuité visuelle et les performances de catégorisation d'objets lorsque le contraste était réduit, notamment chez les patients ayant une DMLA. Ceci peut s'expliquer à la fois par la diminution de l'acuité visuelle mais aussi par l'utilisation de la vision périphérique, due à la présence d'un scotome central, puisque la sensibilité aux faibles contrastes est caractéristique de la vision parafovéale (jusqu'à 4° d'excentricité) médiatisée par la voie magnocellulaire (Strasburger et Rentschler, 1996).

La perception des contrastes joue un rôle primordial dans l'analyse du signal visuel car elle permet de discriminer certains détails permettant de reconnaître un objet ou une scène. Macé et al (2005), ont montré que notre système visuel était très robuste pour reconnaître rapidement des scènes faiblement contrastées. Ils suggèrent qu'elle serait associée à un traitement visuel passant par la voie dorsale et affinée ensuite par des signaux provenant de la voie ventrale. Cependant, certaines pathologies (telles que les maculopathies) induisent des modifications de la perception des contrastes, ce qui induit des troubles dans la vie quotidienne pour la lecture ou la reconnaissance des objets (Keane et al, 2010 ; Owsley et Sloane, 1987 ; Tran et al, 2012).

c) La perception lumineuse :

Le signal lumineux est le premier élément du traitement de l'information visuelle. En fonction des conditions de luminosité, l'activité des photorécepteurs sera différente. Il y a 3 niveaux d'illuminations que sont la vision scotopique (obscurité) qui dépend seulement des bâtonnets (très sensible à la lumière), la vision photopique (jour) où seul les cônes sont actifs, et la vision mésopique qui correspond à un niveau intermédiaire des deux précédents.

Des études ont montré que des pathologies à l'origine d'une altération de la vision centrale engendrent une augmentation généralisée de la sensibilité rétinienne à la lumière, que ce soit en condition photopique ou scotopique (Sallo et al, 2009). Par conséquent, ces personnes sont plus facilement éblouies lorsqu'il y a trop de lumière.

d) Fréquences spatiales :

Ramanoël et al (soumis), ont montré qu'avec l'âge, le traitement des HFS se détériore. En effet, les sujets âgés présentent une latence plus longue pour catégoriser des scènes avec un filtre passe haut (ne laissant passer que les HFS). De plus, ils ont plus

tendance à s'abstenir de répondre. Les auteurs suggèrent que les sujets âgés semblent utiliser d'autres informations pour catégoriser les scènes telles que les propriétés spatiales afin d'augmenter la précision, au détriment de la latence. Ils constatent également via l'IRMf, que les sujets âgés ne présentent pas d'activation significativement supérieure au niveau de la partie caudale du cortex occipital en réponse aux HFS, ce qui peut expliquer leurs faibles performances par rapport aux sujets jeunes.

Mais qu'en est-il lorsque la vision centrale fait défaut ? Au vu des résultats obtenus on devrait s'attendre à une préservation du traitement des BSF et à un déficit important pour le traitement des HFS. En effet, Musel et al (2011) constatent un important déficit en réponse aux HFS suite à la perte de vision centrale comparé à des sujets sains du même âge. Ceci se traduit par une latence significativement plus longue pour les HFS comparé aux BSF. Cette déficience pour les HFS seules avait déjà été rapportée (Midera et al, 1997) chez les patients avec scotome central. Le fait que les patients étaient capables de catégoriser des scènes s'explique par les travaux de Torralba et Oliva (2003) qui montrent que les basses et moyennes fréquences spatiales suffisent pour catégoriser des scènes.

e) Perception du mouvement :

Selon la portion du champ visuel, la sensibilité à la détection d'un mouvement n'est pas la même, mais elle dépend également d'autres facteurs tels que la vitesse la luminance, le type de mouvement... Plusieurs études ont montré que la vision périphérique était plus sensible au mouvement (Ikeda et al, 2005 ; Thompson et al 2007).

Dans le cas d'une perte de la vision centrale, cette faculté ne devrait donc pas être altérée. Tarita-Nistor et al (2008) ont montré que les patients atteints de DMLA sont plus sensibles au mouvement et donc sont plus conscients de leur position posturale.

f) La lecture :

La lecture, qui constitue la plainte principale des patients avec scotome central, a fait l'objet d'un grand nombre d'études. La vitesse de lecture a tendance à diminuer avec l'âge (Lott et al, 2001 ; Seiple et al, 2011). Cependant ceci est amplifié dans le cas d'une perte de la vision centrale, puisque la vitesse de lecture des patients avec une altération de la vision centrale ne représente qu'un tiers à un cinquième de la vitesse de lecture des sujets avec vision normale appariés en âge (Legge et al, 1985). Généralement, la vitesse de lecture est évaluée par une échelle appelée Minnesota Low-Vision Reading Test (MNREAD Acuity Chart).

La DMLA induit, entre autres, une diminution de l'acuité visuelle et une augmentation de la sensibilité à l'encombrement (crowding) puisque les patients doivent se fier à leur vision périphérique qui est plus sensible à l'effet d'encombrement (Strassburger et al, 2011). Fait étonnant, ces facteurs ne sont pas corrélés à la vitesse de lecture (Crossland et al, 2004 a ; Rubin et Feely, 2009). Seule l'atteinte fovéale (à hauteur de 64% ; Legge et al, 1985) et la taille du scotome (à hauteur de 40% ; Rubin et Feely, 2009) le sont de manière significative. Bowers et al (2001) montrent que, lorsque les patients se retrouvent dans des conditions de luminosité optimales (2000 lux en moyenne), leur vitesse de lecture s'en trouve améliorée. Toutefois, il y a une forte variabilité entre les patients, selon le degré d'atteinte maculaire. De plus, en dépit d'une adaptation de la taille des caractères, de l'espacement entre les lettres, d'une amplification optimale de la taille, la vitesse lecture s'en trouve inchangée, c'est-à-dire lente (environ 42 mots/min) et 90% des patients ne lisent pas de manière fluide (donc moins de 85 mots/min) (Falkenberg et al, 2007 ; Rubin et Feely, 2009). Il n'est donc pas possible de standardiser la lecture en compensant les déficiences des patients. Ils suggèrent donc qu'une fixation plus stable peut compenser les difficultés de lecture et de ce fait, une réhabilitation visuelle basée sur un entraînement de la stabilité de fixation serait plus appropriée.

Un grand nombre d'études ont pu montrer que les déficits de vitesse de lecture était en partie dus aux difficultés à maintenir une fixation stable suite à la perte de vision centrale (Crossland et al, 2004 a ; Rubin et Feely, 2009). L'équipe de Crossland (2004 b) a établi un indice appelé « bivariate contour ellipse area » (BCEA) permettant de quantifier la stabilité

de fixation. Tout comme les études avec scotomes artificiels (Scherlen et al, 2008), ils concluent que les patients présentent une instabilité de fixation (Crossland et al, 2004 a) et que ceci joue pour 52% de la variance de la diminution de la vitesse de lecture. Les saccades « vers l'avant » y sont également corrélées (54% variance) (Rubin et Feely, 2009). L'instabilité de fixation et l'inefficacité des saccades sont donc les deux principaux prédicteurs de la vitesse de lecture lente des patients. Cependant, une étude longitudinale sur 12 mois montre que la stabilité de fixation a tendance à s'améliorer au cours du temps et ceci serait accompagné d'une amélioration de la vitesse de lecture (Crossland et al, 2004 a), et peut l'être encore plus avec un entraînement, comme l'avait suggéré Falkenberg (2007). En 2005, Seiple et collaborateurs ont mis au point une technique de réhabilitation visuelle des patients avec perte de vision centrale basée sur les mouvements oculaires. Ce programme se déroulait en 4 phases : 1) dans un premier temps un entraînement basé sur de petites saccades en réponse à l'apparition de points, 2) étendus ensuite à des saccades plus larges. 3) Puis une mise en pratique des saccades avec de simples lettres et des mots courts (3 lettres) et enfin 4) après 8 semaines, la lecture de phrases. Il en résulte une amélioration de la vitesse de lecture, certes modeste, mais qui permet une amélioration de la qualité de vie des patients. Ils en concluent qu'un programme qui se concentre sur l'entraînement des mouvements oculaires, sans pratique directe de lecture permet d'améliorer la vitesse de lecture. En 2011, la même équipe a établi un nouveau programme de réhabilitation visuelle pour la lecture testant 3 modules : 1) conscience de l'utilisation d'une PRL et d'une visualisation excentrée, 2) l'entraînement du contrôle oculomoteur pendant la lecture, 3) les effets de haut niveau de la lecture (lecture sans mouvement oculaire). Chacun d'entre eux se déroulait sur une période de 6 semaines. Une évaluation était effectuée au début du programme et à la fin de chaque module. L'équipe a pu constater que le contrôle des mouvements oculaires seuls, même sans pratique de la lecture, augmentait la vitesse de lecture, permettant de passer d'une moyenne de 73 mots/min à 93 mots/min (Seiple et al, 2005 et 2011).

D'autres études se sont plutôt focalisé sur le « désencombrement » horizontal et/ou vertical (Blackmore-Wright et al, 2013 ; Calabrèse et al, 2010). Si l'interligne est doublé (désencombrement vertical), la vitesse de lecture est légèrement améliorée (+ 7,1mots/min), elle est donc conseillée plutôt dans le cas de patients ayant une lecture très

lente (moins de 20 mots/min). L'encombrement vertical ne semble donc pas être un déterminant pour la vitesse de lecture des patients avec une atteinte maculaire (Calabrèse et al, 2010). Toutefois, en combinant une augmentation de l'interligne avec un espacement entre les mots (dés-encombrement vertical et horizontal), la vitesse de lecture est significativement améliorée et réduit le nombre d'erreurs. La combinaison optimale étant un doublement de l'interligne et un doublement de l'espacement entre les mots (Blackmore-Wright et al, 2013).

g) La perception des visages :

Les difficultés de reconnaissance des visages constituent, tout comme la lecture, l'une des principales plaintes des patients avec perte de la vision centrale. La perception des visages joue un rôle très particulier chez l'Homme. En effet, nous sommes capables de détecter et faire une saccade vers un animal en 120 à 130 ms (Kirchner et Thorpe, 2006) et en à peine 100 ms pour un visage (Crouzet et al, 2010). Les visages sont donc détectés plus rapidement que tout autre type d'objet (Crouzet et al, 2010), ce qui implique un fort biais pour les visages. Plusieurs études ont montré que nous détectons plus facilement un visage (Crouzet et Thorpe, 2011) ou un animal (New et al, 2007) plutôt qu'un objet manufacturé (e.g. véhicule) ; en faveur d'une priorité ancestrale dans la détection des animaux, incluant l'Homme. On peut également se dire que depuis notre plus jeune âge, nous avons pris l'habitude d'analyser très régulièrement des visages humains (Sinha et al, 2007) et une exposition croissante pourrait conduire à des mécanismes sélectifs d'apprentissage « non encadré » permettant d'acquérir rapidement le concept de visage.

Dans le cas d'une perte de la vision centrale, de nombreux travaux montrent de grandes difficultés à reconnaître des visages. Cette défaillance serait fortement corrélée à la diminution de l'acuité visuelle (de lecture) des patients, ce qui suggère que la reconnaissance des visages implique un degré de résolution spatiale assez élevé (Bullimore et al, 1991 ; Tejeria et al, 2002). Cependant, il a été montré que les patients atteints de maculopathie étaient capables de catégoriser différents types d'émotion faciale mais étaient

déficients pour identifier si un visage était expressif ou neutre (Boucart et al, 2008 a ; Bullimore et al, 1991). L'équipe de Boucart (2008) a pour cela utilisé deux tâches : la première dite EXNEX consiste à distinguer des visages expressifs de visages non expressifs, la seconde dite CATEX consiste à catégoriser des expressions faciales (joie, peur, colère...). Schyns et Oliva (1999) ont rapporté qu'en fonction des informations requises par la tâche (genre, identification, emotion...), différents niveaux d'informations (hautes vs basses fréquences spatiales, informations globales vs locales,...) peuvent être recrutées lors de la perception. Ils montraient que la discrimination entre visages expressifs et non expressifs nécessite les hautes fréquences spatiales, les basses fréquences spatiales. En revanche, suffisent pour catégoriser les expressions faciales. Les patients DMLA étant déficients pour les hautes fréquences spatiales ; ceci explique pourquoi ils ont des difficultés dans la tâche EXNEX et pas pour la tâche CATEX (Boucart et al, 2008 a).

h) La locomotion :

La navigation spatiale dans des environnements complexes nécessite l'intégration d'un grand nombre d'informations sensorielles et motrices. La perte de la vision, même partielle telle que chez les patients DMLA peut conduire à des difficultés de mobilité.

Plusieurs études (Hassan et al, 2002 ; Wood et al, 2009) ont étudié l'effet d'une perte de la vision centrale sur la mobilité et la posture. Ces études ont permis de déterminer dans un premier temps que la taille du scotome (en vision binoculaire) et la sensibilité aux contrastes étaient les prédicteurs majeurs de la performance des patients dans le cas de la locomotion. Les patients avec maculopathie présentent une instabilité posturale et une marche plus lente que les sujets sains du même âge, et en conséquence prennent plus de temps pour effectuer un trajet donné.

Sengupta et al (2015) ont évalué la mobilité des patients dans les conditions de la vie de tous les jours. Pour cela ils les ont équipés d'un accéléromètre et d'un appareil permettant de les « tracker » pendant une semaine. Les paramètres suivants étaient mesurés : le nombre de pas, temps passé pour des activités physiques modéré à

vigoureuses, le nombre de sortie hors de chez eux et le temps passé hors de chez eux. Les auteurs ont pu constater que les patients étaient significativement moins actifs que les personnes du même âge avec vision normale en dépit du bénéfice psychologique et physique. Ils ont également tendance à moins sortir de chez eux. Ces résultats ne peuvent être généralisés et il faut encore identifier les facteurs responsables afin de comprendre comment améliorer la mobilité de ces patients.

2.1.4 Etiologie

Cette pathologie concerne environ 8% de la population française, mais ce chiffre augmente avec l'âge : 1% des personnes entre 50 et 55 ans, 10 à 12% des personnes entre 55 et 65 ans, 15 à 20% des celles entre 65 et 75 ans, et 25 à 30% des plus de 75 ans (selon le site www.inserm.fr). Ces chiffres tiennent compte des personnes ayant une DMLA au stade primaire jusqu'aux stades tardifs. En France, sur les 8 à 10 millions de personnes de plus de 65 ans, plus de 2 millions seraient touchées par la DMLA (toutes formes confondues) (Lecerf et Desmettre, 2010). Avec l'augmentation de l'espérance de vie et le vieillissement de la population ces chiffres vont augmenter. Il s'agit de la troisième cause de cécité visuelle au monde et la première dans les pays industrialisés (Jackson et al, 2002) avec près de 25 millions de personnes atteintes à travers le monde (ophtalmo-lyon.com). Mais la prévalence de cette pathologie est différente en fonction des origines ethniques (Klein et al, 2006)

La DMLA est une maladie dite multifactorielle, le principal facteur de risque étant l'âge, mais il en existe d'autres classé en 3 catégories (de Jong, 2006 ; Jackson et al, 2002 ; Lecerf et Desmettre, 2010 ; Salvi et al, 2006) :

Les facteurs génétiques (héréditaires) : par exemple sur le gène qui code pour l'apolipoprotéine E (APOE) dont l'isoforme ξ_4 qui a un rôle protecteur tandis que l'isoforme ξ_2 aurait pour conséquence d'accélérer l'avancement dans la DMLA (Fisher et al, 2005 ; Klaver et al, 1998 ; Souied et al, 1998 ; Swaroop et al, 2007). Une modification de type Y402H du gène codant pour le facteur H du complément (CFH) localisé sur le chromosome 1q32 serait également associée à un haut risque de développer une DMLA (Edwards et al, 2005 ;

Fisher et al, 2005 ; Haines et al, 2005 ; Klein et al, 2005 ; Souied et al, 2005 ; Swaroop et al, 2007). Il existe également d'autres modifications géniques mais moins répandues ou moins connues (Fritsche et al, 2014).

Les facteurs dits constitutionnels tels que les pathologies cardiovasculaires, hypertension artérielle, l'obésité, l'iris clair...

Les facteurs de risque environnementaux (le tabagisme, les rayons ultraviolets, les carences en vitamine A et oligoéléments ...). Une étude de l'AREDS (Clemons et al, 2005) a montré que les personnes ayant une DMLA, au stade « primaire » ou intermédiaire, qui fument ou ayant un indice de masse corporelle (IMC) élevé augmentent le risque de progression de la DMLA vers un stade avancé.

2.1.5 Diagnostic

Si un patient se plaint de déformations de lignes droites, de tâche noire dans son champ visuel central, d'une moindre perception des contrastes... et que ceci est confirmé avec la grille d'Amsler, alors un certain nombre d'examen ophtalmologiques vont être effectués afin de vérifier s'il s'agit d'une DMLA et de prendre en charge le patient.

Avant toute chose, les cliniciens commencent par une mesure de l'acuité visuelle (AV). En pratique clinique, il existe différentes échelles de mesure de l'AV pour la vision de près (telle que celle de Parinaud et de Weiss-Rossano) et pour la vision de loin (tel que celle l'échelle de Monoyer, de Snellen ou ETDRS pour Early Treatment Diabetic Retinopathy Study). La plus adaptée dans le cas de patients avec basse vision, comme pour la DMLA, est l'échelle ETDRS (**Figure 3.5**). Cette échelle s'étend de $1/10^{\text{ème}}$ à $20/10^{\text{ème}}$. Le principe est de faire lire des lignes de lettres, un œil à la fois dans l'obscurité, à une distance de 4m et de noter le nombre de lettres qui ont été correctement lues par le patient. Si l'AV est inférieure à $2/10^{\text{ème}}$ la mesure est effectuée de nouveau sur les 6 premières lignes à 1m de distance, ce qui permet de mesurer l'AV de $1/40^{\text{ème}}$ à $1/12^{\text{ème}}$ (selon ophtalmo.net).

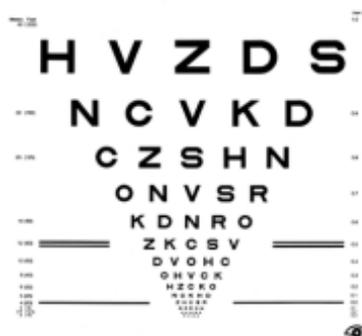


Figure 3.5: Echelle ETDRS (selon ophtalmo.net)

Ensuite, un examen du fond d'œil sera effectué, après dilatation pupillaire, afin d'observer, à l'aide d'un biomicroscope ou d'une lampe à fente (Atmani et al, 2009), la papille optique, les vaisseaux, la rétine ainsi que d'éventuelles anomalies telles que des drusens ou des irrégularités de la couche profonde de la rétine. Comme le montre la **Figure 3.6**, on observe :

- Des signes indirects de néovascularisation choroïdienne dans le cas d'une DMLA exsudative (**Figure 3.6 A**),
- Une ou plusieurs zones d'atrophie s'ajoutant aux drusens dans le cas d'une DMLA atrophique (**Figure 3.6 B**).



Figure 3.6: (à gauche) DMLA exsudative avec hémorragie, (à droite) DMLA atrophique.

Enfin, pour confirmer le diagnostic, des techniques d'imagerie rétinienne sont utilisées (Atmani et al, 2009). Pour commencer, des clichés en couleurs sont effectués avant toute injection. Ils permettent, par le biais d'une lumière verte (clichés dit anértythe), de mettre en évidence les vaisseaux et donc d'éventuelles hémorragies tandis que les clichés en lumière rouge estompent les vaisseaux au profit de l'EPR (hypo ou hyperpigmentation) et de la choroïde. Les clichés en autofluorescence permettent de déterminer toute modification de répartition de la lipofuscine et de ses produits de dégradation au sein de l'EPR dont l'accumulation joue un rôle déterminant dans la DMLA. Dans un deuxième temps, un examen angiographique est réalisé ; c'est-à-dire qu'après injection d'un colorant des clichés de la rétine seront pris. Deux types de colorants sont utilisés : (1) la fluorescéine, qui ne diffuse pas au travers de la paroi des vaisseaux, et qui permet de mettre en évidence, de manière indirecte, une éventuelle néovascularisation anormale de la rétine et donc de déterminer le type de DMLA ainsi que l'avancement de la pathologie. (2) Le vert d'indocyanine (ICG = Indo-Cyanine Green) permet, sous lumière infrarouge (IR), de visualiser directement les vaisseaux choroïdiens et de mettre en évidence l'étendue de la pathologie ainsi que la topographie et le type de réseau néovasculaire. Dans un dernier temps une tomographie en cohérence optique (OCT) va permettre d'obtenir des images en coupes de la rétine, de la fovéa ainsi que de la papille optique. Il permet de mettre en évidence des variations d'épaisseur de la rétine et donc d'éventuelles anomalies structurelles telles que des plages d'atrophie de l'EPR mais aussi l'accumulation de liquide sous- et intra-rétinienne liée à la formation de néovaisseaux.

2.2 La maladie de Stargardt :

2.2.1 Etiologie

Décrite par Karl Bruno Stargardt en 1909 (Stargardt, 1909), la maladie de Stargardt est une dystrophie maculaire (ou maculopathie) héréditaire monogénique bilatérale due aux altérations d'un seul gène : ABCA4 situé sur le chromosome 1, dans la région 1p22.1 (Kaplan et al, 1993 ; Rozet et al, 1996). C'est pourquoi on dit qu'il s'agit d'une dystrophie maculaire pure (Rozet et al, 2005). Plus rarement ceci peut-être dû à d'autres gènes qu'ABCA4, tel que ELOVL4 (Zhang et al, 2001). La prévalence de cette pathologie est d'une sur 10000 naissances (Westerfeld et Mukai, 2008) et se déclare chez les enfants avant l'adolescence (entre 7 et 14 ans) (Rozet et al, 2005 ; Stargardt, 1909).

La maladie de Stargardt est dite autosomique récessive (Kaplan et al, 1993), de ce fait seul les enfants ayant reçu à la fois le gène muté de leur père et de leur mère, seront atteints (**Figure 3.7**). Par conséquent, les sujets atteints sont porteurs du gène muté en double exemplaire (on dit qu'ils sont homozygotes). Cependant, chacun des deux parents n'est porteur que d'un seul exemplaire (on dit qu'ils sont hétérozygotes). La probabilité d'avoir un enfant atteint pour un couple dont les deux parents sont porteurs du gène muté, est de 1 sur 4. Dans de rares cas, la maladie de Stargardt est autosomique dominante, tel que pour la mutation du gène ALOVL4 (Zhang et al, 2001).

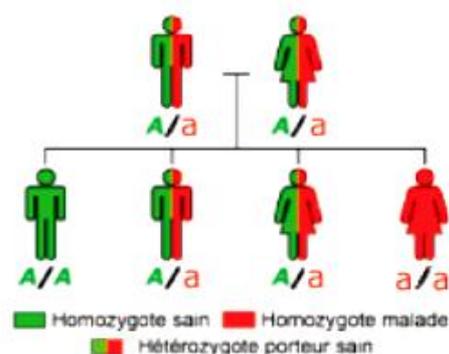


Figure 3.7: Les deux parents portent une copie du gène muté (a), et une copie du gène normal (A) : les parents ne sont donc pas malades (on dit qu'ils sont hétérozygotes). L'enfant a/a a récupéré le gène muté de son père et de sa mère : il est atteint de la maladie de Stargardt (on dit qu'il est homozygote). Les enfants A/a comme leurs parents sont hétérozygotes et ne développeront pas la maladie, mais risquent de transmettre le gène à leur descendance (porteurs sains). L'enfant A/A n'a pas récupéré le gène muté de sa mère ni de son père : il n'est donc pas malade et ne risque pas de transmettre la maladie. (Tiré de www.orpha.net).

2.2.2 Altérations anatomiques et fonctionnelles

Le gène ABCA4 (actif uniquement dans la rétine) code pour une protéine (ATP-Binding Cassette transporter) impliquée dans le passage tout trans rétinale (dérivé de la vitamine A) vers le cytoplasme au travers des membranes cellulaires. Lorsque ce gène est muté, on observe une diminution d'activité plus ou moins sévère de la protéine pour laquelle il code (Dollfus et Pelletier, 2008; Kaplan et al, 1993), ce qui a pour conséquence une accumulation de cette dernière dans les disques des photorécepteurs sous forme de dépôts de lipofuscine ainsi que dans l'EPR, se manifestant sous forme de tâches jaunâtres sur des images de fond d'œil (**Figure 3.8**). Celle-ci est un déchet intracellulaire résistant à la dégradation par les enzymes lysosomales. On observe cette accumulation dans les rétines normales avec des niveaux croissant avec l'âge, mais dans la maladie de Stargardt la quantité de lipofuscine est 2 à 5 fois la normale. L'accumulation de cette dernière est donc toxique, ce qui induit une mort cellulaire au niveau de l'EPR et secondairement des photorécepteurs. Étant donné que la formation de lipofuscine se produit à des taux plus élevés au niveau de la macula, c'est au niveau périfovéolaire que cette atteinte se produit (Souied et al, 2003 ; Westerfeld et Mukai, 2008). Plusieurs mutations du gène ABCA4 peuvent être à l'origine de la maladie (Dollfus et Pelletier, 2008), et beaucoup plus rarement, la maladie de Stargardt peut être due à d'autres gènes que celui-ci. Dans de rares cas, on peut également observer des formes tardives de maladie de Stargardt (Souied et al, 2003). Tout comme pour la DMLA, la perte progressive des photorécepteurs conduit à une diminution progressive des fonctions visuelles associées à la macula.

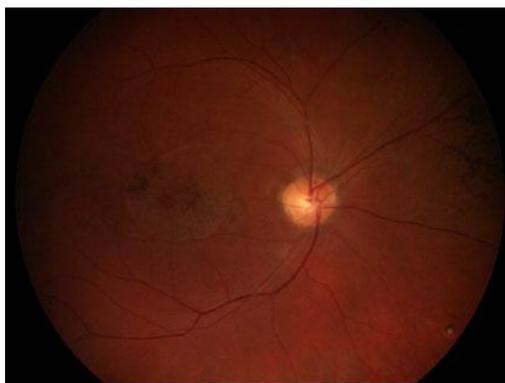


Figure 3.8 : Cliché rétinophotographique d'un patient atteint de la maladie de Stargardt

La maladie de Stargardt se manifeste entre 7 et 14 ans en commençant par une diminution assez rapide de l'acuité visuelle, suivie par une altération de la vision chromatique. Les enfants/adolescents atteints par cette maladie deviennent vite amblyope (Rozet et al, 2005). L'atteinte, tout comme pour la DMLA, ne concernera que la macula avec une rétine périphérique intacte. Ces patients, à terme, auront une AV inférieure à 1/10^{ème} (Rozet et al, 2005). Les atteintes fonctionnelles sont donc très similaires à la DMLA atrophique.

2.2.3 Diagnostic

Le diagnostic de la maladie de Stargardt se fait suite à des plaintes de troubles visuels tel que la baisse de l'AV, l'altération de la vision des couleurs qui engendrent des difficultés notamment pour lire... chez des sujets jeunes (www.stargardt.fr). Cependant, les troubles étant similaires à ceux induits par la DMLA, les moyens utilisés pour diagnostiquer cette pathologie sont les mêmes : AV, fond d'œil, imagerie rétinienne (angiographie, OCT). Au début de la maladie, le fond d'œil est quasi normal et l'électrorétinographie (ERG) ainsi que la mesure des potentiels évoqués visuels (PEV) montrent que le fonctionnement des cônes et des bâtonnets est tout à fait normal (Rozet et al, 2005). Ce n'est que quelques mois après que l'on pourra observer une atteinte de la macula. C'est à partir de là que les examens

complémentaires que sont l'angiographie et l'OCT seront essentiels à la mise en évidence des signes cliniques liés à la maladie de Stargardt (Rozet et al, 2005). Une mesure du champ visuel permettra de confirmer la présence d'un scotome central et une périphérie saine.

2.3 Plasticité liée à la présence d'un scotome central :

La dégénérescence des photorécepteurs suite à une maculopathie, induit de manière inéluctable une perte d'influx nerveux au niveau de la zone rétinienne lésée, mais aussi au niveau de la zone de projection corticale de la lésion (LPZ = « lesion projection zone »). Ceci va induire une réorganisation au niveau des différentes structures (rétine et cortex visuel) que l'on nomme plasticité du système visuel.

2.3.1 Modifications anatomique

On peut se demander dans un premier temps quel est l'impact d'un point de vue neuroanatomique chez ces patients. C'est ce qui a fait l'objet de l'étude de Boucard et al, (2009). Ils ont cherché à déterminer s'il y a une relation entre la perte d'une partie du champ visuel et l'épaisseur corticale au niveau de la LPZ associée. Autrement dit, est-ce qu'une déprivation corticale à long terme, suite à une lésion rétinienne, sera associée à une dégénérescence neuronale rétinotopique spécifique du cortex visuel. Pour cela, ils ont utilisé l'IRM haute résolution afin de mesurer la densité de la matière grise à l'aide d'une analyse morphométrique chez des patients ayant perdu soit la vision centrale (ex : DMLA) et chez des patients présentant une altération de la vision périphérique (ex : glaucome) et ils l'ont comparé à ceux de sujets contrôles sains. Les auteurs ont montré qu'une déprivation corticale suite à une lésion de la rétine induit une diminution de la densité de matière grise au niveau de la LPZ (**Figure 3.9**) c'est-à-dire au niveau du pôle antérieur de la scissure

calcarine pour les patients ayant un glaucome ou du pôle postérieur de la scissure calcarine pour les patients DMLA (Boucard et al, 2009) ou avec une maculopathie juvénile (Plank et al, 2011). Plank et al (2011), ont également montré que cette diminution de la densité en matière grise était corrélée à la taille de la lésion.

Il y a donc un lien entre la zone d'atrophie de la rétine et la densité de la matière grise de la LPZ. Cependant, cette réduction volumétrique n'a pas seulement lieu au niveau du cortex visuel. Il a été observé qu'il y avait également une atrophie tout le long des voies visuelles que ce soit suite à une perte du champ visuel central (Hernowo et al, 2013) ou périphérique (Gupta et al, 2009). Une déprivation corticale secondaire à des lésions rétiniennees acquises tardivement dans la vie est donc associée à une dégénérescence neuronale, mais n'est pas spécifique au cortex visuel.

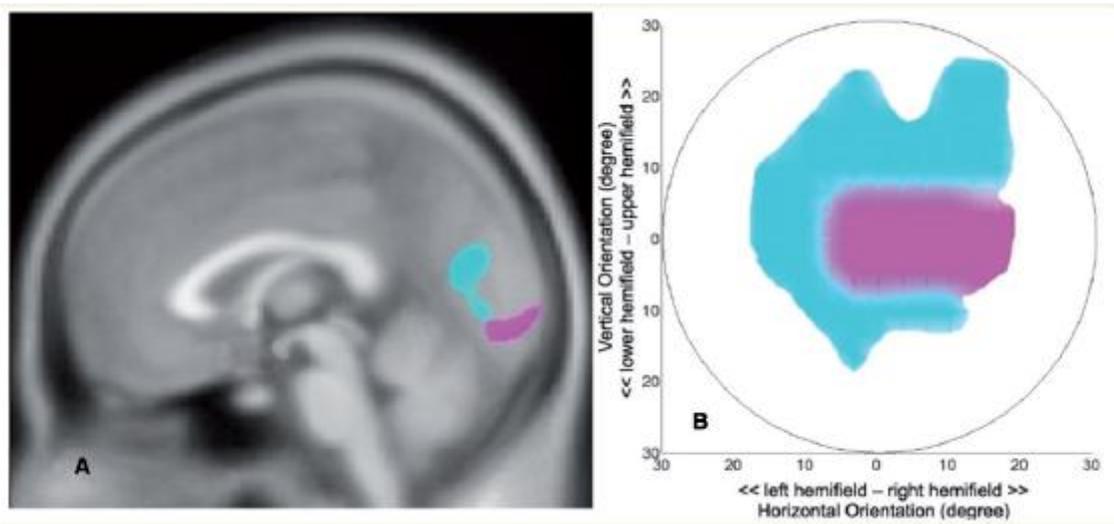


Figure 3.9 : Sensibilité du champ visuel et densité de matière grise. (A) La réduction de la densité en matière grise dans le glaucome est observée dans la moitié antérieure du cortex occipital médian (cyan), et dans la DMLA (magenta) dans la moitié postérieure du cortex occipital médian. (B) Carte de variation du seuil de sensibilité du champ visuel indiquant un déficit central pour la DMLA et périphérique pour le glaucome (tiré de Boucard et al, 2009).

Cette dégénérescence le long des voies visuelles jusqu'au cortex visuel inclus, permet de comprendre les limites des programmes de réhabilitation (Rosengarth et al, 2013 ; Seiple

et al, 2005) ainsi que de certains essais thérapeutiques (Hossain et al, 2005) d'où l'intérêt de trouver de nouvelles stratégies thérapeutiques (Gupta et Yucel, 2007 ; Taub et al, 2002) afin de contourner les limites liées aux pertes neuronales.

2.3.2 Réorganisation fonctionnelle

La fovéa est le point de fixation de référence chez les sujets sains. Chez les personnes atteintes de maculopathie, la fovéa n'étant plus fonctionnelle, elles doivent s'adapter et développent une fixation extra-fovéale appelée zone de fixation préférentielle (PRL) adjacente au scotome. Plusieurs études ont montré que la localisation de cette PRL peut varier chez un même sujet en fonction de plusieurs facteurs tels que la tâche (Crossland et al, 2011 a ; Greenstein et al, 2008), la luminosité (Lei et al, 1997), les conditions de visualisation (Kabanarou et al, 2006), la durée de la maladie (Crossland et al, 2005 et 2011 b), la taille de la cible (Bellman et al, 2004)... La définition de PRL n'étant pas claire, Crossland et son équipe (2011 b) ont réuni l'avis d'un grand nombre de confrères afin de mieux définir ce qu'est la PRL. Ils proposent ainsi la définition suivante : « *La PRL est une ou des région(s) de la rétine fonctionnelle utilisée(s) préférentiellement pour détecter une cible visuelle dans une tâche spécifique. Celui-ci peut également être utilisé pour le déploiement attentionnel et servir de référence pour les mouvements oculaires* ». Ceci montre donc qu'il y a une adaptation fonctionnelle suite à la perte de la vision centrale. Cependant, l'utilisation d'un point de fixation extra-fovéale engendre une moindre stabilité de fixation comparée aux sujets qui utilisent la fovéa comme point de fixation (Bellman et al, 2004 ; Crossland et al, 2004 a ; Van der Stigchel et al, 2013).

Étant donné l'adaptation fonctionnelle comportementale des patients avec l'utilisation d'une PRL, on peut se demander si, malgré une réduction volumétrique au niveau de la LPZ, secondaire à une perte de la vision centrale, il ne pourrait pas y avoir également une réorganisation fonctionnelle corticale. Grâce aux techniques d'imagerie fonctionnelle telle que l'IRMf (Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle) qui permettent de nos jours d'explorer l'activité corticale du cerveau avec une haute résolution

spatiale, nous sommes en mesure d'évaluer et de quantifier une éventuelle réorganisation fonctionnelle au niveau du cortex visuel chez des patients ayant perdu une partie du champ visuel. Ceci a fait l'objet de nombreuses études ces 10 dernières années.

Des études sur la plasticité du cortex visuel, suite à des lésions de la rétine ont été effectuées dans un premier temps chez l'animal. Ceci a permis de montrer, qu'en l'absence totale de vision centrale, on observe une réorganisation de la cartographie rétinotopique du cortex visuel primaire qui s'opère après plusieurs mois chez le chat (Kaas et al, 1990) mais aussi chez le singe (Heinen et Skavenski, 1991). Avec l'apparition de l'IRMf, plusieurs études ont cherché à déterminer si des résultats similaires de la cartographie rétinotopique du cortex visuel étaient observés chez des patients humains ayant perdu la vision centrale suite à une maculopathie (Baseler et al, 2011 ; Liu et al, 2010 ; Schumacher et al, 2008 ; Sunness et al, 2004) à l'aide de stimulus spécifiques que sont les « wedges » et les « rings » (Figure 3.10). Ces études ont montré qu'il y avait une perte de signal (zone silencieuse) au niveau de la LPZ c'est-à-dire des aires corticales correspondant à la zone d'atrophie rétinienne (Figure 3.11). Ceci laisse penser qu'il n'y a pas de plasticité fonctionnelle au niveau du cortex visuel. Mais, Schumacher et al (2008) ainsi que Liu et al (2010) ont montré que, lorsque les patients fixaient avec leur PRL, comparé à une zone non PRL, il y avait une activation du cortex visuel plus étendue, permettant de dire qu'il y a une réorganisation fonctionnelle partielle suite à la perte de la vision centrale.

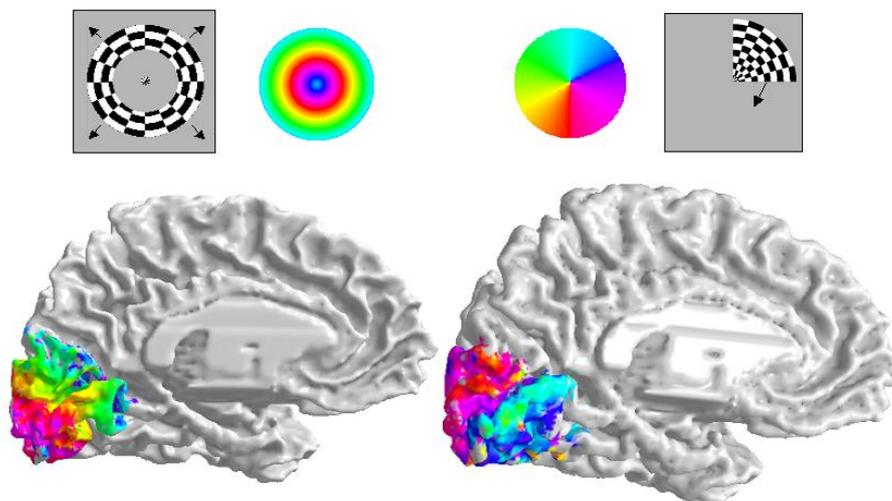


Figure 3.10 : Illustration, en coupe sagittale, d'activation corticale enregistrée lors du test d'excentricité (à gauche) grâce au stimulus « expansion/contraction ring », et du test angulaire en rotation (à droite) grâce au stimulus « clockwise/anticlockwise wedge » (tiré de ... <http://acces.ens-lyon.fr/acces/ressources/neurosciences/>).

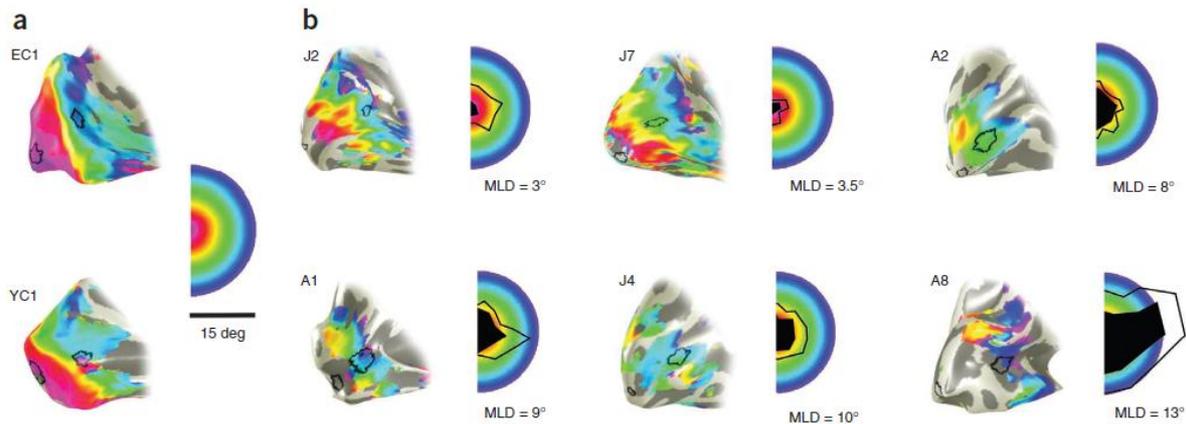


Figure 3.11 : Cartographie rétinotopique du cortex visuel (EC : contrôle âgé ; YC : contrôle jeune ; J : maculopathie lié à l'âge ; A : maculopathie juvénile) (tiré de Baseler et al, 2011)

Certains auteurs ont supposé que cette réorganisation fonctionnelle pouvait dépendre de la tâche c'est-à-dire vision active vs. vision passive (cartographie rétinotopique). Baker et al (2005) ont montré que la stimulation fovéolaire n'entraîne pas d'activation corticale chez les patients atteints de dystrophie maculaire congénitale, mais lorsque l'on stimule leur PRL, le cortex fovéolaire s'active tandis que chez les sujets contrôles seul le cortex dédié à la périphérie s'active. Ils en concluent qu'il y a une réorganisation dans le traitement visuel des patients atteints de maculopathie. Cependant, cette réorganisation fonctionnelle n'a été observée que dans le cas d'une perte totale de la vision centrale fonctionnelle (Baker et al, 2008). Liu et al (2010) montrent, qu'en vision active, l'étendue de la zone silencieuse est plus petite qu'en vision passive (cartographie rétinotopique), autrement dit il y a une activation de la zone du cortex correspondant à la vision centrale lorsque la PRL est stimulée chez les patients atteints d'une maculopathie (**Figure 3.12**). On constate également que la zone silencieuse en vision active est généralement de plus petite taille dans le groupe avec maculopathie juvénile (Stargardt) que dans celui avec

maculopathie liée à l'âge (DMLA). Ceci suggère que l'âge d'apparition de la maladie peut jouer un rôle important dans la mise en place d'une réorganisation corticale fonctionnelle. Masuda et al (2008 et 2010) observent le même processus de réorganisation fonctionnelle mais en vision active : une stimulation visuelle associée à une vision active (avec une tâche à réaliser) entraîne une réponse au niveau de la LPZ contrairement à la vision passive que ce soit chez des patients avec une maculopathie (Masuda et al, 2008) ou une rétinopathie pigmentaire (atteinte de la vision périphérique) (Masuda et al, 2010). Szlyck et al (2009) ont montré une augmentation de l'activation au niveau du cortex préfrontal et du cortex pariétal suggérant la compensation de la perte de signal visuel par l'utilisation d'aptitudes attentionnelles.

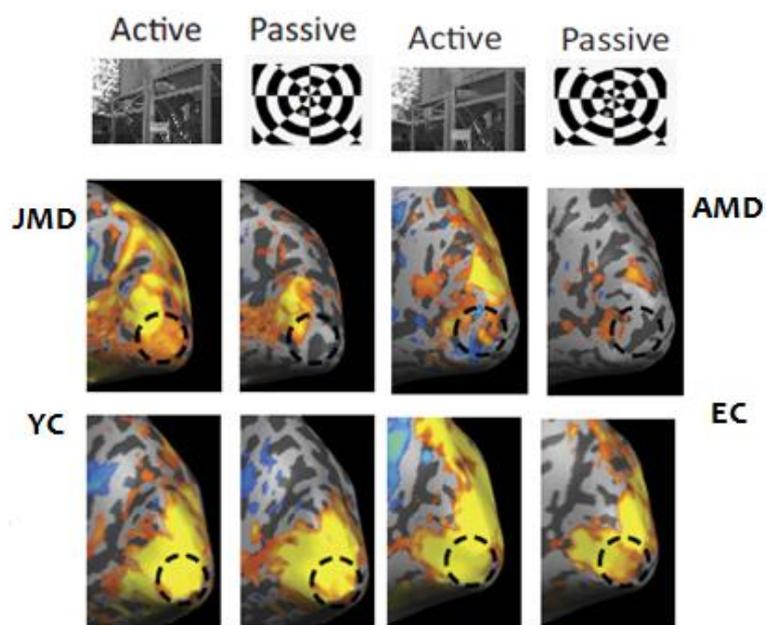


Figure 3.12 : Activité corticale en fonction de la tâche (vision active vs. vision passive) et du groupe (JMD : maculopathie juvénile ; AMD : maculopathie liée à l'âge ; YC : contrôle jeune ; EC : contrôle âgé) (modifié tiré de Liu et al, 2010).

Partie 2 : Travail expérimental

Chapitre 4 : Études sur les capacités de la vision périphérique

Étude 1 :

Catégorisation des scènes en grande excentricité

Boucart M., Moroni C., Thibaut M., Szaffarczyk S. & Greene M. "Scene categorization at large visual eccentricities". *Vision Res.* 2013; 86: 35-42.

Résumé :

Introduction :

De nombreuses études ont permis de montrer que la reconnaissance des scènes chez le sujet sain résistait à des temps de présentation très brefs (Joubert et al, 2007 ; Thorpe et al, 1996), au filtrage des fréquences spatiales (Oliva et Schyns, 2000 ; Schyns et Oliva, 1994) et à une limitation des ressources attentionnelles (Li et al, 2002). Cependant très peu d'entre elles ont évalué la contribution de la vision périphérique. Hors dans les scènes du monde réel, l'ensemble du champ visuel est sollicité.

De plus, dans la vie de tous les jours nous ne sommes pas conscients de la faible résolution de la vision périphérique car nous bougeons nos yeux en permanence. Thorpe et al (2001) ont étudiés les capacités de catégorisation d'animaux en vision périphérique, allant jusqu'à 75 degrés d'excentricité. Ils ont montré qu'en dépit de la faible résolution de la vision périphérique les sujets affichaient une performance de plus de 70% de réponses correctes à 60 degrés d'excentricité. Cette perception non consciente en grande périphérie a été confirmée par Boucart et collaborateurs (2010). Larson et Loschky (2009) ont étudié la contribution de la vision centrale et de la vision périphérique pour la reconnaissance des scènes sous deux conditions, la première dite « fenêtre » où seule l'information centrale était disponible, la seconde dite « scotome » où seule l'information périphérique était disponible, et ceci avec des degrés de rayon divers. Ils ont montré que, même en l'absence de la portion centrale, les participants étaient capables de reconnaître des scènes. Ces résultats furent confirmés par la suite en pathologie chez des patients ayant perdu la vision centrale induite par une maculopathie liée à l'âge par Tran et al (2010).

Notre étude avait pour but de comparer la reconnaissance des scènes (naturelles et urbaines) en grande périphérie (jusqu'à 70 degrés d'excentricité) à deux niveaux de catégorisation : super ordonnée (e.g. naturelle/urbaines) et catégorie de base (e.g. forêt, gratte-ciels).

Méthodologie :

Nous avons fait deux expériences, la première avait pour but d'examiner la catégorisation globale des scènes (fermeture/expansion, intérieur/extérieur, naturel/urbain) chez le sujet sain, la seconde consistait à demander une catégorisation de base (forêt, montagne, route, ville...) des scènes ; niveau de catégorisation qui requière une analyse plus fine que le niveau superordonné.

Pour chacun des 2 tests, 12 participants ont été recrutés parmi les étudiants de l'université de Lille. Tous ont signé un formulaire de consentement écrit.

Des paires de scènes étaient présentées de manière aléatoire au centre ou en périphérie (à 10, 30, 50 ou 70 degrés d'excentricité) sur l'écran panoramique à l'aide de trois vidéoprojecteurs. Il était demandé aux participants de catégoriser en fonction d'un paramètre pour chacun des blocs, par exemple entre intérieur et extérieur. Nous avons enregistré la performance des participants et le temps de réaction (RT) en fonction de l'excentricité et pour chacune des propriétés testées.

Résultats :

Nous avons mis en évidence un effet de l'excentricité sur la performance et le temps de réaction des participants. En effet, plus on s'éloignait du centre moins la performance était bonne et plus le RT était élevé. Cependant, les participants accomplissaient la reconnaissance globale des scènes bien au-dessus du facteur chance.

Nous obtenions le même genre de résultat lors de la catégorisation de base des scènes.

Conclusion :

Nos résultats sont cohérents avec les résultats obtenus par Thorpe et al (2001) sur la catégorisation des animaux en grande périphérie, mais aussi avec les travaux de Larson et Loschky (2009) sur l'implication de la vision centrale et périphérique pour la catégorisation des scènes. Bien que la catégorisation des scènes fût possible avec la faible résolution de la périphérie, la performance restait cependant bien meilleure en vision centrale.

Scene categorization at large visual eccentricities

BOUCART Muriel^a, MORONI Christine^a, THIBAUT Miguel^a, SZAFFARCZYK Sebastien^a &
GREENE Michelle^b

a. Lab. Neurosciences Fonctionnelles & Pathologies, Université Lille-Nord de France, CHU Lille, CNRS

b. Department of Computer Science, Stanford University.

✉ : Dr Muriel Boucart, CHRU Lille, Hôpital Roger Salengro, service EFV, Lab. Neurosciences fonctionnelles & pathologies, 59037 Lille, France.

E-mail :m-boucart@chru-lille.fr

Keywords: scene perception, peripheral vision, coarse-to-fine

ABSTRACT

Studies of scene perception have shown that the visual system is particularly sensitive to global properties such as the overall layout of a scene. Such global properties cannot be computed locally, but rather require relational analysis over multiple regions. To what extent is observers' perception of scenes impaired in the far periphery? We examined the perception of global scene properties (Experiment 1) and basic-level categories (Experiment 2) presented in the periphery from 10 to 70°. Pairs of scene photographs were simultaneously presented left and right of fixation for 80 ms on a panoramic screen (5 m diameter) covering the whole visual field while central fixation was controlled. Observers were instructed to press a key corresponding to the spatial location left/right of a pre-defined target property or category. The results show that classification of global scene properties (e.g., naturalness, openness) as well as basic-level categorization (e.g., forests, highways), while better near the center, were accomplished with a performance highly above chance (around 70% correct) in the far periphery even at 70° eccentricity. The perception of some global properties (e.g., naturalness) was more robust in peripheral vision than others (e.g., indoor/outdoor) that required a more local analysis. The results are consistent with studies suggesting that scene gist recognition can be accomplished by the low resolution of peripheral vision.

INTRODUCTION

Many insights have been made in vision research from the study of natural scenes. Human perception of real-world scenes is surprisingly robust, even in the face of limited presentation time (Greene & Oliva, 2009a; Potter, 1976; Thorpe, Fize & Marlot, 1996; Rousselet et al 2005; Joubert et al 2007), limited spatial frequency information (Schyns & Oliva, 1994), and limited attentional allocation (Li, Van Rullen, Koch & Perona, 2002; but see Evans & Treisman, 2005; Cohen, Alvarez & Nakayama, 2011). These studies typically use relatively small stimuli ($< 20^\circ$ of visual angle) shown on a computer monitor. However, the real-world vision that we are trying to simulate is immersive, encompassing the entirety of the visual field. Additionally, it is also known that many aspects of form perception are substantially impaired in the periphery, relative to central vision. Indeed, visual acuity is not uniform across the visual field. The density of cone photoreceptors, responsible for high-resolution perception, decreases considerably as eccentricity increases from the fovea. Their number drops to about 50% at 1.75° from the fovea and to less than 5% at 20° from the fovea (Curcio et al, 1991). Receptor density is also reduced in peripheral retina. A study from Chui et al (2008) showed that cone photoreceptor packing density decreases from 28000 cells/mm² to 7000 cells/mm² from a retinal eccentricity of 0.3 to 3.4 mm along the superior meridian. Receptive fields are larger in periphery, leading to loss of spatial resolution, and retinotopic projection to cortex prioritizes foveal inputs, resulting in a disproportionately large representation of central retinal locations in the visual cortex whilst peripheral parts of the retina are less and less represented on the cortical surface as eccentricity increases (Azzopardi & Cowey, 1993; Duncan & Boynton, 2003; Popovic & Sjostrand, 2001). In fact, over 30% of primary visual cortex (V1) represents the central 5° of the visual field (Horton & Hoyt, 1991). As a consequence, peripheral vision is far less capable of fine discrimination, even after its low spatial resolution has been compensated for by increasing size (M-Scaling, Saarinen, et al, 1987; Näsänen & O'Leary 1998), by contrast enhancement (Makela et al, 2001) or by increasing temporal integration (Swanson et al, 2008). Moreover, crowding, a phenomenon whereby target visibility decreases in the presence of nearby objects, is more pronounced in the periphery (Leat et al 1999; Levi 2008; Pelli et al 2008). This has been demonstrated with letters, digits, bars and gabor stimuli (Bouma 1970; Strasburger et al 1991; Kooi et al 1994; see Strasburger et al 2011 for a review). Contour perception of gabor

elements is impaired at an eccentricity of 6° (May & Hess, 2007) and figure/ground segregation is impaired in peripheral vision (Thompson et al 2007).

However, in everyday life, we are not aware of the limitations in spatial resolution in peripheral vision because we move our eyes. Furthermore, certain visual discriminations remain robust in the periphery: perception of isolated objects (Naili et al 2006; Boucart et al 2010), and even emotion processing (detection of fearful faces (Rigoulot et al 2011; Bayle et al 2011) and judgement of facial attractiveness (Guo et al 2011)), can be relatively good in peripheral vision.

The question of the relative contributions of central and peripheral vision to natural scene perception has been addressed both in normally sighted observers and in clinical patients exhibiting pathologies inducing a visual field loss. Thorpe et al, (2001) examined performances of young, normally sighted people in object categorization (detecting an animal in a natural scene) at large eccentricities. Photographs of natural scenes were randomly presented on a hemispheric screen from 0 (central) to 75° eccentricity. Surprisingly, they found that object detection accuracy was above 70% at 60° eccentricity even though participants claimed to perform the task by guessing. This non-conscious perception at large eccentricities has been confirmed and extended by Boucart et al, (2010) who demonstrated implicit recognition (measured by priming effects) but no explicit recognition (measured by recognition of previously seen pictures) of coloured photographs of objects at 50° eccentricity whilst both explicit and implicit recognition occurred at 30° eccentricity in normally sighted young observers, as well as in 4 patients with Stargardt disease (a juvenile maculopathy inducing central vision loss). Larson and Loschky (2009) examined the contribution of central versus peripheral vision on scene gist recognition in a verification task (a matching between a word and a photograph). They presented participants with central photographs of real world scenes (27 X 27° of visual angle) for 106 ms each. Performance was compared in two conditions: a window condition showing the central portion of the scene and blocking peripheral information, and a scotoma condition blocking out the central portion and showing only the periphery. The radii of the window and scotoma were 1, 5, 10.8 and 13.6°. Performance was barely above chance in the 1° window condition suggesting that foveal vision alone is not sufficient for recognizing scene gist. Accuracy increased as the radius of the window increased, and when the overall image areas were equated, peripheral information lead to better categorization performance. The

authors suggested that peripheral (and parafoveal vision) is more useful than high-resolution foveal vision for scene gist recognition. Velisavljevic and Elder (2008) examined the contribution of low-level factors (luminance and color statistics) and high level factors (configural properties) in determining the variation in recognition across the visual field. A photograph of a scene ($31 \times 31^\circ$) was centrally displayed for 1s and followed by a probe display containing two smaller image blocks (3.9°): a target derived from the central or peripheral part of the previous photograph and a distractor from a random image never seen by the observer. The task was to decide which of the two image blocks was part of the previous scene. In this study, a “configural property” was defined as a coherent versus a scrambled version of each scene. They found that while spatial coherence increased recognition rates within the central visual field, the benefit of coherence vanished in the periphery, consistent with Hess and Dakin’s (1997) account that curvilinear contour binding mechanisms might operate in the central part of the visual field, within 10° of the fovea.

Altogether, these results suggest that some scene categorization tasks can be performed in peripheral vision. However, the spatial resolution limit of scene perception has had little investigation. Studies using both natural scenes and laboratory stimuli, in central vision, have shown that the visual system is particularly sensitive to the global structure, or overall layout of a stimulus (Greene & Oliva, 2009a; Kimchi, 1992; Navon, 1977; Oliva & Torralba, 2001). For natural scenes, the global structure involves the overall space and shape of the scene, such as its degree of openness, the mean depth of the space, and its degree of expansion. (Greene & Oliva, 2009a; Oliva & Torralba, 2001). Other types of global properties describe the type of scene at the superordinate level (e.g., natural versus urban; Greene & Oliva, 2009b; Joubert, Rousselet, Fize & Fabre-Thorpe, 2007). Such global properties cannot be computed locally, but rather require relational analysis over multiple regions. To what extent will observers’ perception of these global properties suffer in the far periphery?

Experiment 1 examined the perception of a set of global scene properties such as naturalness, openness, expansion, indoor/outdoor for eccentricities ranging from 10 to 70° . Oliva & Torralba (2001) showed that global scene properties could be determined with a high reliability from a diagnostic set of low-level image features without invoking grouping operations. If the perception of global scene properties can be accomplished on a coarse version of the image, then basic-level scene categorization should also remain robust in the

low resolution of large eccentricity. For the same reason, the low resolution of peripheral vision at large eccentricities might be sufficient to categorize some of a scene's global properties, allowing basic-level categorization as basic-level scene categories share global property values (Greene & Oliva, 2009a). On the other hand, basic-level categorization (rivers/mountains or cities/skyscrapers), might require more detailed processing of specific diagnostic features, and therefore be more difficult at large eccentricities. This was assessed in Experiment 2.

EXPERIMENT 1: Global scene property classification in the periphery

METHOD

Subjects: 12 participants (9 females), all right handed, ranging in age from 22 to 45 took part in the experiment. Participants were members of the medical staff of the department of ophthalmology of the Lille's university hospital and students in neuroscience. All participants had normal or corrected-to-normal vision. A written consent was obtained from all participants.

Stimuli: The stimuli consisted of 400 coloured photographs of natural scenes selected from a large laboratory database that had been previously ranked by human observers along each of the global scene properties (Greene & Oliva, 2009a). Four global properties were examined here: expansion, naturalness, openness, and indoor versus outdoor, using 100 photographs each (50 for each pole). Example images are shown in Figure 1. The size of each photograph was 20 X 20° of visual angle at a viewing distance of 2.1 m. As contrast sensitivity rapidly decreases at large eccentricities, especially for high spatial frequencies (Cannon, 1985), the images were presented at full contrast. However, no attempts were made to rescale the images to compensate for acuity loss in the periphery.

Apparatus: The stimuli were displayed by means of three projectors (SONY CS5) fixed on the ceiling, and connected to a PC computer. Participants were seated 2.1 meters from a hemispheric rigid light grey (68 cd/m²) screen covering 90° eccentricity on each side of the central fixation (see Figure 1). Eye movements were recorded by means of an infrared

camera located on the table in front of the observer (see Figure 2), while head position was maintained by a chin rest. The presentation software (Vision 180) was written by the laboratory engineer. Participants made responses using a two-button box.

Procedure and Design: Prior to the beginning of each block, participants were presented with a pair of scenes that were not used in the experiment along with a description of the global property target on a piece of paper. On each trial, following a central fixation cross displayed for 500 ms, a pair of photographs representing both poles of the global property (e.g., one indoor and one outdoor scene) was simultaneously displayed left and right of fixation for 80 ms while the participant's gaze was stable on fixation. There was no backward masking. To ensure central fixation, eye position was monitored with an eye tracker. A saccade was detected by the camera if the eye moved by 3° from fixation. A trial was triggered when fixation had been stable for 500 ms. The experiment consisted of four blocks of 96 trials each determined by 2 spatial locations of the target (left/right), 4 eccentricities (10, 30, 50 and 70 degrees, measured from the center of each scene) and 12 different images randomly selected for each global property pole. Each block corresponded to one of the four global scene properties, and the order of blocks was counterbalanced across participants. Participants performed a spatial forced choice (left/right) task, indicating whether the left or right image contained the target global property pole. For each of the four global properties tested, half of the participants were given one pole of the global property as a target (e.g. locate the open scene), and the other half were given the opposite pole as a target (locate the closed scene). Odd numbered participants were given the targets *urban*, *indoor*, *open* and *expansion*, while even numbered participants were given the targets *natural*, *outdoor*, *closed* and *no expansion*. Participants responded by pressing the left or the right key depending on the location of the target. There was no specific instruction regarding speed or accuracy. The four eccentricities (10, 30, 50 and 70°) and the two spatial locations of the target (left/right) were equally and randomly represented within each block. Each block lasted about 5-7 minutes, and the entire session lasted about 30 minutes.



Fig.1.: Examples of the four global scene properties used in the experiment. Each property has two poles (shown side by side).

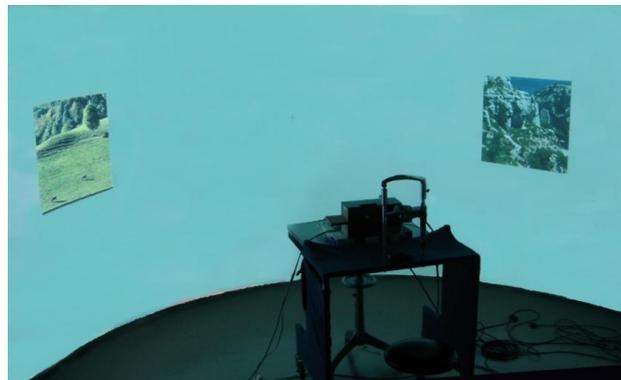


Fig.2.: The panoramic screen (5 meters in diameter) covered 180° of visual field. For each categorization task, two scenes were simultaneously displayed to the left and right of fixation for 80 ms. Central fixation was controlled by an infrared camera placed in front of the participant.

RESULTS

Analyses of variance, using the software SPSS, were conducted on the reaction times (RTs) and accuracy. As the condition of normality was not filled for accuracy, a logarithmic transformation was applied on the data (\log_{10}). The variables were the spatial location of the

target (left/right of fixation), eccentricity (10, 30, 50 and 70°) the spatial property of the scene (naturalness, openness, expansion and indoor/outdoor) and the property's target pole. The data are presented in Figure 3.

Accuracy: There was a main effect of the target pole $F(1, 10) = 1.33, p = 0.27$ (natural: 90.9%, urban: 85.9%, indoor: 68.4%, outdoor: 73.9%, open: 77.3%, closed: 74.1%, expansion: 72.9%, no expansion: 78.1%). Accuracy decreased with increased eccentricity (10°: 88.4%, 30°: 84%, 50°: 73.9%, 70°: 64.6%; $F(3, 33)=17.15, p<0.001$). Accuracy was significantly affected by the target global property ($F(3, 33) = 27.73, p<.001$). The highest accuracy was observed for naturalness (88.4%). Averaged over spatial location and eccentricity accuracy was higher for naturalness than for openness (75.7% $t(11) = 11.56, p<.001$), than for expansion (75.5% $t(11) = 4.84, p<.001$) and than indoor/outdoor categorization (71.3% $t(11) = 4.26, p<.001$). All scene properties were categorized above chance at 70° eccentricity except for indoor/outdoor for which accuracy did not differ from chance at 70° ($t(11) = 1.76, ns$). There was a small, but reliable effect of spatial location (4.9%), with performance on targets displayed on the right side of fixation higher than on the left ($F(1,11) = 8.8; p<0.013$). There was no statistically significant interaction (global property and eccentricity: $F(9, 90) = 1.33, p=0.28$; global property and spatial location : $F(3, 30) = 1.02, p= 0.37$; eccentricity and spatial location : $F(3, 30) = 1.9, p= 0.30$; global property, spatial location and eccentricity: $F(9, 90) = 0.72, p=0.49$; global property and target pole: $F(3, 30) = 0.31, p =0.81$; eccentricity and target pole: $F(3, 30) = 0.48, p = 0.54$; spatial location and target pole: $F(1, 10) = 0.28, p = 0.60$; global property, eccentricity and target pole: $F(9, 90) = 1.9, p = 0.15$; global property, spatial location and target pole: $F(3, 30) = 1.19, p = 0.32$; eccentricity, spatial location and target pole $F(3, 30) = 0.41, p = 0.65$; global property, spatial location, eccentricity and target pole: $F(9, 90) = 1.7, p = 0.20$).

Response times: There was no main effect of the target pole for RTs $F(1, 10) = 0.58, p = 0.46$ (natural: 665 ms, urban: 693 ms, indoor: 910 ms, outdoor: 912 ms, open: 762 ms, closed: 880 ms, expansion: 941 ms, no expansion: 707 ms). RTs increased significantly with increased eccentricity (10°: 743 ms, 30°: 774 ms, 50°: 829 ms, 70°: 890 ms; $F(3, 33) = 18.33; p<.001$). RTs were significantly affected by the target global property ($F(2, 33)= 5.81, p = .003$). Averaged over spatial location and eccentricity RTs were significantly shorter for naturalness than for openness (by 142 ms $t(11) = 2.82, p<.016$), than perspective (by 145 ms $t(11) = 2.64, p< .023$) and than indoor/outdoor categorization (by 232 ms $t(11) = 6.60,$

$p < .001$). RTs did not differ significantly for left and right targets (right: 804 ms vs left: 818 ms $F(1, 11) = 2.98, p = 0.11$). There was no significant interaction (global property and eccentricity: $F(9, 90) = 1.14, p = 0.34$, global property and spatial location: $F(3,30) = 0.74, p = .53$, eccentricity and spatial location: $F(3, 30) = 1.92, p = 0.14$, global property, eccentricity and spatial location: $F(9, 90) = 1.34, p = 0.22$; global property and target pole: $F(3, 30) = 2.4, p < 0.09$; eccentricity and target pole: $F(3, 30) = 1.7, p = 0.17$; spatial location and target pole: $F(1, 10) = 2.03, p = .10$; global property, eccentricity and target pole: $F(9, 90) = 0.24, p = 0.98$; global property, spatial location and target pole: $F(3, 30) = 1.13, p = 0.35$; eccentricity, spatial location and target pole $F(3, 30) = 1.24, p = 0.31$; global property, spatial location, eccentricity and target pole: $F(9, 90) = 1.38, p = 0.20$).

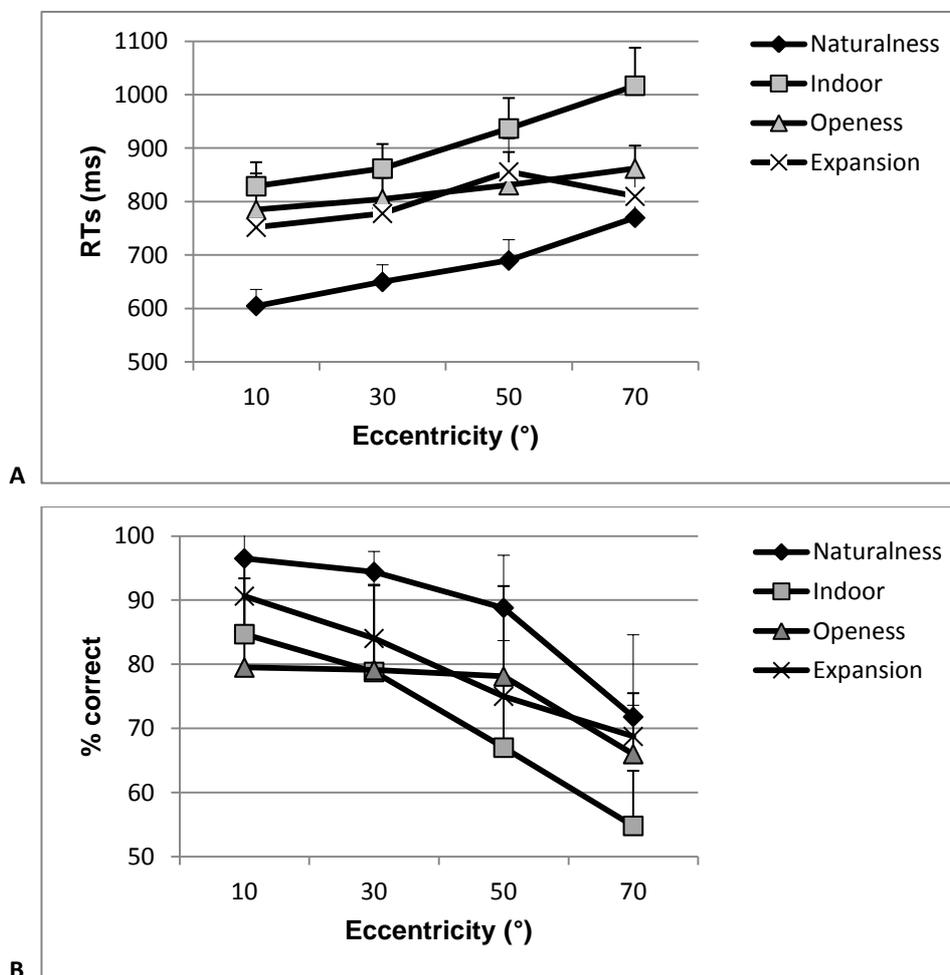


Fig.3.: Mean reaction times (-A-) and mean percent correct responses (-B-) as a function of the global scene property (averaged over the two poles of each property) and eccentricity. The bars represent +/-1 standard error of the mean.

DISCUSSION

The results show that classification of global scene properties can be accomplished in the far periphery. The perception of some global scene properties was more robust in the low resolution of peripheral vision than others. For naturalness, accuracy was still around 90% at 50° eccentricity and above 70% at 70°. The ease of perceiving a scene's naturalness has been reported in other studies. Indeed, observers have higher accuracy and faster response times to classifying a scene as a natural than to manmade environment (Greene & Oliva, 2009b; Joubert et al, 2007). In contrast, indoor/outdoor accuracy was above 80% correct at 10° eccentricity and at chance at 70°. If the diagnostic information to perform the task is contained in local features, then performance should be impaired in peripheral vision as the details conveyed by high spatial frequencies are processed centrally. This may be the case with the indoor/outdoor task: wooden tables and chairs are frequently found indoors in dining rooms while plastic tables and chairs can be found outdoors on patios. Interestingly, this is similar to the accuracy fall-off observed by Thorpe et al (2001) using an object detection task. Furthermore, Tran et al (2010) reported that patients with central vision loss due to age related macular degeneration were more impaired in categorizing scenes as indoor versus outdoor than as natural versus urban, indicating that the higher resolution of central vision is required to discriminate indoor from outdoor scenes. Moreover, naturalistic real-world scenes are known to self-crowd in the far periphery. For instance, To et al (2011) examined whether changes in different features (such as colour or shape) were differentially compromised in peripheral vision with naturalistic images. They found that, even for isolated peripheral targets, features within an image could crowd one another thus reducing performance. Perhaps indoor/outdoor classification was more affected by internal crowding than the other global scene properties.

Although a number of scene properties have been studied as global scene properties, there is no exhaustive list of such properties. Furthermore, the perceptual availability of global scene properties varies (Greene & Oliva, 2009b). In this work, we examined the indoor/outdoor distinction as a potential global scene property, but unlike the other properties, the chance performance in classification in the far periphery suggests that the perception of a scene as being an indoor or outdoor environment requires local analysis.

The results of Experiment 1 have shown that, with the exception of indoor/outdoor, global scene property classification can be performed accurately in the far periphery. Do human observers utilize global property information to perform basic-level categorization? Oliva & Torralba (2006) suggested that a low resolution “sketch” would probably be sufficient to categorize at the superordinate level but higher resolution analysis could be needed for basic scene categories such as sea, mountain, river, or highway. Consistent with this suggestion, Joubert et al (2007) and Rousselet et al (2005) showed that observers are faster to classify scenes as being natural or urban (383-393 ms) than to categorize them at the basic-level (405-463 ms, see also Loschky & Larson, 2010) in central vision. We expected that, in the far periphery, the perception of a scene’s basic-level category would be limited by the perception of its global properties. Specifically, as rapid scene categorization cannot be predicted from the perception of a single global property, and thus may require the perception of multiple diagnostic properties (Greene & Oliva, 2009a), then we would expect basic-level categorization to be limited by the resolution limits of global property perception. Therefore, we expect basic-level categorization to require at least fine resolution as global property classification. This was assessed in Experiment 2.

EXPERIMENT 2: Basic level categorization in periphery

METHOD

Subjects: 12 new observers (8 females) took part in the basic-level categorization task. All participants were right handed, ranging in age from 21 to 33. Participants were all students in medicine or physiology. All had normal or corrected-to-normal vision. A written consent was obtained from all participants.

Stimuli: The stimuli were 1756 coloured photographs of natural scenes chosen from a large laboratory scene database. Six basic-level categories were represented: three natural (mountains (n = 445 photos), forests (n = 336) and rivers (n = 302)); and three man-made (cities (n = 148), highways (n = 323) and skyscrapers (n = 202)). Examples are shown in Figure 4. The angular size of each photograph was 20° X 20° of visual angle at a viewing distance of 2.1 m.



Fig.4.: Examples of scenes used for basic level categorization (mountains, rivers and forests for natural scenes; and highways, skyscrapers and cities for man made scenes).

Procedure and Design: Participants were tested on six blocks of 96 trials each, consisting of 24 trials (12 with the target on the left and 12 with the target on the right of fixation) and 4

eccentricities (10, 30, 50 and 70°). In each block, two basic-level categories were paired as target and distractor. For natural categories, participants were presented with pairs of: rivers/mountains, forests/rivers and mountains/forests in three separate blocks. For man-made categories, they were presented with pairs of skyscrapers/highways, highways/cities and cities/skyscrapers also in three independent blocks. In each block, participants were given a single target category. For instance, odd-numbered participants were given rivers, forests and mountains as targets and even-numbered participants were given mountains, rivers and forests as targets. The same procedure was used for man-made pairs. Following a central fixation cross displayed for 500 msec, a pair of photographs was simultaneously displayed to the left and right of fixation for 80 ms when the gaze was maintained on a central fixation. Central fixation was controlled by the eye tracker. There was no backward masking. The task was to indicate whether the target category was on the right or left side. Responses were given by pressing the left or the right key corresponding to the location of the target.

RESULTS

Analyses of variance, using the software SPSS, were conducted on RTs and accuracy. When the condition of normality was not filled (on accuracy), a logarithmic transformation (\log_{10}) was applied on the data and an ANOVA was conducted. The factors were the spatial location of the target (left/right), the categories of scenes (rivers, mountains, forests, highways, cities and skyscrapers) and the 4 eccentricities (10, 30, 50 and 70°). The results are presented in Figure 5.

Accuracy: No significant main effect of category was observed ($F(5, 55) = 1.43, p = 0.22$). There was no significant main effect of the spatial location of the target ($F(1, 11) = 1.32, p = 0.27$). Accuracy decreased with the increase in eccentricity: 10°: 85.1%, 30°: 83.5%, 50°: 80.6%, 70°: 73.2% ($F(3, 33) = 59.53, p < .001$). Eccentricity interacted significantly with category ($F(15, 165) = 1.83, p < .035$). As can be seen from Figure 5 the category city was less affected by the increase in eccentricity ($\chi^2(3) = 3.08, p = 0.37$) than the others (forest ($\chi^2(3) = 23.41, p < 0.001$) mountain ($\chi^2(3) = 18.34, p < 0.001$), river ($\chi^2(3) = 18.42, p < 0.001$), skyscraper ($\chi^2(3) = 27.51, p < 0.001$) and highway ($\chi^2(3) = 22.82, p < 0.001$)) for which accuracy decreased with increased eccentricity. No other interaction was statistically

significant (category and spatial location: $F(5, 55) = 2.15, p < .07$; eccentricity and spatial location $F(3, 33) = .218, p = 0.88$).

Response times: There was no significant main effect of category ($F(5, 55) = 1.99, p < .093$). Neither was there a significant main effect of the spatial location of the target ($F(1, 11) = 0.5, p = 0.2$). The effect of eccentricity was significant ($F(3, 33) = 56.3, p < .001$) with an increase in RTs as eccentricity increased: 10°: 546 ms, 30°: 557 ms, 50°: 594 ms, 70°: 626 ms). There was a significant interaction between category, spatial location of the target and eccentricity ($F(15, 165) = 2.5, p < .002$). No other interaction was significant: category and eccentricity ($F(5, 165) = 1.24, p = 0.24$); category and spatial location ($F(5, 55) = 1.34, p = 0.26$); eccentricity and spatial location ($F(3, 33) = 2.51, p = 0.76$).

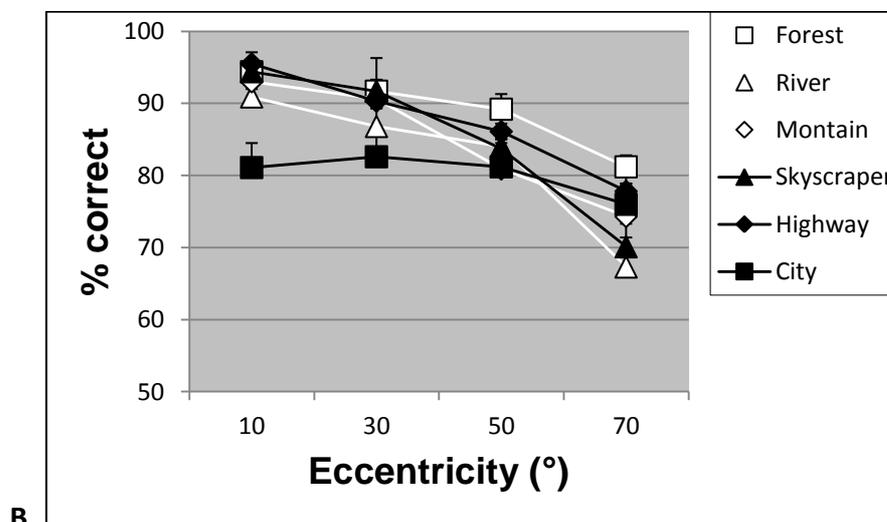
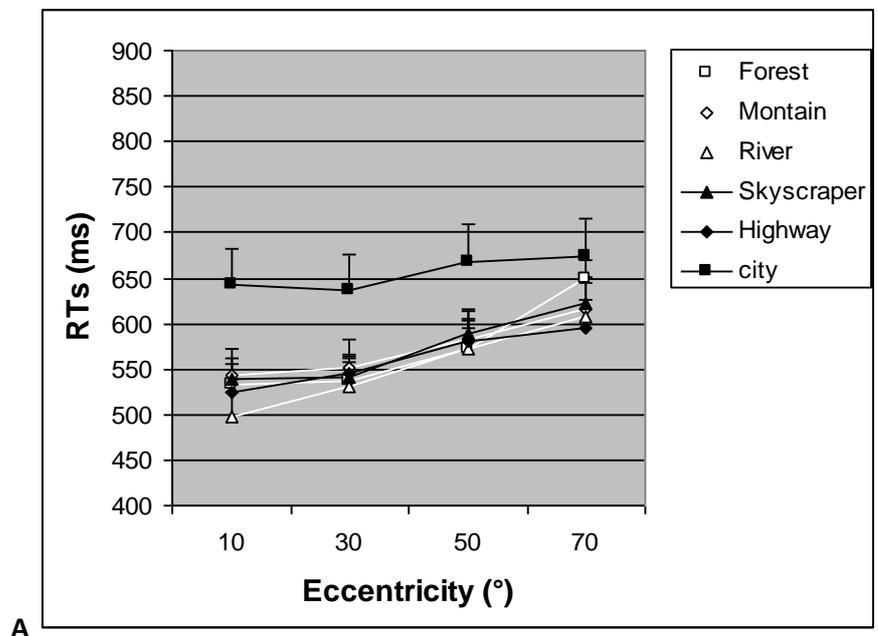


Fig.5.: Mean reaction times (-A-) and mean percent correct responses (-B-) as a function of the scene category and eccentricity in the basic level categorization task. The bars represent +/-1 standard error of the mean.

DISCUSSION

The results of Experiment 2 demonstrate that basic-level categorization can be performed in the far periphery, as accuracy was still at 70% correct at 70° from fixation. Indeed, averaged over the three natural categories (mountains, rivers and forests) and the three urban categories (highways, skyscrapers and cities) RTs were faster (by 100 ms for natural scenes and by 98 ms for urban scenes) in Experiment 2 than in categorization on global properties (in Experiment 1), though the two experiments cannot be compared directly as, with a 80 ms exposure time, discrimination between expansion/no expansion or open/closed might be more difficult than between forest and river or highway and skyscraper.

The faster RTs for basic level is consistent with previous studies on isolated objects displayed centrally showing a response time advantage for basic level categorization (Rosch et al 1976; Tanaka 2001; Palmeri & Gauthier 2004). This was not necessarily expected, as studies with scenes as stimuli have reported shorter RTs for superordinate-level categorization compared to the basic level (Rousselet et al 2005; Joubert et al 2007). Altogether, the results of Experiment 2 indicate that observers can classify scenes at the basic-level rapidly and accurately, even in the far periphery.

GENERAL DISCUSSION

Studies of scene perception have shown that scene recognition is still possible under the impoverished conditions of low spatial frequency (Schyns & Oliva 1994; Peyrin et al, 2003) and very short exposure time (Rousselet et al 2005; Greene & Oliva 2009b) suggesting that coarse features may capture the diagnostic image information needed for categorization. Spatial resolution decreases dramatically from the fovea to the periphery of the retina. Yet, in two experiments we found that classification of global scene properties (Experiment 1) as well as basic-level scene categorization (Experiment 2) were accomplished

with a performance highly above chance (around 70% correct) in the far periphery at 70°. Our results are consistent with Thorpe et al, (2001) who reported that participants were able to detect an animal within a scene above chance at 75° eccentricity. Though our two-alternative forced choice task was more demanding than the go/no-go task on single photographs used in the Thorpe et al (2001) study, accuracy at 70° eccentricity was in a similar range. Our results are also consistent with Larson and Loschky's (2009) conclusion that scene gist recognition can be accomplished by peripheral vision and extend their results beyond the 27° eccentricity in their study.

Although scene categorization was still above chance at large eccentricities (50°, 70°), the highest performance occurred for scenes presented at smaller eccentricities. This result suggests that, though low-resolution is sufficient for scene categorization, scene categorization is aided by higher spatial frequencies, colors and other features that are available nearer to central vision where grouping processes may still operate.

The fact that scene categorization was still above chance at an eccentricity where visual resolution is poor is in agreement with scene-centered models claiming that scene recognition proceeds from coarse-to-fine spatial scales (i.e., from holistic descriptors of scene structure (Greene & Oliva 2009a) and not only on local objects). However, not all of the putatively "global" properties tested in Experiment 1 could be classified in the far periphery. Indeed, compared to other global properties, accuracy was at chance in the indoor/outdoor categorization at 70° eccentricity. This indoor/outdoor categorization likely required finer analysis than discrimination based on natural/urban scenes due to the necessity to identify objects (to determine whether such objects are found indoor or outdoor). Peripheral vision could impair the processing of local information via the increased sensitivity to low spatial frequency information (Hilz & Cavonius, 1974) and increased crowding (Levi, 2008, 2011; Pelli et al, 2008; Strasburger et al 2011).

Numerous studies have shown that the perceptual availability of basic-level category information is privileged relative to superordinate- or subordinate-level information (e.g., Rosch et al 1976; Tanaka 2001) but exceptions to the primacy of basic-level category have been reported in studies using scenes as stimuli (Murphy & Wisniewski 1989; Macé et al 2009), possibly because entry-level categories for scenes have not been systematically established. For instance, as images in the same category tend to share global properties (Greene & Oliva, 2009a; Oliva & Torralba, 2001), we cannot preclude the possibility that

basic-level categorization performance could be based on the perception of diagnostic global properties. In categorization tasks on photographs of natural scenes, several studies have reported a processing speed advantage for broadly defined categories (i.e., natural vs urban scenes) over more basic-level scene categories (i.e., mountains, forests, beach, Rousselet et al 2005; Joubert et al 2007). In the current experiments, we have demonstrated that both basic-level and global property classification can be performed accurately in the far periphery. However, further studies will be needed to determine whether basic-level categorization is made possible through the perception of diagnostic global properties, or by other mechanisms.

Neuroimaging studies have demonstrated that object categories that engage the analysis of fine details such as faces and words are associated with central high magnification factor representations whilst objects whose recognition involves integration of visual information over large retinal distances are mapped onto more peripheral low magnification factor representations. For instance, Levy et al (2001) examined whether there was a relationship between the activation in response to faces and buildings at specific eccentricity distances. Both faces and buildings were presented at the same location in the visual field (central vs 16° eccentricity). The results showed that faces were consistently associated with central visual field bias whilst buildings were associated with peripheral visual field bias. Based on these findings, Malach et al (2002; see also Grill-Spector & Malach 2004) proposed an organizing principle of human high order object areas that is based on an orderly layout of visual field eccentricity. Two eccentricity maps were proposed: a posterior dorsal one (LO) located in lateral occipital cortex and a ventral anterior one (VOT) in the ventral occipito-temporal cortex. Objects whose recognition depends on analysis of fine details are associated with center-biased representations whereas objects whose recognition entails large-scale integration will be more peripherally biased (though Jebara et al, 2009 showed that the center-face versus peripheral-building bias is modulated by task demands).

In line with these studies on humans, animal studies indicate that the periphery can also be involved to some degree in shape perception (Rosa et al 2009). Moreover, Palmer and Rosa (2006) found that the representation of the far periphery in area MT receives specific connexions from parahippocampal and retrosplenial areas, structures that support scene perception (Epstein, 2008; 2011).

Conclusion: previous studies suggested that scene gist recognition can be accomplished with the low resolution of peripheral vision but photographs were presented within the macular region. Using a panoramic screen covering the whole visual field we demonstrated that categorization of both global scene properties as well as basic-level categories can be accomplished with high accuracy (70% correct) at 70° eccentricity.

REFERENCES

- Azzopardi, P. & Cowey A. (1996) "The over-representation of the fovea and adjacent retina in the striate cortex and dorsal lateral geniculate nucleus of the macaque monkey." *Neuroscience*, 72(3), 627-639.
- Bayle DJ, Schoendorff B, Hénaff MA, Krolak-Salmon P. (2011) Emotional facial expression detection in the peripheral visual field. *PLoS One*;6(6):e21584.
- Boucart M, Naili F, Desprez P, Defoort S & Fabre-Thorpe M (2010) Implicit and explicit object recognition at very large visual eccentricities : no improvement after loss of central vision. *Visual Cognition*, 18(6), 839-858.
- Bouma M (1970) Interaction effects in parafoveal letter recognition. *Nature* , 226, 177-78.
- Cannon, M.W. (1985) Perceived contrast in the fovea and periphery. *Journal of the Optical Society of America*, A2, 1760-1768.
- Chui TY, Song H, Burns SA. (2008) Adaptive-optics imaging of human cone photoreceptor distribution. *Journal of the Optical Society of America* 25(12),3021-3029.
- Cohen MA, Alvarez GA, Nakayama K. (2011) Natural-scene perception requires attention. , 22(9),1165-1172.
- Curcio, C. A., K. A. Allen, et al, (1991). "Distribution and morphology of human cone photoreceptors stained with anti-blue opsin." *Journal of Comparative Neurology*, 312(4), 610-624.
- Duncan RO & Boynton GM (2003) Cortical magnification within human primary visual cortex. Correlates with acuity thresholds. *Neuron*, 38, 659-671.
- Epstein RA. (2008) Parahippocampal and retrosplenial contributions to human spatial navigation. *Trends in Cognitive Science*,12(10),388-396.
- Epstein RA. (2011) Cognitive neuroscience: scene layout from vision and touch. *Current Biology*, 21(11),R437-438.
- Evans KK, Treisman A. (2005) Perception of objects in natural scenes: is it really attention free? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*. 31(6),1476-1492.
- Greene, M.R., & Oliva, A. (2009a). The briefest of glances: the time course of natural scene understanding. *Psychological Science*, 20 (4), 464-472.
- Greene, M.R., & Oliva, A. (2009b). Recognition of Natural Scenes from Global Properties: Seeing the Forest Without Representing the Trees. *Cognitive Psychology*, 58(2), 137-179.
- Grill-Spector K & Malach R (2004) The human visual cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 27,649–677.
- Guo K, Liu CH, & Roebuck H. (2011) I know you are beautiful even without looking at you: discrimination of facial beauty in peripheral vision. *Perception*,40(2),191-195.
- Hilz R, Cavonius CR. (1974) Functional organization of the peripheral retina: sensitivity to periodic stimuli. *Vision Research*,14(12),1333-1337.

- Horton JC & Hoyt WF (1991) The representation of the visual field in human striate cortex. A revision of the classic Holmes map. *Archives of Ophthalmology*, 109, 816-24.
- Jebara N, Pins D, Desprez P, Boucart M. (2009) Face or building superiority in peripheral vision reversed by task requirements. *Advances in Cognitive Psychology*, 5,42-53.
- Joubert O.R., Rousselet G. A, Fize D. & Fabre-Thorpe M. (2007). Processing scene context: fast categorization and object interference. *Vision Research*, 47, 3286-3297.
- Kimchi R. (1992) Primacy of wholistic processing and global/local paradigm: a critical review. *Psychological Bulletin*, 112(1),24-38.
- Kooi, F.L., Toet, A., Tripathy, S.P., & Levi, D.M. (1994) The effect of similarity and duration on spatial interaction in peripheral vision. *Spatial Vision*, 8, 255-279.
- Larson AM, Loschky LC. (2009) The contributions of central versus peripheral vision to scene gist recognition. *Journal of Vision*, 9(10),6 1-16.
- Leat SJ, Li W, Epp K. (1999) Crowding in central and eccentric vision: the effects of contour interaction and attention. *Investigative Ophthalmology & Vision Science*, 40(2),504-12.
- Levi DM (2008) Crowding-an essential bottleneck for object recognition: a mini review. *Vision Research*, 48(5), 635-654.
- Levi DM. (2011) Visual crowding. *Current Biology*, 21(18), R678-9.
- Levy I, Hasson U, Avidan G, Hendler T, Malach R (2001): Center-periphery organization of human object areas. *Nature Neuroscience*, 4, 533–539.
- Li, F. F., R. VanRullen, C. Koch and P. Perona (2002) Rapid natural scene categorization in the near absence of attention. *Proceedings National Academy Science U S A*, 99(14), 9596-601
- Macé MJM, Joubert OR, Nespoulous JL & Fabre-Thorpe M (2009) The time course of visual categorization: you spot the animal faster than the bird. *PLoS ONE* 4(6), e5927. <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0005927>
- Mäkelä, P., Nasanen, R., Rovamo, J., & Melmoth, D. (2001) identification of facial images in peripheral vision. *Vision Research*, 41, 599-610.
- Malach, R., I. Levy, et al, (2002). "The topography of high-order human object areas." *Trends in Cognitive Science*, 6(4), 176-184.
- May KA & Hess RF (2007) Ladder contours are undetectable in the periphery : a crowding effect ? *Journal of Vision*, 7 (13), 1-15.
- Murphy GL, Wisniewski EJ. (1989) Categorizing objects in isolation and in scenes: what a superordinate is good for. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 15(4), 572-586.
- Nääsänen R & O'Leary (1998) Recognition of band-pass filtered hand-written numerals in foveal and peripheral vision. *Vision Research*, 38, 3691-3701.
- Naili F, Desprez P, Boucart M. (2006) Colour recognition at large visual eccentricities in normal observers and patients with low vision. *Neuroreport*, 17(15),1571-1574.
- Navon D (1977) Forest before trees: the precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9, 353-83.

- Oliva, A., & Torralba, A. (2001). Modeling the Shape of the Scene: a Holistic Representation of the Spatial Envelope. *International Journal in Computer Vision*, 42, 145-175.
- Oliva, A. & Torralba, A. (2006). Building the Gist of a Scene: The Role of Global Image Features in Recognition. *Progress in Brain Research: Visual perception*, 155, 23-36.
- Palmer SM, Rosa MG. (2006) A distinct anatomical network of cortical areas for analysis of motion in far peripheral vision. *European Journal of Neuroscience*, 24(8),2389-2405.
- Palmeri TJ, Gauthier I. (2004) Visual object understanding. *Nature Review Neuroscience*, 5(4),291-303.
- Pelli DG. (2008) Crowding: a cortical constraint on object recognition. *Current Opinion in Neurobiology*, 18(4),445-541.
- Peyrin C, Chauvin A, Chokron S, & Marendaz C. (2003) Hemispheric specialization for spatial frequency processing in the analysis of natural scenes. *Brain & Cognition*, 53(2),278-282.
- Popovic Z & Sjostrand J (2001) Resolution, separation of numeral ganglion cells, and cortical magnification in humans. *Vision Research*, 41, 1313-19.
- Potter MC. (1976) Short-term conceptual memory for pictures. *Journal of Experimental Psychology Human Learning*, 2(5),509-522.
- Rosa MG, Palmer SM, Gamberini M, Burman KJ, Yu HH, Reser DH, Bourne JA, Tweedale R, Galletti C. (2009) Connexions of the dorsomedial visual area: pathways for early integration of dorsal and ventral streams in extrastriate cortex. *Journal of Neuroscience*, 29(14),4548-4563.
- Renninger LW, Malik J. (2004) When is scene identification just texture recognition? *Vision Research*, 44(19),2301-2311.
- Rigoulot S, D'Hondt F, Defoort-Dhellemmes S, Desprez P, Honoré J, Sequeira H. (2011) Fearful faces impact in peripheral vision: behavioral and neural evidence. *Neuropsychologia*. 49(7), 2013-2021.
- Rosch, E, Mervis CB, Gray WD, Johnson D, & Boyes-Braem P (1976) basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 8(3), 382-439.
- Rousselet GA, Joubert OR, & Fabre-Thorpe M (2005) How long to get the "gist" of real-world natural scenes? *Visual Cognition*, 12(6) 852-877.
- Saarinen, J., Rovamo, J., & Virsu, V. (1987) Texture discrimination at different eccentricities. *Investigative Ophthalmology and Vision Science*, 30, 293-296.
- Schyns PG & Oliva A (1994) From blobs to boundary edges: evidence for time and spatial scale dependant scene recognition. *Psychological Science*, 5, 195-200.
- Strasburger, H., Harvey, L.O., & Rentschler, I. (1991) Contrast threshold for identification of numeric characters in direct and eccentric view. *Perception & Psychophysics*, 49, 495-508.
- Strasburger H, Rentschler I, Jüttner M. (2011) Peripheral vision and pattern recognition: a review. *Journal of Vision*, 11(5):13, 1-82
- Swanson WH, Pan F, Lee BB. (2008) Chromatic temporal integration and retinal eccentricity: psychophysics, neurometric analysis and cortical pooling. *Vision Research*, 48(26),2657-2662.

- Tanaka JW (2001) the entry point of face recognition: evidence for face expertise. *Journal of Experimental Psychology: General*,130(3), 534-543.
- Thompson B, Hansen BC, Hess RF, Troje NF. (2007) Peripheral vision: good for biological motion, bad for signal noise segregation? *Journal of Vision*. 25;7(10):12.1-7.
- Thorpe, S., Fize, D., & Marlot, C. (1996). Speed of processing in the human visual system. *Nature*, 381(6582), 520–522.
- Thorpe, S.J., Gegenfurtner, K.R., Fabre-Thorpe, M., & Bulthoff, H.H. (2001) Detection of animals in natural images using far peripheral vision. *European Journal of Neuroscience*, **14**, 869-876.
- To MP, Gilchrist ID, Troscianko T, Tolhurst DJ. (2011) Discrimination of natural scenes in central and peripheral vision. *Vision Research*, 51(14):1686-1698.
- Tran TH, Rambaud C, Despretz P, Boucart M. (2010) Scene perception in age-related macular degeneration. *Investigative Ophthalmology & Vision Science*, 51(12):6868-6874.
- Velisavljevic L & Elder JH (2008) Visual short-term memory for natural scenes: effects of eccentricity. *Journal of Vision*, 8(4):28, 1-17.

Étude 2 :

Le rôle du contexte dans le traitement des objets et des visages en vision périphérique

(En préparation)

Résumé :

Introduction :

De nombreuses études ont montré que le système visuel est extrêmement efficace pour détecter et catégoriser des objets, des visages ou des scènes en dépit de contraintes temporelles (Grill-Spector et Kanwisher, 2005 ; Joubert et al, 2007 ; Rousselet et al, 2003). Cependant, très peu d'études se sont intéressées aux capacités de reconnaissance du système visuel en périphérie (Thopre et al, 2001). Il a été démontré que le traitement visuel de stimuli flashé était basé sur les basses fréquences spatiales (Schyns et Oliva, 1994). La faible résolution du système visuel périphérique, ne permet de traiter que les basses fréquences spatiales ; ce qui laisse penser que, tout comme en vision centrale, nous sommes capable de reconnaître des objets, des visages ou des scènes en périphérie.

Par ailleurs, de nombreuses études rapportent un effet du contexte sur la reconnaissance visuelle (Davenport et al, 2007 ; Davenport and Potter, 2004 ; Rémy et al, 2013 et 2014). En cas d'incohérence entre l'objet et le contexte (le fond) qui l'entoure par exemple, il a été montré une augmentation de la latence et une diminution des performances en comparaison aux associations objet-contexte cohérentes (Boucart et al, 2013 ; Rémy et al, 2013). Cette augmentation de la latence serait due à un conflit entre les représentations contextuelles en mémoire (Top-down) et ce qui est perçu (Bottom-up). Certaines études suggèrent que cette association contextuelle serait médiatisée par le cortex parahippocampal (Aminoff et al, 2007 ; Bar et Aminoff, 2003). Rémy et al, 2014 rapportait effectivement une forte activation de cette région cérébrale en présence d'une incohérence de l'objet avec son contexte.

Certaines études ont également montré que la reconnaissance des objets et des scènes pouvait être influencée par la tâche (Boucart et al, 2013 ; Harel et al, 2014). En effet, l'équipe de Boucart (2013) a observé un effet de contexte implicite, qui se traduisait par une meilleure performance pour les objets/fond compatibles que pour les objets/fond non compatibles, chez des patients souffrant d'une altération de la vision centrale. Par contre, les mêmes patients se sont avérés incapables de déterminer explicitement si les objets «

allaient avec le fond » ou non. Chez les sujets sains cette association explicite était correcte mais nécessitait environ 150 ms de plus que l'association objet/fond implicite.

Le but de notre étude était d'évaluer les effets de contexte au centre et en périphérie chez le sujet sain.

Méthodologie :

Nous avons testé 21 sujets sains recrutés parmi les étudiants du département de psychologie de l'université de York (Royaume-Uni). L'étude a été approuvée par le comité d'éthique du département et nous avons obtenu le consentement écrit de tous les participants.

Nous avons utilisé des photographies d'objets et d'animaux présentés dans un contexte (naturel ou manufacturé) cohérent ou non cohérent avec le fond créé par le CerCo Lab (Toulouse) et utilisé dans de précédentes études (Boucart et al, 2013 ; Joubert et al, 2008 ; Rémy et al, 2013 ; Rémy et al, 2014). Afin d'évaluer les effets de contexte et de la tâche sur les visages nous avons créé, à l'aide de Photoshop, des images de visage (humain ou animal) apparié ou non avec le corps (humain ou animal). Chacune des catégories d'images comportait 400 stimuli soit un total de 800 images.

Nous avons comparé la performance dans deux tâches : (1) la catégorisation des « objets » indépendamment du contexte, (2) la catégorisation de la cohérence des « objets » avec le contexte.

Les stimuli étaient présentés sur fond gris pendant 100 ms précédés et suivis d'un masque, chacun affichés 100 ms. L'apparition des stimuli était randomisée soit au centre ou en périphérie (gauche ou droite) à 20 degrés d'excentricité. Chaque participant complétait un total de 4 blocs, tous précédés des instructions sur la tâche à réaliser. Les participants répondaient à l'aide de deux boutons réponses sur le clavier.

Nous avons enregistré la précision des réponses ainsi que la latence.

Résultats :

Ces travaux ont permis de mettre en évidence un avantage pour la reconnaissance des stimuli cohérents, en accord avec la littérature. De plus, nous avons démontré que nous

reconnaissons plus facilement un visage qu'un animal ou un meuble. Indépendamment de la tâche ou du type de stimuli, les participants présentaient un biais central dans leurs performances pour les images présentées au centre, avec une sensibilité supérieure. Enfin, nous avons montré que les performances étaient significativement meilleures lorsque les sujets devaient catégoriser simplement les objets indépendamment du contexte.

Conclusion :

Nos résultats montrent que, quel que soit la portion du champ visuel, il y a un conflit entre les représentations perceptuelles et cognitives en présence de représentations non cohérentes. De plus, les tâches complexes comme la catégorisation entre associations objet-contexte cohérente et incohérente requièrent un traitement plus détaillé que pour la catégorisation simple des « objets » en tant que visage, animal ; ceci pouvant expliquer que la performance des participants était moins bonne dans ce cas. Enfin, nous confirmons qu'en dépit de la faible résolution de la vision périphérique nous sommes capables de reconnaître des objets et des visages, bien qu'il y ait un avantage en vision centrale.

The role of context in processing of objects and faces in visual periphery

Thibaut Miguel^a, Boucart Muriel^a, Baseler Heidi^b, Evans Karla^b

a. SCALab UMR CNRS 9193, Université Lille-Nord de France.

b. Department of Psychology, York University (United-Kingdom).

ABSTRACT

Purpose: Context is an important cue for the detection, categorization and identification of visually presented objects. Objects that appear in a congruent setting are typically processed more accurately and quickly than those in an incongruent setting. However, the majority of studies have assessed the ability to use contextual cues in central vision and little is known about the capabilities of peripheral vision to make these judgments. This is particularly important in populations in which peripheral vision plays a greater role in everyday perception, such as patients with a central scotoma or adults with hearing loss. The goal of the current study is to compare central and peripheral contextual visual processing of objects and faces in healthy, adult participants.

Methods: Twenty-one healthy adults with normal vision from the University of York were tested. Experiments required making two types of judgements – either a categorization judgement or a congruency judgement. We used pictures of objects (animals & furniture) in a scene (natural or made-man) and pictures of “characters” with human or non-human faces and bodies. Half of the pictures consisted of objects or “character” in an expected context, and the other half, objects or “characters” in an incongruent context. Each participant completed 4 blocks: 2 blocks with objects in scenes and 2 blocks with faces and bodies for each task (categorization and congruency judgement). Stimuli were randomly displayed either centrally or peripherally.

Result: There was an advantage for congruent stimuli regardless of task and location. Regardless of task and stimulus type, participants exhibited a higher sensitivity centrally than

peripherally. Performance was better when judgement was based on category than on context, regardless of the location for object in context but only in the periphery for faces with congruent or incongruent bodies.

Conclusion: Our results suggest that there is a conflict between contextual associations and bottom-up representations when representations are incongruent, even in peripheral visual field. Moreover, there is facilitation in categorization task. This indicates that complex tasks (as context judgment) require very specialize information compare to categorization. Finally, in this study we hypothesized that visual processing of both objects and faces areas are strongly affected by the location and by the context.

INTRODUCTION

That visual context, as provided by natural scenes, facilitates object recognition has been convincingly demonstrated both in behavioural and in neuroimaging studies (Davenport, 2007; Davenport and Potter, 2004; Bar, 2004; Bar and Aminoff, 2003; Aminoff et al 2007; Rémy et al, 2014). Yet two domains remain under investigated in the field of contextual processing: (1) little is known about how contextual cues influence face perception and (2) though contextual information typically appears in peripheral vision (the object's background) the issue of context has been addressed only in central vision.

Recent studies have documented contextual influences on face recognition. For instance Freeman et al (2015) reported that categorization of faces as Asian or Caucasian was influenced by the surrounding scene context (American, neutral, or Chinese). In the same study neuroimaging results showed that the retrosplenial cortex and the orbitofrontal cortex exhibited highly sensitive, graded responses, to the compatibility of facial and contextual cues. Contextual influence on face perception does not require a whole scene background. Indeed, Van den Stock and de Gelder (2014) showed that during simultaneous face identity matching, the task irrelevant bodily expressions influenced processing of facial identity suggesting that face identity perception mechanisms interact with processing of bodily and facial expressions. Other studies have shown that recognition of facial expression is strongly influenced by the context in which these expressions occur, including both scene context and body posture (see de Gelder 2006 and Wieser & Brosch 2012 for reviews). Moreover, the interactions between face and context occur early. Indeed, Meeren et al (2005) found that the P1 component was enhanced in response to congruent face-body compounds, indicating the existence of a rapid neural mechanism assessing the degree of agreement between simultaneously presented facial and bodily emotional expressions after 100 ms.

While the neural resources of central vision provide the most accurate perception of object and face identity, the decreased visual acuity in periphery may be sufficient to discriminate only coarse aspects of background information and perhaps to recognize the gist of visual scenes. Indeed, Boucart et al (2013a) showed that while scene categorization (e.g. as natural/urban), which can be based on coarse global information, is performed efficiently at large eccentricities (70°), participants still exhibited better performance in central vision (0-

10°). Furthermore, Levy et al (2001) examined the relations between object categories engaging fine/coarse analysis and central/peripheral vision at relatively small eccentricities (0-16°) in fMRI. They reported that object categories that engage the analysis of fine details (i.e. faces) are associated with central high magnification factor representations whilst objects (e.g. buildings) whose recognition involves integration of visual information over large retinal distances are mapped onto more peripheral low magnification factor representations.

That coarse background information appearing in peripheral vision is sufficient to facilitate degraded central object perception has been demonstrated in several studies on people with impaired central vision resulting from macular degeneration. For instance, Tran et al (2011) reported that people with macular degeneration were better at categorizing target objects (animals), centrally displayed for 300 ms, when they were surrounded by their natural setting than when the same animals were surrounded by a meaningless non structured background derived from the natural background. However, surprisingly this implicit facilitation of contextual information on central object processing in people with impaired central vision was eliminated when the same people were asked to decide if the object was consistent with its background (e.g., a wild animal in a natural scene versus a wild animal in an indoor scene) suggesting that the linking of an object to its background requires the higher resolution of central vision (Boucart et al 2013b). Indeed, it might be that an object has to be identified to decide if it is consistent with its background whilst object's category can be inferred from the background in the categorization task (e.g., if it is a natural scene then there is a higher probability that the object is an animal than a piece of furniture).

The present study addresses the question of central and peripheral vision in the implicit (object categorization task where the background is irrelevant) versus the more controlled (judgement of consistency) association of object and background where both the object and the background are relevant. Moreover, we compared performance for objects and faces. Indeed, unlike other objects Almeida et al (2013) found face processing not to be influenced by task and by spatial location (centre vs 7.7° eccentricity). They reported no task effect when participants were asked to categorize implicitly (face detection task) as opposed to explicitly (threat detection task) threat in animal faces. It might be that faces, due to their

high biological and social relevance, have a priority in the whole visual field (Herschler et al 2010). For instance, with a saccadic choice task in central vision Crouzet et al (2010) reported that the fastest saccades were triggered for faces (100-110 ms). They were slightly longer for animals (120 ms), and even longer for non-biological categories like vehicles (160 ms). Boucart et al (submitted JOV) have recently found that shorter saccade latencies for faces, as compared to animals and vehicles, are maintained over the whole visual field (from 10 to 80° eccentricity).

We compared performance, using objects versus faces as stimuli, in two tasks: (1) categorization and (2) judgement of consistency between the object (or face) and its context in central and in peripheral (20° eccentricity) vision. . As Van den Stock and de Gelder (2012) found that the influence of context on face recognition was larger for body context than for scene context we used scenes as background for objects and body as background for faces. Based on previous data we expected (1) a better performance for faces than for objects both in central and in peripheral vision (Herschler et al 2010; Crouzet et al 2010; Boucart et al submitted), (2) judgement of consistency to be more impaired by peripheral presentation than categorization (Boucart et al 2013b) and (3) contextual information to be more efficient in central than in peripheral vision as peripheral vision is known to be more sensitive than central vision to crowding (Levi 2008; Pelli et al 2004; Strassburger et al 2011).

METHOD

Participants: Twenty-one young adults (16 females; mean = 20.67 years) from the Department of Psychology at York University were tested. Near visual acuity was measured in each participant. All had normal or corrected-to-normal vision. The study was approved by the Departmental Ethics Committee. Written informed consent was obtained from all participants.

Stimuli and apparatus. We used two categories of photographic images as stimuli (250 x 250 pixels). Half the stimuli were created in CerCo lab (Toulouse, France) and previously used in several studies (Joubert et al, 2008; Rémy et al, 2013; Boucart et al, 2013b; Rémy et al, 2014), consisting of a target object (animal or furniture) embedded in a real-life background

(natural or indoor scene). The second half of the stimuli were created (with Photoshop© software) for this study and consisted of a face (human or animal) matched or mismatched with a body (human or animal) on a blank background. Each category contained two-hundred congruent stimuli and two hundred incongruent stimuli (see examples in **Figure 1**). We had a database of 400 stimuli per category. Scrambled stimuli were used as a pre- and post-stimulus mask. The software of presentation was Matlab psychtoolbox.



Figure 1: A. Example of picture used in this study, with object in the context on the top and face and body on the bottom.

Procedures. The stimuli were presented at a distance of 30cm, fixed by a chin-rest, from a computer screen (1280 x 1024 pixels resolution, 85 Hz refresh rate). A black central fixation cross was displayed for 850 ms on a grey background. It was followed by a mask, displayed for 100 ms, and then the stimulus appeared for 100 ms randomly in the centre or in peripheral vision (20° eccentricity from fixation to the centre of the stimulus), randomly left and right. The stimulus was followed by a second mask of 100 ms. The masks appeared at the same spatial location as the image. The paradigm is illustrated in **Figure 2**. There were 4

experimental blocks determined by the task (categorization and judgement of consistency between the background and the object (or face) and the target stimulus (object versus face). Responses were given on two response keys (green and red) on the keyboard of the computer. In the categorization task participants were asked to categorize the object as animal or furniture (2 response keys) in one block of trials or as a human or animal face (2 response keys) in another block of trials regardless of the background context. In the consistency task participants were asked to decide if the object in one block of trials, or the face in another block of trials, was consistent with its context or not (2 response keys). The order of blocks was counterbalanced between participants. Each block contained 96 trials. The images were never repeated and each image was randomly assigned to one of the conditions (categorization or consistency task) or location (central or peripheral) for each participant. We asked participants to respond as quickly and as accurately as possible and also to take few minutes of rest between each block. The whole experiment (4 blocks) lasted about 45 minutes.

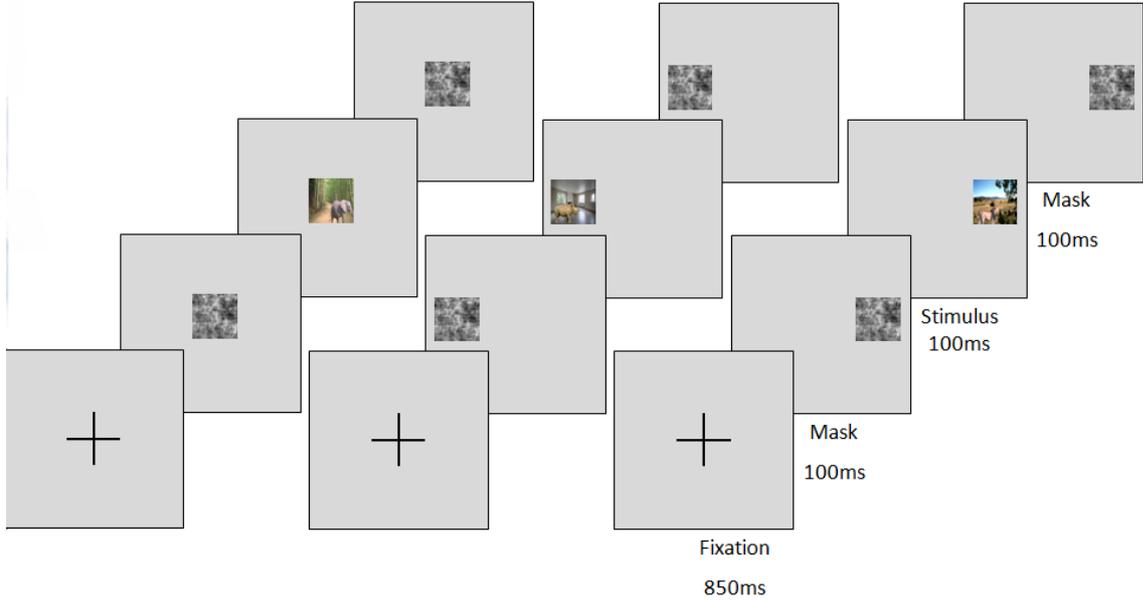


Figure 2: Experimental design of our experiment.

RESULTS

Analyses of variance using the software Systat 8.0 were conducted on accuracy and RTs. The factors were the stimulus (face vs object), the spatial location (centre vs periphery) and the task (categorization vs consistency).

There was a significant main effect of spatial location both on accuracy ($F(1, 20) = 656.10$; $p < .001$) and on RTs ($F(1, 20) = 14.42$; $p < .001$) with a better performance in central (87.5% and 570 ms) than in peripheral (65% and 630 ms) presentation. Faces were processed more accurately (by 10% ($F(1, 20) = 162.58$; $p < .001$) and faster (by 95 ms ($F(1, 20) = 39.93$; $p < .001$)) than objects. Accuracy was higher (by 8.5% ($F(1, 20) = 152.85$; $p < .001$)) and RTs were faster (by 142 ms ($F(1, 20) = 74.07$; $p < .001$)) in the categorization task than in the judgments of consistency. Task interacted significantly with spatial location for accuracy ($F(1, 20) = 17.8$, $p < .001$) but not for RTs ($F(1, 20) = 1.006$, $p = 0.32$ ns). Task also interacted significantly with stimulus ($F(1, 20) = 20.97$, $p < .001$ for accuracy and $F(1, 20) = 19.6$, $p < .001$ for RTs). The three-way interaction between task, stimulus and spatial location was significant both for accuracy ($F(1, 20) = 22.2$, $p < .001$) and for RTs ($F(1, 20) = 31.4$, $p < .001$). Based on these interactions we present the results separately for each task.

Categorization task

There was a significant main effect of stimulus only for accuracy ($F(1, 20) = 55.7$, $p < .001$) with a higher accuracy for faces than for objects (84% vs 77%), of spatial location both for accuracy ($F(1, 20) = 344$, $p < .001$) and RTs ($F(1, 20) = 62.8$, $p < .001$) with a higher accuracy and shorter RTs for central (92.5% 493 ms) and than for peripheral (68.5% and 578 ms) presentations. Stimulus interacted with spatial location both for accuracy ($F(1, 20) = 50.1$, $p < .001$) and for RTs ($F(1, 20) = 12.1$, $p < .002$). As can be seen from **Figure 3** this interaction resulted from equivalent performance for objects and faces in central presentations (objects: 488 ms and 92% vs faces 498 ms and 93%) whilst performance was better for faces than for objects in periphery (faces: 75% and 540 ms vs objects: 62% and 615 ms).

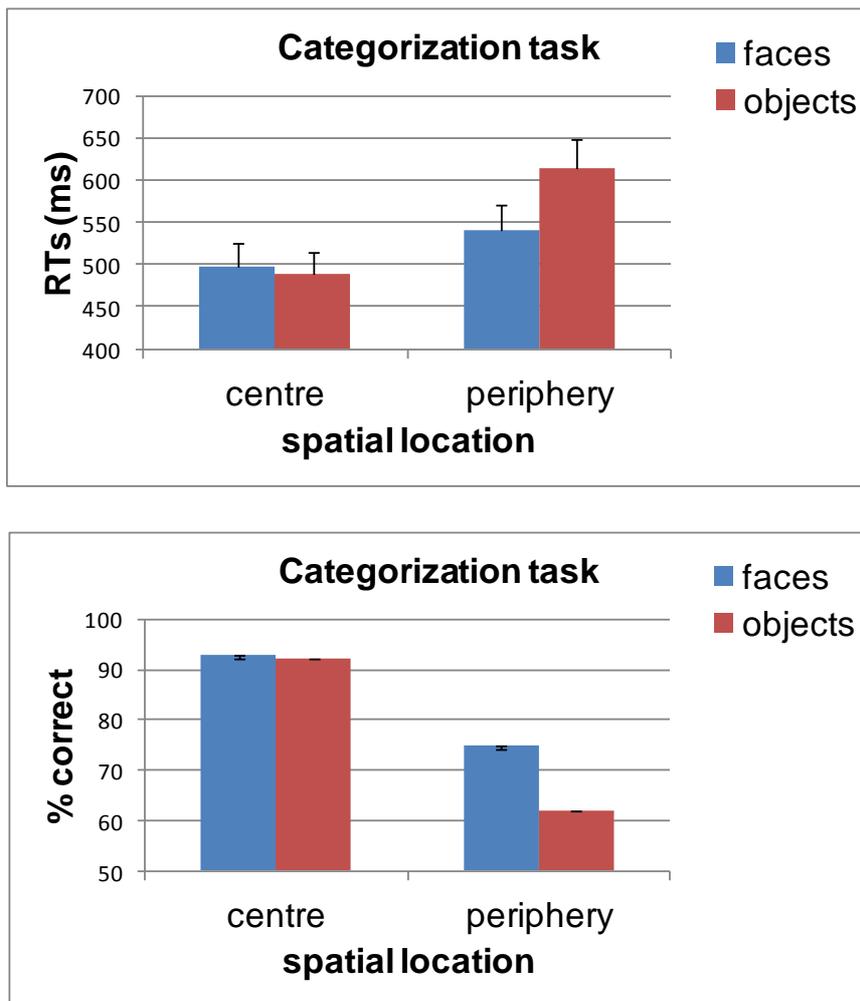


Figure 3: Spatial location and stimulus effects during categorization task on RT (top) and accuracy (bottom).

Contextual effect

Analyses of variance using the software Systat 8.0 were conducted on accuracy and RTs. The factors were the stimulus (face vs object), the spatial location (centre vs periphery) and the congruency between stimulus and context (congruent vs incongruent).

The analysis of the effect of context showed a significant interaction between stimulus and congruency both for accuracy ($F(1, 20) = 8.3, p < .009$) and for RTs ($F(1, 20) = 20.8, p < .001$) and between spatial location and congruency only for accuracy ($F(1, 20) = 47.9, p < .001$ and $F(1, 20) = 3.08, p < .09$ for RTs). The three-way interaction between stimulus, spatial location and congruency was neither significant for accuracy ($F(1, 20) = 0.27, p =$

0.607) nor for RTs ($F(1, 20) = 0.88, p = 0.359$). For faces as stimuli performance was facilitated by a congruent body both in the centre (by 6% ($t(20) = 4.5, p < .001$) and 76 ms ($t(20) = 4.3, p < .001$)) and in periphery (by 20% ($t(20) = 7.6, p < .001$) and 43 ms ($t(20) = 3.06, p < .006$)). For objects as stimuli congruency between object and context did not facilitate performance in central presentation (congruent: 93% and 490 ms vs incongruent: 91% and 487 ms). In peripheral presentation accuracy was better for congruent than for incongruent context (by 14% ($t(20) = 6.5, p < .001$)) but RTs did not vary significantly (17 ms $t(20) = 0.94, p = 0.35$). The results are presented in **Figure 4**.

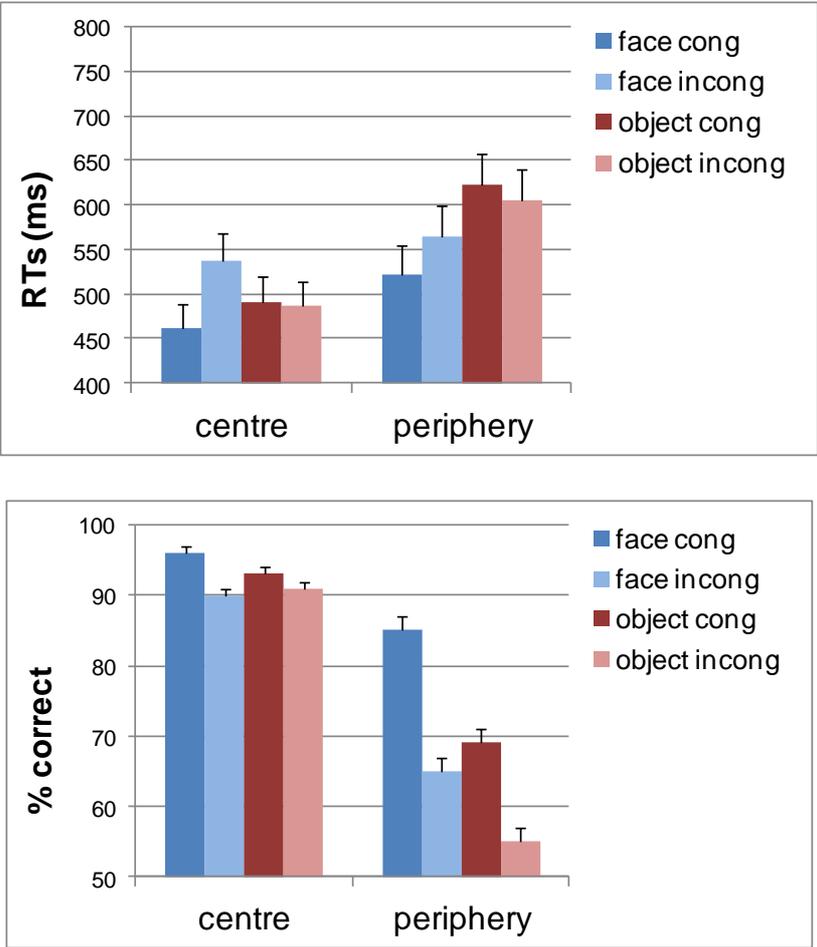


Figure 4: Interaction of the context on spatial location and stimulus effects during categorization task, on RT (top) and accuracy (bottom).

Consistency task

There was a significant main effect of stimulus both for accuracy ($F(1, 20) = 119.7, p < .001$) and RTs ($F(1, 20) = 58, p < .001$) with shorter RTs and a higher accuracy for faces (598 ms and 78.5%) than for objects (755 ms and 65.5%). Performance was significantly better for central than for peripheral presentations only for accuracy ($F(1, 20) = 288, p < .001$) with a higher accuracy when stimuli were centrally displayed (83% vs 61%). Stimulus interacted significantly with spatial location both for accuracy ($F(1, 20) = 5.7, p < .027$) and for RTs ($F(1, 20) = 15.3, p < .001$). As can be seen from **Figure 5** this interaction resulted from a larger advantage for central than peripheral presentation for faces (by 25% and 66 ms) than for objects (by 19% and 10 ms). Accuracy was low in peripheral vision for objects as stimuli (56%) but it was significantly different from chance ($t(20) = 4.7, p < .001$).

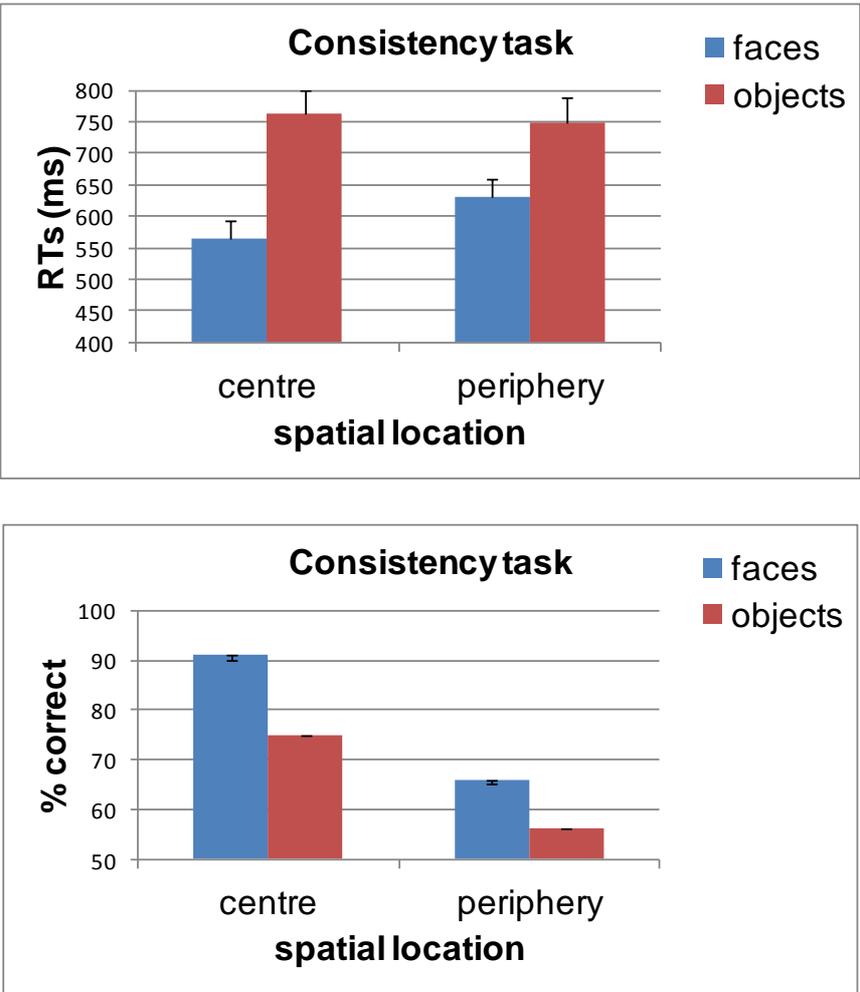


Figure 5: Spatial location and stimulus effects during consistency task on RT (top) and accuracy (bottom).

DISCUSSION

The main results can be summarized as follows: (1) Face perception was faster and more accurate than object perception, except for central presentations in the categorization task. (2) Performance was better in the centre than in periphery. (3) Response times were shorter and accuracy was higher in the categorization task than in the judgment of consistency. (4) The facilitation of a congruent context was stronger for faces than for objects particularly in central presentation.

The better performance for faces than for objects is consistent with previous findings. With a saccadic choice task Crouzet et al (2010) demonstrated a primacy for the categorization of human faces for which the shortest saccades were observed compared to two other categories of objects (animals and vehicles; see also Fletcher-Watson et al 2008 for similar results with human beings) at 8° eccentricity. Herschler et al (2010) investigated the issue of a face advantage resulting from low-level factors such as a high within-category structural similarity (e.g., roundness) in comparing performance for faces and for 3 other categories of objects that share a within-category structural similarity (cars, dog faces, and clock faces). They found that human faces are detected more successfully than clocks, dog faces, or cars, and this benefit grows with eccentricity (from 4 to 20° in their study). The authors suggested that, in peripheral vision, the face advantage results from some pre-attentive initial distinction of faces from other stimuli. The speed advantage for faces than for objects was stronger in peripheral than in central vision suggesting that low level features like “roundness” might have facilitated the detection of faces in peripheral vision.

The functions of peripheral vision for perception and interpretation of the surrounding environment remain largely unknown. The density of cone photoreceptors decreases substantially from the fovea to the peripheral retina (Curcio et al, 1991) which explains why acuity decreases rapidly when targets fall at increasing distances from the fovea resulting in high resolution perception in central vision and low resolution in peripheral vision. Low spatial resolution is believed to make it un-adapted to fine discrimination necessary for objects, faces and words identification (Schyns and Oliva, 1999; Bullimore et al, 1991; Tejeria et al, 2002; Boucart et al, 2008 faces; Strasburger et al, 1991;

Strasburger et Rentschler, 1996; Liu et al, 2007). Most studies have been designed to investigate quantitative and qualitative differences between central and peripheral vision in the processing of simple physical features such as contrast, size, spatial frequencies, phase, and texture discrimination (Strasburger et al, 2011). Neuroimaging studies (Levy et al, 2001) have reported that object categories that engage the analysis of fine details such as faces and words are associated with central high magnification factor representations whilst objects (e.g. buildings) whose recognition involves integration of visual information over large retinal distances are mapped onto more peripheral low magnification factor representations. Based on these findings, Malach et al (2002; Grill-Spector & Malach, 2004) proposed an organizing principle of human high order object areas that is based on an orderly layout of visual field eccentricity. Two eccentricity maps were proposed: a posterior dorsal one (LO) located in lateral occipital cortex and a ventral anterior one (VOT) in the ventral occipito-temporal cortex. Objects whose recognition depends on analysis of fine details are associated with center-biased representations whereas objects whose recognition entails large-scale integration will be more peripherally biased. However, it was showed that object (Thorpe et al, 2001) and scene (Boucart et al, 2013a) categorization, which can be based on coarse global information, is performed efficiently at large eccentricity (70°) but is better in central vision (0-10°). Consistent with these report, we observed a central bias to complete the tasks. Levy et al (2001) examined the relations between object categories engaging fine/coarse analysis and central/peripheral vision at relatively short eccentricities (0-16°). It might be that some categories like faces, due to their biological relevance, have a priority in the whole visual field. Indeed, we show that object processing was overall less accurate than face processing. The difference between the two was greater when the stimuli were presented in the periphery. Consequently, in spite of low resolution, the coarse shape analysis of peripheral visual field is essential to provide information about the environment (Thorpe et al, 2001; Larson and Loschky, 2009; Kwon and Legge, 2011; Boucart et al, 2013a) such as to guide saccadic eye movements for transposing the target into the fovea when finer analysis is required as in explicit recognition.

Some studies show that perceptual sensitivity for stimuli depends strongly on tasks demands (i.e. coarse for implicit vs. finer for explicit) (Boucart et al, 2010; Boucart et al,

2013; Almeida et al, 2013; Harel et al, 2014). There is facilitation for tasks that requires an "implicit" processing (such as categorization task) compare to tasks that requires an "explicit" processing (such as consistency task), because complex tasks (as in consistency task) requires participants to consciously collect different elements of stimuli (Boucart et al, 2010; Harel et al, 2014). Indeed, processing categorization speed advantage over consistency task and we show that was more evident in the centre while for faces it was more evident in the periphery. However, object judgment was slower than face judgment in consistency task and impaired especially in categorization task. But in the consistency task the difference between object and face is most evident in the centre while in the categorization it is present only in the periphery, consistent with biological priority of faces in whole visual field (New et al, 2007; Crouzet et al, 2010; Herschler et al, 2010). Harel and al (2014) showed that cortical activity during object processing is strongly constrained by task especially in the ventral object selective area and in the lateral prefrontal cortex (LPFC), but not in earlier visual areas of the cortex (EVC). Harel's team explained that this strong impact of behavioral goals along both ventral visual pathway and LPFC demonstrate that top-down signals contribute to and constrain visual object representations that contrasts with many primarily bottom-up frameworks (Harel 2014).

However, the sensitivity to complete the task can be due also to the congruency of our stimuli. Number of studies (Joubert et al, 2008; Fize et al, 2011; Tran et al, 2011; Boucart et al, 2013b; Rémy et al, 2013) showed that when we have an object in a congruent context we have a facilitation to categorise whereas subjects are impaired to categorise an object in an incongruent context. In the present study, a congruent relationship between target and its context facilitates both object and face recognition but only in the categorization task. However, unlike with objects (Boucart et al, 2013b; Rémy et al, 2013) we showed that this congruency effect was evident only in peripheral position for faces. But, as reported by Rémy et al (2013) contextual (or congruency) effect is smallest in youngest subject and disturbing for elderly subjects. That can explain why Boucart's team (2013b) found an effect because they are tested patients with AMD and age matched controls (aged people). Our results agree with Rémy et al (2013) because we tested young people (mean = 20.67 years) and they supposed that specific top-down and bottom-up mechanisms could underlie this difference in the visual processing between young and elderly subjects. Several studies have

shown that elderly people exhibit difficulties to inhibit irrelevant information through top-down modulation of visual areas (Gazzaley et al, 2008; Zanto & Gazzaley, 2009; Zanto et al, 2010) and impaired when they have to process for both object and context simultaneously (Chee et al, 2006). Moreover, as reported above the central bias for congruent and incongruent stimuli can be explained by the lower visual perception of peripheral vision (Cannon, 1985; Nandy & Tjan, 2008; Pointer & Hess, 1989; Robson & Graham, 1981).

To conclude, peripheral vision capabilities of sighted subjects are not yet well understood. Our results show a central bias when we have to recognize an object or a face. However, the presence of incongruent context affects the categorization efficiency and the ability to recognize objects and faces. For example, when there is a danger we need rapid and appropriate response even when the object is incongruent, in the whole visual field. Measuring perceptual differences in object and face processing across the visual field in healthy participants will provide important baseline information, in order to appreciate challenges faced by those with central scotomas or with which to assess potential visual plasticity in those with hearing loss. Secondly, object and face recognition is particularly impaired in an explicit categorization task (consistency task). This result can be due to the need to identify the object, rather than categorize it (as in the implicit task), to ensure that it is consistent with the background. Moreover, it might be that the attentional resources required to link an object and its background are reduced in peripheral vision. We plan to make an additional experiment to check if we still have a benefit for face processing in the periphery compare to the objects, without the context. And in future study, to determine the cortical networks in fMRI during visual processing of objects and faces according to both the spatial location and the task, in healthy adult participants.

References.

- Almeida I, Van Asselen M and Castelo-Branco M. The role of the amygdala and the basal ganglia in visual processing of central vs. peripheral emotional content. *Neuropsychologia*. 2013; 51(11):2120-2129
- Aminoff E, Gronau N and Bar M. The parahippocampal cortex mediate spatial and nonspatial associations. *Cereb Cortex*. 2007; 17(7):1493-1503.
- Bar M. Visual objects in context. *Nat Rev Neurosci*. 2004; 5(8): 617-629.
- Bar M and Aminoff E. Cortical Analysis of Visual Context. *Neuron*. 2003; 38(2): 347-358.
- Boucart M, Dinon J-F, Desprez P, Desmettre T, Hladiuk K and Oliva A. Recognition of facial emotion in low vision: A flexible usage of facial features. *Visual Neuroscience*. 2008; 25(4): 603-609.
- Boucart M, Moroni C, Thibaut M, Szaffarczyk S, Greene M. Scene categorization at large visual eccentricities. *Vision Res*. 2013a; 86C:35-42.
- Boucart M, Moroni C, Szaffarczyk S and Tran THC. Implicit processing of scene context in macular degeneration, *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013b; 54(3): 1950-1957.
- Boucart M, Nail F, Desprez P, Defoort-Delhemme S et Fabre-Thorpe M. Implicit and explicit object recognition at very large visual eccentricities: no improvement after loss of central vision. *Vis.Cogn*. 2010; 18(6), 839–858.
- Boucart M, Lenoble Q, Quettelart J, Szaffarczyk S , Desprez P and Thorpe SJ. Finding faces, animals and cars in far peripheral vision. Submitted in JOV special issue Scene perception in central and peripheral vision.
- Bullimore MA, Bailey IL et Wacker RT. Face recognition in age-related maculopathy. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1991; 32(7): 2020-2029.
- Cannon MW Jr. Perceived contrast in the fovea and periphery. *J Opt Soc Am A*. 1985 Oct;2(10):1760-1768.
- Chee MW, Goh JO, Venkatraman V, Tan JC, Gutchess A, Sutton B, Hebrank A, Leshikar E & Park D. Age-related changes in object processing and contextual binding revealed using fMR adaptation. *J Cogn Neurosci*. 2006; 18(4): 495-507.
- Crouzet SM, Kirchner H and Thorpe SJ. Fast saccades toward faces: face detection in just 100 ms. *J Vis*. 2010; 10(4): 16.1-17.
- Curcio CA, Kimberley AA, Sloan KR, Lerea CL, Hurley JB, Klkock IB, et al, Distribution and morphology of human cone photoreceptors stained with anti-blue opsin. *J Comp Neurol*. 1991; 312(4): 610–624.
- Davenport JL and Potter MC. Scene consistency in object and background perception. *Psychol Sci*. 2004 ; 15(8): 559-564.
- Davenport JL. Consistency effects between objects in scenes. *Mem Cognit*. 2007; 35: 393–401.
- de Gelder B, Meeren HK, Righart R, van den Stock J, van de Riet WA & Tamietto M. Beyond the face: exploring rapid influences of context on face processing. *Prog Brain Res*. 2006; 155: 37-48.
- Fize D, Cauchoix M and Fabre-Thorpe M. Humans and monkeys share visual representations. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2011; 108(18): 7635-7640.

Fletcher-Watson S, Findlay JM, Leekam SR & Benson V. Rapid detection of person information in a naturalistic scene. *Perception*. 2008;37(4):571-83.

Freeman JB, Ma Y, Barth M, Young SG, Han S & Ambady N. The neural basis of contextual influences on face categorization. *Cereb Cortex*. 2015; 25(2): 415-422.

Gazzaley A, Clapp W, Kelley J, McEvoy K, Knight RT & D'Esposito M. Age-related top-down suppression deficit in the early stages of cortical visual memory processing. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2008; 105(35): 13122-13126.

Grill-Spector K and Malach R. The human visual cortex. *Annu. Rev. Neurosci.* 2004; 27: 649–677

Harel A, Kravitz DJ and Baker CI. Task context impacts visual object processing differentially across the cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2014; 111(10): E962-971.

Hershler O, Golan T, Bentin S, Hochstein S. The wide window of face detection. *J Vis.* 2010 Aug 20;10(10): 21. doi: 10.1167/10.10.21.

Joubert OR, Fize D, Rousselet GA and Fabre-Thorpe M. Early interference of context congruence on object processing in rapid visual categorization of natural scenes. *J Vis.* 2008; 8(13):11.1-18.

Kwon M and Legge GE. Spatial-frequency cutoff requirements for pattern recognition in central and peripheral vision. *Vision Res.* 2011; 51(18): 1995–2007

Larson AM and Loschky LC. The contributions of central versus peripheral vision to scene gist recognition, *Journal of Vision*. 2009; 9(10):6. 1-16.

Levi DM. Crowding--an essential bottleneck for object recognition: a mini-review. *Vision Res.* 2008; 48(5): 635-54.

Levy I, Hasson U, Avidan G, Hendler T and Malach R. Center-periphery organization of human object areas. *Nature Neuroscience*. 2001; 4: 533–539.

Liu L, Kuyk T et Fuhr P. Visual search training in subjects with severe to profound low vision. *Vision Res.* 2007; 47(20): 2627-2636.

Malach R, Levy I and Hasson U. The topography of high-order human object areas. *Trends Cogn Sci.* 2002; 6(4): 176-184.

Meeren HK, van Heijnsbergen CC & de Gelder B. Rapid perceptual integration of facial expression and emotional body language. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2005; 102(45): 16518-16523.

Nandy AS & Tjan BS. Efficient integration across spatial frequencies for letter identification in foveal and peripheral vision. *J Vis.* 2008; 8(13): 3.1-20.

New J, Cosmides L et Tooby J. Category-specific attention for animals reflects ancestral priorities, not expertise. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2007; 104(42): 16598-16603.

Pelli DG, Palomares M, Majaj NJ. Crowding is unlike ordinary masking: distinguishing feature integration from detection. *J Vis.* 2004; 4(12): 1136-69.

Pointer JS & Hess RF. The contrast sensitivity gradient across the human visual field: with emphasis on the low spatial frequency range. *Vision Res.* 1989; 29(9): 1133-1151.

Rémy F, Saint-Aubert L, Bacon-Macé N, Vayssière N, Barbeau E and Fabre-Thorpe M. Object recognition in congruent and incongruent natural scenes: A life-span study. *Vision Res.* 2013; 91: 36-

44.

Rémy F, Vayssière N, Pins D, Boucart M and Fabre-Thorpe M. Incongruent object/context relationships in visual scenes: Where are they processed in the brain? *Brain Cogn.* 2014; 84(1): 34-43.

Robson JG & Graham N. Probability summation and regional variation in contrast sensitivity across the visual field. *Vision Res.* 1981; 21(3): 409-418.

Schyns PG et Oliva A. Dr. Angry and Mr. Smile: when categorization flexibly modifies the perception of faces in rapid visual presentations. *Cognition.* 1999; 69(3): 243-265.

Strasburger H, Harvey LO & Rentschler I. Contrast threshold for identification of numeric characters in direct and eccentric view. *Percept Psychophys* 1991; 49: 495–508.

Strasburger H et Rentschler I. Contrast-dependent dissociation of visual recognition and detection fields. *Eur J Neurosci.* 1996; 8(8): 1787-1791.

Strasburger H, Rentschler I & Jüttner M. Peripheral vision and pattern recognition: a review. *J Vis.* 2011; 11(5): 1-82.

Tejeria L, Harper RA, Artes PH, Dickinson CM. Face recognition in age related macular degeneration: perceived disability, measured disability, and performance with a bioptic device. *Br J Ophthalmol.* 2002; 86(9): 1019-1026.

Thorpe SJ, Gegenfurtner KR, Fabre-Thorpe M, Bülthoff H., Detection of animals in natural images using far peripheral vision. *Eur J Neurosci.* 2001;14(5):869-876.

Tran THC, Guyader N, Guerin A, Desprez P and Boucart M. Figure Ground Discrimination in Age-Related Macular Degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011; 52(3): 1655-1660.

Van den Stock J & de Gelder B. Emotional information in body and background hampers recognition memory for faces. *Neurobiol Learn Mem.* 2012; 97(3): 321-325.

Van den Stock J & de Gelder B. Face identity matching is influenced by emotions conveyed by face and body. *Front Hum Neurosci.* 2014; 8:53.

Wieser MJ & Brosch T. Faces in context: a review and systematization of contextual influences on affective face processing. *Front Psychol.* 2012; 3: 471.

Zanto TP & Gazzaley A. Neural suppression of irrelevant information underlies optimal working memory performance. *J Neurosci.* 2009; 29(10): 3059-3066.

Zanto TP, Hennigan K, Ostberg M, Clapp WC & Gazzaley A. Predictive knowledge of stimulus relevance does not influence top-down suppression of irrelevant information in older adults. *Cortex.* 2010; 46(4): 564-574.

Chapitre 5 : Études chez les personnes n'ayant que la vision périphérique

Étude 3 :

La contribution de la vision centrale et périphérique dans la catégorisation des scènes : une étude chez les personnes avec perte de la vision centrale

Thibaut M., Tran T.H.C., Szaffarczyk S. & Boucart M. "The contribution of central and peripheral vision in scene categorization: A study on people with central vision loss." *Vision Res.* 2014; 98: 46-53.

Résumé :

Introduction :

Les études chez le sujet sain ont permis de mettre en évidence que nous sommes capables de reconnaître des scènes présentées très brièvement (Joubert et al, 2007 ; Thorpe et al, 1996) et limitées en termes de fréquences spatiales (Oliva et Schyns, 2000 ; Schyns et Oliva, 1994). La contribution de la vision centrale, en comparaison de la vision périphérique, a fait l'objet d'études par le biais de pathologies à l'origine d'une perte de la vision centrale telle que la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA). Chez le sujet sain, quelques études ont permis de montrer que nous sommes capables de catégoriser des objets et des scènes en grande périphérie (Boucart et al, 2013 ; Thorpe et al, 2001).

Larson et Loschky (2009) ont étudié la contribution de la vision centrale et de la vision périphérique pour la reconnaissance des scènes. Pour cela deux conditions étaient testées, la première dite « fenêtre » où seule l'information centrale était disponible, la seconde dite « scotome » où seule l'information périphérique était disponible, et ceci avec des tailles diverses. Ils ont montré que, même en l'absence de la portion centrale, les participants étaient capables de reconnaître des scènes. Ceci a été confirmé par la suite chez les patients atteints de DMLA par Tran et collaborateurs (2010).

Notre étude a pour but de comparer la reconnaissance de scènes en présentation centrale par rapport à une présentation périphérique chez des patients souffrant d'une altération de la vision centrale. Notre hypothèse était que les patients seraient plus performants en vision périphérique en raison d'une adaptation fonctionnelle faisant suite à la perte de vision centrale.

Méthodologie :

Nous avons testé 21 patients atteints de DMLA exsudative et 15 sujets témoins appariés en âge avec vision normale ou corrigée, tous recrutés au sein du service d'ophtalmologie adulte de l'hôpital Saint-Vincent (Lille). Tous nos participants ont signé un formulaire de consentement écrit.

Nous avons utilisé des photographies de scènes (naturelles et urbaines) présentés sur un fond gris. Chaque scène était présentée de manière aléatoire au centre ou en périphérie sur l'un des quatre angles de l'écran, précédé d'une croix de fixation centrale.

Résultats :

Nous avons mis en évidence une meilleure sensibilité et des temps de réaction plus courts chez les sujets sains en comparaison aux patients avec maculopathie lorsque les scènes étaient affichées au centre de l'écran. Les patients n'étaient pas meilleurs en périphérie qu'au centre.

Conclusion :

Les résultats obtenus chez le sujet sain, nous permettent de dire que la reconnaissance des scènes peut-être accomplie avec la faible résolution de la vision périphérique, cependant la vision centrale reste clairement plus efficace. Les patients avec scotome centrale ne peuvent se fier qu'aux basses fréquences spatiales de leur vision périphérique ce qui explique qu'ils ne sont pas meilleurs au centre qu'en périphérie.

The contribution of central and peripheral vision in scene categorization: a study on people with central vision loss.

THIBAUT Miguel¹, TRAN Thi Ha Chau ^{1,2}, SZAFFARCZYK Sebastien¹, & BOUCART Muriel¹.

(1) Laboratoire Neurosciences et Pathologies Fonctionnelles, université Lille Nord de France, CNRS, France.

(2) Service d'Ophtalmologie, Hôpital Saint Vincent de Paul, Lille, France.

Corresponding author: Dr Muriel Boucart, CHRU Lille, Hôpital Roger Salengro, Laboratoire Neurosciences et Pathologies Fonctionnelles, 59037 Lille, France

Email : m-boucart@chru-lille.fr

Tel. (33) 320446279

Short title: scene categorization in macular degeneration

ABSTRACT

Studies in normally sighted people suggest that scene recognition is based on global physical properties and can be accomplished by the low resolution of peripheral vision. We examine the contribution of peripheral and central vision in scene gist recognition in patients with central vision loss and age-matched controls. Twenty-one patients with neovascular age related macular degeneration (AMD), with a visual acuity lower than 20/50, and 15 age-matched normally sighted controls participated in a natural/urban scene categorization task. The stimuli were colored photographs of natural scenes presented randomly at one of five spatial locations of a computer screen: centre, top left, top right, bottom left and bottom right at 12° eccentricity. Sensitivity (d') and response times were recorded. Normally sighted people exhibited higher sensitivity and shorter response times when the scene was presented centrally than for peripheral pictures. Sensitivity was lower and response times were longer for people with AMD than for controls at all spatial location. In contrast to controls patients were not better for central than for peripheral pictures. The results of normally sighted controls indicate that scene categorization can be accomplished by the low resolution of peripheral vision but central vision remains more efficient than peripheral vision for scene gist recognition. People with central vision loss likely categorized scenes on the basis of low frequency information both in normal peripheral vision and in low acuity central vision.

Keywords: scene perception, peripheral vision, age-related macular degeneration, low vision.

INTRODUCTION

The gist of a scene includes all levels of processing, from low-level features (color, spatial frequency, orientation...) to intermediate image properties (surface, volumes, texture) and high level information (semantic knowledge) (Oliva 2005). Studies on normally sighted people have shown that scene gist recognition is particularly robust, even in conditions of limited presentation time (around 20 ms) (Rousselet et al, 2005; Joubert et al 2007; Greene & Oliva, 2009a), limited spatial frequency information (Oliva & Schyns, 2000), limited attentional allocation (Fei-Fei et al, 2005) and large visual eccentricities (Thorpe et al, 2001; Boucart et al, 2013). The question of the contribution of central versus peripheral vision on natural scene perception has been addressed in normally sighted observers and in pathologies inducing a visual field loss. For instance, Thorpe et al (2001) have looked at performance of young normally-sighted people for object categorization at large eccentricities. Photographs of natural scenes were randomly presented on a hemispheric screen from 0 (central) to 75° eccentricity. Surprisingly, they found that performance to detect an animal in a natural scene was above 70% at 60° eccentricity though participants claimed to perform the task by guessing. This “perception without awareness” at large eccentricities has been confirmed and extended by Boucart et al (2010). They reported both implicit recognition (measured by priming effects) and explicit recognition (measured by recognition of previously seen pictures) of colored photographs of objects at 30° eccentricity. Only non conscious implicit recognition occurred at 50° eccentricity in normally sighted people and in 4 patients with Stargardt disease (a juvenile maculopathy inducing central vision loss). Larson and Loschky (2009) examined the contribution of central versus peripheral vision on scene gist recognition in a verification task (a matching between a word and a photograph). They presented participants with central photographs of real world scenes (27 X 27° of visual angle) for 106 ms each. Performance was compared in two conditions: a window condition showing the central portion of the scene and blocking peripheral information and a scotoma condition blocking out the central portion and showing only the periphery. The radii of the window and scotoma were 1, 5, 10.8 and 13.6°. Performance was barely above chance in the 1° window condition and, when all information was eliminated from foveal and parafoveal vision (in the 5° scotoma condition), accuracy was no worse than when the entire image was shown. This suggests that central vision is not

necessary for recognizing scene gist. Accuracy increased as the radius of the window increased or the radius of the scotoma decrease. The authors suggested that peripheral (and parafoveal vision) is more useful than high resolution foveal vision for scene gist recognition. However, a control experiment showed that the advantage of the periphery resulted from a difference in the size of the viewing field. When viewing field size was equalized there was an advantage for central vision in their study. A further control study showed that central vision required less than half as many pixels as peripheral vision required to achieve the same gist accuracy, suggesting that central vision was more efficient at extracting scene gist.

Tran et al (2010) investigated scene gist recognition in people with central vision loss resulting from macular degeneration (AMD). Colored photographs of scenes (15 x 15° of visual angle) were centrally displayed for 300ms. People with AMD and normally sighted age-matched controls were asked to categorize the scenes either as natural versus urban or as indoor versus outdoor in a go/nogo task (i.e., half of the participants in each group pressed a key for a pre-defined target (e.g., the natural, the urban, the indoor or the outdoor scene depending on the participant) and refrained from responding for the other category). It was found that people with AMD performed with high accuracy in both categories of scenes (84% hits for natural/urban and 79% hits for indoor/outdoor scenes). As people with AMD had a central vision loss, these results are consistent with studies on normally sighted people (Larson & Loschky, 2009) showing that scene recognition can be accomplished with the low resolution of peripheral vision. However, in the Tran et al (2010) study, the pictures were always displayed at the same spatial location, in the centre of the computer screen. Therefore, as the location was predictable, it might be that people with AMD oriented their gaze in such a way that the images fell in their preferred retinal location (PRL). When the macular scotoma affects the fovea, the visual system develops preferred retinal loci (PRLs) as a "pseudofovea" to perform visual tasks (Crossland et al, 2005). The PRL refers to one or several retinal areas used for fixation. It is task specific (Crossland et al, 2011a), and it is used on repeated testing (Crossland et al, 2011b). The PRL tends to develop in a functional retinal area near the edge of the scotoma (Crossland et al, 2005; Cheung & Legge, 2005).

The present study was designed to compare scene gist recognition in central and in peripheral vision in people with central vision loss and normally sighted age-matched observers. In addition to the previous study (Tran et al 2010) the spatial location of the

pictures was unpredictable, appearing randomly at one of five spatial locations on a computer screen (centre, top left, top right, bottom left and bottom right). Also, in the Tran et al (2010) study images were displayed for 300 ms. Though that duration does not allow visual exploration it does provide enough time for two moderate (150 ms) fixations. In the present study images were displayed at a duration that was shorter for a saccade at 12° eccentricity. If a reliable scene representation can be built from low level features (Torralba & Oliva, 2003; Larson & Loschky, 2009) then peripheral presentation should not impair performance, both in people with AMD and in normally sighted controls.

METHOD

Participants: Twenty-one patients with neovascular age-related macular degeneration were included. Due to the asymmetry of the pathology only one eye of each patient was tested. In cases of bilateral AMD, we tested eye with the best corrected visual acuity. If both eyes had equal acuity, one eye was randomly selected. Best corrected visual acuity (BCVA) was determined using Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS) charts at a distance of 4m, which was converted to logMAR visual acuity for statistical purpose. Slit lamp examination, intraocular pressure, and funduscopy were performed in all patients and controls. The diagnosis of neovascular AMD was confirmed by fluorescein angiography, using a confocal scanning laser ophthalmoscope (Heidelberg Retina Angiograph, HRA2; Heidelberg Engineering, Dossenheim, Germany). The area of the lesion (mm²) and the greatest linear diameter of the lesion were measured from digital angiograms by outlining the lesion, using image analysis software (Heidelberg Eye Explorer, Heidelberg Engineering) (Barbazetto et al, 2003; Hogg et al, 2003). Clinical assessment and experiments were performed at the same visit in the hospital.

The age-matched control group, with normal visual acuity, was composed of 15 volunteers. Control participants had no history of ophthalmologic or neurological diseases and no cognitive impairment. They were either relatives of participants with AMD or patients who underwent successful cataract surgery with normal visual acuity ranging from 20/25 to 20/20. Controls were tested monocularly on their preferred eye. Clinical and demographic data are provided in Table 1.

Both participants with AMD and controls were recruited in the Ophthalmology department of Saint Vincent the Paul hospital, Lille, France. The study was approved by the ethical committee of Lille, in accordance with the tenets of the Declaration of Helsinki. Written informed consent was obtained from all participants.

Table 1: Demographic and clinical data of the study population

AMD participants	n = 21
Mean age (years)(mean, SD, range)	79 ± 5.7 (66 -89)
Gender (M/F)	6 Males/15 Females
Mean MMSE (mean, SD)	27 ± 2
Mean LogMAR VA	0.6 ± 0.22
Mean greatest linear diameter (mm)(mean, SD, range)	3.57 ± 1.38 (1.3 – 7.5)
Mean area of the lesion (mm ²)(mean, SD, range)	8 ± 6.8 (0.6-30.6)
Controls	n = 15
Mean age (years)(mean, SD, range)	74.6 ± 6 (66 - 83)
Gender (M/F)	7 Males/8 Females
Mean LogMAR VA	0.06 ± 0.04
Mean MMSE	28.7 ± 1.9

Stimuli and apparatus: The stimuli were displayed on a 30 inches color monitor (Dell) connected to a computer (Dell T 3400). The stimuli were photographs of natural scenes. Two categories were represented: natural (deserts, forests, mountains, rivers) versus urban scenes (cities, skyscrapers, streets and highways). Examples are shown in Figure 1. The amplitude spectra were computed for the two categories of scenes to assess whether they differed on the orientation (horizontal/vertical) of low, medium and high spatial frequency components. As shown in Table 2, the difference (ratio) in vertical and horizontal components between the two categories of scenes was small for low spatial frequencies. It increased for medium and high spatial frequencies. The angular size of the photographs was 15° X 15° at a viewing distance of 1 m. The participant's head was not fixed. The scenes were displayed on a light gray background (56.2 cd/m²). The software was developed by the lab's engineer in C++. Responses were recorded by keypress on a response box connected to the computer.

Natural



Urban



Fig.1. Examples of natural and urban scenes used in the experiment.

Procedure: A black (5°) central fixation cross was displayed for 500 ms, followed by a blank interval of 500 ms, and followed by a single photograph of a scene. The picture appeared randomly and equally at one of 5 spatial locations: the centre of the screen or one on the four quadrants surrounding the fixation cross at an eccentricity (centre of the picture) of 12° . An example of the paradigm is presented in Figure 2. A go/no-go paradigm was used. Participants were asked to press a key when they saw their target and to refrain from responding when the photograph did not correspond to their target. The target was a natural scene for half of the participants and an urban scene for the other half. There were 140 trials determined by 28 photographs (14 natural and 14 urban scenes) X 5 spatial locations. The 70 natural scenes were randomly selected, by software, from a set containing 400 photographs and the 70 urban scenes were randomly selected from a set containing 200 photographs. As we wanted to investigate peripheral vision the exposure duration was fixed at a duration lower than that of a saccade. The mean duration of a saccade varies between 175-200 ms for young people (Rayner, 1995). It is longer for older adults (on average 264 ms) (Irving et al, 2006). Based on pilot studies to get performance above chance, but not at ceiling for normally sighted controls, the exposure time was fixed at 100 ms for controls and at 200 ms for patients as a majority of patients claimed that they saw nothing with a 100 ms

exposure time. Response times were triggered on stimulus onset. A picture was displayed every 2 s. Responses were recorded on the basis of the signal detection theory with correct detections of the target designated as hits, detection of a target when there was none designated as false alarms, failure to detect the target when it was present designated as omission and no response when the target was absent designated as correct rejections. In order to avoid the problem of infinite z score values for 100% hits and 0% false alarms in cases of perfect discriminability, a correction (Macmillan & Creelman 1991) was applied: the proportion of hits and false alarms were set at 0.99 (for 100%) and 0.01 (for 0%). Based on these data, a d' index of sensitivity was computed for each participant and each spatial location of the target. Analyses of variance were conducted on the d' index of sensitivity and on correct response times (RTs). The factors were the group (people with AMD vs. normally sighted controls), the two categories of scenes (natural/urban) and the five spatial locations. Correlations between performance (d') and clinical parameters (logMAR visual acuity, greatest diameter of the lesion, and the area surface) were performed by using Pearson's correlation coefficient (r) and the matching significance of the correlation (p). For tests of statistical significance, alpha is set to $p < 0.05$. All data were analysed using the software Statistica (Version 8, Stat soft, France).

Table 2: Horizontal and vertical components of the image as a function of spatial frequency range (low, medium and high spatial frequencies) and categories of pictures. The ratio was computed as $(\text{Horizontal} - \text{Vertical}) / (\text{Horizontal} + \text{Vertical}) \times 100$.

	Low SF (< =1 cpd)			Medium SF (1 < f < = 3)			High SF (> 3cpd)		
	Horiz	Vertic	ratio	Horiz	Vertic	ratio	Horiz	Vertic	ratio
highways	99	118	-9%	127	155	-10%	273	368	-15%
cities	117	114	2%	162	143	6%	395	324	10%
streets	107	123	-7%	136	154	-6%	359	395	-5%
skyscrapers	111	104	3%	144	128	6%	328	336	-1%
Man-made	108	115	-3%	142	145	-1%	339	356	-2%
rivers	107	112	-2%	132	156	-9%	335	382	-7%
mountains	104	111	-3%	130	157	-9%	299	364	-10%
forests	99	117	-9%	131	169	-13%	276	374	-15%
deserts	91	120	-14%	116	156	-15%	258	384	-20%
Natural	103	113	-5%	131	161	-10%	303	373	-10%

SF = Spatial Frequency. In bold: Mean values for the four categories of man-made and the four categories of natural scenes.

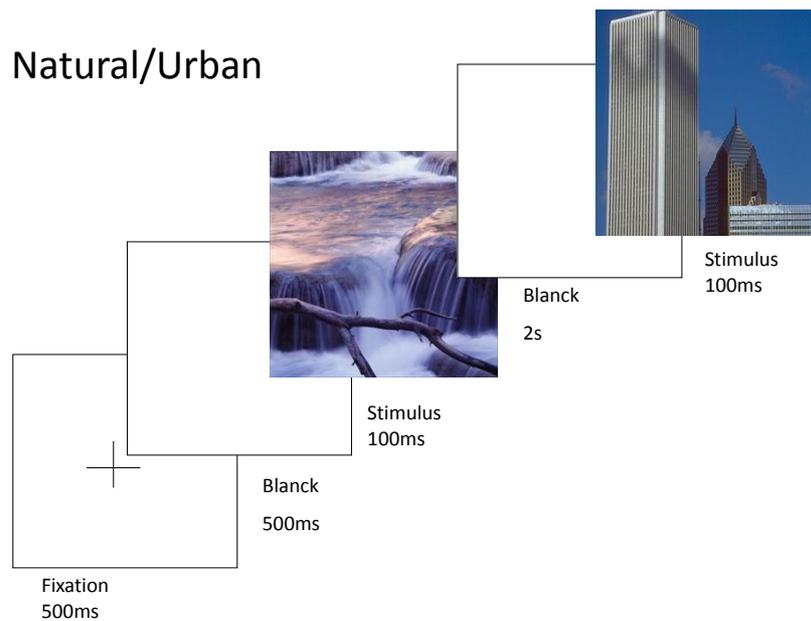


Fig.2. An example of the paradigm of scene categorization.

RESULTS

The results are presented in Figure 3 for sensitivity and RTs. Individual results are presented in Table 3. There was no significant main effect of the category of scene (urban/natural) ($F(1, 32) = 0.3$ ns for d' and $F(1, 32) = 1.6$ ns for RTs) and no interaction between category of scene and other variables.

Sensitivity was higher for controls than for people with AMD ($F(1, 32) = 11.7$, $p < .002$) but RTs did not differ significantly between groups ($F < 1$). A significant main effect of spatial location was observed both on sensitivity ($F(4, 128) = 12$, $p < .0001$) and on RTs ($F(4, 128) = 5.2$, $p < .001$), with centrally located scenes producing higher sensitivity and faster RTs. Group interacted significantly with spatial location for sensitivity ($F(4, 128) = 4.7$, $p < .001$) but not for RTs ($F(4, 128) = 0.6$, ns). The interaction resulted from a better sensitivity when the scene was displayed centrally than peripherally for controls ($F(4, 52) = 11.2$, $p < .0001$) whilst no significant difference between the spatial locations was found for people with AMD ($F(4, 76) = 1.5$ ns). RTs were also significantly shorter for central than for peripheral pictures in the control group ($F(4, 52) = 6.7$, $p < .001$) but not for people with AMD ($F(4, 76) = 1.6$, ns). A comparison between patients and controls for each spatial location showed that sensitivity was significantly higher for controls than for patients with AMD at each spatial location except bottom-left (centre: $F(1, 34) = 24.7$, $p < .001$, top-right: $F(1, 34) = 11.4$, $p < .001$), bottom-right: $F(1, 34) = 6.6$, $p < .014$, top-left: $F(1, 34) = 6.2$, $p < .018$, bottom-left: $F(1, 34) =$

3.17, $p < .08$). No significant difference between patients and controls was observed for RTs (centre: $F(1, 34) = 1.6$, ns, top-right: $F(1,34) = 0.44$, ns), bottom-right: $F(1, 34) = 0.002$, ns, top-left: $F(1, 34) = 0.13$, ns, bottom-left: $F(1, 34) = 0.31$, ns). Individual data, presented in Table 3, show that sensitivity was better for centrally displayed pictures in 4/21 patients (5, 9, 12 and 21). It was better on the top-left for 2/21 patients (7 and 17). Sensitivity was equivalent at the 5 spatial locations for the other patients and it was close to chance for centrally displayed pictures in 4/21 patients (2, 6, 15 and 19) (see Table 3).

No significant correlation was found between performance (in terms of response times and d') at the five spatial locations (centre, top right, bottom right, top left, bottom left) and any clinical parameters (distance visual acuity, lesion size).

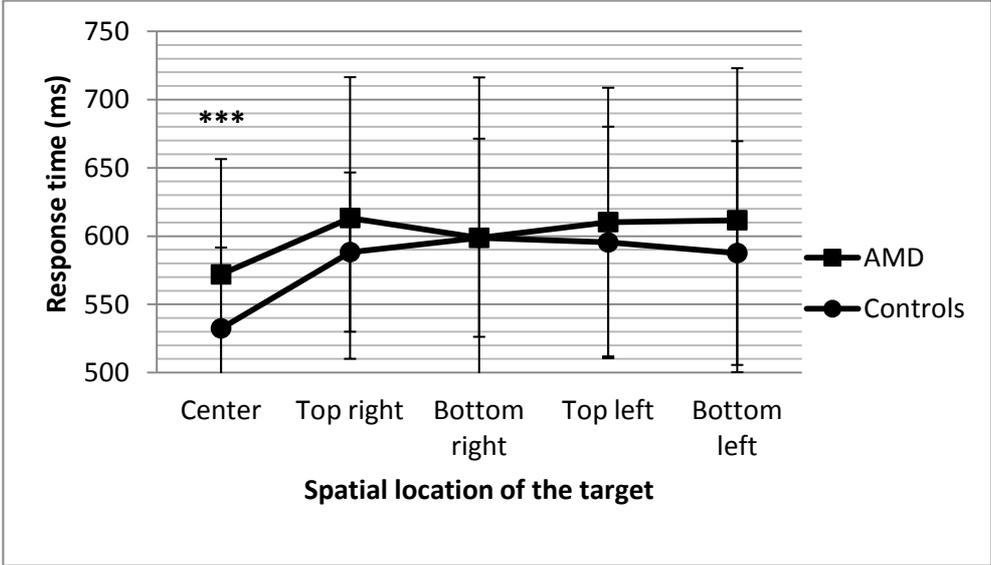
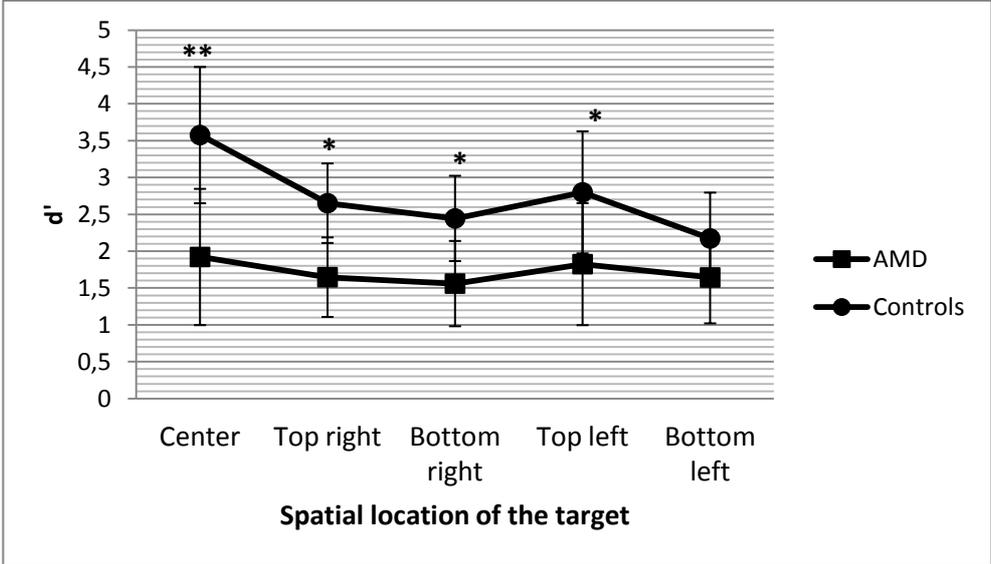


Fig.3. Index of sensitivity (d') and response times (RTs) as a function of the spatial location of the target photograph on the screen and the group of participants (people with AMD / controls). The vertical lines represent standard deviations.

Table 3: individual d' s and response times as a function of the group of participants (AMD vs controls), the spatial location of the target (centre, top right, top left, bottom right and bottom left) and the category of scenes (natural vs urban scene). On the right: individual clinical data for patients: visual acuity, surface area of the lesion (in mm²) and diameter of the lesion (in mm).

	Centre	Top Right	Bottom Right	Top Left	Bottom Left	LogMAR Visual acuity	Surface area (mm ²)	Greatest linear diameter (mm)
AMD Group								
Target: Natural								
P1	1.56	1.09	1.28	1.10	1.23	0.40	2.69	2.40
P2	0.80	1.16	1.03	0.90	1.52	0.50	4.67	3.20
P2	1.06	0.77	1.88	1.29	1.52	0.70	8.00	3.70
P4	1.29	1.67	0.84	2.20	1.71	0.40	3.00	2.20
P5	3.29	1.81	1.94	0.52	1.52	0.60	3.50	2.70
P6	0.13	0.25	0.68	0.36	1.39	0.60	7.30	4.00
P7	3.97	3.29	3.97	4.65	3.97	0.40	4.84	2.76
P8	2.36	1.66	1.04	2.32	2.32	1.12	11.70	4.50
P9	3.29	2.17	1.68	2.56	1.90	0.40	0.57	1.28
P10	1.42	1.67	0.84	0.51	0.38	0.70	30.60	7.50
Target: Urban								
P11	2.68	2.32	1.81	2.49	2.32	0.70	4.50	2.90
P12	3.00	1.61	1.96	1.52	2.12	0.40	5.08	3.10
P13	1.92	1.81	1.56	1.64	1.16	0.70	0.98	1.29
P14	2.12	1.42	1.88	1.96	1.23	0.70	9.60	3.60
P15	0.84	2.20	1.52	1.56	0.78	0.50	7.20	4.52
P16	1.16	1.11	1.28	1.10	0.13	1.00	8.70	4.40
P17	1.12	2.20	2.33	3.17	1.82	1.00	20.00	5.50
P18	2.68	2.49	2.68	2.93	2.68	0.40	10.15	3.90
P19	0.64	0.51	0.97	1.33	0.97	0.40	7.00	3.80
P20	1.42	1.26	0.48	1.37	1.37	0.40	13.00	4.10
P21	3.61	2.17	1.96	2.85	2.49	0.50	6.31	3.70
Controls Group								
Target: Natural								
C1	2.93	2.03	0.84	1.56	0.64	0.05		
C2	4.65	3.00	2.03	3.97	2.68	0.05		
C3	3.17	2.32	1.37	1.35	1.55	0.10		
C4	2.68	1.41	1.77	1.77	0.90	0.10		
C5	4.65	3.00	3.00	3.17	2.33	0.05		
C6	3.97	4.65	3.97	6.16	3.29	0.10		
C7	3.61	3.29	3.29	2.56	2.03	0.05		
C8	3.97	1.16	1.59	1.90	2.33	0.10		
Target: Urban								
C9	2.12	1.56	2.56	1.88	2.32	0.10		
C10	3.97	3.61	2.49	2.93	2.56	0.00		
C11	4.65	3.97	4.65	3.67	3.03	0.10		
C12	3.36	1.64	1.67	1.41	1.71	0.10		
C13	2.32	1.52	0.63	2.33	0.93	0.10		
C14	3.97	3.00	2.85	3.36	2.32	0.00		
C15	3.61	3.61	3.97	3.97	3.97	0.00		

	Centre	Top Right	Bottom Right	Top Left	Bottom Left
AMD Group					
Target: Natural					
P1	488,79	656,36	568,90	656,08	688,38
P2	667,91	698,56	736,25	764,86	810,67
P2	529,08	640,75	579,47	568,58	520,50
P4	643,08	868,77	872,20	865,67	921,67
P5	596,60	450,07	477,86	562,60	776,78
P6	724,11	637,33	515,00	510,67	617,25
P7	541,48	538,32	567,25	592,50	597,80
P8	454,83	350,18	546,70	461,00	478,24
P9	507,90	558,00	527,50	531,94	569,67
P10	680,53	711,85	778,70	593,00	630,45
Target: Urban					
P11	524,42	578,80	548,07	610,06	594,27
P12	441,20	452,72	433,00	493,40	471,31
P13	828,65	712,29	988,29	966,90	913,45
P14	466,25	510,31	463,75	530,87	476,93
P15	638,44	785,33	646,33	708,57	703,75
P16	682,28	665,39	719,94	648,81	590,20
P17	540,17	839,33	683,40	694,31	559,83
P18	573,12	545,19	521,71	540,17	458,26
P19	492,62	510,55	480,09	526,00	531,36
P20	443,46	584,86	419,67	437,00	404,69
P21	546,63	584,14	499,89	553,14	530,00
Controls Group					
Target: Natural					
C1	636,94	625,69	659,10	640,79	743,33
C2	515,19	589,07	548,62	553,42	512,00
C3	487,10	551,67	636,36	512,33	485,06
C4	549,84	592,18	619,45	720,45	708,00
C5	617,70	717,93	685,13	755,00	707,60
C6	589,65	639,10	631,05	732,00	633,84
C7	370,60	443,11	389,32	449,67	398,37
C8	554,10	576,45	675,08	647,67	604,20
Target: Urban					
C9	588,72	696,21	651,22	615,63	634,88
C10	454,95	497,90	474,81	514,53	476,56
C11	445,30	469,05	518,95	490,94	518,69
C12	558,18	632,80	650,92	574,45	646,60
C13	608,50	650,89	663,13	691,90	634,75
C14	503,90	576,47	518,21	482,94	522,29
C15	505,90	566,05	660,95	548,90	589,95

DISCUSSION

Models of scene recognition (Oliva & Torralba, 2001; Torralba & Oliva, 2003) suggest that the initial scene representation is based on holistic descriptors and statistic regularities that can be rapidly extracted at an early perceptual stage (Greene & Oliva 2009b). Numerous evidence from behavioural studies on normally sighted people indicate that rapid scene categorization is based on global scene properties like color (e.g., to categorize a natural scene as hot or cold landscape), orientation (e.g., to discriminate between a forest and a field), depth, texture density....(e.g., Oliva & Torralba 2006; Serre et al 2007; Greene & Oliva 2009a; 2009b). It has been shown that, with a single glance at a scene (20 ms exposure time) normally sighted people are able to categorize scenes at a super-ordinate level (e.g., natural versus man made) and at a basic level (e.g., river, forest, highway, city..) with high accuracy (above 90% correct) and fast RTs (below 400 ms) (Rousselet et al, 2005; Joubert et al, 2007; Greene & Oliva., 2009a). Categorization at a super-ordinate level can even be shorter and more accurate than categorization at a basic level at short target-mask SOAs (Loschky &

Larson 2010). Even if severe spatial filtering (4-8 cycles per image) is applied to the image, enough structural cues are provided to allow the categorization of a scene as indoor/outdoor (Oliva & Schyns, 2000) suggesting that the initial scene representation constructed by the visual system is based on coarse global information.

We examined scene categorization in high resolution central and in low resolution peripheral vision in normally sighted observers and in people with degraded central vision who must rely on their peripheral vision. The results show (1) that both people with AMD and normally sighted age-matched controls were able to categorize scenes in peripheral vision at 12° eccentricity. (2) Sensitivity was higher for normally sighted controls than for people with AMD at all spatial locations even though controls saw scenes for durations half as long as patients. (3) Response times were shorter, and sensitivity was higher, for central than for peripheral scenes in normally sighted people but not in patients whose performance (both RTs and sensitivity) was equivalent for central and peripheral scenes.

Even though the density of cone photoreceptors, responsible for high resolution perception, decreases considerably as eccentricity increases from the fovea (Curcio et al, 1991) the results in both groups of participants show that scene categorization can be accomplished with the low resolution of peripheral vision. This result is consistent with Larson and Loschky (2009) and Boucart et al (2013). Tran et al (2010) showed that people with central vision loss were able to categorize scenes with high accuracy but, in their study, photographs were always displayed at the same spatial location and for a duration allowing two fixations. It might be that these two conditions allowed people with AMD to place the photographs in their preferred retinal location (PRL), a region of higher acuity developed by people with a central scotoma. With a spatial location of the photographs made unpredictable and a shorter exposure duration people with AMD were still able to categorize scenes highly above chance suggesting that they used efficiently their peripheral vision to categorize scenes, both for peripherally and for centrally displayed pictures as the angular size of the photographs was larger than the scotoma. However, likely due to the shorter exposure time accuracy was lower for central pictures in the present study (hits: 75.5%) than in the Tran et al (2010) study for patients (84.4%) but not for controls (96% hits in both studies).

Exposure duration was longer for patients than for age-matched controls (200 vs 100 ms) yet performance was better for controls at all spatial locations. This result suggests (1)

that the patients' peripheral vision is not as efficient as that of normally sighted age-matched controls and (2) that peripheral vision does not improve with central vision loss as a result of plasticity. Histopathologic studies of human donor retinas have shown that, although both rods and cones degenerate in AMD, rod loss precedes cone loss in 75% of early and late AMD eyes. The maximum loss occurs in the parafovea, 1-3 mm from the fovea (i.e., 3.5-10 degrees from fixation), beginning inferior to the fovea and culminating in an annulus of deepest loss at 0.5 to 3 mm eccentricity (Curcio et al 1993; 1996; Adler et al 1999; Jackson et al 2002; Changzheng et al 2004; Neelam et al 2009). Consistent with this, a majority of patients with AMD exhibit more scotopic than photopic sensitivity loss (see Neelam et al for a review). In the present study the angular size of the pictures was 15° x15° and peripheral pictures were displayed at an eccentricity of 12° (centre to centre). Both central and peripheral pictures appeared in the area of maximum receptor loss thus explaining the lower performance for patients than for controls at all spatial locations. Regarding plasticity, conflicting results have been reported in studies investigating cerebral re-organization in patients with central vision loss. Some neuroimaging studies point to cerebral reorganization based on retinotopic re-mapping (Baker et al, 2005, 2008) and changes in cortical gray matter density consecutive to AMD (Boucard et al, 2009; Hernowo & al 2013) whilst others failed to show any changes (Sunness et al, 2004; Baseler et al 2011) or found incomplete re-organization depending on the age of disease onset (juvenile vs age related macular degeneration) and therefore the adaptation period (Liu et al 2010).

The better performance for central than for peripheral vision in the present study suggests that, though scene categorization at a superordinate level (natural/urban), can be accomplished by the lower resolution of peripheral vision, it is facilitated when higher spatial frequencies and colors are available for processing (Boucart et al, 2013). Rousselet et al (2005) also found faster RTs for scenes in which color could be used as a diagnostic cue (e.g. to discriminate between sea and mountains) and Gegenfurtner and Rieger (2000) reported that recognition accuracy was higher for colored than for luminance-matched grey level photographs of scenes at all presentation durations (16–64 ms) and all-over categories (natural scenes and scenes including man-made objects such as cities). Previous studies have reported that observers profit from colors when shape information is degraded, for example by blurring (Oliva & Schyns 2000), and for people with low vision (Wurm et al, 1993; Boucart et al, 2008) who exhibit a greater advantage, in terms of accuracy and response times, than

normally sighted participants for colored objects compared to gray levels versions of the same stimuli. The equivalent performance for central and peripheral images in patients can be explained by categorization based on low spatial frequencies both for peripheral and central photographs. In periphery, due to the lower density of receptors the intact visual information is seen in low spatial frequency. In the centre, due to low acuity in people with impaired central vision, high spatial frequencies could not be perceived. Musel et al (2011) showed that patients with AMD were more accurate to categorize low spatial frequency than high spatial frequency scenes, irrespective of the scene category whilst controls performance was not differentially affected by the spatial frequency content of the scenes.

No difference was found between the two types of scenes (natural vs urban) neither for patients nor for controls. Coarse spatial information conveyed by low spatial frequencies is sufficient for superordinate categorization (Oliva & Schyns 2000). In the present study the two categories of scenes (natural and urban) differed on their ratio of horizontal and vertical components but not in the low frequency range (see Table2) which was used for categorization in peripheral vision for both groups and in central vision for people with low acuity.

As in our previous work (Tran et al, 2010) performance for scene categorization was not correlated with any clinical parameters. This can be explained by the fact that these variables correspond to measurements in central vision.

In conclusion, our results indicate an advantage for central vision for scene categorization in normally sighted people, suggesting that information presented to central vision is privileged and more efficient than peripheral vision, even for a broad level of categorization. However, when central vision is impoverished, as in AMD, scene gist recognition, at a superordinate level of categorization (natural versus urban) can be accomplished by the low resolution of peripheral vision in conditions (unpredictability of the spatial location and short exposure duration) that minimize the use of a PRL.

REFERENCES

- Adler, R., Curcio, C., Hicks, D., Price, D., Wong, F. (1999) Cell death in age-related macular degeneration. *Mol Vis.* 3, 5-31.
- Barbazetto, I., Burdan, A., Bressler, N.M., et al (2003). Photodynamic therapy of subfoveal choroidal neovascularization with verteporfin: fluorescein angiographic guidelines for evaluation and treatment--TAP and VIP report No. 2. *Arch Ophthalmol.* 121(9), 1253-68.
- Baker, C., Peli, E., Knouf, N., Kanwisher, N. (2005) Reorganization of visual processing in macular degeneration. *J Neuroscience.* 25, 614–618.
- Baker, C., Dilks, D., Peli, E., Kanwisher, N. (2008) Reorganization of visual processing in macular degeneration: Replication and clues about the role of foveal loss. *Vision Res.* 48(18), 1910-9.
- Baseler, H.A., Gouws, A., Haak, K.V., et al (2011) Large-scale remapping of visual cortex is absent in adult humans with macular degeneration. *Nature Neuroscience.* 14(5), 649-55.
- Boucard, C.C., Hernowo, A.T., Maguire, R.P., et al (2009) Changes in cortical grey matter density associated with long-standing retinal visual field defects. *Brain.* 132(Pt 7), 1898-906.
- Boucart, M., Desprez, P., Hladiuk, K., & Desmetre, T. (2008). Does context or color improve object recognition in patients with macular degeneration? *Vis Neurosci.* 25, 685-91.
- Boucart, M., Naili, F., Desprez, P., Defoort, S. & Fabre-Thorpe, M. (2010). Implicit and explicit object recognition at very large visual eccentricities: no improvement after loss of central vision. *Visual Cognition.* 18(6), 839-58.
- Boucart, M., Moroni, C., Thibaut, M., Szaffarczyk, S., Greene, M. (2013) Scene categorization at large visual eccentricities. *Vision Res.* 86C, 35-42.
- Changzheng, C., Wu, L., Wu, D., Huang, S., Wen, F., Luo, G.&Long, S. (2004). The local cone and rod system function in early age-related macular degeneration. *Documenta Ophthalmologica.* 109, 1–8.
- Cheung, S.H., Legge, G.E. (2005). Functional and cortical adaptations to central vision loss. *Vis Neurosci.* 22(2), 187-201.
- Crossland, M.D., Culham, L.E., Kabanarou, S.A., Rubin, G.S. (2005). Preferred retinal locus development in patients with macular disease. *Ophthalmology.* 112(9), 1579-85.
- Crossland, M.D., Crabb, D.P., Rubin, G.S. (2011a). Task-specific fixation behavior in macular disease. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 52(1), 411-6.
- Crossland, M.D., Engel, S.A., Legge, G.E. (2011b). The preferred Retinal Loci in Macular Disease: Toward A Consensus Definition. *Retina.* 31(10), 2109-14.
- Curcio, C.A., Kimberley, A.A., Sloan, K.R., Lerea, C.L., Hurley, J.B., Klkock, I.B., et al (1991). Distribution and morphology of human cone photoreceptors stained with anti-blue opsin. *J Comp Neurol.* 312, 610–624.
- Curcio, C.A., Millican, C.L., Allen, K.A., Kalina, R.E. (1993) Aging of the human photoreceptor mosaic: evidence for selective vulnerability of rods in central retina. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 34, 3278-96.
- Curcio, C.A., Medeiros, N.E., Millican, C.L. (1996) Photoreceptor loss in age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 37, 1236-49

- Fei-Fei, L., VanRullen, R., Koch, C. & Perona, P. (2005). Why does natural scene categorization require little attention? Exploring attentional requirements for natural and synthetic stimuli. *Visual Cogn.* 12(6), 893-924
- Gegenfurtner, K.R., Rieger, J. (2000). Sensory and cognitive contributions of color to the recognition of natural scenes. *Curr Biol.* 10(13), 805-8.
- Greene, M.R., and Oliva, A. (2009a). The briefest of glances: the time course of natural scene understanding. *Psychol Sci.* 20(4), 464-72.
- Greene, M.R., and Oliva A. (2009b). Recognition of natural scenes from global properties: seeing the forest without representing the trees. *Cogn Psychol.* 58(2), 137-76.
- Hernowo, A.T., Prins, D., Baseler, H.A., et al (2013) Morphometric analyses of the visual pathways in macular degeneration. *Cortex.* In press.
- Hogg, R., Curry, E., Muldrew, A., et al (2003). Identification of lesion components that influence visual function in age related macular degeneration. *Br J Ophthalmol.* 87(5), 609-14.
- Irving, E.L., Steinbach, M.J., Lillakas, L., Babu, R.J., and Hutchings N. (2006). Horizontal saccade dynamics across the human life span. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 47, 2478–2484.
- Jackson, G.R., Owsley, C., Curcio, C.A. (2002) Photoreceptor degeneration and dysfunction in ageing and age-related maculopathy. *Age Res Rev.* 1, 381-96
- Joubert, O.R., Rousselet, G.A., Fize, D., Fabre-Thorpe, M. (2007). Processing scene context: fast categorization and object interference. *Vision Res.* 47(26), 3286-97.
- Larson, A.M., Loschky, L.C. (2009). The contributions of central versus peripheral vision to scene gist recognition. *J Vis.* 9(10), 6 1-16.
- Liu, T., Cheung, S., Schuchard, R.A., et al (2010) Incomplete Cortical Reorganization in Macular Degeneration. *Vis Neurophysio.* 51(12), 6826-34.
- Loschky LC and Larson AM (2010) The natural/man-made distinction is made prior to basic-level distinctions in scene gist processing. *Visual Cognition*, 18(4), 513-36.
- Macmillan, N.A., Creelman, C.D. (1991). *Detection theory: A user guide.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Musel, B., Hera, R., Chokron, S., Alleysson, D., et al (2011). Residual abilities in age-related macular degeneration patients to process spatial frequencies during natural scenes categorization. *Vis Neurosci.* 28(6), 529-541.
- Neelam, K., Nolan, J., Chakravarthy, U., Beatty, S. (2009) Psychophysical function in age-related maculopathy. *Surv Ophthalmol.* 54(2), 167-210.
- Oliva, A. (2005). Gist of the scene. In the *Encyclopedia of Neurobiology of Attention.* L. Itti, G. Rees, and J.K. Tsotsos (Eds.), Elsevier, San Diego, CA (pages 251-256).
- Oliva, A., and Schyns, P. (2000). Diagnostic colors mediate scene recognition. *Cognitive Psychology.* 41, 176-210.
- Oliva, A., and Torralba, A. (2001). Modeling the shape of the scene: A holistic representation of the spatial envelope. *International of Computer Vision.* 42, 145-75.

- Oliva, A., and Torralba, A. (2006). Building the Gist of a Scene: The Role of Global Image Features in Recognition. *Progress in Brain Research: Visual perception*, 155, 23-36,
- Rayner, K. (1995). Eye movements and cognitive processes in reading, visual search, and scene perception. In J. M. Findlay, R. Walker, & R. W. Kentridge (Eds.), *Eye movement research: Mechanisms, processes and applications* (pp. 3_22). Amsterdam: Elsevier.
- Rousselet, G.A., Joubert, O.R., Fabre-Thorpe, M. (2005). How long to get the gist of real world natural scenes. *Visual Cognition*. 6(12), 852-77.
- Sunness, J.S., Liu, T., and Yantis, S. (2004) Retinotopic Mapping of the Visual Cortex Using Functional Magnetic Resonance Imaging in a Patient with Central Scotomas from Atrophic Macular Degeneration. *Ophthalmology*. 111(8), 1595-8.
- Thorpe SJ, Gegenfurtner KR, Fabre-Thorpe M, Bulthoff HH. (2001). Detection of animals in natural images using far peripheral vision. *Eur J Neurosci*. ;14(5):869-76.
- Torralba A, Oliva A. (2003). Statistics of natural image categories. *Network: Computational in Neural Systems*. ;14(3):391-412.
- Tran TH, Rambaud C, Desprez P, Boucart M. (2010). Scene perception in age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. ;51(12):6868-74.
- Tran THC, Guyader N, Guérin A, Desprez P & Boucart M (2011). Figure ground discrimination in age related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. ;52(3):1655-60.
- Wurm LH, Legge GE, Isenberg LI, Luebker A. (1993). Color improves object recognition in normal and low vision. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*; 19:899–911.

Étude 4 :

Stratégies d'exploration visuelle lors de l'identification des objets et des scènes chez les patients atteints de maculopathie juvénile (maladie de Stargardt) et lié à l'âge (DMLA)

Thibaut M., Tran T.H.C., Delerue C. & Boucart M. Misnaming a tennis racket as keys: scene and object identification in people with age-related macular degeneration (AMD).

Ophthalmic and physiol opt. 2015; 35(3): 336-44.

Thibaut M., Delerue C. Boucart M & Tran T.H.C . Visual exploration of objects and scenes in people with macular degeneration. *JFO (accepté)*

Visual exploration of patients with juvenile macular disease during object and scene identification (en preparation)

Résumé :

Introduction :

La vision centrale est essentielle dans les tâches visuelles de haut-niveau comme la lecture ou la reconnaissance des visages (Crossland et al, 2004 ; Tejeria et al, 2002). Des études ont montré que, suite à une perte de la vision centrale, les patients devaient s'adapter et développaient une fixation extra-fovéale appelée PRL (Crossland et al, 2011). Cette fixation excentrée engendre une altération de la stabilité de fixation pouvant être à l'origine des performances moins bonnes obtenues chez les patients (Crossland et al, 2004 ; Seiple et al, 2005).

Contrairement à la lecture et la reconnaissance des visages, la perception des objets et des scènes n'a été que très peu étudiée dans cette pathologie. Ces patients doivent s'appuyer sur leur vision périphérique. Des études précédentes ont mis en évidence qu'en dépit de la faible résolution de la vision périphérique, les patients avec scotome central étaient capables de catégoriser des objets et des scènes avec de bonnes performances (Boucart et al, 2008 a et b ; Tran et al, 2010, 2011 et 2012). Cependant, ces études n'évaluent les patients que sur des tâches de catégorisation relativement grossières. Or dans la vie quotidienne nous devons chercher et *identifier* ce qui nous entoure, impliquant un traitement visuo cognitif beaucoup plus complexe.

Dans notre étude, nous avons évalué les capacités de patients avec DMLA exsudative à donner le nom exact des objets et des scènes. Nous avons également mesuré l'exploration visuelle associée à cette tâche, afin de déterminer les stratégies d'exploration et la présence éventuelle d'une diminution de la stabilité de fixation.

Méthodologie :

Vingt patients atteints de DMLA exsudative et cinq patients atteints de la maladie de Stargardt ont été inclus ainsi que 15 sujets témoins âgés avec vision normale ou corrigée et 5 témoins appariés aux patients Stargardt. Nos participants ont été recrutés au sein des services d'ophtalmologie adulte de l'hôpital Saint-Vincent et d'exploration de la vision et

neuro-ophtalmologie de l'hôpital Roger Salengro, tous deux situés à Lille. Tous nos participants ont complété un formulaire de consentement écrit.

Nous avons utilisé des photographies d'objets et de scènes (naturel(le)s et manufacturés) présentés sur fond noir. Les objets pouvaient être, ou non, en présence de leur contexte. Les stimuli étaient présentés de manière aléatoire au centre de l'écran pendant deux secondes, précédés d'une croix de fixation centrale durant une seconde. À l'aide d'un eye-tracker SMI nous avons mesuré les mouvements oculaires des participants pendant la tâche. Il était demandé aux participants de nommer le plus précisément et le plus rapidement possible les stimuli présentés.

Résultats :

Les participants pour lesquels plus de 25% des données étaient manquantes suite à une perte du signal, étaient éliminés. Nos résultats ont montré, qu'en dépit d'une perte de la vision centrale, les patients étaient capables d'identifier les stimuli mais ils étaient nettement moins performants, de l'ordre de 30%, et plus lents que les sujets sains. De plus, nous avons pu constater également qu'ils présentaient une moins bonne stabilité de fixation en comparaison aux témoins puisqu'ils présentaient un plus grand nombre de saccades, des fixations plus courtes et une exploration plus étendue. La plupart des erreurs de nomination des patients témoignaient de confusion visuelle (ex : une clé pour une raquette de tennis).

Conclusion :

Nos résultats montrent donc qu'à l'instar d'une simple tâche de catégorisation, les patients ayant perdu la vision centrale étaient déficients pour identifier des objets et des scènes. La vision périphérique ne suffit donc pas pour des tâches visuelles qui nécessitent une analyse plus fine. De plus, le profil d'exploration des patients montre qu'ils fixent de manière excentrée ce qui laisse penser qu'ils utilisent leur zone de fixation préférentielle (PRL) pour accomplir la tâche. Cependant, celle-ci a un impact sur la stabilité de fixation et est corrélé aux données cliniques. On peut donc suggérer que la combinaison de la faible résolution de la vision périphérique et l'instabilité de fixation peuvent expliquer les performances plus faibles des participants avec perte de la vision centrale.

Misidentifying a tennis racket as keys: object identification in people with AMD

Miguel Thibaut (PhD)¹, Thi Ha Chau Tran (MD-PhD)², Céline Delerue (PhD)¹ & Muriel Boucart (PhD)¹

¹ Laboratoire Neurosciences Fonctionnelles et Pathologies, Université Lille Nord de France, CNRS.

² Hôpital Saint-Vincent de Paul, Service d'ophtalmologie adulte, Lille, France.

Corresponding author: Dr M Boucart, Lab. Neurosciences Fonctionnelles et Pathologies, CHU Lille, Hopital R Salengro, service EFV, 59037 Lille, France.

E-mail :muriel.boucart@chru-lille.fr

Key words: Low vision, macular degeneration, object recognition, scene and eye movement

ABSTRACT (287 words)

PURPOSE: Previous studies showed that people with AMD can categorize a pre-defined target object or scene with high accuracy (above 80%). In these studies participants were asked to detect the target (e.g., an animal) in serial visual presentation. People with AMD must rely on peripheral vision which is more adapted to the low resolution required for detection than for the higher resolution required to identify a specific exemplar. We investigated the ability of people with central vision loss to identify photographs of objects and scenes.

METHODS: Photographs of isolated objects, natural scenes and objects in scenes were centrally displayed for 2 s each. Participants were asked to name the stimuli. We measured accuracy and naming times in 20 patients with AMD, 15 age-matched and 12 young controls.

RESULTS: Accuracy was lower (by about 30%) and naming times were longer (by about 300 ms) in people with AMD than in age-matched controls in the 3 categories of images. Correct identification occurred in 62 to 66% of the stimuli for patients. More than 20% of the misidentifications resulted from a structural and/or semantic similarity between the object and the name (e.g. spectacles for dog plates or dolphin for shark). Accuracy and naming times did not differ significantly between young and older normally sighted participants indicating that the deficits resulted from pathology rather than to normal ageing.

CONCLUSIONS: These results show that, in contrast to performance for categorization of a single pre-defined target, people with central vision loss are impaired at identifying various objects and scenes. The decrease in accuracy and the increase in response times in patients with AMD indicate that peripheral vision might be sufficient for object and scene categorization but not for precise scene or object identification.

INTRODUCTION

Age-related macular degeneration (AMD) is a degenerative ocular disease that affects central vision. In this pathology the macula, the region with the highest density of photoreceptors, degenerates. Many patients with AMD develop a central retinal scotoma at advanced stages of the disease. Central vision loss results in a sharp drop in low-level visual functions such as acuity, contrast sensitivity, color perception and in orientation and shape discrimination.¹⁻⁴ It also compromises higher-level visual functions like reading and face recognition⁵⁻⁷ as people with AMD must rely on extrafoveal vision which has lower spatial resolution than foveal vision. Patients adapt to the loss of central visual loss by developing one or several preferred retinal locations (PRL) at eccentric parts of the retina to fixate. There are reports that more than one PRL may be developed, depending on the viewing conditions (e.g., dim versus bright target), task complexity (e.g., fixate a dot, reading, navigation), duration of the disease and monocular versus binocular vision.⁸⁻¹¹

The need to rely on peripheral vision is highly detrimental for reading and face recognition, particularly the analysis of facial features, which requires the high resolution of central vision¹²⁻¹⁴. To what extent does object and scene recognition suffer from the use of peripheral vision? Studies on scene perception in normally sighted people have shown that peripheral vision is sufficient for scene gist recognition¹⁵ even at very large visual eccentricities¹⁶ (above 50°). Tran et al¹⁷ reported that people with a central scotoma were able to categorize centrally displayed scenes as natural/urban or indoor/outdoor with their peripheral vision above 75% correct. People with AMD are able to categorize objects in scenes,¹⁸ though they are more efficient with isolated objects on a homogeneous background.^{19,20} All of these studies used categorization tasks in which participants were asked to detect a pre-defined target (e.g. “press a key when you see an urban scene or an indoor scene or an animal or a piece of furniture...”) in serial visual presentations. However, *identification* of various objects places different requirements on the visual system in terms of processing of detailed information, conveyed by high spatial frequencies, which are less available in peripheral vision. Indeed, Musel et al²¹ found that people with central vision loss were more efficient at categorizing scenes as indoor/outdoor when they were low pass than when they were high pass filtered.

The purpose of the present study was to investigate the degree to which central vision loss is detrimental for object and scene identification. To explore this issue we asked people with central vision loss to name centrally displayed photographs of various isolated objects, objects in scenes, and scenes. Studies investigating the impact of an artificial scotoma on object identification²², or on visual search of a target²³ within a scene, have shown a decrease in accuracy, and longer search times, compared to a scotoma free condition, that depends on the size of the scotoma relative to the target. For instance, McIlreavy et al²⁴ reported increased search times with an artificial scotoma but only in the largest scotoma condition (4°). They concluded that, either the visual system is able to immediately compensate for small to moderate amounts of central visual deprivation, or the resolution of parafoveal vision can be sufficient for visual search within natural scenes as long as the target object subtends an area that is larger than the scotoma. With a larger artificial scotoma (10°) Kwon et al²³ reported that peripheral search (due to lack of central vision) reduced accuracy by about 35% in old adults compared to a scotoma free condition. This decrease in accuracy occurred even with significant contour enhancement in the image but their objects were, on average, smaller (ranging in size from 0.8° to 9.8°) than the artificial scotoma.

Studies using an artificial scotoma may not be representative of the patients' situation. Indeed, people with AMD have no awareness of their scotoma²⁵ whilst the artificial scotoma is often visible. Furthermore, people with AMD adapt to their vision loss through daily living while observers with an artificial scotoma experience the situation only in the laboratory.

In the present study, people with a central scotoma resulting from age-related macular degeneration were asked to identify natural and man-made objects presented in isolation, natural and man-made objects presented in their natural setting and photographs of natural versus man-made scenes. We expected people with a central scotoma to be more impaired in the present identification task than in previous categorization tasks in which people with AMD had to detect a pre-defined target (e.g., animals).^{17-19,26} We also expected that peripheral vision would be less detrimental to scene than to object identification as scene gist recognition (the gist of a scene refers to a spatial representation, recognizing a few objects and other salient information in the image, that is rich enough to grasp the meaning of the scene)²⁷ can be accomplished with high accuracy in peripheral vision.^{15,16} Finally, we

expected isolated objects to be better recognized than objects in scenes as peripheral vision is known to be more sensitive to crowding.²⁸⁻³⁰

METHOD

Participants: Twenty patients with neovascular AMD (11 women; mean age 80.1 ± 1.57 years) and fifteen age-matched normally sighted controls (11 women; mean age 76 ± 1.81 years) were included in the study. In addition, we included twelve young normally sighted controls (7 women; mean age 24.6 ± 2.03 years) to dissociate the effect of pathology from the effect of ageing. Both patients with AMD and elderly controls were recruited in the department of ophthalmology of Saint-Vincent de Paul Hospital (Lille, France). The young observers were recruited among students in medicine in the university. The study was approved by the ethics committee of Lille (CT 2000-AO-1088-31). In accordance with the tenets of the Declaration of Helsinki written informed consent was obtained from all participants.

Patients with neovascular AMD, with subfoveal involvement confirmed by fluorescein angiography, and with best corrected visual acuity (BCVA; i.e., acuity measured with subjective refraction) between 20/40 and 20/400, were included. They were followed and treated with ranibizumab on pro Renata regimen. Pro Renata is a flexible anti-VEGF therapy regimen in the management of neovascular AMD. Patients are followed every month with visual acuity measurement, funduscopy and OCT (optical coherence tomography) and they are treated on an “as-needed” basis.

BCVA was measured at a distance of 4m using the ETDRS chart, which was converted to logMAR visual acuity. The area of the lesion (mm^2) and the greatest linear diameter of the lesion were measured from digital angiograms by outlining the lesion using image analysis software (Eye Explorer, Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany).^{31,32} The mean greatest linear diameter was 2.95 mm (ranging from 1.4 mm to 5.9 mm), corresponding to a central scotoma of approximately 10° of visual angle (ranging from 5° to 20° of visual angle³³). The mean duration of the disease was 2.9 years, ranging from 1 to 5 years.

All participants were tested monocularly. In patients with bilateral AMD, we considered the eye with the best-corrected visual acuity. If both eyes had equal acuity, one eye was

randomly selected. Controls, both young and older, were tested monocularly on their preferred eye.

A French version of the Mini Mental State Examination (MMSE) was carried out to check for cognitive impairments in the AMD group and in the older control group. Participants with a history of neurologic disease, psychiatric disease, cognitive impairment (MMSE<25) or other significant ocular diseases which might compromise oculomotor function were excluded.

Clinical assessment and experiment were performed during the same visit. Demographic and clinical data of the study population are summarized in Table 1.

Table 1 : Demographic and Clinical Data of the Study Population

AMD participants (n = 20)	
Age (in years), mean (range)	80.1 ± 1.57 (62-89)
Gender, M/F	9/11
Mean MMSE	27.5 ± 0.32
Mean LogMAR VA	0.64 ± 0.04 (Snellen equivalent 20/80)
Lesion size (in mm ²), mean (range)	5.69 ± 4.4 (1.42-11,27)
Greatest Linear Diameter (in mm), mean (range)	2.95 ± 1.1 (1.4-5.9)
Duration of the disease (years), mean (range)	2.9 (1-5)
Elderly controls (n = 15)	
Age, mean (range)	76.0 ± 1.81 (62-89)
Gender, M/F	4/11
Mean MMSE	28.9 ± 0.37
Mean LogMAR VA	0.05 ± 0.05
Young controls (n = 12)	
Age, mean (range)	24.5 ± 2.03 (20-30)
Gender, M/F	5/7
LogMAR VA	0.01 ± 0.06

VA: Visual acuity

MMSE: Mini Mental State Examination

Experiments

Stimuli. Three categories of stimuli were used: (1) photographs of isolated objects, selected from the commercial database Hemera Photo Objects, displayed on a black background, (2) photographs of objects in scenes and (3) photographs of natural scenes. Photographs of

scenes and objects in scenes were selected from a large commercial CD database (Corel) and on internet. There were 40 pictures in each category. Half of the pictures in each category of images depicted natural objects or environments (e.g., fruits and fields) and the other half were man-made objects or scenes (e.g., vehicles or urban scenes). The angular size of the photographs was 32.5° horizontally x 25.8° at a viewing distance of 60 cm (fixed by a chin-rest). Examples are shown in Figure 1.

Procedure. Participants were tested monocularly in a block including 60 trials. Oral response times (from the beginning of the first syllable) were recorded with a voice key, which was a microphone placed in front of the participant’s mouth, and accuracy of identification was recorded. Each trial started with a bright white central fixation cross (2x2 degrees) on a black background. The fixation cross was displayed for 1 second and immediately followed by a colored photograph centrally displayed for 2 seconds. The photograph was then followed by a black background until response. The presentation of the different categories of stimuli (isolated objects, scenes, objects in scenes) was randomized. The stimuli were presented in a different order, randomized by software, for each participant. Responses were recorded and typed on the keyboard by the experimenter. Participants were instructed to try to give the exact name. We quoted as errors imprecise responses (e.g., landscape for beach, animal for elephant), a wrong name (e.g., flower for sheep; elephant for dog) and responses “I do not know”. The first name was taken into account to measure response time and accuracy.

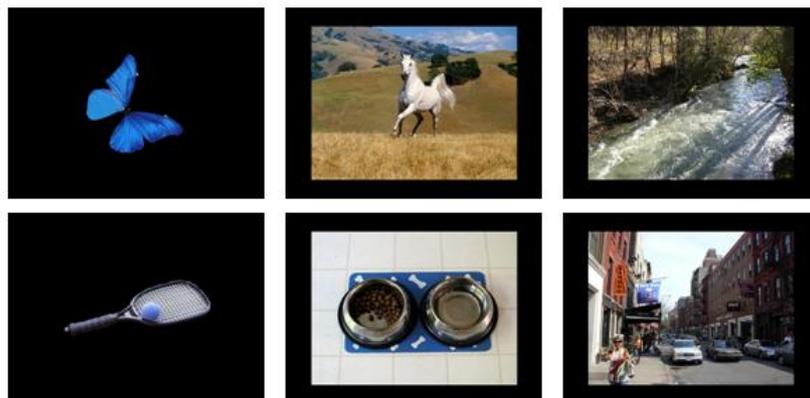


Fig.1. Examples of images used in the experiment.

Data analysis

As the condition of homogeneity of variance was not fulfilled non parametric statistics (ANOVA of Kruskal-Wallis and ANOVA of Friedman) were conducted, using the software Statistica (7.1 Tulsa, USA) on accuracy and response times. The factors were the group (patients vs. normally-sighted age matched controls vs young controls) and the category of pictures (isolated objects, objects in scene and scenes). Correlations were computed between clinical parameters (logMAR visual acuity, size of the lesion) and accuracy of naming and response times.

RESULTS

The results are presented in Figure 2. Individual clinical and experimental data for patients are presented in Table 2.

Accuracy (medians)

There was a significant main effect of group ($H_{2,47} = 32.28$, $p < .001$). The effect of category of pictures failed to reach statistical significance ($\chi^2_2 = 5.07$, $p = 0.08$). Accuracy was lower for people with AMD than for age-matched controls (Fig 2A) for isolated objects (75 vs. 95%; $R(31, 47) = 4.16$; $p < .001$), for objects in scene (63 vs. 95%; $R(28, 23) = 3.42$; $p < .002$) and for scenes (65 vs. 93%; $R(30, 37) = 3.97$; $p < .001$). There was no significant difference between young and older controls for isolated objects (95 vs. 98%; $R(34, 47) = 0.60$; $p = 1$), for objects in scene (95 vs. 100%; $R(38, 38) = 1.91$; $p = 0.17$) and for scenes (95 vs. 100%; $R(36, 42) = 1.14$; $p = 0.76$).

Correct naming times (medians)

There was a significant main effect of group ($H_{2,47} = 28.83$, $p < 0.001$) and of category of pictures ($\chi^2_2 = 50.34$, $p < 0.001$). A multiple comparison showed that naming times were longer for people with AMD than for age-matched controls (Fig 2B) for isolated objects (1530.48 vs. 1195.63 ms; $R(20, 07) = 3.20$; $p < .005$), for objects in scene (1486.96 vs. 1256.17 ms; $R(21, 07) = 2.92$; $p < .002$) and for scenes (1735.95 vs. 1411.15 ms; $R(22, 47) = 2.31$; $p = 0.06$). There was no statistically significant difference between young and older controls for

isolated objects (1195.63 vs. 921.52 ms; $R(10, 50) = 1.80$; $p = 0.21$), for objects in scene (1256.17 vs. 969.03 ms; $R(9, 75) = 2.13$; $p = 0.10$) and for scenes (1411.15 vs. 1180.19 ms; $R(10, 42) = 2.27$; $p < .07$).

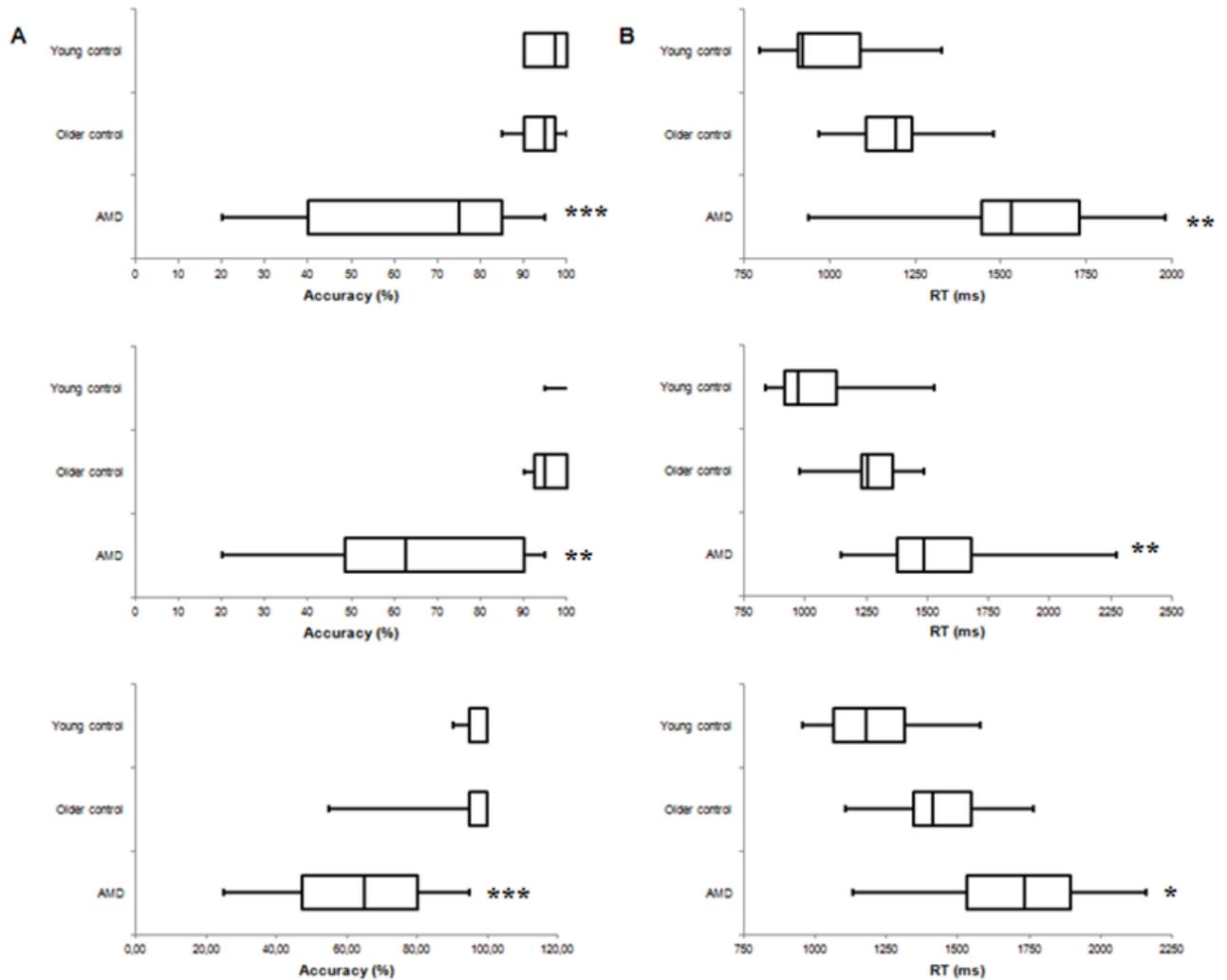


Fig.2. IQR for: (A) Accuracy, (B) Correct response time for patients with AMD, age-matched controls and young controls as a function of the three categories of pictures (isolated objects, objects in scenes and scenes). * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ and *** $p < 0.001$.

Table 2: Experimental and Clinical data of patients with AMD

N°	Gender	Age (Ye ars)	Eye tested	MIMSE	LogMAR Visual Acuity	Greatest		Mean Accuracy (%)		
						linear diameter of the lesion (mm)	Surface area of lesion (mm ²)			
								Isolated object		
								Objectin scene		
								Scene		
1	F	77	Right	29	0.7	3	5.57	20	45	45
2	M	82	Right	28	0.7	2.6	2.9	80	90	90
3	F	84	Right	28	0.3	1.7	1.42	85	60	60
4	F	75	Right	28	0.7	2.1	1.87	95	95	95
5	M	79	Right	25	0.7	2.86	2.9	75	65	65
6	M	83	Right	30	0.7	4	11.3	60	55	55
7	M	83	Right	30	0.6	3.2	6.97	40	30	30
8	M	89	Right	27	0.5	2.4	2.3	80	60	60
9	M	83	Right	29	0.8	3.3	6.5	75	85	85
10	F	85	Left	28	0.2	5.9	19.1	65	85	85
11	F	77	Right	28	0.7	3.1	5.8	85	90	90
12	M	80	Right	27	0.4	1.9	1.95	85	95	95
13	M	62	Left	28	1.3	4.63	11.4	40	50	50
14	F	68	Left	29	0.3	2.6	4.58	95	95	95
15	F	78	Left	25	1.3	1.4	1.87	20	55	55
16	F	80	Left	26	0.7	4.5	10.9	20	20	20
17	M	72	Left	28	0.3	2	2.4	85	95	95
18	F	88	Left	26	0.6	2.95	5.94	65	45	45
19	F	88	Left	25	0.9	2.7	5.23	40	80	80
20	F	89	Right	26	0.3	2.19	2.85	75	30	30

Type of errors:

Naming errors are presented in Table 3. For people with AMD we observed that more than 23% of the errors were visual (e.g., “a peacock” for a fan, “a fox” for a cat), 11.8% were imprecise responses (e.g., “landscape” for forest). Other errors like “keys” for a tennis racket or “cake” for a pyramid occurred in 14.05% of the naming errors and the response “I do not know” occurred in 50.37% of the naming errors.

Category of image	Name of picture	Naming errors
Scene	Sea bed Forest Water fall Bathroom Iceberg Pub Market Canyon Mountain Jungle Savana River School playground Highway Seaside Campsite Lake Bakery Café terrace Cave Classroom	Forest/garden/lettuce Flats Volcano/garden/furniture Kitchen Mountain/sky/ beach Office Garden Flower field/building Tiger Garden/vegetables/ fields Sea/beach/orchard Construction site/pathway Avenue/party/place Railway Raft Garden/boat Village Factory House Water fall Kitchen
Object in a scene	CD Bear Statue Tomato Fan Melon Paper roll Pumpkin Coconut Dog plates Elephant Apple Tractor Cat Watch Piano Shark	Photos/books Elephant/apple Water fall Cherry Peacock Gherkin/ eggplant/pumpkin/cabagge Arm chair/vase/chair Tomato Apple Spectacles/candles Rhino Tomato/cherry Truck Fox Picture Table Dolphin
Isolated object	Bucket Tree Tablets	Cup mug/bowl Bouquel/cabagge/island Sausage

Pyramid	Cake/triangle/ mountain
Gorilla	Statue
Pine cone	Sea urchin/seeds
Sofa	House
Boat	Dish
Cherries	Tomato
Grill	Stool
Buttons	Plate/ashtray/bowl
Bench	Arm chair
Sheep	Flower/rock
Bee	Butterfly/fly
Wheel barrow	Flower
Water lilly	Butterfly
Bag	Lent/tapestry/gate/inflatable boat
Candle	Glass
Rabbit	Squirrel
Tennis raquet	Keys
Train	Bus
Lizard	Bird
Crab	Scorpion

Table 3: Centre column: Objects and scenes misidentified by patients with AMD. Right column: names (errors) given by patients with AMD for these items. In bold: name given by more than one patient.

Relation between clinical parameters and accuracy

People with AMD: A correlation was found between visual acuity and accuracy for isolated object ($r = -0.59$, $p < 0.01$) but not for object in scene and for scenes. Visual acuity was correlated with the area of the lesion ($r = 0.97$, $p < 0.0001$). There was no significant correlation between the lesion size (diameter of the lesion, surface area) and accuracy or response time.

DISCUSSION

The main objective of this study was to determine the ability of people with a central scotoma to identify photographs of objects and scenes. Previous studies^{17-19,26} have shown that people with AMD are able to categorize briefly displayed (300 ms) objects and scenes with high accuracy (above 75%). In these studies participants were given a target category (e.g., animal, piece of furniture, indoor scene, urban scene...) at the beginning of the experiment and asked to press a key as soon as they saw a photo corresponding to that

target. Moreover, they were told that their target would appear in 50% of the trials. Object, or scene, categorization can be accomplished on the basis of coarse visual information as demonstrated in several studies with normally sighted people. Indeed, Macé et al³⁴ showed that young normally sighted participants were able to categorize an animal in a scene above chance with a presentation time of 20 ms and a contrast of 6%. Thorpe et al³⁵ and Boucart et al^{16,36} reported accuracy highly above chance for objects or scene categorization at very large eccentricities (above 50°) where the spatial resolution is very low. Oliva and Schyns³⁷ found that low spatial frequency filtered images of indoor/outdoor scenes (6 cycles/image) were categorized above chance by young observers. In contrast, identification of various objects or scenes (i.e., not a single category of object) requires a more detailed visual analysis of object or scene features such as, for instance, bread and cakes for a bakery, tables, chairs and customers for a restaurant, trunk, paws, large ears for an elephant....Indeed, Boucart et al³⁸ showed that a patient with visual agnosia, who was unable to name photographs of objects or faces displayed for 3 s each, was able to categorize photographs of objects and faces displayed for 100 ms with high accuracy (71 to 86%). People with macular degeneration must rely on their peripheral vision. Yet, it is known that the coarse resolution of peripheral vision is more detrimental to identification than to detection.^{39,40} Consistent with a higher level of difficulty in an identification task response times were about three times longer in the present identification task than in previous categorization tasks,^{17,18} both for patients and for age-matched controls, and accuracy was lower by at least 10% for patients even though exposure time was much longer (2000 ms rather than 300 ms in previous categorization tasks).

For people with a central scotoma peripheral vision did not provide an advantage for scenes as compared to centrally displayed isolated objects. This indicates that peripheral vision is sufficient for scene categorization^{15,16} but not for precise scene identification. Indeed, in the present study people with AMD tended to use super-ordinate category names for scenes (e.g., landscape or fields for forest or water fall).

Henderson et al²² investigated the role of foveal analysis in object *identification* in normally sighted people with an artificial scotoma (about 1.9°). In the scotoma-centered condition objects were visible only peripherally. Their results showed that foveal information is beneficial, but not necessary, for object identification. Performance was reduced with a

modest and non significant 2.6% decrease in accuracy when a foveal scotoma was present as compared to a control condition without scotoma. Henderson et al²² study shows that a small foveal artificial scotoma does not impair significantly object identification but large scotomas resulting from retinal lesions do affect object and scene identification. In the present study the patients' performance was about 30% lower than that of age-matched controls for all categories of images.

Longer naming times in patients cannot be accounted for by longer lexical access. Indeed, with words as stimuli, Allen et al⁴¹ found that lexical access skill remains stable over the life span. Indeed, naming times were not significantly longer in older than in young normally sighted participants. Slower naming times in people with AMD might result from a longer exploration of the images. In line with this account Cheong et al⁴² showed that the information transfer rate (defined as the spatial size of the visual span in bits divided by the exposure time for letter recognition in sec) was significantly slower for patients with AMD than for the age-matched controls. The authors suggested that additional mechanisms such as concomitant retinal pathology, fixation instability or crowding must be invoked to explain the slower information transfer rate in the AMD. In the present study, in addition to increased exploration time, the longer naming times, and decreased accuracy, in people with AMD might also result from increased noise and degraded sensory information. Due to lower spatial resolution in peripheral vision people with AMD have to eliminate candidate objects with a similar coarse shape (e.g., different mammals) before responding.

For objects most errors resulted from confusion in shape information (e.g., key for tennis racket, spectacles for dog plates, cake for pyramid, sausage for tablets) or shape and color (rhino for elephant, pumpkin for melon, tomato for cherries ...). The same tendency was observed for scenes (kitchen for classroom or bathroom, garden for sea bed) in addition to the use of more general super-category names (animal, landscape, field) though participants were told that exact names (e.g., forest) were required. Misidentification for both objects and scenes can be attributed to the coarse resolution of peripheral vision.

Conclusion and limitations: We investigated the ability of people with AMD to identify objects and scenes. The results show that people with impaired central vision are able to recognize objects and scenes but with a low accuracy (62-65%). The nature of errors

indicates that they resulted mainly from degraded perceptual information due to the low resolution of peripheral vision. A limitation can be that, for isolated objects, there was no context information that could provide size cues about the objects' real size. For instance the tennis racket might not have been confused with keys if it was surrounded by objects that might provide information about its size (e.g., located on a table with other smaller objects: an apple, a glass...). Also, only exact names were required and only the first response was taken into account. We investigated object and scene identification under monocular viewing condition on the most severely impaired eye. Performance might have been better under binocular conditions as it has been shown that binocular viewing improves the fixation stability⁴³ though performance remains lower than that of controls even under binocular conditions.⁴⁴

REFERENCES:

1. Bedell HE, Tong J, Woo SY, House JR & Nguyen T. Orientation discrimination with macular changes associated with early AMD. *Optom Vis Sci.* 2009; 86(5): 485-491.
2. Qiu F & Leat SJ. Functional deficits in early stage age-related maculopathy. *Clin Exp Optom.* 2009; 92(2): 90-98.
3. Wang YZ, Wilson E, Locke KG & Edwards AO. Shape discrimination in age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2002; 43(6): 2055-2062.
4. Neelam K, Nolan J, Chakravarthy U & Beatty S. Psychophysical function in age-related maculopathy. *Surv Ophthalmol.* 2009; 54(2): 167-210.
5. Legge GE, Rubin GS, Pelli DG & Schleske MM. Psychophysics of reading--II. Low vision. *Vision Res.* 1985; 25(2): 253-265.
6. Legge GE, Ross JA, Luebker A & LaMay JM. Psychophysics of reading. VIII. The Minnesota Low-Vision Reading Test. *Optom Vis Sci.* 1989; 66(12): 843-853.
7. Tejeria L, Harper RA, Artes PH & Dickinson CM. Face recognition in age related macular degeneration: perceived disability, measured disability, and performance with a bioptic device. *Br J Ophthalmol.* 2002; 86(9): 1019-1026.
8. Lei H & Schuchard RA. Using two preferred retinal loci for different lighting conditions in patients with central scotomas, *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1997; 38(9): 1812-1818
9. Kabanarou SA, Crossland MD, Bellmann C, Rees A, Culham LE & Rubin GS. Gaze changes with binocular versus monocular viewing in age-related macular degeneration. *Ophthalmology.* 2006; 113(12): 2251-2258.
10. Greenstein VC, Santos RAV, Tsang SH, Smith RT, Barile GR & Seiple W. Preferred Retinal Locus in macular disease, *Retina.* 2008; 28(9): 1234-1240.
11. Crossland MD, Crabb DP & Rubin GS. Task-specific fixation behavior in macular disease, *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011; 52(1): 411-416.
12. Chung STL, Jarvis SH, Woo SY, Hanson K & Jose RT. Reading speed does not benefit from increased line spacing in AMD patients. *Optom Vis Sci.* 2008; 85: 827-833.
13. Calabrèse A, Bernard JB, Hoffart L et al, Small effect of interline spacing on maximal reading speed in low-vision patients with central field loss irrespective of scotoma size. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010; 51: 1247-1254.
14. Mäkelä P, Näsänen R, Rovamo J, Melmoth D. Identification of facial images in peripheral vision. *Vision Res.* 2001; 41(5):599-610.

15. Larson AM & Loschky LC. The contributions of central versus peripheral vision to scene gist recognition, *Journal of Vision*. 2009; 9(10):6. 1-16.
16. Boucart M, Moroni C, Thibaut M, Szafrarczyk S, Greene M. Scene categorization at large visual eccentricities. *Vision Res*. 2013a; 86C: 35-42.
17. Tran THC, Rambaud C, Despretz P & Boucart M. Scene Perception in Age-Related Macular Degeneration, *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010; 51(2): 6868-6874.
18. Boucart M, Moroni C, Szafrarczyk S & Tran THC. Implicit processing of scene context in macular degeneration, *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013b; 54(3): 1950-1957
19. Boucart M, Despretz P, Hladiuk K & Desmettre T. Does context or color improve object recognition in patients with low vision? *Visual Neuroscience*. 2008; 25(5-6): 685-691.
20. Tran THC, Despretz P & Boucart M. Scene perception in age-related macular degeneration: The effect of contrast, *Optom Vis Sci*. 2012; 89(4): 419-425.
21. Musel B, Hera R, Chokron S, et al, Residual abilities in age-related macular degeneration to process spatial frequencies during natural scene categorization. *Visual Neuroscience*. 2011; 28(6): 529-541.
22. Henderson JM, McClure KK, Pierce S & Schrock G. Object identification without foveal vision: evidence from an artificial scotoma paradigm. *Percept Psychophys*. 1997; 59(3): 323-346.
23. Kwon M, Ramachandra C, Satgunam P, Mel BW, Peli E & Tjan BS. Contour enhancement benefits older adults with simulated central field loss. *Optom Vis Sci*. 2012; 89(9): 1374-1384.
24. McIlreavy L, Fizer J & Bex PJ. Impact of simulated central scotomas on visual search in natural scenes. *Optom Vis Sci*. 2012; 89(9): 1385-1394.
25. Fletcher DC, Schuchard RA & Renninger LW. Patient awareness of binocular central scotoma in age-related macular degeneration. *Optom Vis Sci*. 2012; 89(9): 1395-1398
26. Tran THC, Guyader N, Guerin A, Despretz P & Boucart M. Figure Ground Discrimination in Age-Related Macular Degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011a; 52(3): 1655-1660.
27. Oliva A. Gist of the scene. In the Encyclopedia of Neurobiology of Attention. L. Itti, G. Rees, and J.K. Tsotsos (Eds.), Elsevier, San Diego, CA. 2005; pages 251-256.
28. Pelli DG, Palomares M & Majaj NJ. Crowding is unlike ordinary masking: Distinguishing feature integration from detection. *J Vis*. 2004; 4(12): 1136-1169.
29. Strasburger H, Rentschler I & Jüttner M. Peripheral vision and pattern recognition: a review. *J Vis*. 2011; 11(5): 1-82.
30. Blackmore-Wright S, Georgeson MA & Anderson SJ. Enhanced text spacing improves reading performance in individuals with macular disease. *PLoS One*. 2013; 8(11): 1-12.

31. Tran THC, Querques G, Forzy G, & Souied EH. Angiographic regression patterns after intravitreal ranibizumab injections for neovascular age-related macular degeneration. *Ophthalmic. Surgery Laser & Imaging*. 2011b; 42(6): 498-508.
32. Querques G, Tran THC, Forte R, Querques L, Bandello F & Souied EH. Anatomic response of occult choroidal neovascularization to intravitreal ranibizumab. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2012; 250(4): 479-484.
33. Cheung SH and Legge GE. Functional and cortical adaptations to central vision loss. *Vis Neurosci*. 2005; 22: 187-201.
34. Macé MJ, Thorpe SJ & Fabre-Thorpe M. Rapid categorization of achromatic natural scenes: how robust at very low contrasts? *Eur J Neurosci*. 2005; 21(7): 2007-2018
35. Thorpe SJ, Gegenfurtner KR, Fabre-Thorpe M & Bülthoff H., Detection of animals in natural images using far peripheral vision. *Eur J Neurosci*. 2001; 14(5): 869-876.
36. Boucart M, Naili F, Desprez P & Defoort-Dhellemmes S. Implicit and explicit object recognition at very large visual eccentricities: No improvement after loss of central vision, *Visual Cognition*. 2010a; 18(6): 839-858.
37. Oliva A & Schyns PG. Diagnostic colors mediate scene recognition. *Cogn Psychol*. 2000; 41(2): 176-210.
38. Boucart M, Moroni C, Desprez P & Pasquier F, Fabre-Thorpe M. Rapid categorization of faces and objects in a patient with impaired object recognition. *Neurocase*. 2010b; 16(2): 157-168.
39. Strasburger H, Harvey LO & Rentschler I. Contrast threshold for identification of numeric characters in direct and eccentric view. *Perception and Psychophysics*. 1991; 49(6): 495-508.
40. Strasburger H. & Rentschler, I. Contrast-dependent dissociation of visual recognition and detection fields. *European Journal of Neuroscience*. 1996; 8(8): 1787-1791.
41. Allen PA, Bucur B, Grabbe J, Work T & Madden DJ. Influence of encoding difficulty, word frequency, and phonological regularity on age differences in word naming. *Exp Aging Res*. 2011; 37(3): 261-292.
42. Cheong AM, Legge GE, Lawrence MG, Cheung SH, Ruff MA. Relationship between visual span and reading performance in age-related macular degeneration. *Vision Res*. 2008; 48(4): 577-588.
43. Tarita-Nistor L, Brent MH, Steinbach MJ and González EG. Fixation stability during binocular viewing in patients with age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011; 52(3): 1887-1893.
44. Geringswald F, Herbig A, Hoffmann MB and Pollmann S. Contextual cueing impairment in patients with age-related macular degeneration. *J Vis*. 2013; 13(3): 1-18.

Titre: Stratégie d'exploration visuelle des objets et des scènes chez les patients atteints de la dégénérescence maculaire liée à l'âge.

Title: Visual exploration of objects and scenes in people with macular degeneration.

Auteurs : Miguel Thibaut (PhD)¹, Céline Delerue (PhD)^{1, 2}, Muriel Boucart(PhD)¹, Thi Ha Chau Tran (MD-PhD)¹,

(1) Laboratoire Neurosciences Fonctionnelles et Pathologies, Université Lille Nord de France, CNRS.

(2) Hôpital Saint-Vincent de Paul, Service d'ophtalmologie adulte, Lille, France.

Correspondance

Dr TRAN Thi Ha Chau

Service d'Ophtalmologie

Hôpital Saint Vincent de Paul

Boulevard de Belfort – BP387

59020 Lille Cedex

France

Tel : 33 3 20 87 74 42

Fax : 33 20 87 75 58

tran.hachau@ghicl.net, tran.thc@gmail.com

ABSTRACT

Objective: Studies on people with age-related macular degeneration (AMD) have shown that they are able to detect briefly displayed objects and scenes with high accuracy (above 80%). However, in everyday life we explore our environment to search and to recognize objects. We assessed visual exploration in people with AMD during the identification of objects and scenes.

Method: Twenty patients with AMD, fifteen age-matched and twelve young controls participated. We used colored photographs of isolated objects, natural scenes and objects in scenes, centrally displayed on a monitor. Participants were asked to name the objects and scenes. Ocular movements were recorded during the identification task. Scan paths, saccades, fixations, and accuracy were also recorded.

Results: People with AMD exhibited lower accuracy (by about 30%). Eye movement parameters were impaired with a larger number of saccades, shorter fixation durations and a larger scan path than controls.

Conclusions: Our results are consistent with studies on artificial scotoma in normally sighted people showing that a central scotoma impairs oculomotricity. In contrast to detection tasks, people with central vision loss exhibit impaired performance in identification of objects and scenes (62 to 66%). Eye movements suggest that the lower accuracy in patients is likely due to the use of peripheral vision and instability of fixation.

Key words: Low vision, macular degeneration, eye movement, object recognition, scene, central scotoma.

INTRODUCTION

Patients with age-related macular degeneration (AMD) develop a central scotoma due to atrophy of the macula (central retina) where the density of photoreceptors (cones and rods) is highly concentrated. Central vision is essential for higher-level visual functions such as reading or face recognition [1, 2]. People with macular degeneration must adapt to this loss of central visual function. They develop an extrafoveal fixation called preferred retinal location (PRL), which location can vary with the task [3]. Some studies report that people with macular degeneration develop more than one PRL depending on parameters such as luminosity, viewing conditions, task requirements and disease duration [4,5]. The low spatial resolution of peripheral vision, and extrafoveal fixation, induce difficulties in visual exploration of the environment because the oculomotor system loses its reference point, situated at the fovea. Consequently, there is a lower control of oculomotricity, especially a lower stability of fixation as reported both in people with maculopathy [5,6] and in sighted people with simulated artificial central scotoma [8].

In contrast with reading, which constitutes the main complaint of patients with AMD, object and scene perception have been the object of little investigations in this population. Patients suffering from deficits of central vision must rely on peripheral vision but few studies have investigated the capabilities of peripheral vision (above 20° eccentricity) for object and scene recognition. Previous studies on normally sighted young people have shown that the low spatial resolution of peripheral vision is sufficient to recognize scenes at large visual eccentricities [9] (up to 80°). The visual system is extremely fast and efficient to detect and categorize faces, objects and scenes, even with limited presentation time [10] and even with degraded central vision [11,12]. But, in daily life we have to explore our environment to find and recognize useful objects, not only to detect and categorize them. Grill-Spector & Kanwisher [10] showed that with the same presentation time, the visual system is less efficient to identify than to categorize objects. Higher spatial resolution is needed to identify a specific object (e.g., pliers) than to categorize it as a tool [13].

Our study investigates visual exploration during objects and scenes identification in people with central vision loss. Previous studies have shown lower fixation stability in people with a central scotoma [5]. This lower fixation stability has an impact in daily life tasks. For

instance, Crossland et al [5] and Rubin et al [14] showed that fixation stability was negatively correlated with reading speed. Seiple and colleagues [15] suggested that abnormal eye movement patterns may contribute to recognition deficit in patients with AMD. This was also reported in studies on normally sighted people with a gaze contingent artificial scotoma [8].

In the present study, people with a scotoma of various sizes were asked to identify natural and man-made objects presented in isolation, photographs of natural scenes and man-made objects presented in their natural setting. Visual exploration was recorded by an eye tracker. We expected people with AMD to exhibit abnormal visual exploration and, as a consequence, impaired identification [15].

PATIENTS AND METHOD

Participants: Twenty patients with subfoveal neovascular AMD, fifteen age-matched normally sighted controls and twelve young normally sighted controls participated in this study. Both patients with AMD and elderly controls were recruited in the department of ophthalmology of Saint-Vincent de Paul Hospital (Lille, France). The young controls were recruited among students in Lille University. We added a young control group, as several studies have reported that oculomotor behavior changes with normal aging [16]. The study was approved by the ethics committee of Lille (CT 2000-AO-1088-31), in accordance with the tenets of the Declaration of Helsinki. Written informed consent was obtained from all participants.

Patients with neovascular AMD, with subfoveal involvement confirmed by fluorescein angiography, and with best corrected visual (BCVA) acuity between 20/40 and 20/400, were included. They were followed and treated with ranibizumab on pro re nata regimen. BCVA was measured at a distance of 4m using the ETDRS chart, which was converted to logMAR visual acuity for statistical purpose. The area of the lesion (mm^2) and the greatest linear diameter of the lesion were measured from digital angiograms by outlining the lesion using image analysis software (Eye Explorer, Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany).

Cognitive impairments of both AMD and old control groups were assessed by the Mini Mental State Examination (MMSE). All participants with a history of neurologic disease, psychiatric disease, cognitive impairment (MMSE score < 25) or other significant ocular diseases which might compromise oculomotor function were excluded.

Clinical assessment and experiment were performed during the same visit. Clinical and demographic data are provided in **Table 1**.

Table 1 : Demographic and Clinical Data of the Study Population

AMD participants (n = 20)	
Age (in years), mean (range)	80.1 ± 1.57 (62-89)
Gender, M/F	9/11
Mean MMSE	27.5 ± 0.32
Mean LogMAR VA	0.64 ± 0.04 (Snellen equivalent 20/80)
Lesion size (in mm ²), mean (range)	5.69 ± 4.4 (1.42-11,27)
Greatest Linear Diameter (in mm), mean (range)	2.95 ± 1.1 (1.4-5.9)
Duration of the disease (years), mean (range)	2.9 (1 to 5)
Elderly controls (n = 15)	
Age, mean (range)	76.0 ± 1.81 (62-89)
Gender, M/F	4/11
Mean MMSE	28.9 ± 0.37
Mean LogMAR VA	0.05 ± 0.05
Young controls (n = 12)	
Age, mean (range)	24.5 ± 2.03 (20-30)
Gender, M/F	5/7
LogMAR VA	0.01 ± 0.06

Experiments

Stimuli. The stimuli were presented centrally on a color monitor (Dell) at a viewing distance of 60 cm (fixed by a chin-rest). We used photographs of isolated objects, objects in a scene and scenes (32.5° horizontally x 25.8°). Our stimuli were selected from the commercial database Hemera Photo Objects, commercial CD database (Corel) and on internet. Half of stimuli were natural objects and environments and the other half were man-made objects and scenes (**Figure 1**). There were 40 pictures in each category of images.

Eye tracking. Eye movements were recorded using an eye tracker (Senso-Motoric Instruments, Berlin, Germany) based on a pupil eye tracking system that uses infrared illumination and computer-based image processing. The iViewX system records eye position at a sampling rate of 350 Hz, and compensates for minor head movements. The manufacturers report a gaze position accuracy of $<0.1^\circ$. Images of the eye are analyzed in real-time by detecting the pupil, calculating the centre, and eliminating artefacts. Only one eye of each patient was studied. The calibration stimulus was a grid containing nine white dots (2x2 degrees), displayed one at a time, on a black background. During calibration, the participants were instructed to fixate the dot located at the middle of the screen and to move their eyes to the other dots as instructed. Calibration was performed two times in order to verify the stability. Only when the eye tracker classified the calibration as “good” were the recording trials initiated. In all experimental trials, the participants were given the same instructions: to look at, and keep their gaze as steady as possible in the middle of the fixation cross. Analysis of the recorded eye movement data was conducted with the software BeGaze (Senso-Motoric Instruments Berlin, Germany). Following calibration participants started with an “active vision” task in which they were asked to identify the objects or scenes.

Procedure. Only one eye of each participant was tested due to the asymmetry of the pathology. Each participant was tested on 60 trials (20 images in each category) in a database including 120 pictures. As motion of the chin for oral responses interferes with the stability of the head for eye tracking, participants were asked to name the picture during the inter-stimulus interval. Before each trial, we presented a central white fixation cross (2x2 degrees) on a black background for 1 second. Immediately followed by a colored photograph

for 2 seconds and then followed by a black background until the response of the participant categorized as exact name, wrong name or “I don’t know”. Stimuli were randomly presented.

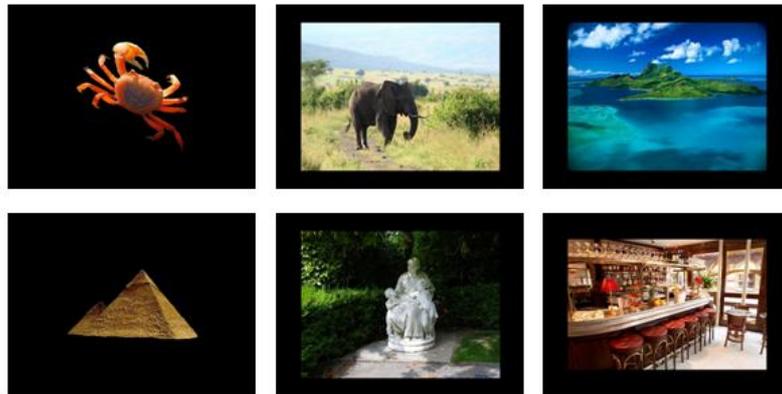


Fig. 1. Examples of images used in the experiment.

Data analysis

Participants for which more than 25% of the eye movement data were missing due to signal loss (i.e., when people moved their head too much) were discarded. Four patients were excluded. Fixations considered as valid had a minimal duration of 100 ms. We recorded fixation duration, the number of saccades and exploration length (i.e., the sum of amplitudes of saccades/picture).

Analyses of variance (ANOVAs) were conducted, using the software Statistica (7.1 Tulsa, USA) on fixations duration. Non parametric statistics (ANOVA of Kruskal-Wallis and ANOVA of Friedman) were used when the condition of homogeneity of variance was not filled: on saccades, and scan path length. The factors were the group (people with AMD, normally-sighted young controls and normally-sighted older controls) and the category of pictures (isolated objects, objects in scene and scenes).

Correlations were computed between clinical parameters (logMAR visual acuity, size of the lesion) and fixation durations, number of saccades and scan path length, for each category of images.

RESULTS

Eye movements

Eye movement variables are presented in Figure 2.

Fixation durations (Figure 2A)

Fixation durations correspond to the average of all the fixations which lasted longer than 100ms within the 2 s presentation time of each image.

A 3 (group) x 3 (category of picture) ANOVA showed a significant main effect of group ($F(2, 44) = 8.59$; $p < .001$), with shorter fixation durations for patients with AMD than for normally-sighted old controls (261 vs. 342 ms; $F(1, 44) = 12.67$; $p < .001$) and young controls (261 vs. 348 ms; $F(1, 44) = 12.87$; $p < .001$). There was also a significant main effect of category of pictures ($F(2, 44) = 23.22$; $p < .001$) with longer fixation durations for isolated objects than for objects in scene (337 vs. 323 ms; $F(1, 44) = 5.42$; $p < .03$) and for objects in scene than for scenes (323 vs. 292 ms; $F(1, 44) = 22.04$; $p < .001$). Group interacted significantly with category of pictures ($F(4, 88) = 3.22$; $p < .02$). A separate analysis for each category of pictures showed that the interaction resulted mainly from a larger difference in fixation durations between patients and age-matched controls for isolated pictures (by 96 ms, $p < .002$) than for objects in scene (by 72 ms, $p < .006$) and scenes (by 70 ms, $p < .003$). There was no significant difference between young and older controls.

Number of saccades (medians), (Figure 2B)

There was a main effect of group ($H(2, 47) = 15.54$; $p < .001$) and a main effect of category of pictures ($\chi^2(2) = 26.55$; $p < .02$). People with AMD made a larger number of saccades than age-matched controls for isolated objects (9.40 vs. 5.30; $R(20, 53) = 2.77$; $p < .02$), for objects in scene (9.60 vs. 5.90; $R(20, 37) = 2.61$; $p < .03$) and for scenes (9.85 vs. 6.20; $R(20, 33) = 2.43$; $p < .05$). There was no difference between young and older controls for isolated objects (5.30 vs. 3.80; $R(12, 50) = 1.51$; $p = 0.39$), for objects in scene (5.90 vs. 3.73; $R(14, 25) = 1.15$; $p = 0.75$) and for scenes (6.20 vs. 4.84; $R(15, 75) = 0.86$; $p = 1$). Individual results are presented in Table 2.

Scan path length (medians) (Figure 2C)

Examples of scan paths are presented in Figure 3. There was a main effect of group ($H(2, 47) = 18.17$; $p < .001$) and of category of pictures ($\chi^2(2) = 39.62$; $p < 0.001$) on scan path length. A multiple comparison (Kruskal Wallis) showed that visual exploration, measured by the scan path, was more extended for people with AMD than for elderly controls for isolated objects (54.56° vs. 27.80° ; $R(21, 07) = 2.80$; $p < .02$) and for scene (67.50° vs. 38.80° ; $R(20, 87) = 2.41$; $p < .05$). There was a tendency for the same difference for objects in scene ($54.33.22^\circ$ vs. 28.60° ; $R(22, 13) = 2.19$; $p < .09$). There was no significant difference between young and older controls for isolated objects (27.80° vs. 13.39° ; $R(10, 67) = 1.96$; $p = 0.15$), for objects in scene (28.60° vs. 16.36° ; $R(12, 33) = 1.85$; $p = 0.19$) and for scenes (38.80° vs. 26.25° ; $R(14, 33) = 1.23$; $p = 0.66$).

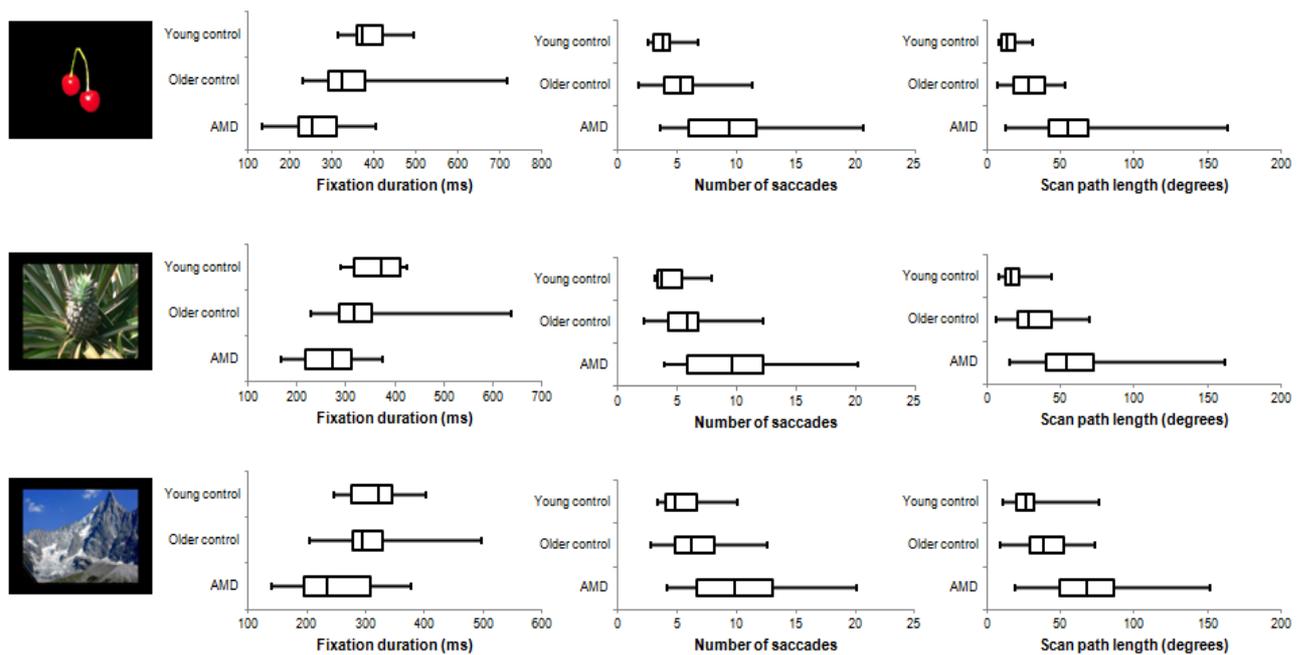


Fig.2. IQR for: (A) fixation duration, (B) number of saccades and (C) scan path length for patients with AMD, age-matched controls and young controls as a function of the three categories of pictures (isolated objects, objects in scenes and scenes).

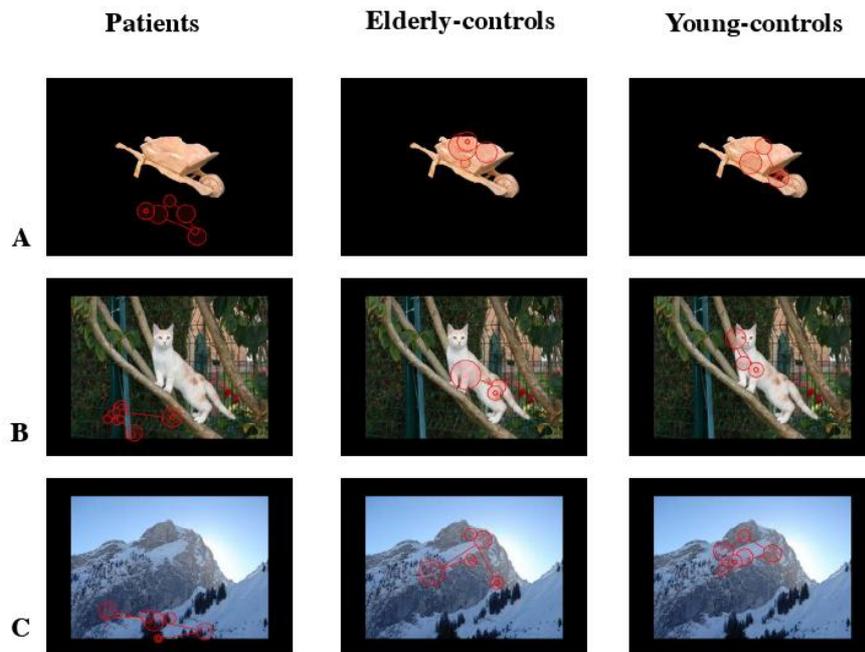


Fig.3. Examples of scan paths for each category of pictures (A: isolated object, B: object in scene and C: scene).

Accuracy (medians)

There was a significant main effect of group ($H_{2,47} = 34.90$, $p < .001$) but not of category of image ($\chi^2_2 = 3.04$, $p = 0.22$). Accuracy was lower for people with AMD than for age-matched controls (Fig 2A) for isolated objects (65 vs. 95%; $R(28, 77) = 3.57$; $p < .001$), for objects in scene (65 vs. 95%; $R(27, 10) = 3.02$; $p < .008$) and for scenes (62,5 vs. 95%; $R(28, 03) = 3.46$; $p < .002$). There was no significant difference between young and older controls for isolated objects (95 vs. 100%; $R(38, 00) = 1.74$; $p = 0.25$), for objects in scene (95 vs. 100%; $R(38, 50) = 2.15$; $p = 0.10$) and for scenes (95 vs. 100%; $R(39, 25) = 2.11$; $p = 0.1$).

Relation between clinical parameters, accuracy and visual exploration

No significant correlation was found between visual acuity, number of saccades and fixation durations. The surface area of the lesion was correlated with the number of saccades for the three categories of images (isolated objects: $r = -0.447$, $p = 0.048$, objects in scene: $r = -0.465$, $p = 0.04$, scenes: $r = -0.451$, $p = 0.05$) but there was a large variability between patients regarding this correlation (see Table 2). Similarly, the diameter of the

lesion was correlated with the number of saccades for the three categories of images (isolated objects: $r = -0.512$, $p = 0.02$, object in scene: $r = -0.515$, $p = 0.02$, scenes $r = -0.518$, $p = 0.02$). No significant correlation was found between any clinical data and scanpath length.

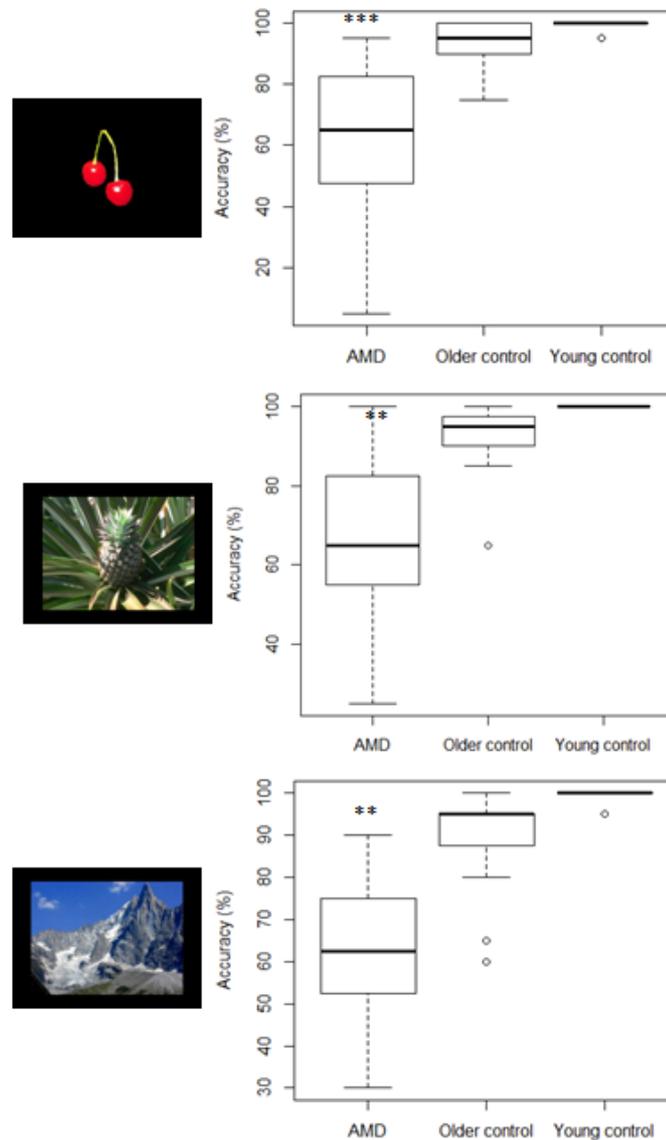


Fig.4. IQR for Accuracy for patients with AMD, age-matched controls and young controls as a function of the three categories of pictures (isolated objects, objects in scenes and scenes). * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ and *** $p < 0.001$.

DISCUSSION

Our results show that, when central vision is degraded, the visual exploration is longer and associated to a lower accuracy. Henderson et al [8] investigated the role of foveal analysis in object *identification* in normally sighted people. In their study a display change paradigm was used to produce an artificial scotoma (about 1.9° of visual angle, equivalent to 0.6mm of lesion) created by replacing the object with the gray background field during dynamic viewing of an array of four line drawings of objects. The location of the scotoma was updated in real time as a function of the viewer's current line of regard so that the scotoma moved with the position of the eye. In the scotoma-centered condition, objects were visible only peripherally. The results showed that eye movement patterns, were disrupted by a foveal scotoma. Participants moved their eyes around more and looked longer at the display when foveal information was not available. A small artificial scotoma does not significantly impair object identification but our results show that large scotomas resulting from retinal lesions do impair object and scene identification.

Consistent with previous studies on normally sighted observers, both young and older control participants in our study exhibited the classical center-bias [17] for the three categories of pictures (see Figure 3). They tended to remain in the central part of images. In contrast, people with AMD, lacking central vision, started and finished their exploration in the periphery of the picture, at a location corresponding likely to their preferred retinal location (PRL) for this type of task. People with a central scotoma usually develop a PRL at a functional region adjacent to the scotoma. The PRL has been found to be task-specific, to depend on the diagnostic information necessary to perform the task (e.g., low vs high spatial frequency), the target size, viewing condition, the luminosity required to perform an activity or disease duration [4,10,20]. People with AMD also exhibited a longer scan path, a larger number of saccades and shorter fixation durations reflecting gaze instability when perception has to rely on peripheral vision. This gaze instability has been reported both in people with a central scotoma [6,7] and in studies using an artificial scotoma in normally sighted people. For instance, Bellman et al [6] measured fixation stability with the bivariate contour ellipse area method in a simple fixation task. They reported that AMD patients had fixation stability 10 times lower than normally sighted people. This lower fixation stability in people with central vision loss was associated to a lower reading speed due to a larger

number of saccades [19]. In agreement with these reports, Crossland et al [8] showed that the fixation was more unstable during fixation of words than when fixating a dot.

Numerous studies have reported effects of aging on eye movements, but with inconsistent conclusions. It seems that automatic parameters such as pro-saccades latencies are minimally influenced by aging [20], whereas more cognitively complex processes like voluntary saccade suppression, or intentional suppression of the responses captured by task-irrelevant distracters in visual search tasks are more sensitive to aging (though see Costello et al) [21]. Porter et al reported that aging drives a more exhaustive scanning strategy with older people making more saccades than younger people resulting partly from a declining ability to remember which locations have already been visited [16].

Categorization (e.g., an animal) and identification (e.g., a squirrel) tasks require different cognitive processes. Object or scene categorization can be accomplished on the basis of coarse visual information in normally sighted people with filtered pictures [22] or with pictures presented at large eccentricities (until 80 degrees) [9] and also in people with maculopathy [23,24, 25] whilst identification requires finer details (e.g., the specific tail of a squirrel). Our results are consistent with these reports, showing that AMD patients take significantly more time to identify objects and scenes and accuracy is lower than to categorize them [26].

To conclude, central vision loss in a naming task of objects and scenes is associated with a longer visual exploration and a lower accuracy (by about 30%) than in normally sighted people. Visual exploration suggests that people with AMD fixated peripherally but the region of preferred fixation remained stable across pictures (isolated, objects in scenes and scenes). We found a correlation between clinical data and the number of saccades indicating that lesion impacts fixation stability. Associated to the low resolution of peripheral vision this can explain the lower performance of people with AMD. Our results are consistent with studies using artificial scotoma in normally sighted people which show that a central scotoma affects oculomotricity with consequences on both object and scene identification.

References:

- [1] Legge GE, Ross JA, Luebker A, LaMay JM. Psychophysics of reading. VIII. The Minnesota Low-Vision Reading Test. *Optom Vis Sci.* 1989;66(12):843-853.
- [2] Tejeria L, Harper RA, Artes PH, Dickinson CM. Face recognition in age related macular degeneration: perceived disability, measured disability, and performance with a bioptic device. *Br J Ophthalmol* 2002;86(9):1019-1026.
- [3] Crossland MD, Engel SA & Legge GE. The preferred retinal locus in macular disease: toward a consensus definition. *Retina* 2011; 31(10):2109-14.
- [4] Lei H, Schuchard RA. Using two preferred retinal loci for different lighting conditions in patients with central scotomas, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1997;38(9):1812-1818
- [5] Crossland MD, Crabb DP, Rubin GS. Task-specific fixation behavior in macular disease, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011;52(1):411-416.
- [6] Bellman C, Feely M, Crossland MD, Kabanarou SA, Rubin G.S. Fixation Stability Using Central and pericentral fixation targets in patients with Age-related Macular Degeneration, *Ophthalmology* 2004;111(12):2265-2270.
- [7] Van der Stigchel S, Bethlehem RA, Klein BO, Berendschot TT, Nijboer TC & Dumoulin SO. Macular degeneration affects eye movement behavior during visual search. *Front Psychol* 2013; 6(1): 1-11
- [8] Henderson JM, McClure KK, Pierce S, Schrock G. Object identification without foveal vision: evidence from an artificial scotoma paradigm. *Percept Psychophys* 1997; 59(3):323–346.
- [9] Boucart M, Moroni C, Thibaut M, Szaffarczyk S, Greene M. Scene categorization at large visual eccentricities. *Vision Res.* 2013; 86C:35-42.
- [10] Grill-Spector K & Kanwisher N. Visual recognition: As soon as you know it is there, you know what it is. *Psychol Sci.* 2005; 16(2):152-60.
- [11] Tran THC, Rambaud C, Desprez P, Boucart M. Scene Perception in Age-Related Macular Degeneration, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010; 51(2):6868-6874.
- [12] Boucart M, Moroni C, Szaffarczyk S, Tran THC. Implicit processing of scene context in macular degeneration, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54(3):1950-1957
- [13] Poncet M, Fabre-Thorpe M. Stimulus duration and diversity do not reverse the advantage for superordinate-level representations: the animal is seen before the bird. *Eur J Neurosci* 2014; 39(9): 1608-1516
- [14] Rubin GS & Feely M. The role of eye movements during reading in patients with age-related macular degeneration (AMD). *Neuro-Ophthalmology* 2009; 33:120-6.
- [15] Seiple W, Rosen RB, Garcia PM. Abnormal fixation in individuals with age-related macular degeneration when viewing an image of a face. *Optom Vis Sci* 2013;90(1):45-56.

- [16] Porter G, Tales A, Troscianko T, Wilcock G, Haworth J, Leonards U. New insights into feature and conjunction search: I. Evidence from pupil size, eye movements and ageing. *Cortex* 2010; 46(5):621-636.
- [17] Tatler BW. The central fixation bias in scene viewing: Selecting an optimal viewing position independently of motor biases and image feature distributions. *Journal of Vision* 2007; 7(14):4. 1–17.
- [18] Crossland MD, Culham LE, Kabanarou SA, Rubin GS. Preferred retinal locus development in patients with macular disease. *Ophthalmology* 2005; 112(9): 1579-85.
- [19] Crossland MD, Rubin GS. Eye movements and reading in macular disease: further support for the shrinking perceptual span hypothesis. *Vision Res* 2006; 46(4): 590-597.
- [20] Pratt J, Dodd M, Welsh T. Growing older does not always mean moving slower: examining aging and the saccadic motor system. *J Mot Behav* 2006;38(5):373-382.
- [21] Costello MC, Madden DJ, Shepler AM, Mitroff SR, Leber AB. Age-related preservation of top-down control over distraction in visual search. *Exp Aging Res* 2010;36(3):249-272.
- [22] Oliva A, Schyns PG. Diagnostic colors mediate scene recognition. *Cogn Psychol* 2000; 41(2):176-210.
- [23] Boucart M, Desprez P, Hladiuk K, Desmettre T. Does context or color improve object recognition in patients with low vision? *Visual Neuroscience* 2008; 25(5-6):685-691.
- [24] Tran THC, Desprez P, Boucart M. Scene perception in age-related macular degeneration: The effect of contrast. *Optom Vis Sci* 2012;89(4):419-425.
- [25] Tran THC, Boucart M. Perception of objects and scenes in age-related macular degeneration. *J Fr Ophthalmol* 2012;35(1):58-68.
- [26] Thibaut M, Tran THC, Delerue C & Boucart M. Misidentifying a tennis racket as keys: Object identification in people with AMD. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2015 May;35(3):336-44

Visual exploration of patients with juvenile macular disease during object and scene identification.

Miguel Thibaut¹, Céline Delerue (PhD)¹, Sabine Defoort², Thi Ha Chau Tran (MD-PhD)³ & Muriel Boucart (PhD)¹

¹ SCALab UMR CNRS 9193, Université Lille Nord de France.

² Hôpital Roger Salengro, Service d'exploration de la vision et neuro-ophtalmologie, CHRU de Lille, France.

³ Hôpital Saint-Vincent de Paul, Service d'ophtalmologie adulte, Lille, France.

INTRODUCTION

Stargardt disease is a monogenetic hereditary macular dystrophy (juvenile maculopathy) discovered by Karl Bruno Stargardt in 1909. It's an autosomic recessive disease so, only children receiving at once mutated gene by his father and mother, will be affected. The prevalence of this disease is to one birth on 10000 (Westerfeld et Mukai, 2008) and broke out in children between 7 and 14 years (Stargardt, 1909; Rozet et al, 2005). As age-related macular degeneration (AMD), Stargardt disease affects central vision and all visual functions associated (high-level) inducing in the end to the development of central scotoma (Legge et al, 1985; 1989; Tejeria et al, 2002). To get used to central vision loss, they adopt one or few points of fixation next to the lesion on peripheral retina depending to the conditions (Reinhard & al, 2007; Sullivan & al, 2008). These peripheral points of fixation are called preferred retinal locus or PRL, defined by Crossland (Crossland et al, 2011a) as an area of the functional retina used preferentially to detect a visual target during a task, or to attentional deployment and serve as reference for the eye movements. However, this modification to fovea-based vision to PRL-based vision due to the central scotoma and low-level of peripheral vision detrimentally affects the stability of fixation (Bellman et al, 2004; Greenstein et al, 2008; Van der Stigchel & al, 2013).

People rely on low resolution of peripheral vision due to a central scotoma, encounter more difficulties in high level visual task, such as reading (Crossland et al, 2004;

Rubin et Feely, 2009; Blackmore-Wright et al, 2013) and face recognition (Tejeria et al, 2002; Boucart et al, 2008a) associated to foveal vision. Contrary to reading and face recognition, that constitutes the main complaint, the object and spatial perception have been very little study in this population. This is paradoxical considering that questionnaires on Vision-related Quality of Life that report difficulties in everyday life. However, as reported by the studies with filtered stimuli such as emotional face recognition (Schyns and Oliva, 1999), low spatial frequencies are sufficient to categorize an object or a scene (Schyns and Oliva, 1994; Torralba and Oliva, 2003). Others studying peripheral vision capabilities either artificial scotoma (Larson and Loschky, 2009) or stimuli presentation at large eccentricities (Boucart et al, 2013a) during scene perception showed that extrafoveal vision is sufficient to recognize a scene. Despite to central vision loss, patients are able to categorize object and scenes (Boucart et al, 2008b; Tran et al, 2010; Boucart et al, 2013b). But, they are more efficient when the object was isolated on a homogeneous background. These studies used a fast categorization task with a pre-defined target. Nevertheless, identification requires high level processing conveyed by high spatial frequencies, which are less available in peripheral vision (Peyrin et al, 2003). Indeed, Musel et al (2011) found that people with low vision were more efficient to recognize scenes with low pass than high pass filtered. However, in everyday life we should to explore our visual environment to find and identify an object, and not just categorize who's easier (Grill-Spector & Kanwisher, 2005) and require different cognitive process (Boucart et al, 2010a).

The present study was designed to investigate the impact of central vision loss on visual exploration during object and scene identification in juvenile macular disease compared to age-related macular disease. So we asked people with juvenile maculopathy (Stargardt's disease) to name photographs objects and scenes presented centrally. Numerous studies have shown lower fixation stability in people with central vision loss (Crossland et al, 2004; Bellman et al, 2004; Rubin & Feely, 2009; Van der Stigchel et al, 2013). As reported in reading (Crossland et al, 2004; Falkenberg et al, 2007; Rubin & Feely, 2009) and face perception (Seiple et al, 2013), lower fixation stability could contribute to recognition deficit in people with macular disease. These results were also reported in studies with artificial scotoma (Henderson et al, 1997; Cornelissen et al, 2005; Kwon et al 2012). In addition, few studies showed, when scotoma size increase, search time increases

sharply in people with artificial central scotoma (Cornelissen et al, 2005; McIlreavy et al, 2012). Nevertheless, studies using an artificial scotoma do not reflect really the patient's visual abilities because they have no awareness of their central scotoma (Fletcher et al, 2012).

In this report, we present the effect of early central vision loss (Stargardt disease) on visual exploration to identify scenes and object (isolated or in their natural context). We supposed people with juvenile macular disease manifest a less efficient visual exploration than normally sighted age-matched controls generating higher latency and impaired identification (Crossland et al,; Falkenberg et al, 2007 ; Rubin & Feely, 2009; Seiple et al, 2013; Thibaut et al, 2015). Furthermore, we could to hypothesis that performance for patients with a juvenile maculopathy (Stargardt disease) would be better than patients with age-related macular degeneration (AMD) due to long term adaptation (Reinhard & al, 2007).

METHOD

Participants: Nine patients with Stargardt disease (5 women; 20 to 64 years) recruited in both ophthalmology departments of Salengro and Saint-Vincent hospitals (Lille, France) were tested. However, we removed four patients due to an inability of fixation, so we are keep five patients (JMD1-5). Five age-matched normally sighted controls (4 women; 20 to 62 years) were tested (C1-5). As Stargardt patients, they are recruited in both ophthalmology departments of Salengro and Saint-Vincent hospitals and also in medicine faculty. Visual acuity and visual field exam were measured. A case study analysis was carried due to the heterogeneity of Stargardt disease and the large age scale. This research was approved by the ethics committee of Lille (CT 2000-AO-1088-31), in accordance with the tenets of the Declaration of Helsinki written informed consent was obtained from all participants.

Visual acuity of Stargardt people between 5/10 and 1/20, were included. Volume of deficit (dB.deg²) of both eye were measured from MetroVision software. A Mini Mental State Examination (MMSE) to assess cognitive impairments in Stargardt and control subjects with 50 years and more were carried. Participants with a history of neurologic disease, psychiatric disease, cognitive impairment or other significant ocular diseases which might

compromise oculomotor function were excluded. Demographic and clinical data of each subject are summarized in Table 1.

Experiments

Stimuli. We used photographs (32.5° x 25.8°) of isolated objects on a black background, of objects in context and of scenes (Figure 1) presented centrally on a color monitor (Dell). We selected 40 pictures in each category from the commercial database (Hemera Photo Objects and Corel). Half of stimuli were natural objects or environments and the other half were manufactured objects or scenes. The viewing distance was to 60 cm (fixed by a chin-rest).

Patient	Gender	Age	Eye tested	Visual acuity (LogMAR)	Volume deficit (dB.deg ²)
SD1	Male	52	Right	1.0	122
SD2	Male	46	Right	1.3	742
SD3	Female	51	Right	1.5	1777
SD4	Female	50	Right	1.3	719
SD5	Male	20	Right	0.6	290

Table 1: Demographic and clinical data of patient with Stargardt disease

Eye tracking. Eye movements were monitored using an infrared eye tracking system (Senso-Motoric Instruments, Teltow, Germany) and analyzed in real-time. The sampling rate of the system was 350 Hz and spatial resolution less to 0.1°, compensates minor head movements and eliminating artefacts. Eye movement assessment in patients with macular disease is not easy due to an unsteady fixation. Eye movement data were collected monocularly both for patients and controls. The same calibration was used for patients and controls and corresponded to fixate a white dot (2x2 degrees) at nine positions, displayed one at a time, on a black background. To do that, we asked to the participants to fixate the dot located first at the middle of the screen and then to follow and fixate the dot on the screen. To check the stability, we performed the calibration two times. If the eye tracker system validates the calibration as “good”, we continue the test. For the experimentation, we given as

instructions “to look at, and keep their gaze as steady as possible in the middle of the fixation cross”. Eye movement data were analysed with BeGaze software (Senso-Motoric Instruments Teltow, Germany).

Procedure. Each trial consisted by a central white fixation cross (2x2 degrees) displayed on a black background for 1 second followed by a colored photograph presented centrally for 2 seconds and then by a black background to give the response. The presentation of stimuli was randomized. All participants completed two blocks of trials in the same conditions except that, in one block eye movements were recorded and, in the other block oral response was recorded with a voice key. We had to recorded oral response and eye movements in separate blocks because the chin rest of eye tracker interfered with the use of the voice key, and the motion of the chin for oral responses interfered with the stability of the head for eye tracking. Half of the participants in each group started with the eye tracker and the other half started with the voice key. The stimuli used in each block (eye tracker and oral response) were counterbalanced within participants. Responses were recorded and typed on the keyboard by the experimenter. We judged as errors the imprecise responses (e.g., landscape for pasture) and wrong name (e.g., fan for peacock).



Figure 1: Examples of pictures used in the experiment.

Data analysis

Due to both the heterogeneity of our Stargardt patients and large age scale, we used a case study analysis. So, we associated each patient with one normally-sighted age-matched control. To the accuracy we assumed a z test for a comparison of two independent proportions. For others variables (not dichotomous) we assumed the analysis not on the

mean score of each one, but on each trials as a distinctive data. So, we consider the subjects as a population.

When more than 25% of the eye movements data were missing due to signal loss (i.e., when people moved their head too much), participant were excluded. Fixations considered as valid had a minimal duration of 100 ms (Manor and Gordon, 2003).

Statistical analyses were conducted, using the software Statistica (7.1 Tulsa, USA) on fixation duration, number of saccades, scan path length, oral response times (RTs) and accuracy of responses. Non parametric statistics (with U Mann-Whitney test for group effect and Friedman test for picture effect) were conducted when the condition of homogeneity of variance was not filled. The factors were the group (Stargardt vs. control) and the category of photographs (isolated objects, objects in context and scene). Correlations were computed between clinical parameters (logMAR visual acuity, volume of deficit) and experimental parameters.

RESULTS

Scan path variables (Figure 2):

Fixation durations

Lower fixation duration was found in SD than C people especially for object in the context. We found also this effect with isolated object except in SD1 whose present an effect for scene. In addition, a significant effect of picture was shown for SD1 ($p < .0006$) and SD5 ($p < .004$), corresponded to patient with lower deficit.

Number of saccades

Except with SD3, we showed an effect of pathology with a larger number of saccade than controls. This effect was found in all categories of pictures for SD1 and SD2, in isolated object and in the context for SD4 and only object in a context for SD5. As fixation duration, we found an effect of picture only for SD1 and SD5 (respectively ($p < .0006$ and $.0002$)).

Scan path length

A main effect of disease was found for isolated object and object in the context with more extended visual exploration, with the exception of SD5 who's not significantly different to C5. However, a significant effect of image was shown for all.

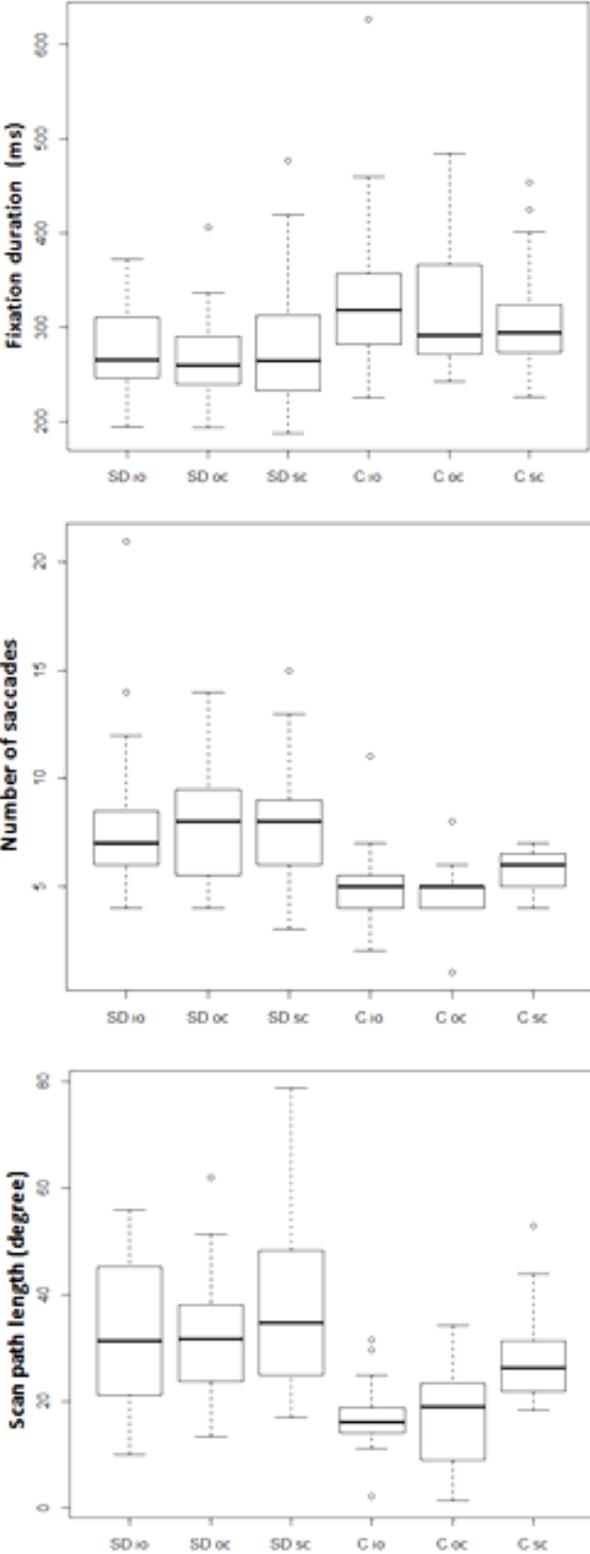


Figure 2: Mean of fixation duration (top), number of saccades (middle) and scanpath length (bottom) according to the image (isolated objects or io, objects in a context or oc, and scenes or sc) respectively in SD3, SD2 and SD4 and age matched controls.

Performance (Figure 3 and 4):

Accuracy

Surprisingly, we found an effect of the disease only for SD1, SD2 and SD4 for all type of picture, but not for SD3 who's a largest deficit.

Naming time

An effect of pathology was found with a higher latency to give a response for all categories of pictures. In addition, an effect of picture was found for SD2 and SD3 with respectively $p < .0.2$ and $.002$).

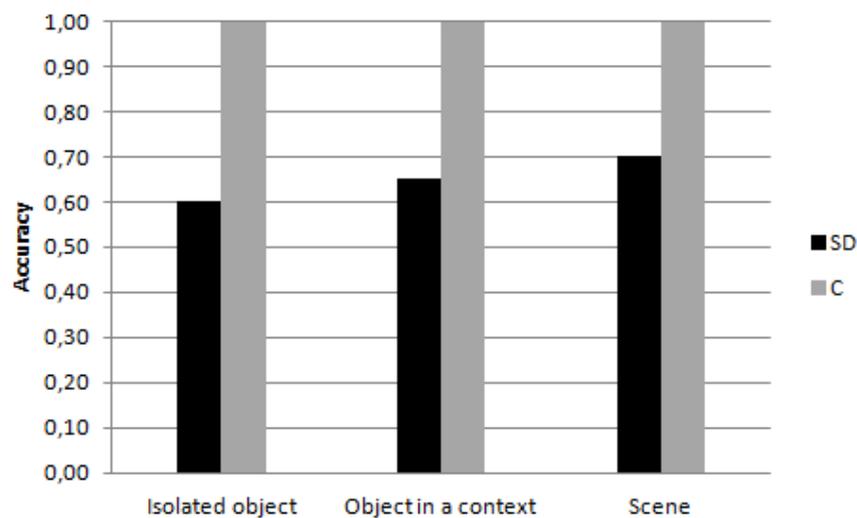


Figure 3: Mean accuracy of SD1 and C1 as a function of the three categories of pictures isolated objects (io), objects in a context (oc) and scenes (sc).

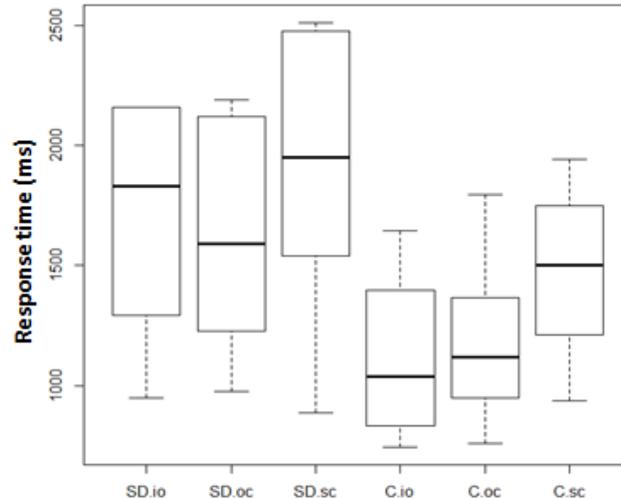


Figure 4: Mean accuracy of SD1 and C1 as a function of the category of pictures: isolated objects (io), objects in a context (oc) and scenes (sc).

Relation between clinical parameters, accuracy and visual exploration

Any correlation was found between both visual acuity and volume of deficit (db.deg²) and experimental data. Visual acuity was not correlated with the volume of deficit.

Discussion

In the present study, we presented of few case studies of people with juvenile macular disease (JMD). We tracked eye movement to study their visual exploration during an identification task. Numerous studies reported that categorization of object (Potter, 1976; Thorpe et al, 2001; Rousselet et al, 2003; Boucart et al, 2010b) and scenes (Schyns and Oliva, 1994; Oliva and Schyns, 1997; Oliva and Schyns, 2000; Torralba and Oliva, 2003; Macé et al, 2005; Boucart et al, 2013a) are based on lower spatial frequencies (LSF). Indeed, despite to low resolution of peripheral vision, when we asked to categorize objects (animals, vehicles...) (Thorpe et al, 2001) or scenes (urban, natural...) (Boucart et al, 2013a) at very large eccentricities, normally sighted people were able to categorize above the chance until 70 degrees. People with central vision loss presented an inability in HSF (higher spatial frequencies) processing (Midea et al, 1997; Musel et al, 2011). However, as studies on peripheral vision capabilities in normally sighted people, Tran et al (2010; 2011) as well as

Boucart et al (2008b; 2013b) showed that people with maculopathy were able to categorize objects and scenes. However, identification requires more visual information to detailed analysis and so take more time (Joubert et al, 2007 ; Macé et al, 2009; Tran et al, 2010; Boucart et al, 2013b) but also involve higher cognitive process (Boucart et al, 2010a)

As reported by Tran et al (2011) with higher exposure time, the performance was not significantly different for an isolated object and an object in a context. In addition, except to SD2 and SD4, patients with Stargardt disease were able to identify objects and scenes above the chance with extrafoveal vision. These results are consistent with previous studies showing that peripheral vision is sufficient to recognize object and scene (Larson and Loschky, 2009; Tran et al, 2010; Boucart et al, 2013a), but not precisely (Henderson et al, 1997)

Our results showed that gaze location of SD patients is shifted (Figure 4) compare to normally sighted people that exhibited a center-bias (Tatler, 2007). We supposed that SD patients moved their eyes in the periphery of object to look at it with their PRL, next to the scotoma. We know that PRL depend to the conditions (brightness, target size...), information required to fulfill the task and disease duration (Lei and Schuchard, 1997; Reinhard & al, 2007; Greenstein et al, 2008; Crossland et al, 2011b). Here, SD patients exhibited a significant longer of scan path, larger number of saccade (except SD3) and shorter fixation durations reflecting instability of fixation when central vision is impaired. These results are consistent with previous studies (Bertera, 1988; Crossland et al, 2004; Bellman et al, 2004; Reinhard & al, 2007; Sullivan et al, 2008; McIlreavy et al, 2012).

However, Reinhard et al (2007) suggested that patients with longstanding maculopathy are more adapted than patients with newly maculopathy. So, we can suppose that Stargardt people are more efficient to AMD people. Studies in normally sighted people with artificial scotoma (Henderson et al, 1997; Cornelissen et al, 2005; Kwon et al, 2012) showed that foveal information is beneficial but not essential and that the performance is impaired only for central scotomas at least four degrees. Fixation times and eye movement patterns, however, were disrupted by a foveal scotoma. Participants moved their eyes around more and looked longer at the display when foveal information was not available. Surprisingly, as reading studies (Timberlake et al, 1986; Crossland et al, 2004), we showed

that performance of identification and fixation stability were not correlated to clinical data (visual acuity, volume of deficit...) because SD3 with largest scotoma is less impaired than other patients such SD1.

Higher latency of SD patients can be explain by instability of fixation, as reported in reading (Crossland et al, 2004; Rubin et Feely, 2009; Blackmore-Wright et al, 2013), and also due to a larger number of saccades and a longer scan path, as reported with AMD patients (Thibaut et al, 2015). Another compatible account for the longer naming times, and decreased accuracy, in SD people could also be increased noise and degraded sensory information of peripheral vision. Our results are in agreement with Szlyck et al (2009) who suggested that the increase in response times in people with macular disease results from higher level attentional processes and visual search in people using a PRL.

To conclude, we report gaze instability in SD people during objects and scenes identification. Consistent with previous report in AMD patients, the lack of central vision is not detrimental to recognize photographs of objects and scenes. However, these results were not correlated to clinical data. We supposed that despite to size of lesion, some patients are more adapted to use peripheral vision in higher-level visual tasks as identification.

References:

- Bellman C, Feely M, Crossland MD, Kabanarou SA, Rubin G.S. Fixation Stability Using Central and pericentral fixation targets in patients with Age-related Macular Degeneration, *Ophthalmology*. 2004;111(12):2265-2270.
- Bertera JH. The Effect of Simulated Scotomas on Visual Search in Normal Subjects. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1988; 29(3):470-475.
- Blackmore-Wright S1, Georgeson MA, Anderson SJ. Enhanced text spacing improves reading performance in individuals with macular disease. *PLoS One*. 2013; 8(11): e80325.
- Boucart M, Dinon J-F, Desprez P, Desmettre T, Hladiuk K and Oliva A. Recognition of facial emotion in low vision: A flexible usage of facial features. *Visual Neuroscience*. 2008a; 25(4): 603-609.
- Boucart M, Desprez P, Hladiuk K, Desmettre T. Does context or color improve object recognition in patients with low vision? *Visual Neuroscience*. 2008b;25(5-6):685-691.
- Boucart M, Moroni C, Desprez P, Pasquier F, Fabre-Thorpe M. Rapid categorization of faces and objects in a patient with impaired object recognition. *Neurocase*. 2010a;16(2):157-168.
- Boucart M, Naili F, Desprez P, Defoort-Dhellemmes S. Implicit and explicit object recognition at very large visual eccentricities: No improvement after loss of central vision, *Visual Cognition*. 2010b;18(6):839-858.
- Boucart M, Moroni C, Thibaut M, Szaffarczyk S, Greene M. Scene categorization at large visual eccentricities. *Vision Res*. 2013a;86C:35-42.
- Boucart M, Moroni C, Szaffarczyk S, Tran THC. Implicit processing of scene context in macular degeneration, *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2013b;54(3):1950-57.
- Cornelissen FW, Bruin KJ et Kooijman AC. The influence of artificial scotomas on eye movements during visual search. *Optom Vis Sci*. 2005; 82(1): 27-35.
- Crossland MD, Engel SA et Legge GE. The preferred retinal locus in macular disease: toward a consensus definition. *Retina*. 2011a; 31(10): 2109-2114
- Crossland MD, Crabb DP, Rubin GS. Task-specific fixation behavior in macular disease, *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011b; 52(1): 411-416.
- Crossland MD, Culham LE, Rubin GS. Fixation stability and reading speed in patients with newly developed macular disease, *Ophthalmology Physiological Optics*. 2004;24(4):327-333.
- Falkenberg HK, Rubin GS et Bex PJ. Acuity, crowding, reading and fixation stability. *Vision Res*. 2007; 47(1): 126-135.
- Fletcher DC, Schuchard RA and Renninger LW. Patient awareness of binocular central scotoma in age-related macular degeneration. *Optom Vis Sci*. 2012;89(9):1395-98
- Greenstein VC, Santos RAV, Tsang SH, Smith RT, Barile GR, and Seiple W. Preferred Retinal Locus in

macular disease, *Retina*. 2008; 28(9):1234-1240.

Grill-Spector K et Kanwisher N. Visual recognition: as soon as you know it is there, you know what it is. *Psychol Sci*. 2005; 16(2): 152-160.

Henderson JM, McClure KK, Pierce S, Schrock G. Object identification without foveal vision: evidence from an artificial scotoma paradigm. *Percept Psychophys*. 1997;59(3):323–346.

Joubert OR, Rousselet GA, Fize D et Fabre-Thorpe M. Processing scene context: fast categorization and object interference. *Vision Res*. 2007; 47(26): 3286-3297.

Kwon M, Ramachandra C, Satgunam P, Mel BW, Peli E et Tjan BS. Contour enhancement benefits older adults with simulated central field loss. *Optom Vis Sci*. 2012; 89(9): 1374-1384.

Larson AM, Loschky LC. The contributions of central versus peripheral vision to scene gist recognition, *Journal of Vision*. 2009;9(10):6. 1-16.

Legge GE, Ross JA, Luebker A, LaMay JM. Psychophysics of reading. VIII. The Minnesota Low-Vision Reading Test. *Optom Vis Sci*. 1989;66(12):843-853.

Legge GE, Rubin GS, Pelli DG, Schleske MM. Psychophysics of reading--II. Low vision. *Vision Res*. 1985;25(2):253-265.

Lei H, Schuchard RA. Using two preferred retinal loci for different lighting conditions in patients with central scotomas, *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1997;38(9):1812-1818.

Macé MJ, Joubert OR, Nespoulous JL et Fabre-Thorpe M. The time-course of visual categorizations: you spot the animal faster than the bird. *PLoS One*. 2009; 4(6): e5927.

Macé MJ, Thorpe SJ, Fabre-Thorpe M. Rapid categorization of achromatic natural scenes: how robust at very low contrasts? *Eur J Neurosci*. 2005; 21(7):2007-2018.

Manor BR, Gordon E. Defining the temporal threshold for ocular fixation in free-viewing visuocognitive tasks. *J Neurosci Methods*. 2003;128(1-2):85-93.

McIlreavy L, Fizer J, Bex PJ. Impact of simulated central scotomas on visual search in natural scenes. *Optom Vis Sci*. 2012;89(9):1385-94.

Midena E, Degli Angeli C, Blarzino MC, Valenti M et Segato T. Macular function impairment in eyes with early age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1997; 38(2): 469-477.

Musel B, Hera R, Chokron S, et al, Residual abilities in age-related macular degeneration to process spatial frequencies during natural scene categorization. *Visual Neuroscience*. 2011;28(6):529-541.

Oliva A et Schyns PG. Coarse blobs or fine edges? Evidence that information diagnosticity changes the perception of complex visual stimuli. *Cogn Psychol*. 1997; 34(1): 72-107.

Oliva A et Schyns PG. Diagnostic colors mediate scene recognition. *Cogn Psychol*. 2000; 41(2): 176-210.

Peyrin C, Chauvin A, Chokron S et Marendaz C. Hemispheric specialization for spatial frequency

processing in the analysis of natural scenes. *Brain Cogn.* 2003; 53(2): 278-282.

Potter MC. Short-term conceptual memory for pictures. *J Exp Psychol Hum Learn.* 1976; 2(5): 509-522.

Reinhard J1, Messias A, Dietz K, Mackeben M, Lakmann R et al, Quantifying fixation in patients with Stargardt disease. *Vision Res.* 2007; 47(15): 2076-2085.

Rousselet GA, Mace MJ et Fabre-Thorpe M. Is it an animal? Is it a human face? Fast processing in upright and inverted natural scenes. *J of Vis.* 2003; 3(6), 440–455.

Rozet JM, Gerber S, Ducroq D, Hamel C, Dufier JL et Kaplan J. Hereditary macular dystrophies. *J Fr Ophtalmol.* 2005; 28(1): 1131-24.

Rubin GS et Feely M. The role of eye movements during reading in patients with age-related macular degeneration (AMD). *Neuro-Ophthalmology.* 2009; 33(3): 120–126.

Schyns PG et Oliva A. Dr. Angry and Mr. Smile: when categorization flexibly modifies the perception of faces in rapid visual presentations. *Cognition.* 1999; 69(3): 243-65.

Schyns PG et Oliva A. From blobs to boundary edges: evidence for time and spatial scale dependent scene recognition. *Psychol. Sci.* 1994; 5(4): 195-200.

Seiple W, Rosen RB, Garcia PM. Abnormal fixation in individuals with age-related macular degeneration when viewing an image of a face. *Optom Vis Sci.* 2013;90(1):45-56.

Stargardt K. Über familiäre, progressive Degeneration in der Maculagegend des Auges. *Albrecht von Graefes Arch Ophthalmol.* 1909; 71(3): 534-550.

Sullivan B, Jovancevic-Misic J, Hayhoe M et Sterns G. Use of multiple preferred retinal loci in Stargardt's disease during natural tasks: a case study. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2008; 28(2): 168-177.

Szlyck J.P. and Little D.M. An fMRI of word-level recognition and processing in patients with age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2009; 50(9):4487-4495.

Tatler BW. The central fixation bias in scene viewing: Selecting an optimal viewing position independently of motor biases and image feature distributions. *Journal of Vision.* 2007;7(14):4. 1–17.

Tejeria L, Harper RA, Artes PH, Dickinson CM. Face recognition in age related macular degeneration: perceived disability, measured disability, and performance with a bioptic device. *Br J Ophthalmol.* 2002;86(9):1019-1026.

Thibaut M, Tran TH, Delerue C and Boucart M. Misidentifying a tennis racket as keys: object identification in people with age-related macular degeneration. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2015; 35(3): 336-344.

Thorpe SJ, Gegenfurtner KR, Fabre-Thorpe M, Bülhoff H., Detection of animals in natural images using far peripheral vision. *Eur J Neurosci.* 2001;14(5):869-876.

Timberlake GT, Mainster MA, Peli E, Augliere RA, Essock EA, Arend LE. Reading with a macular scotoma. I. Retinal location of scotoma and fixation area. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1986; 27(7):

1137-1147.

Torralba A et Oliva A. Statistics of natural image categories. *Network*. 2003; 14(3): 391-412.

Tran THC, Desprez P, Boucart M. Scene perception in age-related macular degeneration: The effect of contrast, *Optom Vis Sci*. 2012;89(4):419-425.

Tran THC, Guyader N, Guerin A, Desprez P, Boucart M. Figure Ground Discrimination in Age-Related Macular Degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011; 52(3):1655-1660.

Tran THC, Rambaud C, Desprez P, Boucart M. Scene Perception in Age-Related Macular Degeneration, *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010; 51(2):6868-6874.

Van der Stigchel S, Bethlehem RA, Klein BO, Berendschot TT, Nijboer TC et Dumoulin SO. Macular degeneration affects eye movement behavior during visual search. *Front Psychol*. 2013; 6(1): 1-11

Westerfeld C, Mukai S. Stargardt's disease and the ABCR gene. *Semin Ophthalmol*. 2008; 23(1): 59-65.

Étude 5 :

Perception des scènes et recherche visuelle des objets en condition d'encombrement chez les patients souffrant de DMLA

(En préparation)

Résumé :

Introduction :

Les maculopathies telles que la dégénérescence maculaire liée à l'âge (ou DMLA) sont caractérisées par une altération progressive de la rétine centrale appelée macula. Ces patients ne disposent donc plus que de la vision périphérique et doivent développer une fixation excentrée appelée PRL (Crossland et al, 2011). La résolution spatiale de la vision périphérique est inférieure à celle de la vision centrale et présente également une plus forte sensibilité à l'encombrement. Par conséquent, les patients ont une stabilité de fixation altérée pouvant avoir un impact négatif sur leurs performances (Crossland et al, 2004 ; Seiple et al, 2005).

Un certain nombre de travaux ont étudié l'effet d'encombrement (crowding) dans cette population de patients mais uniquement avec des lettres (Tadin et al, 2012) ou lors de la lecture (Blackmore-Wright et al, 2013 ; Calabrèse et al, 2010). Ces études ont montré, par exemple, que l'augmentation de l'interligne permettait d'augmenter la vitesse de lecture des patients atteints de DMLA.

Dans l'étude présente, nous avons évalué l'effet de l'encombrement sur la performance des patients DMLA lors d'une tâche de recherche visuelle d'objets parmi des distracteurs. Nous avons également mesuré les mouvements oculaires afin de déterminer si l'encombrement pouvait avoir un impact négatif sur l'efficacité d'exploration des patients. Enfin, nous avons comparé le profil de fixation des participants lors d'une tâche de visualisation passive de scènes.

Méthode :

Dix-sept patients DMLA ainsi que 17 témoins appariés en âge avec vision normale et 12 témoins jeunes ont été testés. Dans l'expérience 1, nous avons demandé à nos participants de visualiser les scènes comme s'ils regardaient une carte postale. Lors de l'expérience 2, nous leur avons demandé de retrouver l'objet cible pré-défini par l'expérimentateur le plus rapidement possible et de valider leur réponse en maintenant le regard fixe sur l'objet et en validant avec la barre d'espace du clavier. Ici, le nombre d'objets

distracteurs ainsi que l'espacement entre les objets pouvaient varier. Dans ces deux expériences, un enregistrement des mouvements oculaires était effectué à l'aide d'un eye-tracker.

Résultats :

La première expérience montre que, lors d'une tâche de visualisation passive, les patients DMLA passent moins de temps sur les régions d'intérêts, définies au préalable sur la base des résultats des sujets sains jeunes, que les témoins appariés en âge.

La seconde expérience montre que la précision des patients DMLA était significativement moins bonne que celle des témoins âgés et cet effet était d'autant plus important en condition encombrée. Les patients passaient également plus de temps à rechercher l'objet cible, et ceci proportionnellement au nombre de distracteurs. Nous n'avons pas pu mettre en évidence de différence entre les groupes sur le nombre de fixation et le ratio d'exploration.

Conclusion:

Cette étude montre une différence de profil d'exploration chez les patients DMLA et les personnes avec vision normale en situation d'exploration passive, pouvant être la conséquence d'une moins bonne stabilité de fixation par rapport aux sujets sains. En accord avec les études sur la lecture, nous avons pu mettre en évidence un effet négatif de l'encombrement visuel chez des patients avec scotome central lors d'une tâche de recherche visuelle. Lorsque nous réduisons l'encombrement visuel, les patients présentaient de meilleures performances. On peut supposer que l'encombrement affecte la stabilité de fixation. Cependant, bien que les patients présentent un profil d'exploration plus étendu, nous n'avons pas pu mettre en évidence de différences significatives liées à l'encombrement et à la pathologie. C'est pourquoi nous allons devoir augmenter nos effectifs.

Perception des scènes et recherche visuelle des objets en condition d'encombrement chez les patients souffrant de DMLA

Miguel Thibaut¹, Thi Ha Chau Tran² & Muriel Boucart¹

¹ SCALab UMR CNRS 9193, Université Lille Nord de France.

² Hôpital Saint-Vincent de Paul, Service d'ophtalmologie adulte, Lille, France.

Introduction :

(DMLA) est une pathologie ophtalmique qui prend de plus en plus d'ampleur dans nos pays industrialisés, avec près d'un million trois cent mille personnes de plus de 65 ans atteintes de cette maladie en France. Cette pathologie est à l'origine d'une perte progressive de la vision fovéale et conduit à la formation d'un scotome central. Par conséquent, les fonctions visuelles associées à la vision fovéale sont fortement compromises (e.g. la lecture, perception des visages) (Boucart et al, 2008 a ; Calabrèse et al, 2010 ; Crossland et al, 2004 ; Rubin et Feely, 2009 ; Tejeria et al, 2002). Les patients ne peuvent plus se fier qu'à la vision basse résolution de la périphérie. La perte de vision fovéale oblige les patients à s'adapter en développant une ou plusieurs zone(s) de fixation préférentielle (PRL) adjacente(s) au scotome. Cette fixation excentrique est très instable en comparaison avec la fixation fovéale (Tarita-Nistor et al, 2011 ; Whittaker et al, 1988) et demande un certain temps d'adaptation (Crossland et al, 2004 ; Timberlake et al, 1986).

La périphérie est caractérisée par une dégradation de l'information visuelle notamment l'acuité visuelle, à l'origine d'une vision haute résolution, mais ce n'est pas le seul facteur limitant. En effet, la vision périphérique est associée à une augmentation de la sensibilité à l'encombrement visuel (Leat et al, 1999 ; Tadin et al, 2012), à l'origine de difficultés dans des tâches telles que la lecture, l'identification ou encore la recherche visuelle en milieu encombré. L'encombrement visuel correspond à la détérioration des capacités à distinguer un caractère/stimulus parmi d'autres stimuli adjacents. Ce

phénomène a beaucoup été étudié dans la lecture notamment chez les patients ayant perdu la vision centrale. Calabrèse et al (2010) ont évalué l'impact de l'encombrement vertical sur la vitesse de lecture de patients ayant perdu la vision centrale. Pour ce faire, ils ont modifié l'interligne. Lorsque celui-ci était doublé, la vitesse de lecture était légèrement améliorée (+ 7,1mots/min), mais significativement meilleure qu'avec un interligne simple. L'encombrement vertical ne semble donc pas être le seul à impacter la vitesse de lecture des patients. Blackmore-Wright et collaborateurs (2013) ont démontré que lorsque l'encombrement vertical (interligne) et horizontal (espacement entre les mots) étaient modifiés, la vitesse de lecture était significativement améliorée. De plus, les patients faisaient nettement moins d'erreurs. Les auteurs ont donc conclu que la combinaison optimale était un doublement de l'interligne et de l'espacement entre les mots.

Peut-on généraliser les effets de crowding observés en lecture à la recherche d'objets parmi des distracteurs ? Notre étude se focalise sur l'effet de l'encombrement lors de la recherche visuelle d'objet. En effet, dans notre vie quotidienne nous sommes en permanence confrontés à ce phénomène, par exemple chercher un stylo sur un bureau chargé. Tadin et al (2012) ont montré que dans les patients avec basse vision présentés une grande sensibilité à l'effet d'encombrement lorsqu'ils devaient déterminer l'orientation d'un « C » entouré d'autres « C » à 8 et 16 degrés d'excentricité. Les études chez le sujet sain ont montré qu'en dépit de la faible résolution nous étions capables de reconnaître des objets et des scènes (Boucart et al, 2013 ; Thorpe et al, 2001). Ce traitement rapide de l'information est médié par les basses fréquences spatiales (Schyns et Oliva, 1994). Ces résultats sont cohérents avec les résultats obtenus chez les patients avec scotome central. En effet, de nombreuses études démontrent que lorsque la vision centrale fait défaut, les patients étaient capables de reconnaître des objets et des scènes présentés rapidement (Boucart et al, 2008 b ; Tran et al, 2010, 2011 et 2012).

Hors la recherche visuelle implique des fonctions visuelles de plus haut niveau tel que l'identification des objets, l'attention, le contrôle des mouvements oculaires... Yarbus (1967) a montré que l'exploration visuelle d'un sujet diffère selon la tâche à effectuer. Ces processus attentionnels sont guidés par les connaissances en mémoire de l'individu et sont donc plus longs à mettre en place, on parle de processus top-down (Henderson, 2003). Cependant, la recherche visuelle peut, dans certains cas, être guidée par les stimuli. En effet,

lorsqu'un stimulus est saillant, le regard va directement se diriger dessus, on parle de processus attentionnel bottom-up (Bruce et Tsotsos, 2009 ; Neider et Zelinsky, 2006). À partir de cela, des cartes dites de sillance visuelle ont été créées afin de prédire où l'attention d'un sujet va se porter sur une scène (Koch et Ullman, 1985).

Dans l'expérience 1, nous avons examiné l'exploration visuelle des participants (patients et témoins) en situation de vision passive afin de déterminer l'effet de l'encombrement lié aux scènes visuelles en l'absence de tâche. Nous supposons qu'en raison d'une stabilité de fixation plus défaillante et de la grande quantité d'informations contenues dans nos scènes, les patients auraient tendance à moins se focaliser au niveau des AOI comparé aux témoins appariés en âge avec vision normale. L'expérience 2 impliquait une tâche de vision active dans laquelle les participants devaient retrouver un objet cible prédéfini parmi plusieurs autres sous différentes conditions d'encombrement visuel. Notre hypothèse est que, tout comme dans la lecture l'encombrement jouerait un rôle néfaste sur la performance et l'efficacité de recherche visuelle des objets.

Méthodologie :

Participants :

Trente-sept patients atteints de dégénérescence maculaire liée à l'âge (78.24 ans en moyenne), 18 témoins appariés en âge avec vision normale (78.75 ans en moyenne) ont été recrutés au sein du service d'ophtalmologie adulte de l'hôpital saint vincent de Paul à Lille. Nous avons également recruté 12 sujets jeunes (23.75 ans en moyenne) au sein de l'université de Lille afin de dissocier les effets de l'âge et de la pathologie. L'étude était approuvée par le comité d'éthique de Lille et nous avons obtenu le consentement informé écrit de tous nos participants.

En raison d'une instabilité de fixation ou d'une perte de signal trop importante lors de l'expérience nous n'avons pu garder que 17 patients et 12 témoins âgés. Les patients inclus dans cette étude avaient tous une DMLA datant de plus d'un an (de 1 à 8 ans) avec une acuité visuelle (AV) en moyenne de 0.65 LogMAR. La taille de la lésion faisait en moyenne 3.18 et une surface de 7.25 mm². Tous les participants étaient testés

monoculairement. L'œil avec la meilleure acuité visuelle était sélectionné chez les patients avec une atteinte bilatérale. L'œil préféré était choisi pour les deux groupes témoins (âgé et jeune).

Un test neurologique (MMSE : Mini Mental State Examination) était effectué pour exclure toute déficience cognitive chez les patients DMLA et témoins âgés. Ceux pour lesquels le score était inférieur à 25 ou ayant une maladie neurologique, psychiatrique ou autres maladies oculaires pouvant compromettre les fonctions oculomotrices étaient exclus.

Eye tracking :

Les mouvements oculaires des participants étaient enregistrés à l'aide d'un eye tracker mobile (Red-m Sensori-Motoric Instrument, Berlin, Allemagne) basé sur un système infrarouge. Le taux d'échantillonnage était de 60 HZ et une résolution spatiale de moins de 0.1 degré. Ce modèle permettait de maintenir la tête libre et compensait les mouvements de tête. Avant chaque test, une étape de calibration était effectuée correspondant en la fixation de neuf points. Pour cela, il était demandé au sujet de fixer un point au centre de l'écran et de le suivre sur l'écran. Afin de vérifier la concordance du regard sur l'écran, cette étape était effectuée une seconde fois.

Ensuite, nous avons évalué la stabilité de fixation de tous nos participants. Cette étape consistait en la fixation d'un point noir au centre de l'écran pendant 10 secondes. Les données oculaires ont ensuite été extraites à l'aide du logiciel BeGaze et analysées selon les mêmes critères que Crossland et al (2004). Nous obtenions ensuite un score BCEA (Bivariate Contour Ellipse Area) donnant une indication de la stabilité de fixation. Lors de ces deux phases les mouvements oculaires étaient enregistrés binoculairement. Ensuite lors des deux expériences, la mesure était faite monoculairement. En cas d'instabilité de fixation le sujet n'était pas inclus dans notre étude.

Expérience 1 :

Stimuli : Des photographies de scènes du monde réel (**Figure 1A**), au nombre de 20, extraites d'une base de données du laboratoire ont été utilisées. La résolution des images était de 1024x768 pixels affichées sur un écran 17 pouces DELL à une distance d'environ 60 cm.

Procédure : Les participants étaient testés monoculairement. Il était donné pour consigne de regarder où il voulait lorsque les scènes étaient présentées à l'écran. Chaque scène était affichée pendant 10 secondes précédées d'une croix de fixation centrale, affichée pendant une seconde. L'ordre d'apparition des scènes était randomisé.



Figure 1 : A. Exemple de scènes utilisées dans l'expérience 1. B. Carte de saillance visuelle des scènes obtenues à partir des données des sujets jeunes.

Analyse des données : Si plus de 25% des données oculaires étaient manquantes, les données étaient exclues de l'analyse. Sur la base de l'étude de Shakespeare et al (2013), la durée de fixation et l'amplitude des saccades étaient comparées entre les sujets témoins et les patients. Par ailleurs, sur le modèle de Shakespeare et al (2013) une carte de durée de fixation a été créée pour chacune des scènes à partir des données des 12 sujets sains jeunes. Cette carte a été générée grâce au logiciel BeGaze (SMI) avec des paramètres par défaut, c'est-à-dire une largeur de fond (kernel width) de 250 pixels, une opacité de 0,78% et une échelle de données de 1,731ms sur l'ensemble des fixations afin d'obtenir une carte de saillance visuelle. Des régions d'intérêt (AOI = Area Of Interest) ont été créées à partir des zones les plus saillantes (**Figure 1B**). La proportion des fixations dans ces AOI a été calculée pour chacun des groupes DMLA et témoins âgés. La première fixation était omise de

l'analyse. Enfin, en cas de non-respect des conditions d'homogénéité et de normalité, une ANOVA non paramétrique était menée. Des corrélations entre les paramètres clinique (AV LogMAR, diamètre et surface de la lésion) et expérimentales étaient effectuées.

Expérience 2 :

Stimuli : À partir d'une base de données commerciale (Hemera Photo Objects) nous avons sélectionné des objets (naturels et manufacturés) pour créer des images sur lesquels étaient présentés des objets en plus ou moins grand nombre. Six conditions ont été créées selon deux paramètres : (1) l'espacement (espacé vs. encombré) et (2) le nombre d'objets (9, 6 ou 4). Il y avait 16 images dans chacune des six catégories, la moitié avec des objets naturels et l'autre moitié avec des objets manufacturés (**Figure 2**). Les images (1280x1024 pixels) étaient visualisées à environ 60 cm de l'écran.

Procédure : Les participants étaient testés monoculairement sur un bloc contenant 48 images au total. La consigne était de retrouver l'objet demandé par l'expérimentateur juste avant l'apparition de l'essai le plus rapidement possible. Pour donner sa réponse, il était demandé au sujet de fixer l'objet cible et de valider en appuyant sur la barre d'espace. Nous pouvions vérifier si le sujet avait bon ou faux grâce à l'enregistrement des mouvements oculaires. Chaque essai démarrait avec une croix de fixation centrale affichée pendant une seconde puis l'image pendant 30 secondes maximum suivies d'un interstimulus (fond noir) pendant une seconde. L'ordre des images était semi-randomisé c'est-à-dire que quatre blocs d'images ont été déterminés par l'ordinateur puis utilisés comme référence. Les blocs et l'objet cible étaient contrebalancés entre les différents sujets.

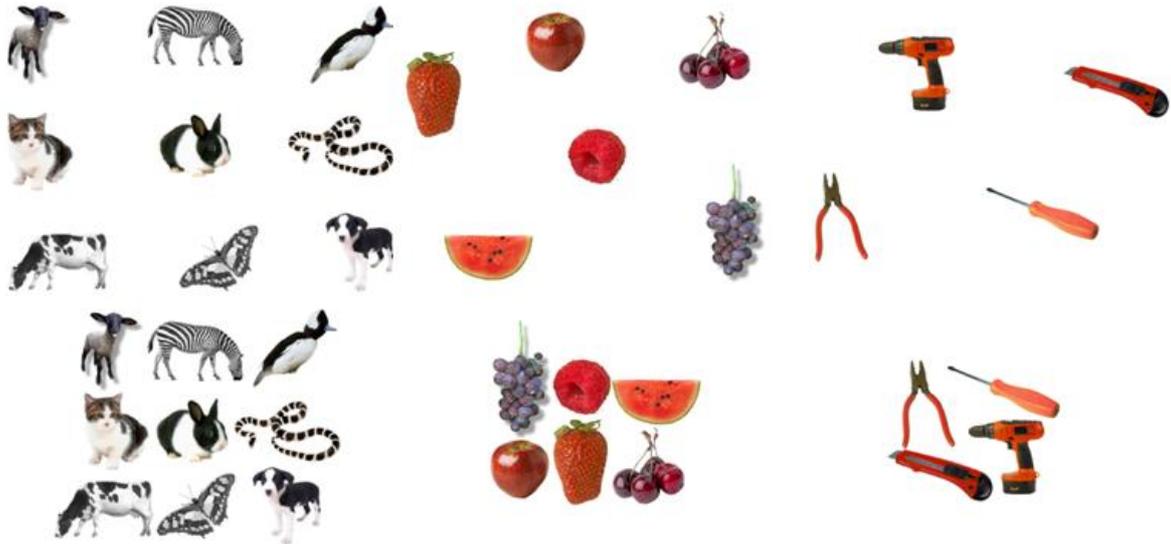


Figure 2 : Exemple de stimuli utilisé dans l'expérience 2. Six conditions différentes : une cible parmi 8 distracteurs (à gauche), 5 distracteurs (au milieu) ou 3 distracteurs (à droite), soit en condition espacée (en haut) ou encombrée (en bas).

Analyse des données : Comme dans l'expérience précédente, lorsque plus de 25% des données oculaires étaient manquantes suite à une perte du signal, les participants étaient exclus de l'analyse. Les mesures d'intérêt étaient : le pourcentage de bonne réponse, le temps de réponse, le nombre de fixations et l'efficacité d'exploration pour trouver la cible. L'efficacité d'exploration était calculée sur la base du ratio entre la distance totale parcourue pour chercher la cible, il s'agit de la différence entre la plus petite distance à parcourir pour trouver la cible et celle parcourue par l'œil du sujet (Brockmole et Henderson, 2006 ; Geringswald et al, 2012). Lorsque les conditions d'homogénéité et de normalité n'étaient pas respectées, une ANOVA non paramétrique était menée. Des corrélations entre les paramètres clinique (AV LogMAR, diamètre et surface de la lésion) et expérimentales étaient effectuées.

Résultats :

-BCEA (Stabilité de fixation) :

La stabilité de fixation moyenne de nos patients DMLA était de 11892 minarc² (SD = 1574) et ne différait pas significativement ($H_{1,29} = 1.23$, $p = 0.27$) de celle de nos sujets témoins appariés en âge avec un score de 7753 minarc² (SD = 1874). Cependant, nous avons mis en évidence un effet de l'âge sur la stabilité de fixation ($H_{1,24} = 9.36$, $p < 0.002$) (**Figure 3**).

Chez les patients, aucune corrélation n'a pu être mise en évidence entre le score du BCEA obtenu et l'AV ($r=0.18$, $p=0.49$), la taille du scotome ($r=0.08$, $p=0.75$) et la surface du scotome ($r=0.16$, $p=0.55$).

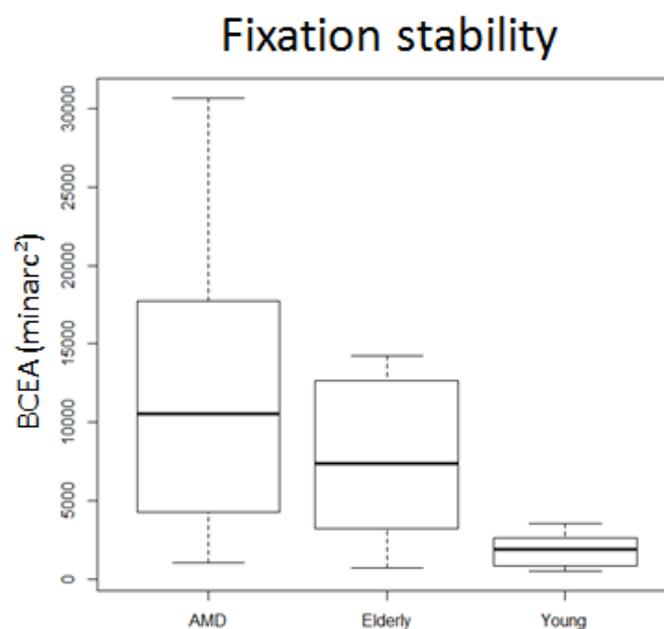


Figure 3 : Stabilité de fixation en minarc² pour les différents groupes.

-Expérience 1 :

Amplitude des saccades : Aucun effet de la pathologie ($H_{1,29} = 2.40$, $p = 0.12$) n'a été mis en évidence entre les DMLA et les témoins âgés à propos de l'amplitude des saccades lors de la perception des scènes.

Durée des fixations : Il n'y avait pas de différence significative entre les patients DMLA et les témoins âgés ($H_{1,29} = 2.27$, $p = 0.13$) pour la durée des fixations.

Proportion des fixations dans les AOI : Nos résultats montrent que, la proportion de fixation dans les AOI, chez les DMLA (15,80% vs 36,55%; $F_{1,38} = 40.24$, $p < 0.000001$) était significativement inférieur à celui des témoins appariés en âge (15,80% vs 26,55%; $F_{1,38} = 10.81$, $p < 0.002$) (**Figure 4**).

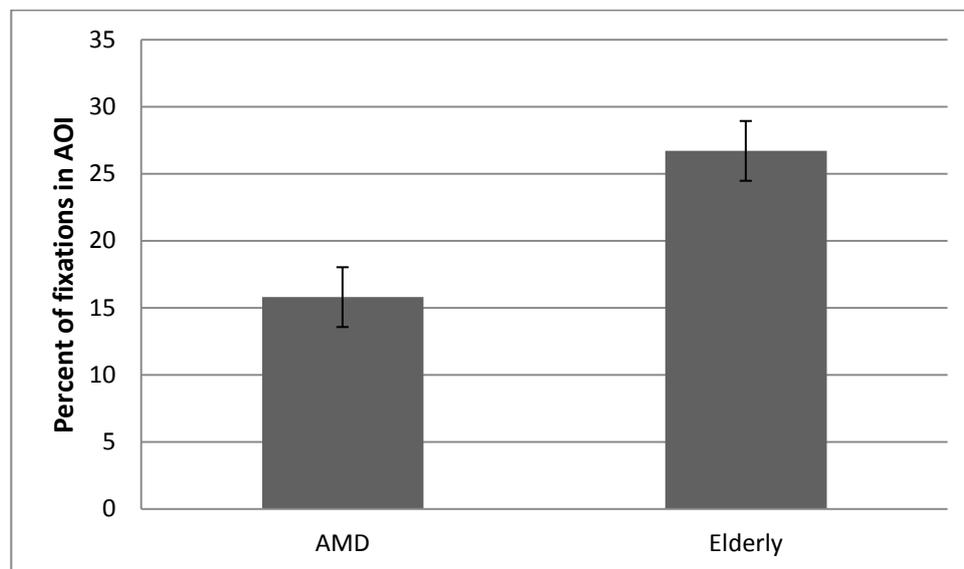


Figure 4 : Proportion des fixations au niveau des zones d'intérêt (AOI) lors de l'exploration des scènes.

-Expérience 2 :

Précision : Un effet du groupe ($H_{2,41} = 23.57$, $p < 0.001$) a été mis en évidence ainsi que de l'image ($\chi^2_{25} = 27.10$, $p < 0.00005$). En effet, nous avons pu constater que la précision générale des patients était plus défailante que celle des témoins ($H_{1,29} = 7.06$, $p < 0.007$) avec respectivement 60 et 74% de cibles correctement trouvée. Un effet de l'âge a également ($H_{1,24} = 12.86$, $p < 0.001$) avec une performance moyenne de 94% pour les sujets jeunes. De plus, l'espacement entre la cible et les distracteurs ont un impact sur la performance des participants ($p < 0.000009$). En effet, les patients étaient significativement moins bons que les témoins âgés (53 vs. 68%; $H_{1,29} = 5.85$, $p < 0.015$) en condition encombrée, eux-même moins bon que les sujets jeunes (68 vs. 93%; $H_{1,24} = 10.93$, $p < 0.001$). Cet effet de la pathologie (67 vs. 79%; $H_{1,29} = 4.24$, $p < 0.04$) et de l'âge (79 vs. 96%; $H_{1,24} = 11.84$, $p < 0.001$) ont également été retrouvés lorsque les objets étaient espacés.

Enfin, le nombre de distracteurs n'avait pas d'impact sur la performance ($\chi^2 = 0.28$, $p = 0.87$).

Temps de recherche : Les patients avec scotome central mettaient plus de temps à rechercher l'objet cible que les sujets sains appariés en âge (4227 vs 2678 ms ; $H_{1,29} = 7.06$, $p < 0.007$). Cependant, les sujets jeunes étaient eux-même plus rapides que les témoins âgés avec vision normale (2678 vs 1766 ms; $H_{1,24} = 6.75$, $p < 0.009$). De plus, nous avons pu mettre en évidence un effet du nombre de distracteur ($\chi^2 = 40.95$, $p < 0.001$) mais pas de l'espacement ($p = 0.62$). En effet, les patients sont significativement moins bons que les sujets sains du même âge lorsque la cible est au milieu de 8 distracteurs, (5096 vs 3179 ms ; $H_{1,29} = 4.90$, $p < 0.026$) et il y a une tendance lorsqu'ils sont 5 (4500 vs 2962 ms ; $H_{1,29} = 2.98$, $p = 0.08$) et 3 (3809 vs 2656 ms ; $H_{1,29} = 3.46$, $p = 0.06$) (**Figure 5A**). Ceci a également été retrouvé entre les âgés et les jeunes avec 8 (3179 vs 2053 ms; $H_{1,24} = 7.05$, $p < 0.007$), 5 (2962 vs 1817 ms; $H_{1,24} = 5.07$, $p < 0.024$) et 3 (2656 vs 1675 ms; $H_{1,24} = 6.45$, $p < 0.011$) distracteurs. Une légère corrélation entre le temps de recherche mis par les patients et la taille du scotome a été mis en évidence ($r=0.49$, $p < 0.05$).

Nombre de fixations : Aucun effet du groupe ($p = 0.26$) n'a été retrouvé sur le nombre de fixations nécessaires pour retrouver l'objet ($H_{2,41} = 2.69$, $p = 0.26$). Cependant, l'image avait un impact ($\chi^2 = 46.09$, $p < 0.001$), notamment le nombre de distracteurs ($\chi^2 = 17.28$, $p < 0.00016$) (**Figure 5B**).

Ratio d'exploration : Tout comme précédemment nous n'avons pas mis en évidence d'effet du groupe ($p = 0.36$). De plus, aucun effet d'encombrement ($p = 0.54$) ni du nombre de distracteurs n'est ressorti ($p = 0.09$) (**Figure 5C**).

Discussion :

Le but de cette étude était de déterminer l'impact de l'encombrement sur la recherche visuelle d'objets lorsque la vision centrale fait défaut mais aussi comment le scotome central affecte le guidage de l'information visuelle basée sur la salience. Nous avons démontré que l'absence de champ visuel central engendrait de grosses difficultés dans la recherche de l'objet cible et notamment lorsque l'encombrement était important.

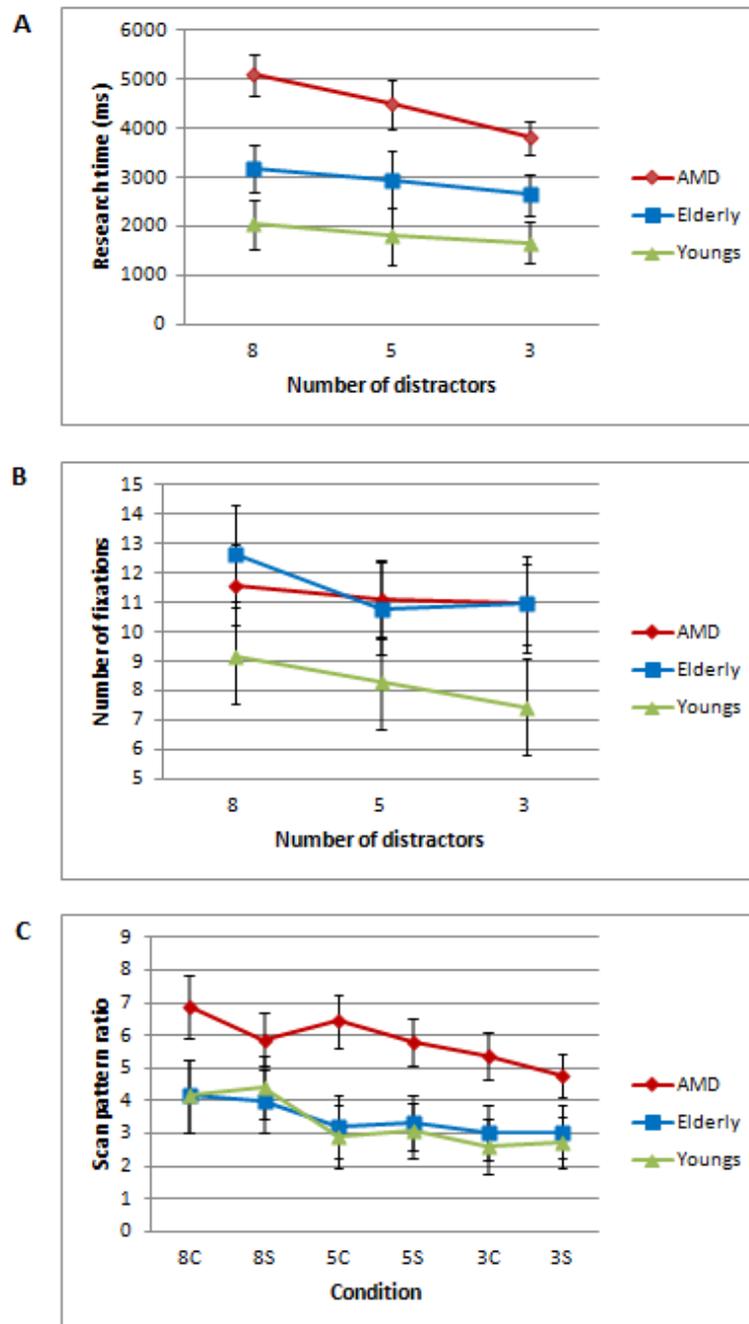


Figure 5 : A. Temps de recherche visuelle (ms) en fonction du groupe et du nombre de distracteurs. B. Nombre de fixations moyenne pour trouver l'objet cible en fonction du groupe et du nombre de distracteurs. C. Ratio d'exploration en fonction du groupe et de la condition c'est-à-dire du nombre de distracteurs et de l'espacement (C : encombré, S : espacé).

Nous avons mis en évidence un effet de l'âge, avec une augmentation de la latence et une diminution des performances des sujets sains âgés en comparaison avec les jeunes. Selon certaines études (Kramer et al, 2000 ; Watson et Maylor, 2002), il y aurait un déclin de la guidance attentionnelle top-down avec l'âge. Par conséquent, les sujets âgés auraient plus de difficultés à inhiber leur regard en présence de distracteur, diminuant ainsi l'efficacité attentionnelle top-down. Mais, selon Madden et al (2005) seuls certains aspects de celle-ci seraient altérés tandis que d'autres seraient préservés. Ils suggèrent par exemple que la composante explicite serait préservée et sa contribution augmenterait avec l'âge mais serait plus bruitée que chez les sujets jeunes.

Par ailleurs, l'absence de vision centrale aggravait ces déficiences liées à l'âge. En effet, de nombreux travaux ont été rapportés une augmentation de temps de recherche et une moindre capacité à retrouver un objet cible chez les personnes avec scotome central (Tadin et al, 2012 ; Van der Stigchel et al, 2013) et scotome artificiel (Bertera, 1988 ; Cornelissen et al, 2005 ; McIlreavy et al, 2012). L'absence de vision centrale oblige les patients à se référer à leur vision périphérique. Or, il est bien connu que la faible résolution de la vision périphérique est délétère pour des tâches d'ordre supérieur tel que l'identification ou la recherche visuelle (Liu et al, 2007 ; Strasburger et al, 1991 ; Strasburger et Rentschler, 1996) contrairement à une tâche de catégorisation simple (Schyns et Oliva, 1994). En accord avec la littérature (Pelli et Tillman, 2008 ; Tadin et al, 2012), l'effet du scotome était amplifié lorsque l'objet cible était présenté en condition d'encombrement visuel (grand nombre de distracteur et/ou faible espacement entre objets cible et distracteurs). Des études sur la lecture ont montré que l'encombrement visuel avait un impact néfaste sur la vitesse de lecture des patients avec scotome central (Blackmore-Wright et al, 2013 ; Calabrèse et al, 2010). Tout comme dans la lecture, lorsque nous atténuons l'encombrement, nous avons pu constater une amélioration significative de la performance des patients, restant toutefois inférieure à celle des témoins. Cependant, il a été rapporté que les déficits de lecture peuvent être dû également à une instabilité de fixation (Crossland et al, 2004 ; Falkenberg et al, 2007).

C'est pourquoi, l'enregistrement des mouvements oculaires peut nous aider à déterminer l'origine de la déficience des patients lors de la recherche visuelle. En accord avec les travaux de Geringswald et al (2012) chez le sujet sain avec scotome artificiel,

l'absence de vision centrale ne nécessitait pas plus de fixations pour trouver l'objet cible. Selon les auteurs, ceci serait le reflet d'un plus grand contrôle de l'exploration visuelle par le biais de processus attentionnels top-down. En effet, Szlyck et collaborateurs (2009) démontrent que l'absence de vision centrale était corrélée à plus grande activation fronto-pariétale. Ceci serait donc un système de compensation faisant suite à l'altération de la perception visuelle causée à une dégénérescence maculaire. Il n'en reste pas moins que celui-ci à un « coût » augmenta ainsi le temps de recherche visuelle des patients.

Ce contrôle top-down n'est toutefois pas aussi efficace qu'en l'absence de scotome. En effet, le ratio d'exploration, qui reflète la différence entre la trajectoire parcourue par l'oeil du sujet pour trouver la cible et la trajectoire la plus directe, on constate que l'exploration visuelle des patients est plus étendue (Geringswald et al, 2012). Ces résultats, associés à un nombre de fixation identique à celui observé chez le groupe témoin, reflètent une inefficacité de l'exploration visuelle des patients. Cependant, nous n'avons pas pu montrer de différence statistique. Ceci peut être dû à la fois à l'hétérogénéité du groupe de patients mais aussi à un groupe de témoins âgés trop faible.

Lors de la perception passive de scènes (guidance attentionnelle bottom-up), on constate que le pattern de fixation diffère avec l'âge dû à un déclin de contrôle attentionnel top-down, référé précédemment. Cette différence de pattern de fixation est d'autant plus marquée lorsque vision centrale fait défaut. En effet, seules 16% des fixations des patients tombent sur les zones d'intérêt, définies à partir des données des sujets jeunes, contre respectivement 27 et 37% pour les sujets âgés et jeunes. Ces résultats peuvent s'expliquer par une fixation moins stable (Tarita-Nistor et al, 2011 ; Whittaker et al, 1988) que celle des sujets sains et une perception grossière de la scène liée à l'utilisation de la vision périphérique.

Pour conclure, notre étude montre que l'absence de vision centrale est délétère pour retrouver un objet cible, et ceci d'autant plus en situation d'encombrement visuel. L'efficacité de recherche visuelle tend à être nettement impactée par la présence du scotome. Or nous n'avons pas de différence significative, c'est pourquoi nous envisageons de recruter plus de participants notamment des témoins âgés, afin d'affiner nos résultats. Ce

déficit d'exploration visuelle se retrouve également en l'absence de consigne pendant une tâche de perception des scènes.

Références:

- Bertera JH. The effect of simulated scotomas on visual search in normal subjects. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1988; 29(3): 470-5.
- Blackmore-Wright S1, Georgeson MA, Anderson SJ. Enhanced text spacing improves reading performance in individuals with macular disease. *PLoS One.* 2013; 8(11): e80325.
- Boucart M, Dinon J-F, Desprez P, Desmettre T, Hladiuk K and Oliva A. Recognition of facial emotion in low vision: A flexible usage of facial features. *Visual Neuroscience.* 2008 (a); 25(4): 603-9.
- Boucart M, Desprez P, Hladiuk K and Desmettre T. Does contexte or color improve object recognition in patients with low vision? *Visual Neuroscience.* 2008 (b); 25(5-6): 685-91.
- Boucart M, Moroni C, Thibaut M, Szafrarczyk S et Greene M. Scene categorization at large visual eccentricities. *Vision Res.* 2013; 86: 35-42
- Brockmole JR et Henderson JM. Recognition and attention guidance during contextual cueing in real-world scenes: evidence from eye movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology.* 2006; 59(7): 1177-87.
- Bruce ND et Tsotsos JK. Saliency, attention, and visual search: an information theoretic approach. *J Vis.* 2009; 9(3): 1-24.
- Calabrèse A, Bernard J-B, Hoffart L, Faure G, Barouch F, Conrath J and Castet E. Small Effect of Interline Spacing on Maximal Reading speed in low-vision with central field loss irrespective of scotoma size. *Visual Psychophysics and Physiological Optics.* 2010; 51(2): 1247-54.
- Cornelissen FW, Bruin KJ et Kooijman AC. The influence of artificial scotomas on eye movements during visual search. *Optom Vis Sci.* 2005; 82(1): 27-35.
- Crossland MD, Culham LE et Rubin GS. Fixation stability and reading speed in patients with newly developed macular disease, *Ophthalmology Physiological Optics.* 2004; 24(4): 327-333.
- Falkenberg HK1, Rubin GS, Bex PJ. Acuity, crowding, reading and fixation stability. *Vision Res.* 2007; 47(1): 126-35.
- Geringswald F, Baumgartner F et Pollmann S. Simulated loss of foveal vision eliminates visual search advantage in repeated displays. *Front Hum Neurosci.* 2012; 6: 134.
- Henderson JM. Human gaze control during real-world scene perception. *Trends Cogn Sci.* 2003; 7(11): 498-504.
- Koch C et Ullman S. Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry. *Hum Neurobiol.* 1985; 4(4): 219-27.
- Kramer AF, Hahn S, Irwin DE etTheeuwes J. Age differences in the control of looking behavior: do you know where your eyes have been? *Psychol Sci.* 2000; 11(3): 210-7.

Leat SJ, Li W et Epp K. Crowding in central and eccentric vision: the effects of contour interaction and attention. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1999; 40(2): 504-12.

Liu L, Kuyk T et Fuhr P. Visual search training in subjects with severe to profound low vision. *Vision Res*. 2007; 47(20): 2627-36.

Madden DJ, Whiting WL, Spaniol J et Bucur B. Adult age differences in the implicit and explicit components of top-down attentional guidance during visual search. *Psychol Aging*. 2005; 20(2): 317-29.

McIlreavy L, Fiser J et Bex PJ. Impact of simulated central scotomas on visual search in natural scenes. *Optom Vis Sci*. 2012; 89(9): 1385-94.

Neider MB et Zelinsky GJ. Scene context guides eye movements during visual search. *Vision Res*. 2006; 46(5): 614-21.

Pelli DG et Tillman KA. The uncrowded window of object recognition. *Nat Neurosci*. 2008; 11(10): 1129-35.

Rubin GS et Feely M. The role of eye movements during reading in patients with age-related macular degeneration (AMD). *Neuro-Ophthalmology*. 2009; 33(3): 120–126.

Schyns PG et Oliva A. From blobs to boundary edges: evidence for time and spatial scale dependent scene recognition. *Psychol. Sci*. 1994; 5(4): 195-200.

Shakespeare TJ, Yong KX, Frost C, Kim LG, Warrington EK et Crutch SJ. Scene perception in posterior cortical atrophy: categorization, description and fixation patterns. *Front Hum Neurosci*. 2013; 7: 621

Strasburger H, Harvey LO et Rentschler I. Contrast threshold for identification of numeric characters in direct and eccentric view. *Percept Psychophys*. 1991; 49: 495–508.

Strasburger H et Rentschler I. Contrast-dependent dissociation of visual recognition and detection fields. *Eur J Neurosci*. 1996; 8: 1787–91.

Szlyk JP et Little DM. An fMRI study of word-level recognition and processing in patients with age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2009; 50(9): 4487-95.

Tadin D, Nyquist JB, Lusk KE, Corn AL et Lappin JS. Peripheral vision of youths with low vision: motion perception, crowding, and visual search. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012; 53(9): 5860-8.

Tarita-Nistor L, González EG, Markowitz SN, Lillakas L et Steinbach MJ. Increased role of peripheral vision in self-induced motion in patients with age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2008; 49(7): 3253-58.

Tejeria L, Harper RA, Artes PH, Dickinson CM. Face recognition in age related macular degeneration: perceived disability, measured disability, and performance with a bioptic device. *Br J Ophthalmol*. 2002; 86(9): 1019-26.

Thorpe SJ, Gegenfurtner KR, Fabre-Thorpe M et Bülthoff HH. Detection of animals in natural images using far peripheral vision. *Eur J Neurosci*. 2001; 14(5): 869-76.

Timberlake GT, Mainster MA, Peli E, Augliere RA, Essock EA et Arend LE. Reading with a macular scotoma. I. Retinal location of scotoma and fixation area. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1986; 27(7): 1137-47.

Tran TH, Despretz P et Boucart M. Scene perception in age-related macular degeneration: the effect of contrast. *Optom Vis Sci.* 2012; 89(4): 419-25

Tran THC, Guyader N, Guerin A, Despretz P and Boucart M. Figure Ground Discrimination in Age-Related Macular Degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011; 52(3): 1655-60.

Tran THC, Rambaud C, Despretz P and Boucart M. Scene Perception in Age-Related Macular Degeneration, *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010; 51(2): 6868-74.

Van der Stigchel S, Bethlehem RA, Klein BO, Berendschot TT, Nijboer TC et Dumoulin SO. Macular degeneration affects eye movement behavior during visual search. *Front Psychol.* 2013; 6(1): 1-11.

Watson DG et Maylor EA. Aging and visual marking: selective deficits for moving stimuli. *Psychol Aging.* 2002; 17(2): 321-39.

Whittaker SG1, Budd J, Cummings RW. Eccentric fixation with macular scotoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1988; 29(2): 268-78.

Étude 6 :

Capacités de recherche visuelle de patients avec scotome central dans des environnements panoramique.

(En préparation)

Résumé :

Introduction :

La dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) est une pathologie rétinienne qui affecte la vision centrale et toutes les fonctions visuelles de la vision centrale incluant la reconnaissance des objets et des visages. De ce fait, les personnes avec une DMLA doivent se fier à la faible résolution de la vision périphérique. D'importantes recherches se sont focalisées sur la compréhension des aspects comportementaux des déficiences des patients avec une DMLA dans des tâches visuelles. Cependant, beaucoup de ces études impliquent des images de petite taille affichées sur un écran d'ordinateur. Ici, nous examinons la recherche d'objets dans des conditions réalistes en utilisant des scènes d'intérieur affichées sur un écran panoramique de 5m de diamètre couvrant l'ensemble du champ visuel.

Méthode :

Nous avons évalué des patients avec une DMLA bilatérale ainsi que deux groupes de sujets témoins avec vision normale, l'un étant apparié en âge aux DMLA, l'autre étant composé de sujets jeunes. Il était demandé à nos participants de trouver un objet dans une scène. Celui-ci pouvait être cohérent avec le fonds (e.g., un sèche-cheveux dans une salle de bain) ou incohérent (i.g. un sèche-cheveux dans une cuisine), mais il pouvait également être présent ou absent de la scène. Pour trouver l'objet, les sujets devaient se "déplacer" dans des scènes de 280° à l'aide d'un joystick et répondre à l'aide de deux boutons réponses. Les variables d'intérêt étaient le temps de recherche, la précision et l'exploration.

Résultats :

Le taux d'erreur chez les DMLA était significativement plus élevé par rapport aux sujets témoins appariés en âge, et ils avaient besoin de plus de temps pour trouver l'objet. Quand l'objet à rechercher était incohérent avec le contexte, nous avons pu constater qu'il était détecté plus facilement par les participants, et ils faisaient moins d'erreurs. Enfin, lorsque l'objet cible était absent, les trois groupes se « déplaçaient » plus dans la scène que lorsqu'il était présent.

Conclusion :

Les études examinant l'impact d'un scotome artificiel sur la recherche visuelle d'une cible dans une scène ont montré une diminution de la précision, et un temps de recherche plus long, en comparaison à une condition sans scotome. Nos résultats sont en accord avec ces données et permettent de les étendre à des conditions panoramiques réalistes.

Les études avec environnements 3D réalistes peuvent servir comme base pour le développement de nouvelles stratégies pour l'adaptation de l'environnement physique des lequel vivent et interagissent les individus avec une déficience de la vision spatiale.

Capacités de recherche visuelle de patients avec scotome central dans des environnements panoramique.

Miguel Thibaut¹, Thi Ha Chau Tran² & Muriel Boucart¹

¹ SCALab UMR CNRS 9193, Université Lille Nord de France.

² Hôpital Saint-Vincent de Paul, Service d'ophtalmologie adulte, Lille, France.

Introduction :

Les patients atteints d'une maculopathie bilatérale sont contraints d'utiliser la rétine périphérique en permanence pour accomplir les tâches du quotidien. Il est largement admis que la perte de vision centrale conduit les patients à développer un point de fixation extra-fovéale communément appelée PRL (Preferred retinal locus). Cette PRL est relativement instable et nécessite un temps d'adaptation (Crossland et al, 2004 a ; Timberlake et al, 1986). Tarita-Nistor et al (2011) ont montré qu'en fonction des conditions de visualisation, la stabilité de fixation était différente. En effet, en condition monoculaire l'œil le plus mauvais présentait un score BCEA (Bivariate Contour Ellipse Area) nettement supérieur à celui du meilleur œil. Par contre en condition binoculaire, le score était « normalisé » c'est-à-dire que le score BCEA obtenu était proche de celui obtenu avec le meilleur œil en monoculaire. Il y a donc des phénomènes de compensation du meilleur œil vis-à-vis du plus mauvais. De plus, Crossland et al (2004 b) ont également rapporté une différence de stabilité de fixation qui était fonction du degré d'altération de la macula chez un patient DMLA. Les auteurs ont également montré que le patient utilisait plus l'un ou l'autre des deux yeux en fonction de la tâche. Par exemple, l'œil le moins atteint et le plus stable, servait plutôt pour la lecture, tandis que l'autre était plutôt utilisé pour naviguer. Ses travaux démontrent bien un phénomène d'adaptation des patients, mais ceci n'a pas fait l'objet d'études sur la perception des objets dans des conditions réalistes.

C'est pourquoi, nous examinons l'impact de la perte de la vision centrale dans des scènes panoramique 3D. Cela permet de se rapprocher des conditions écologiques, rencontrées

dans la vie de tous les jours. Les études sur la perception des objets et des scènes ont montré que la vision périphérique était suffisante pour la catégorisation des objets et des scènes (Boucart et al, 2013 a ; Thorpe et al, 2001). Les études chez les patients avec scotome central confirment ces résultats (Boucart et al, 2013 b ; Tran et al, 2010 et 2011). Or, ces études impliquent des processus de bas niveau, lié au traitement précoce et global de l'information visuelle, comme les statistiques d'image (Greene et Oliva, 2009). Cependant, à l'exception des phénomènes de pop-out, la recherche visuelle nécessite un traitement beaucoup plus fin du signal (traitement de haut-niveau) et donc plus long à mettre en œuvre. Ces processus sont sous l'influence de la tâche (Torralba et Oliva, 2006 ; Yarus, 1967) et de facteurs endogènes, on parle de processus attentionnel top-down.

Le but de cette expérience est d'étudier l'adaptation fonctionnelle des patients avec scotome central dans une tâche de recherche visuelle d'objet dans des scènes d'intérieur en condition 3D. Pour cela, il était demandé aux participants de retrouver un objet donné dans une scène d'intérieur panoramique en 3D selon différentes conditions. En effet, au quotidien, nous recherchons des objets qui nous sont familiers et dans des endroits généralement compatibles avec cet objet (e.g. un sèche-cheveux dans une salle de bain) mais il peut arriver que cet objet se trouve dans des endroits moins compatibles (e.g. dans le garage par exemple). Les informations fournies par le contexte facilitent la recherche et la reconnaissance des objets, notamment lorsque ce contexte est compatible ou familier, guidé par des influences top-down (Hidalgo-Sotelo et al, 2005). Nous faisons l'hypothèse que les patients vont prendre plus de temps à retrouver la cible. En effet, lorsque la vision centrale fait défaut, le temps mis pour retrouver un objet dans une scène est plus long que celui d'un sujet sain (Geringswald et al, 2015 ; Tadin et al, 2012). Ceci serait dû à une plus faible résolution spatiale de la vision périphérique (Geringswald et al, 2015) ce qui engendre une demande attentionnelle plus importante (Szlyck et al, 2009). Cependant, la cohérence de l'objet avec son contexte a un effet sur les capacités de reconnaissance de l'objet (Boucart et al, 2013 b ; Fize et al, 2011 ; Joubert et al, 2008 ; Rémy et al, 2013 ; Tran et al, 2011). En effet, un objet dans un contexte cohérent tel qu'une perceuse dans un garage sera plus facilement et rapidement reconnu qu'un objet dans un contexte moins probable comme un sèche-cheveux dans garage. Ce phénomène serait dû selon certains auteurs (Bar et Ullman, 1996 ; Palmer, 1975) à une association par notre cerveau de certains objets à des contextes

donnés lorsqu'ils sont perçus ensemble de manière répétée au cours de notre vie. Par conséquent, on peut s'attendre à une facilitation de la recherche visuelle lorsque l'association objet-contexte serait cohérente. En condition incohérente, on peut s'attendre à une dégradation des performances plus importantes chez les patients en raison des résultats rapportés par Boucart et al (2013 b). En effet, ils ont comparé l'effet de la tâche sur le traitement contextuel des objets. Dans un premier temps, il était donné pour consigne de catégoriser un type de cible indépendamment du contexte (traitement implicite), ensuite les participants devaient catégoriser les objets présentés soit dans un contexte cohérent ou incohérent (traitement explicite). Les auteurs rapportent que les patients DMLA étaient défaillants lorsqu'ils devaient associer explicitement un objet à son contexte.

Méthodologie :

Participants :

Nous avons inclus au total de 21 patients atteints de dégénérescence maculaire liée à l'âge bilatérale (âgés de 81.4 ans en moyenne), 16 témoins appariés en âge avec vision normale (80.3 ans en moyenne), et 16 témoins jeunes (22.7 ans en moyenne). Les patients ainsi que les témoins appariés en âge ont tous été recrutés au sein du service d'ophtalmologie adulte de l'hôpital Saint Vincent de Paul à Lille. Les sujets jeunes ont été recrutés à l'université de Lille. Nous avons inclus des participants jeunes afin de dissocier les effets de l'âge de ceux liés à la pathologie. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique de Lille et nous avons obtenu le consentement écrit de tous nos participants.

Nos patients présentaient tous une DMLA de plus d'un an (3,3 ans en moyenne) au niveau des deux yeux. Les données cliniques des patients sont présentées dans le **Tableau 1**.

Un test neuropsychologique (MMSE : Mini Mental State Examination) a été réalisé chez les patients et les témoins âgés en vue d'exclure les personnes présentant une détérioration cognitive. Tout participant ayant un score inférieur à 25/30 était exclu. De plus, tout participant présentant une maladie neurologique, psychiatrique ou autres maladies oculaires pouvant compromettre les fonctions visuo-cognitives était exclu.

Stimuli : Douze scènes d'intérieur ont été créées à l'aide du logiciel Mindscape Architecture 3D expert. Ces scènes représentaient des garages, cuisines, chambres et salons. Chaque scène pouvait être perçue selon l'un des quatre angles de vue et décomposée en 11 images (**Figure 1**).

	Right eye					Left eye				
	Age	AMD type	VA log MAR	GLD (μm)	SA (mm^2)	AMD type	VA log MAR	GLD (μm)	SA (mm^2)	
AMD1	83	neovascular	0,4	3695	7,95	neovascular	1,4	4815	13,97	
AMD2	90	CNV-GA	1,0	4679	12,22	CNV-GA	1,0	4266	10,92	
AMD3	87	neovascular	0,9	3936	10,79	neovascular	1,0	6258	23,36	
AMD4	90	neovascular	0,8	3931	4,37	neovascular	2,3	3406	5,91	
AMD5	81	atrophic	0,6	2495	3,93	neovascular	0,8	2928	3,89	
AMD6	88	neovascular	2,3	7511	38,30	neovascular	0,8	4912	15,31	
AMD7	75	atrophic	0,6	1414	1,17	atrophic	0,6	1190	0,97	
AMD8	79	neovascular	0,4	4416	14,33	atrophic	0,8	3592	7,54	
AMD9	81	CNV-GA	0,8	4988	16,27	atrophic	0,8	6288	27,98	
AMD10	77	CNV-GA	0,4	1737	2,33	CNV-GA	0,7	2246	2,33	
AMD11	78	neovascular	0,4	2594	3,98	neovascular	0,3	2536	4,21	
AMD12	65	atrophic	0,4	5842	14,56	atrophic	0,4	4580	8,91	
AMD13	78	neovascular	0,3	2521	4,50	atrophic	1,3	2605	5,18	
AMD14	72	atrophic	0,9	4476	10,33	neovascular	0,3	6695	20,22	
AMD15	86	CNV-GA	0,9	3410	7,92	atrophic	0,3	2798	5,24	
AMD16	73	CNV-GA	0,5	2250	3,00	CNV-GA	0,6	1791	2,27	
AMD17	85	atrophic	0,6	2670	4,67	atrophic	1,2	2641	4,71	
AMD18	86	neovascular	0,8	4180	11,51	neovascular	0,3	3178	5,98	
AMD19	90	neovascular	0,4	2271	3,09	atrophic	1,3	2899	6,25	
AMD20	83	neovascular	0,3	4360	11,39	atrophic	1,3	4251	14,71	
AMD21	85	atrophic	0,7	4323	13,81	atrophic	0,7	4685	13,84	

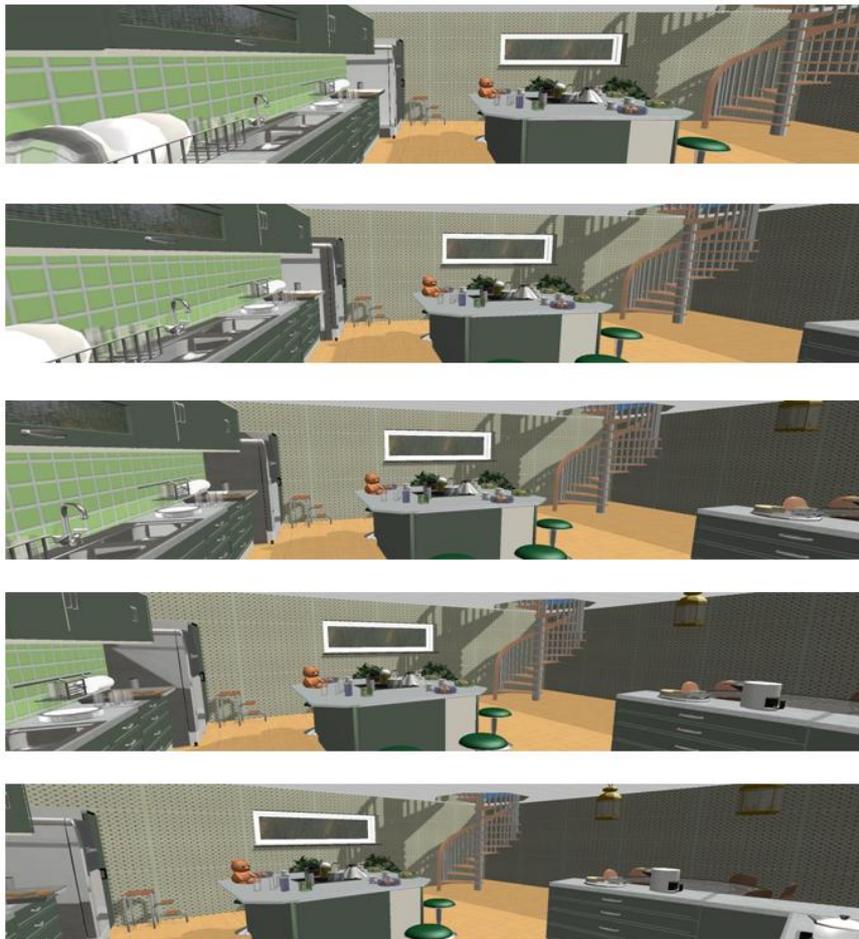
Tableau 1 : Données clinique des patients inclus dans l'étude (CNV = néovascularisation choroïdienne ; GA = atrophie géographique ; VA = acuité visuelle ; GLD = diamètre de la lésion ; SA = surface de l'atrophie).

Appareil : Les scènes étaient présentées sur un écran rigide panoramique (2,4 m de haut sur 5 m de diamètre), couvrant les 180 degrés du champ visuel. La projection se faisait à l'aide de 3 projecteurs HD pilotés par un programme Matlab. De plus, un logiciel de correction de courbure (Immersive Display Pro) a été utilisé. Les participants avaient la tête fixée par une mentonnière à 2 m du centre de l'écran et disposaient d'une manette à portée de main.

Procédure : À chaque essai le nom d'un objet cible était affiché sur la vue de départ dans la partie supérieure et l'image de l'objet à rechercher était présentée au sujet afin qu'il n'y ait pas de malentendu sur l'apparence de l'objet-cible. Cet objet cible pouvait être

présent ou absent de la scène mais aussi cohérent (e.g. une hache dans un garage) ou incohérent (e.g. une hache dans une chambre) avec le contexte global de la scène. Les participants pouvaient naviguer dans la scène à gauche et à droite sur 280° grâce au joystick sans contrainte de temps. La réponse était donnée à l'aide de deux boutons (cible présente versus absente). Au total, chaque participant était testé sur un bloc de 48 scènes composé de 12 environnements d'intérieur vu sous 4 angles différents. Le point de départ variait entre les positions 3, 5, 7 et 9. Il était contrebalancé entre les essais et les participants. L'objet cible était présent dans la moitié des 48 scènes.

Peluche



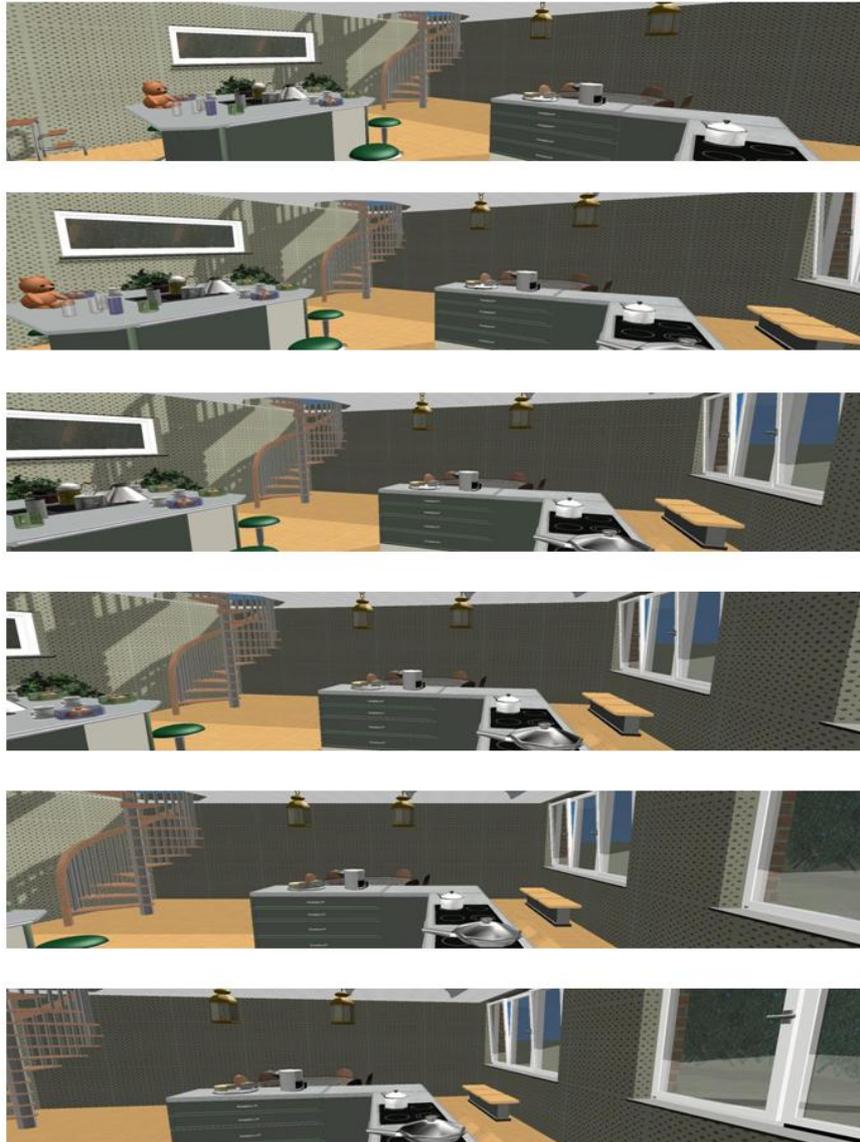


Figure 1 : Exemple de rotation de la scène vers la droite sur 100 degrés d'un bout à l'autre.

Analyse des données :

Les variables d'intérêt étaient : nous avons mesuré la sensibilité (d'), le taux d'erreurs, le temps de réponse et le nombre de déplacements. Lorsque les conditions d'homogénéité et de normalité n'étaient pas respectées, une ANOVA non paramétrique était réalisée. Des corrélations entre les paramètres clinique (AV LogMAR, diamètre et surface de la lésion) et expérimentales ont été calculées.

Résultats :

Indice de sensibilité (d') : Nos données montrent un effet du groupe sur le d' ($H_{2,53} = 25.30$, $p < 0.001$). Il reflète à la fois un effet de la pathologie ($p < 0.001$) et de l'âge ($p < 0.003$). De plus, la cohérence de l'objet-cible avec son contexte affecte la sensibilité des participants ($p < 0.04$), ceci étant observé entre les jeunes et les sujets âgés (effet du vieillissement normal, avec respectivement 4,99 pour les jeunes et 2,57 pour les âgés en condition cohérente avec $p < 0.003$ et 5,31 et 3,82 en condition incohérente ; $p < 0.003$) et entre les patients et les témoins appariés en âge (effet de la pathologie, avec respectivement 1,89 pour les DMLA et 2,57 pour les âgés en condition cohérente avec $p < 0.065$ et 2,12 et 3,82 en condition incohérente ; $p < 0.001$) (**Figure 2A**).

Taux d'erreur : Nous avons observé un effet principal du groupe ($H_{2,532} = 28.08$, $p < 0.001$), à la fois lié à l'âge (6,8% pour les jeunes vs 16,0% pour les âgés ; $p < 0.001$) et à la pathologie (16,0% pour les âgés vs 23,0% pour les DMLA ; $p < 0.011$). (**Figure 2B**). Par ailleurs, nous avons observé qu'il y a un effet du contexte ($\chi^2_3 = 38.53$, $p < 0.001$), lié à la cohérence de la cible à son contexte ($p < 0.013$), avec un nombre d'erreurs moins élevé en condition incohérente (**Figure 2B**), mais aussi à la présence de la cible dans la scène (présente vs absente ; $p < 0.003$).

Temps de recherche : Une différence significative était observée entre les groupes ($H_{2,53} = 36.47$, $p < 0.001$) sur le temps mis pour rechercher la cible avec un temps de recherche plus long pour les patients DMLA que pour les témoins appariés en âge (41,5 vs. 23,2 secondes ; $p < 0.001$) ; Eux-même plus lent que les sujets jeunes (23,2 vs 8,7 secondes ; $p < 0.001$). Le temps de réponse était affecté par la condition ($\chi^2_3 = 113.35$, $p < 0.001$), notamment lié à la présence de l'objet cible ($p < 0.001$). Que l'objet soit présent ou absent, il y avait une différence liée à l'âge (cible présente : 5,74 pour les jeunes vs 16,87 sec pour les âgés ; $p < 0.001$, cible absente : 11,61 vs 29,43 ms ; $p < 0.001$) et à la pathologie (cible présente : 33,67 pour les DMLA vs 16,87 pour les âgés ; $p < 0.001$, cible absente 49,31 vs 29,43 ms ; $p < 0.002$) (**Figure 3A**).

En y regardant de plus près, on constate que les patients ont tendance à passer plus de temps sur chaque portion de la scène que les âgés (4,8 vs 3,6 secondes ; $p = 0.08$) et cela est

significativement différent entre jeune et âgés (3,6 vs 1,1 secondes ; $p < 0.001$). Ce résultat est d'autant plus marqué par la cohérence de la cible ($p < 0.001$) (**Figure 3B**).

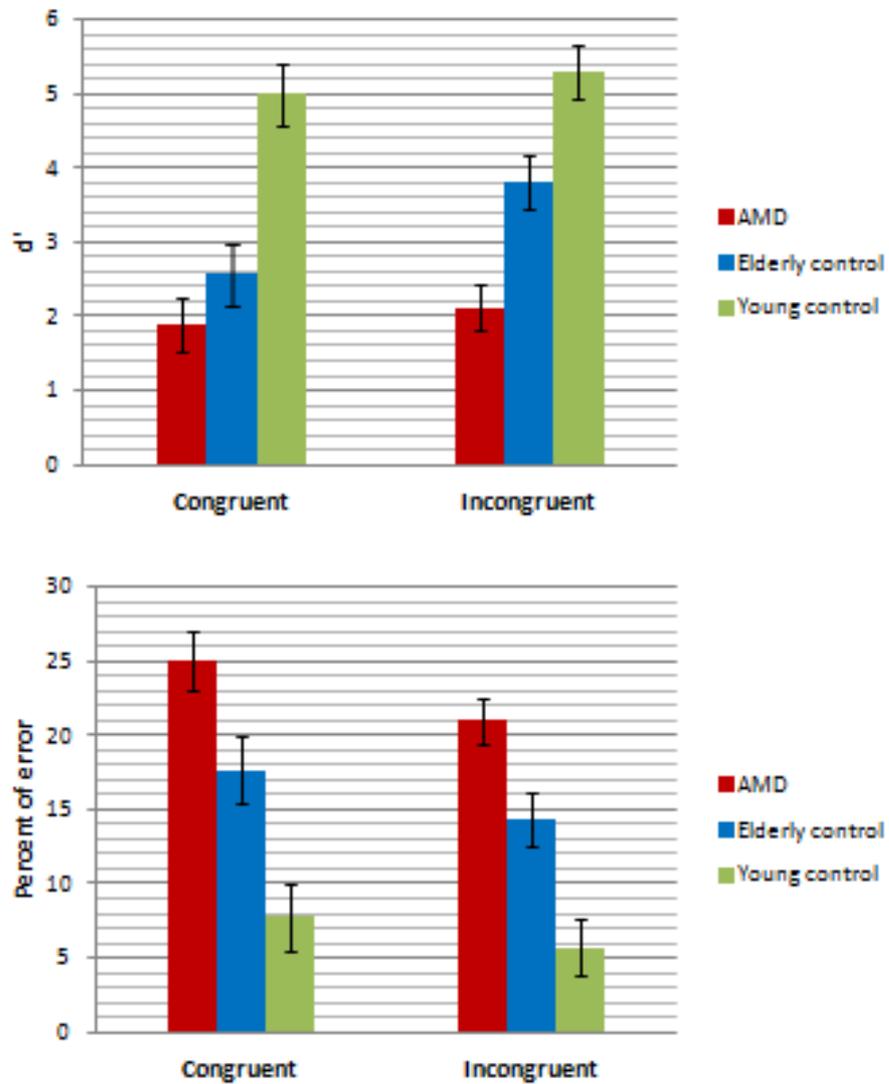


Figure 2 : Index de sensibilité (A) et taux d'erreur (B) des différents groupes en fonction de la cohérence de l'objet-cible avec le contexte.

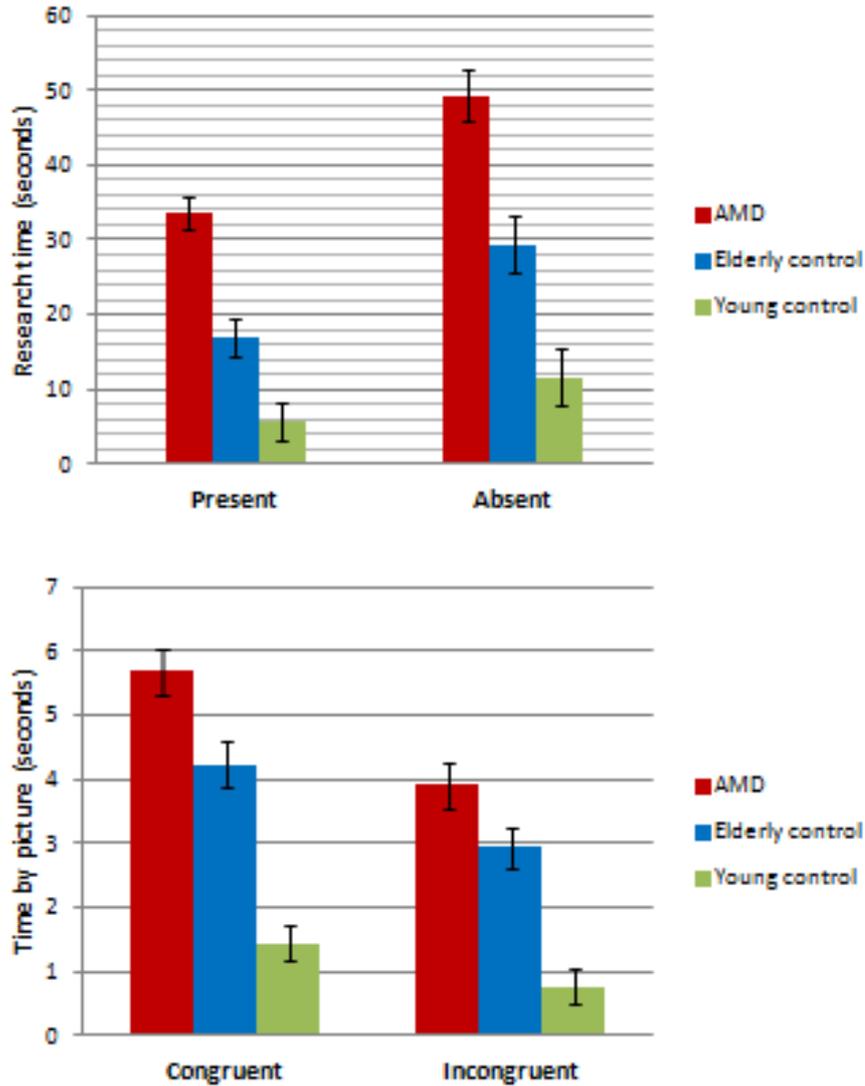


Figure 3 : (A) Temps de recherche visuelle mit pour trouver la cible en fonction du groupe et de la présence ou non de celle-ci. (B) Temps passée sur chaque portion de la scène en fonction du groupe et de la cohérence de la cible à son contexte.

Nombre de déplacement pour trouver l'objet : Cette variable ne montre aucun effet du groupe ($p = 0.13$). Les résultats montrent un effet du contexte ($\chi^2_3 = 117.44$, $p < 0.001$), lié à la fois à la cohérence de l'objet-cible avec le contexte ($p < 0.01$) et à sa présence ($p < 0.001$) (**Figure 4**). C'est-à-dire que l'ensemble des participants se déplacent plus en condition incohérente (10,71 déplacements) qu'en condition cohérente (9,89 déplacements) ; mais au lorsque la cible est absente (14,15 déplacements) comparé à la condition cible présente (6,44 déplacements).

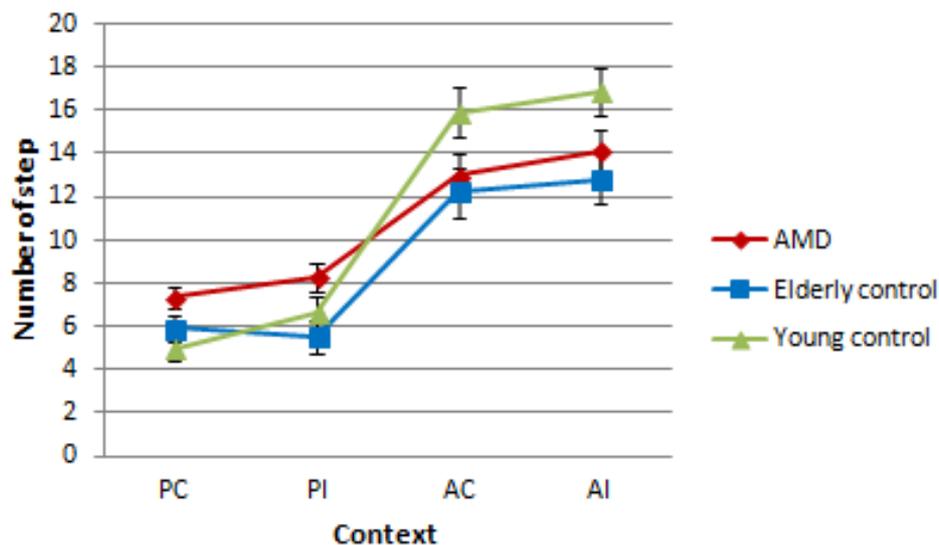


Figure 4 : Nombre de déplacements effectués par les participants lors de la recherche visuelle en fonction des différentes conditions : objet présent cohérent (PC), présent incohérent (PI), absent cohérent (AC) et absent incohérent (AI).

Discussion :

L'objectif de cette étude était, de déterminer l'effet du contexte lors d'une tâche de recherche visuelle d'objet en présence d'un scotome central chez des patients avec une DMLA bilatérale. Pour cela, nous avons recréé des scènes d'intérieur en 3 dimensions au sein desquels nous avons placé, ou non, un objet cible, ce dernier pouvant être cohérent ou incohérent avec le contexte dans lequel il était demandé de le retrouver.

En accord avec la littérature, nous avons montré que l'absence de la cible augmentait le temps de recherche et, dans le cas présent, le nombre de déplacements. En effet, les sujets passent plus de temps à rechercher l'objet cible lorsque celui-ci est absent en comparaison d'une cible présente. Ils vérifient chaque élément afin de s'assurer que la cible est bien absente (Treisman et Gelade, 1980). De plus, la cohérence de la cible avec le contexte impact le nombre de pas, mais aussi l'index de sensibilité (d'), le taux d'erreur et le temps passé sur chaque portion de la scène. Ceci peut être induit par l'attente des participants lorsqu'ils perçoivent le nom de l'objet cible et la scène. Par exemple, si on

demande de rechercher un vase dans un garage, on peut s'attendre à ce qu'il ne soit pas présent dans la scène et que cette supposition influence la réponse. À l'inverse, si l'on demande de chercher un vase dans un salon, la probabilité qu'il soit présent est plus importante. Les attentes des sujets sont probablement à l'origine d'un plus grand nombre d'erreurs en condition incohérente. Cependant, lorsque l'association cible-scène n'est pas cohérente, les participants se déplacent plus. Ce n'est donc pas dû à une recherche moins étendue mais peut-être à un manque de saillance de l'objet cible. Tandis que lorsque l'objet est cohérent avec la scène, ils ont tendance à moins se déplacer, la cohérence fournissant une certaine « saillance sémantique » à l'objet cible.

De nombreuses études ont montré qu'en présence d'une configuration contextuelle « naturelle », autrement dit cohérente, la recherche visuelle était plus rapide (Biederman, 1972 ; Biederman et al, 1982 ; Palmer et al, 1975). Bien que le traitement neuronal des objets dans un contexte cohérent soit plus rapide comparé à des configurations incohérentes (Bar, 2004 ; Bar et Aminoff, 2003), en l'absence de contraintes temporelles aucune différence ne doit être observée entre configuration cohérente et incohérente. Selon certains auteurs, bien que l'attention ne soit pas nécessairement dirigée vers les objets incohérents, lorsque l'œil se pose dessus (fixation), il s'y attarde plus que sur un objet cohérent (De Graef et al, 1990 et 1992). Mudrick et al (2010) montrent cependant que la régularité contextuelle influence les étapes tardives de l'activation des connaissances sémantiques et des processus de prise de décision grâce à la technique des potentiels évoqués. En effet, selon le modèle de schéma perceptif (Palmer, 1975 ; Schyns et Oliva, 1994), lorsque l'on est en présence d'une association contextuelle cohérente entre un objet et la scène, l'identification est plus rapide grâce à une activation des représentations stockées en mémoire contenant des informations sur les objets et la relation spatiale entre eux dans la scène, augmentant ainsi l'attention sélective sur ces caractéristiques et facilitant ainsi la détection. Cet effet de cohérence a un effet bénéfique sur la sensibilité de détection (d') des participants. En effet, ils sont meilleurs lorsque l'association objet cible-scène est incohérente. Ceci peut s'expliquer par un nombre de fausses alarmes significativement inférieur en condition incohérente du fait des connaissances sémantiques et donc que les sujets ne s'attendent pas à retrouver l'objet cible dans ce contexte non compatible.

Par ailleurs, nos résultats montrent qu'il existe un effet de l'âge sur le d' , le taux d'erreur, temps de recherche visuelle et sur le temps passé sur chaque portion de la scène lors de l'exploration de celle-ci. En effet, certains auteurs (Bherer, 2005 ; Lotstra et al, 2003) considèrent que les capacités cognitives telles que l'attention et la mémoire (sémantique et de travail) diminuent avec l'âge. De plus, la « guidance attentionnelle » top-down décline avec l'âge (Kramer et al, 2000 ; Watson et Maylor, 2002), diminuant ainsi l'efficacité d'exploration en présence de distracteurs. Nos résultats montrent que les participants âgés font plus d'erreurs et ont un d' inférieur à celui des sujets jeunes, mais également passent plus de temps à explorer la scène. Ramanoël et al (soumis), ont montré qu'il y a une diminution des capacités de traitement visuel des hautes fréquences spatiales (HFS) chez les sujets âgés comparés aux jeunes. En effet, il y a une augmentation de la latence pour catégoriser des scènes avec un filtre passe haut avec l'âge et les sujets âgés ont plus tendance à s'abstenir de répondre (omission). Les auteurs constatent également, l'absence d'activation significativement supérieure au niveau de la partie caudale du cortex occipital en réponse aux HFS, permettant d'expliquer qu'il y a une détérioration des capacités visuelles pour les HFS avec l'âge, notamment nécessaires lors de l'identification et la recherche visuelle. De plus, Rémy et al (2013) rapportent que l'incohérence altère les capacités de reconnaissance des sujets de plus de 75 ans comparés à des sujets jeunes.

Enfin, avec une vision centrale altérée, telle que rencontrés avec la DMLA, les effets liés à l'âge sont amplifiés. En effet, ils passent significativement plus de temps à explorer mais font plus d'erreurs que les témoins du même âge. Ces résultats sont en accord avec de nombreux travaux chez des participants avec scotome naturel (Tadin et al, 2012 ; Van der Stigchel et al, 2013) ou artificiel (Bertera, 1988 ; Cornelissen et al, 2005 ; McIlreavy et al, 2012). La faible résolution de la vision périphérique, utilisée par les patients, est déficiente pour des tâches qui nécessite la présence des HFS comme l'identification ou la recherche visuelle (Liu et al, 2007 ; Strasburger et al, 1991 ; Strasburger et Rentschler, 1996). De plus, la perception des contrastes, caractéristique de la vision parafovéale, a un rôle central dans l'analyse de l'information visuelle puisqu'elle permet de discriminer certains détails assurant la reconnaissance des objets et des scènes (Miyden et al, 1997 ; Strasburger et Rentschler, 1996). Tran et al (2012) ont montré qu'il y a, en effet, une corrélation entre l'acuité visuelle et les performances de catégorisation d'objets lorsque le contraste est réduit, notamment

chez les patients ayant une DMLA. Nos résultats montrent que les patients font plus de fausses alarmes. On peut donc penser que cette moins bonne perception des contrastes a engendré une confusion d'un objet de la scène pensant qu'il s'agissait de l'objet cible alors que ce n'était pas le cas. Boucart et al (2013 b) montrent que les patients DMLA sont déficients pour catégoriser explicitement des objets avec le contexte et font donc significativement plus d'erreurs car ils se fient au contexte.

En conclusion, on peut dire qu'en présence d'environnements réalistes, il y a une facilitation de recherche visuelle lorsque le contexte est cohérent, même lorsque la vision centrale fait défaut. Il y a cependant une diminution des capacités avec l'âge, amplifiée par la pathologie et ceci mêmes en l'absence de contrainte temporelle.

Référence :

- Bar M. Visual objects in context. *Nat Rev Neurosci*. 2004; 5(8): 617-629.
- Bar M et Aminoff E. Cortical analysis of visual context. *Neuron*. 2003; 38(2): 347-358.
- Bar M et Ullman S. Spatial contexte in recognition. *Perception*. 1996; 25(3): 343-352.
- Bertera JH. The effect of simulated scotomas on visual search in normal subjects. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1988; 29(3): 470-5.
- Bherer L. Le vieillissement cognitive chez les personnes âgés en bonne santé. *Cardinal*. 2005; 7(17): 8-12.
- Biederman I. Perceiving real-world scenes. *Science*. 1972; 177(4043): 77-80.
- Biederman I, Mezzanotte RJ et Rabinowitz JC. Scene perception: detecting and judging objects undergoing relational violations. *Cogn Psychol*. 1982; 14(2): 143-177.
- Boucart M, Moroni C, Thibaut M, Szaffarczyk S et Greene M. Scene categorization at large visual eccentricities. *Vision Res*. 2013; 86: 35-42
- Cornelissen FW, Bruin KJ et Kooijman AC. The influence of artificial scotomas on eye movements during visual search. *Optom Vis Sci*. 2005; 82(1): 27-35.
- Crossland MD, Kabanarou SA et Rubin GS. An unusual strategy for fixation in a patient with bilateral advanced age related macular disease. *Br J Ophthalmol*. 2004a; 88(11): 1479-80.
- Crossland MD, Culham LE et Rubin GS. Fixation stability and reading speed in patients with newly developed macular disease, *Ophthalmology Physiological Optics*. 2004b; 24(4): 327-333.
- De Graef P, Christiaens D et D'Ydewalle G. Perceptual effects of scene contexte on object identification. *Psychol Res*. 1990; 52(4): 317-329.
- De Graef P, De Troy A et D'Ydewalle G. Local and global contextual constraints on the identification of objects in scenes. *Can J Psychol*. 1992; 46(3): 489-508.
- Fize D, Cauchoux M et Fabre-Thorpe M. Humans and monkeys share visual representations. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2011; 108(18): 7635-7640.
- Geringswald F, Herbig A, Hofmüller W, Hoffmann MB et Pollmann S. Visual Memory for Objects Following Foveal Vision Loss. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*. 2015. [Epub ahead of print]
- Greene MR et Oliva A. Recognition of Natural Scenes from Global Properties: Seeing the Forest Without Representing the Trees. *Cognitive Psychology*. 2009; 58(2): 137-179.
- Hidalgo-Sotelo B, Oliva A, Torralba A. Human Learning of Contextual Priors for Object Search: Where does the time go? *Proceedings of the 3rd Workshop on Attention and Performance in Computer Vision at the Int. CVPR*. 2005.

Joubert OR, Fize D, Rousselet GA et Fabre-Thorpe M. Early interference of context congruence on object processing in rapid visual categorization of natural scenes. *J Vis.* 2008; 8(13): 1-18.

Kramer AF, Hahn S, Irwin DE et Theeuwes J. Age differences in the control of looking behavior: do you know where your eyes have been? *Psychol Sci.* 2000; 11(3): 210-7.

Lotstra F. Quand le cerveau vieillit. *Cahiers critiques de thérapie familiale et de pratiques de réseau.* 2003; 31(2): 121-9.

Midena E, Degli Angeli C, Blarzino MC, Valenti M et Segato T. Macular function impairment in eyes with early age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1997; 38(2): 469-477.

Mudrik L, Lamy D et Deouell LY. ERP evidence for context congruity effects during simultaneous object-scene processing. *Neuropsychologia.* 2010; 48(2): 507-17

Palmer TE. The effects of contextual scenes on the identification of objects. *Mem Cognit.* 1975; 3(5): 519-526.

Rémy F, Saint-Aubert L, Bacon-Macé N, Vayssière N, Barbeau E and Fabre-Thorpe M. Object recognition in congruent and incongruent natural scenes: A life-span study. *Vision Res.* 2013; 91: 36-44.

Ramanoël S, Kauffmann L, Cousin E, Dojat M et Peyrin C. Age-Related Differences in Spatial Frequency Processing During Scene Categorization. (Soumis)

Schyns PG et Oliva A. From blobs to boundary edges: evidence for time and spatial scale dependent scene recognition. *Psychol. Sci.* 1994; 5(4): 195-200.

Strasburger H, Harvey LO & Rentschler I. Contrast threshold for identification of numeric characters in direct and eccentric view. *Percept Psychophys* 1991; 49: 495–508.

Strasburger H et Rentschler I. Contrast-dependent dissociation of visual recognition and detection fields. *Eur J Neurosci.* 1996; 8: 1787–91.

Szlyk JP et Little DM. An fMRI study of word-level recognition and processing in patients with age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2009; 50(9): 4487-95.

Tadin D, Nyquist JB, Lusk KE, Corn AL et Lappin JS. Peripheral vision of youths with low vision: motion perception, crowding, and visual search. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012; 53(9): 5860-8.

Tarita-Nistor L, González EG, Markowitz SN, Lillakas L et Steinbach MJ. Increased role of peripheral vision in self-induced motion in patients with age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008; 49(7): 3253-58.

Thorpe SJ, Gegenfurtner KR, Fabre-Thorpe M et Bülthoff HH. Detection of animals in natural images using far peripheral vision. *Eur J Neurosci.* 2001; 14(5): 869-76.

Timberlake GT, Mainster MA, Peli E, Augliere RA, Essock EA et Arend LE. Reading with a macular scotoma. I. Retinal location of scotoma and fixation area. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1986; 27(7): 1137-47.

- Torralba A, Oliva A, Castelhana MS et Henderson JM. Contextual guidance of eye movements and attention in real-world scenes: the role of global features in object search. *Psychol Rev.* 2006; 113(4): 766-786.
- Tran TH, Desprez P et Boucart M. Scene perception in age-related macular degeneration: the effect of contrast. *Optom Vis Sci.* 2012; 89(4): 419-25
- Tran THC, Guyader N, Guerin A, Desprez P and Boucart M. Figure Ground Discrimination in Age-Related Macular Degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011; 52(3): 1655-60.
- Tran THC, Rambaud C, Desprez P and Boucart M. Scene Perception in Age-Related Macular Degeneration, *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010; 51(2): 6868-74.
- Treisman AM et Gelade G. A feature-integration theory of attention. *Cogn Psychol.* 1980; 12(1): 97-136.
- Yarbus AL. *Eye movements and vision.* New-York: Plenum Press. 1967.
- Van der Stigchel S, Bethlehem RA, Klein BO, Berendschot TT, Nijboer TC et Dumoulin SO. Macular degeneration affects eye movement behavior during visual search. *Front Psychol.* 2013; 6(1): 1-11.
- Watson DG et Maylor EA. Aging and visual marking: selective deficits for moving stimuli. *Psychol Aging.* 2002; 17(2): 321-39.

Chapitre 6 : Discussion générale et perspectives

Lors de ces trois années de thèse, je me suis intéressé aux capacités de la vision périphérique dans le cadre de la perception des objets et des scènes chez le sujet sain et chez les patients atteints d'une déficience de la vision centrale (maculopathie). La vision périphérique chez le sujet sain n'a été que très peu étudiée, or elle a un rôle essentiel et ceci d'autant plus lorsque la vision centrale fait défaut. La dégénérescence maculaire liée à l'âge est la première cause de cécité dans les pays industrialisés tels que la France, qui compte près de 2 millions de personnes touchées par cette maladie. L'augmentation de l'espérance de vie et le vieillissement de la population ne feront que gonfler ce chiffre. Cette pathologie induit de lourds handicaps tels que pour la lecture (Crossland et al, 2004 a ; Rubin et Feely, 2009), la perception des visages (Boucart et al, 2008 a ; Tejeria et al, 2002) mais aussi la perception des objets et de l'espace (Tran et al, 2014 ; Tran et Boucart, 2012) or ce dernier n'a été que très peu étudié en comparaison des deux autres, d'où mon intérêt pour ce sujet.

La première partie de mon travail s'est portée sur les **capacités normales de la vision périphérique** pour la reconnaissance des scènes, des objets et des visages. Pour cela, nous avons comparé les capacités de catégorisation en vision centrale par rapport à celles en vision périphérique. Nous avons modulé l'excentricité : périphérie proche (10 degrés), moyenne (20/30 degrés) et lointaine (50 degrés et plus). Nous avons pu tester la périphérie lointaine grâce à un écran unique en France. Il s'agit d'un écran panoramique couvrant les 180 degrés du champ visuel, sur lequel les stimuli sont projetés à l'aide de trois vidéoprojecteurs HD.

Nous nous sommes tout d'abord intéressés aux capacités de catégorisation super-ordonnée des scènes jusqu'à très grande excentricité (70 degrés). Selon la littérature, la catégorisation des scènes se base sur les basses fréquences spatiales (BSF) lorsqu'elles sont flashées » (Schyns et Oliva, 1994). Les BSF étant disponibles en vision périphérique, il semblait donc évident qu'il était possible de reconnaître des scènes. Ceci restait toutefois à confirmer, mais aussi de déterminer jusqu'à quelle excentricité cela serait possible. Thorpe

et al (2001) avaient déjà montré qu'il était possible de détecter des animaux en grande périphérie avec une bonne performance. Nos résultats ont permis de montrer que, tout comme avec les animaux, il était possible de catégoriser des scènes jusqu'à 70 degrés d'excentricités, avec une performance de l'ordre de 70% de réponse correcte. Il reste toutefois un biais central clairement marqué avec une meilleure performance à faible excentricité. Ces résultats démontrent donc qu'en dépit de la faible résolution visuelle de la vision périphérique nous sommes capables de reconnaître notre environnement à grande excentricité.

Ensuite, en collaboration avec l'université de York, nous nous sommes demandé si le contexte influait sur la reconnaissance visuelle des objets en périphérie, de la même manière qu'en vision centrale (Davenport, 2007 ; Davenport et Potter, 2004 ; Joubert et al, 2007 et 2008 ; Oliva et Torralba, 2006 ; Rémy et al, 2013 et 2014). De plus, nous nous sommes intéressés à l'impact de la tâche sur la reconnaissance visuelle. Boucart et al (2013) ont montré qu'il était plus difficile d'associer explicitement qu'implicitement un objet à son contexte, notamment en l'absence de vision centrale. On peut donc s'attendre à retrouver la même chose en vision périphérique chez le sujet sain. Pour évaluer l'effet du contexte nous avons joué sur la cohérence entre l'objet/animal avec son environnement (naturel ou manufacturé), et pour les visages (humain ou animal) nous avons joué sur la cohérence avec le corps (humain ou animal). Tout comme dans l'étude précédente, nous avons mis en évidence que : (1) nous étions capables de reconnaître des objets et visages en périphérie, (2) que l'incohérence du contexte altère les capacités de reconnaissance visuelle également en périphérie, (3) qu'il était plus difficile d'associer explicitement un objet à son contexte, notamment en vision périphérique et (4) que nous reconnaissons plus aisément un visage qu'un animal ou objet manufacturé (Crouzet et Thorpe, 2011).

Lors de la seconde partie, je me suis intéressé plus particulièrement aux pathologies de la vision centrale (la DMLA ou encore la maladie de Stargardt) notamment sur les capacités visuelles d'ordre supérieur tel que la nomination (identification) d'objets et de scènes ainsi que la recherche visuelle et les stratégies visuo-attentionnelles qui y sont associées. Il a été clairement établi que la perte de vision centrale amenait les patients à

développer une fixation extra-fovéale adjacente au scotome, nommée PRL (Crossland et al, 2011 b), à l'origine d'une diminution de la stabilité de fixation (Crossland et al, 2004a ; Rubin et Feely, 2009). De plus, un patient peut présenter plusieurs PRL en fonction de la luminosité, de la tâche, de la durée de la maladie... (Crossland et al, 2004 a ; Kabanarou et al, 2006 ; Lei et Schuchard, 1997 ; Reinhard et al, 2007). Très peu de travaux ont étudié l'exploration visuelle chez ce type de patients lors de la perception d'objets et de scènes. De nombreuses études ont permis de montrer, qu'en dépit de la perte de vision centrale, les patients étaient capables de reconnaître globalement des objets et des scènes (Boucart et al, 2008 a, 2008 b et 2013 ; Tran et al, 2010, 2011 et 2012). Cependant, dans la vie quotidienne nous devons rechercher des objets et les identifier, d'où l'intérêt de cette partie. En plus, nous avons cherché à comprendre comment les patients « s'adaptent » à cette perte du champ visuel central par le biais de mesures oculomotrices et de stratégies adoptées lors d'une recherche d'objets dans des environnements 3D.

Nous nous sommes tout d'abord intéressés aux capacités de reconnaissance des scènes présentées en périphérie. Tran et al (2010), ont montré que les patients étaient capables de reconnaître des scènes présentées au centre. Nous nous sommes demandé s'ils ne seraient pas plus performants en périphérie en raison d'une adaptation fonctionnelle faisant suite à la perte de vision fovéolaire. Mais nos résultats montrent qu'il n'y a aucune différence en comparaison aux scènes présentées au centre. De plus, ils ne sont pas meilleurs que les sujets sains en périphérie. Ensuite, nous nous sommes focalisés sur la reconnaissance détaillée des objets et des scènes (nomination) qui nécessite les hautes fréquences spatiales (HFS) contrairement aux études précédentes de catégorisation qui peuvent se faire avec des basses fréquences spatiales. Nous avons montré que la vision centrale n'était pas essentielle pour identifier, car les patients (DMLA et Stargardt) répondaient au-dessus du facteur chance, mais elle aide cependant à la réalisation de la tâche. De plus, comme cela a été rapporté précédemment, les patients présentaient une instabilité de fixation et avaient tendance à fixer les objets de manière excentrée. Tout comme dans la lecture on peut se demander si cette instabilité de fixation n'est pas l'un des facteurs principaux à l'origine des performances délétères des patients.

Dans la continuité de ce travail, nous avons étudié les performances de recherche visuelle d'objets tout d'abord en présence d'un certain nombre d'objets, puis dans des

environnements 3D présentés sur l'écran panoramique, permettant de se rapprocher des conditions de la vie de tous les jours. Nous avons montré qu'en condition d'encombrement visuel les patients présentaient de grosses difficultés pour accomplir la tâche et ceci était associé à une inefficacité marquée de l'exploration visuelle. Cependant, dans des conditions plus « écologiques », les patients s'en sortaient quasiment aussi bien que les sujets sains appariés en âge mais avaient tendance à passer plus de temps pour la recherche de la cible. Ces résultats suggèrent une implication plus forte des processus attentionnels suite à la perte de la vision centrale comme le laisse penser Szlyck et al (2009) qui montrent une activation du cortex frontopariétale significativement supérieure à celle des sujets sains.

Pour finir, ces trois années de doctorat m'ont amené à m'intéresser à la plasticité fonctionnelle cérébrale notamment suite à la perte, au moins en partie, d'un sens en l'occurrence dans le cas présent la vision centrale. De nombreuses études se sont penchées sur le sujet mais sont, de manière générale, mal conçues de par le mélange de différentes pathologies à l'origine d'une perte de la vision centrale mais aussi par la diversité méthodologique. Par ailleurs, l'activité cérébrale en grande périphérie commence à être étudiée mais reste très rare du fait de contraintes liées au scanner IRM. Suite à cette thèse, il me semble donc intéressant de se focaliser sur l'activité corticale fonctionnelle en grande périphérie lors de la perception des objets et des scènes dans un premier temps chez le sujet sain. En effet, n'ayant que peu ou pas de littérature à ce sujet, il est important d'établir « les bases » avant de se focaliser sur la pathologie. Quelles sont les aires impliquées dans la reconnaissance visuelle en grande périphérie ? Qu'en est-il en présence d'un contexte incohérent ?... Ensuite établir s'il y a une réorganisation fonctionnelle à la suite d'une maculopathie. Une réorganisation fonctionnelle est-elle possible ? Y a-t-il un effet de l'âge d'apparition de la maladie sur la plasticité fonctionnelle ? Est-il possible de récupérer une activité cérébrale fonctionnelle au niveau des aires liées à la vision centrale après traitement (greffe de rétine, ...) ?... Autant de questions auxquelles j'aimerais répondre dans les années à venir grâce à la technique IRMf. C'est pourquoi, en collaboration avec Heidi Baseler et Karla Evans, nous avons monté un projet. Celui-ci est la suite de notre étude comportementale réalisée pendant ma thèse. Le projet est le suivant :

Contexte : Le contexte est un repère important pour la détection, la catégorisation et l'identification des objets présentés visuellement. Les objets qui apparaissent dans un cadre

cohérent sont généralement traitées plus précisément et rapidement que ceux en milieu incohérent (Bourcart et al, 2013 ; Rémy et al, 2014). La majorité des études ont évalué la capacité d'utiliser les informations contextuelles en vision centrale (Bourcart et al, 2013 ; Rémy et al, 2014). Cependant, peu de choses sont connues sur les capacités de la vision périphérique pour prendre ces décisions. L'objectif de cette étude est de déterminer les réseaux corticaux lors du traitement visuel des objets et des visages en fonction de la position et de la tâche, chez des sujets sains adultes. Mesurer les différences perceptuelles lors du traitement des objets et des visages à travers le champ visuel chez les sujets sains fournira des renseignements de base importants, afin d'apprécier les défis auxquels sont confrontés ceux avec un scotome central ou pour évaluer la potentielle plasticité visuelle chez ceux ayant perdu l'audition.

Protocole expérimental : Participants seront des adultes sains avec une vision et audition normale recrutés au sein de l'Université de York. Les participants se trouveront dans le scanner (scanner GE 3 Tesla Excite HD Signa à la neuro-imagerie de York Center à l'Université de York) avec leur tête stabilisée. Des stimuli seront présentés au centre ou en périphérie, tandis que les participants fixent un point de fixation central. Les expériences seront composées des scans qui nous peuvent varier selon 3 facteurs : la tâche (catégorisation/cohérence) ; le type de cible (visage/objet/scène) et la position de l'image (centrale/périphérique). Avant de démarrer les runs EPI expérimentaux, nous utiliserons des « localiser » fonctionnels en vue d'identifier les régions cérébrales d'intérêt (ROIs) spécifiques des visages, des objets ou des scènes. En outre, nous utiliserons les méthodes de cartographie rétino-topique afin de définir les aires visuelles précoces et ROIs basées sur l'excentricité (Wandell et al, 2007).

Nous demanderons aux participants de catégoriser les objets (animal/meubles ou visage humain /non humain) quel que soit le contexte. Dans la deuxième condition de la tâche, nous demandons de juger si l'objet (ou le visage) est cohérent avec son contexte ou non. Les stimuli visuels seront composés de deux catégories d'images. La moitié des stimuli consisteront en un objet cible (animal ou meuble) incorporé dans un contexte de la vie réelle (scène naturelle ou d'intérieure). La seconde moitié des stimuli se composera d'un visage (humain ou animal) appariés ou incompatibles avec le corps (humain ou animal). Chaque run IRMf ne sera composé que d'un seul type de tâche (catégorisation / cohérence) et que d'un

seul type de cible (visage /objet). Il y aura quatre runs expérimentaux contrebalancés par la tâche et par la cible. Les participants devront compléter un total de huit runs expérimentaux de 5 minutes chacun. Chaque bloc se composera de 6 essais de 2 secondes chacun (72 essais par run). La position des images sera fixée dans chaque bloc (6 blocs en position centrale et 6 en périphérie), mais l'ordre des blocs sera entrelacé (C, P, C, P, C, P,...). Pour dissocier les blocs d'essai des blocs de repos, nous allons utiliser un point de fixation de couleurs différentes (rouge pour les blocs d'essai et vert pour les blocs de repos).

Analyse : Une analyse des données IRMf basée sur les régions d'intérêt (ROI) sera effectuée en comparant l'activation (variable dépendante = pourcentage de changement du signal) fonctionnellement et retinotopiquement défini par les ROIs au travers du stimulus (visages vs objets), de l'excentricité (centrale vs périphérique) et du type de tâche (catégorisation vs cohérence) (variables indépendantes). Nous réaliserons aussi des analyses prospectives, cerveau entier pour détecter les régions cérébrales activées lors de nos différentes conditions de stimulation au sein du groupe.

Dans un premier temps, cette étude nous aidera à comprendre comment le cerveau fonctionne chez les adultes sains lors du traitement des images en vision périphérique. Deuxièmement, il fournira des données de base importantes permettant de comparer les changements cérébraux potentiels ou adaptations provoquées par la perte du champ visuel central ou d'autres types de perte sensorielle.

À long terme, une meilleure compréhension du système visuel dans sa globalité pourrait nous aider à développer des programmes de réhabilitation visuelle dans le cadre de la perception des objets et de l'espace à l'aide des nouvelles technologies 3D, tel que l'Oculus chez des patients atteints de déficits d'une portion du champ visuel par exemple.

Bibliographie:

A.

Abramson BP et Chalupa LM. The laminar distribution of cortical connexions with the tecto- and cortico-recipient zones in the cat's lateral posterior nucleus. *Neuroscience*. 1985; 15(1): 81-95.

Age-Related Eye Disease Research Group. A randomized, placebo-controlled, clinical trial of high-dose supplementation with vitamins C and E, beta carotene, and zinc for age-related macular degeneration and vision loss. AREDS report n°8. *Arch Ophthalmol*. 2001; 119: 1417-1436

Age-Related Eye Disease Study Research Group, SanGiovanni JP, Chew EY, Clemons TE, Ferris FL 3rd, Gensler G, Lindblad AS, Milton RC, Seddon JM et Sperduto RD. The relationship of dietary carotenoid and vitamin A, E, and C intake with age-related macular degeneration in a case-control study: AREDS report n°22. *Arch Ophthalmol*. 2007 ; 125(9) : 1225-1232.

Adler R, Curcio C, Hicks D, Price D et Wong F. Cell death in age-related macular degeneration. *Mol Vis*. 1999; 3: 5:31.

Aminoff E, Gronau N et Bar M. The parahippocampal cortex mediates spatial and nonspatial associations. *Cereb Cortex*. 2007; 17(7): 1493-1503.

Anstis SM. A chart demonstrating variations in acuity with retinal position. *Vision Res*. 1974; 14(7): 589-592.

Atmani K, Le Tien V, Leveziel N, Souied E, Coscas G et Soubrane G. Dégénérescence maculaire liée à l'âge. *EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Ophtalmologie*. 2009 ; 21-249-A-20.

B.

Bair W, Cavanaugh JR, Smith MA et Movshon JA. The timing of response onset and offset in macaque visual neurons. *J Neurosci*. 2002; 22(8): 3189-3205.

Baker CI, Peli E, Knouf N et Kanwisher NG. Reorganization of visual processing in macular degeneration. *J Neurosci*. 2005; 25(3): 614-618.

Baker CI, Dilks DD, Peli E et Kanwisher N. Reorganization of visual processing in macular degeneration: replication and clues about the role of foveal loss. *Vision Res*. 2008; 48(18): 1910-1919.

Bar M. Visual objects in context. *Nat Rev Neurosci*. 2004; 5(8): 617-629.

Bar M et Aminoff E. Cortical analysis of visual context. *Neuron*. 2003; 38(2): 347-358.

Bar M, Kassam KS, Ghuman AS, Boshyan J, Schmid AM, Dale AM, Hämäläinen MS, Marinkovic K, Schacter DL, Rosen BR et Halgren E. Top-down facilitation of visual recognition. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2006; 103(2): 449-454.

Bar M et Ullman S. Spatial contexte in recognition. *Perception*. 1996; 25(3): 343-352.

Barnes CS, De L'Aune W et Schuchard RA. A test of face discrimination ability in aging and vision loss. *Optom Vis Sci*. 2011; 88(2): 188-199.

Baseler HA, Gouws A, Haak KV, Racey C, Crossland MD, Tufail A, Rubin GS,

Cornelissen FW et Morland AB. Large-scale remapping of visual cortex is absent in adult humans with macular degeneration. *Nat Neurosci.* 2011; 14(5): 649-655.

Baylor DA, Lamb TD et Yau KW. Responses of retinal rods to single photons. *J Physiol.* 1979; 288: 613-634.

Behar-Cohen F, Kowalczyk L, Keller N, Savoldelli M, Azan F et Jeanny J-C. Anatomie de la rétine. EMC Elsevier Masson, SAS, Paris, Ophthalmologie. 2009 ; 21-003-C-40, 1- 14

Bellman C, Feely M, Crossland MD et Kabanarou SA, Rubin G.S. Fixation Stability Using Central and pericentral fixation targets in patients with Age-related Macular Degeneration. *Ophthalmology.* 2004; 111(12): 2265-2270.

Bender DB et Youakim M. Effect of attentive fixation in macaque thalamus and cortex. *J Neurophysiol.* 2001; 85(1): 219-234.

Benevento LA et Standage GP. The organization of projections of the retinorecipient and nonretinorecipient nuclei of the pretectal complex and layers of the superior colliculus to the lateral pulvinar and medial pulvinar in the macaque monkey. *J Comp Neurol.* 1983; 217(3): 307-336.

Biederman I. Perceiving real-world scenes. *Science.* 1972; 177(4043): 77-80.

Biederman I. Recognition-by-components: a theory of human image understanding. *Psychol Rev.* 1987; 94(2): 115-147.

Biederman I, Mezzanotte RJ et Rabinowitz JC. Scene perception: detecting and judging objects undergoing relational

violations. *Cogn Psychol.* 1982; 14(2): 143-177.

Bisley JW et Goldberg ME. Neuronal activity in the lateral intraparietal area and spatial attention. *Science.* 2003; 299(5603): 81-86.

Bisley JW. The neural basis of visual attention. *J Physiol.* 2011; 589(Pt 1): 49-57.

Blackmore-Wright S1, Georgeson MA et Anderson SJ. Enhanced text spacing improves reading performance in individuals with macular disease. *PLoS One.* 2013; 8(11): e80325.

Boire D, Matteau I, Casanova C et Ptito M. Retinal projections to the lateral posterior-pulvinar complex in intact and early visual cortex lesioned cats. *Exp Brain Res.* 2004; 159(2): 185-196.

Boucard CC, Hernowo AT, Maguire RP, Jansonius NM, Roerdink JB, Hooymans JM et Cornelissen FW. Changes in cortical grey matter density associated with long-standing retinal visual field defects. *Brain.* 2009; 132(Pt 7): 1898-1906.

Boucart M, Dinon J-F, Despretz P, Desmettre T, Hladiuk K et Oliva A. Recognition of facial emotion in low vision: A flexible usage of facial features. *Visual Neuroscience.* 2008 (a); 25(4): 603-609.

Boucart M, Despretz P, Hladiuk K et Desmettre T. Does contexte or color improve object recognition in patients with low vision? *Visual Neuroscience.* 2008 (b); 25(5-6): 685-691.

Boucart M, Moroni C, Szaffarczyk S et Tran THC. Implicit processing of scene contexte in macular degeneration, *Invest*

Ophthalmol Vis Sci. 2013; 54(3): 1950-1957.

Boucart M, Nail F, Desprez P, Defoort-Delhemme S et Fabre-Thorpe M. Implicit and explicit object recognition at very large visual eccentricities: no improvement after loss of central vision. *Vis.Cogn.* 2010; 18(6), 839–858.

Boussaoud D, Desimone R et Ungerleider LG. Visual topography of area TEO in the macaque. *J Comp Neurol.* 1991; 306(4): 554-575.

Boussaoud D, Ungerleider LG et Desimone R. Pathways for motion analysis: cortical connexions of the medial superior temporal and fundus of the superior temporal visual areas in the macaque. *J Comp Neurol.* 1990; 296(3): 462-495.

Bowers AR, Meek C et Stewart N. Illumination and reading performance in age-related macular degeneration. *Clinical and Experimental Optometry.* 2001; 84(3): 139-147.

Boyce SJ et Pollatsek A. Identification of objects in scenes: the role of scene background in object naming. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn.* 1992; 18(3): 531-543.

Brockmole JR et Henderson JM. Recognition and attention guidance during contextual cueing in real-world scenes: evidence from eye movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology.* 2006; 59(7): 1177-1187.

Brodmann K. Localization in the cerebral cortex, translated and edited by Garey LJ from *Vergleichen lokalisationslehre der grosshirnrinde in ihrem prinzipen dargestellt auf grund des zellenbaues,*

Leipzig: Johann Ambrosius Barth, London : Smith-Gordon and co, Ltd. 1909.

Brown PK et Wald G. Visual pigments in human and monkey retinas. *Nature.* 1963; 200: 37-43.

Bruce ND et Tsotsos JK. Saliency, attention, and visual search: an information theoretic approach. *J Vis.* 2009; 9(3): 1-24.

Bullier J. Integrated modèle of visual processing. *Brain Res Brain Res Rev.* 2001; 36(2-3): 96-107.

Bullier J, Hupé JM, James A et Girard P. Functional interactions between areas V1 and V2 in the monkey. *J Physiol Paris.* 1996; 90(3-4): 217-220.

Bullimore MA, Bailey IL et Wacker RT. Face recognition in age-related maculopathy. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1991; 32(7): 2020-2029.

C.

Calabrèse A, Bernard J-B, Hoffart L, Faure G, Barouch F, Conrath J et Castet E. Small Effect of Interline Spacing on Maximal Reading speed in low-vision with central field loss irrespective of scotoma size. *Visual Psychophysics and Physiological Optics.* 2010; 51(2): 1247-1254.

Calkins DJ et Sterling P. Evidence that circuits for spatial and color vision segregate at the first retinal synapse. *Neuron.* 1999; 24(2): 313-321.

Carroll J. Focus on molecules: the cone opsins. *Exp Eye Res.* 2008; 86(6): 865-866.

Castelhano MS et Heaven C. The relative contribution of scene context and target

features to visual search in scenes. *Atten Percept Psychophys*. 2010; 72(5): 1283-1297.

Castelhano MS et Henderson JM. Initial scene representations facilitate eye movement guidance in visual search. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 2007; 33(4): 753-763.

Castelhano MS, Pollatsek A et Cave KR. Typicality aids search for an unspecified target, but only in identification and not in attentional guidance. *Psychon Bull Rev*. 2008; 15(4): 795-801.

Cheung SH et Legge GE. Functional and cortical adaptations to central vision loss. *Vis Neurosci*. 2005; 22(2): 187-201.

Chun MM et Jiang Y. Top-down attentional guidance based on implicit learning of visual covariation. *Psychological Science*. 1999; 10(4): 360-365.

Clemons TE, Milton RC, Klein R, Seddon JM et Ferris FL 3rd; Age-Related Eye Disease Study Research Group. Risk factors for the incidence of Advanced Age-Related Macular Degeneration in the Age-Related Eye Disease Study (AREDS) AREDS report n°19. *Ophthalmology*. 2005; 112(4): 533-539.

Connolly JD, Goodale MA, Menon RS et Munoz DP. Human fMRI evidence for the neural correlates of preparatory set. *Nat Neurosci*. 2002; 5(12): 1345-1352.

Crossland MD, Crabb DP et Rubin GS. Task-specific fixation behavior in macular disease, *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011a; 52(1): 411-416.

Crossland MD, Culham LE, Kabanarou SA et Rubin GS. Preferred retinal locus development in patients with macular

disease. *Ophthalmology*. 2005; 112(9): 1579-1585.

Crossland MD, Culham LE et Rubin GS. Fixation stability and reading speed in patients with newly developed macular disease, *Ophthalmology Physiological Optics*. 2004a; 24(4): 327-333.

Crossland MD, Engel SA et Legge GE. The preferred retinal locus in macular disease: toward a consensus definition. *Retina*. 2011b; 31(10): 2109-2114.

Crossland MD, Sims M, Galbraith RF et Rubin GS. Evaluation of a new quantitative technique to assess the number and extent of preferred retinal loci in macular disease. *Vision Res*. 2004b; 44(13): 1537-1546.

Crouzet SM, Joubert OR, Thorpe SJ et Fabre-Thorpe M. Animal detection precedes access to scene category. *PLoS One*. 2012; 7(12): e51471

Crouzet SM, Kirchner H et Thorpe SJ. Fast saccades toward faces: face detection in just 100 ms. *J Vis*. 2010; 10(4): 16.1-17.

Crouzet SM et Thorpe SJ. Low-level cues and ultra-fast face detection. *Front Psychol*. 2011; 2: 342.

Curcio CA, Sloan KR Jr, Packer O, Hendrickson AE et Kalina RE. Distribution of cones in human and monkey retina individual variability and radial asymmetry. *Science*. 1987; 236(4801): 579-582

Curcio CA, Sloan KR, Kalina RE et Hendrickson AE. Human photoreceptor topography. *J Comp Neurol*. 1990; 292(4): 497-523.

Curcio CA, Millican CL, Allen KA et Kalina RE. Aging of the human photoreceptor

mosaic: evidence for selective vulnerability of rods in central retina. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1993; 34(12): 3278-3296.

Curcio CA, Medeiros NE et Millican CL. Photoreceptor loss in age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1996; 37(7): 1236-1249.

Curcio CA. Photoreceptor topography in ageing and age-related maculopathy. *Eye (Lond).* 2001; 15(Pt 3): 376-383.

D.

Dacey DM. The mosaic of midget ganglion cells in the human retina. *J Neurosci.* 1993; 13(12): 5334-5355.

Dacey DM. Parallel pathways for spectral coding in primate retina. *Annu Rev Neurosci.* 2000; 23: 743-775.

Davenport JL et Potter MC. Scene consistency in object and background perception. *Psychol Sci.* 2004; 15(8): 559-64.

Davenport JL. Consistency effects between objects in scenes. *Mem Cognit.* 2007; 35: 393-401.

De Graef P, Christiaens D et D'Ydewalle G. Perceptual effects of scene context on object identification. *Psychol Res.* 1990; 52(4): 317-329.

De Graef P, De Troy A et D'Ydewalle G. Local and global contextual constraints on the identification of objects in scenes. *Can J Psychol.* 1992; 46(3): 489-508.

de JONG PT. (2006). Age-related macular degeneration. *N Engl J Med*, 355(14): 1474-85.

Delorme A, Richard G et Fabre-Thorpe M. Ultra-rapid categorisation of natural scenes does not rely on colour cues: a study in monkeys and humans. *Vision Res.* 2000; 40(16): 2187-2200.

Delorme A, Richard G et Fabre-Thorpe M. Key visual features for rapid categorization of animals in natural scenes. *Front Psychol.* 2010; 1: 21.

Delorme A, Rousselet GA, Macé MJ et Fabre-Thorpe M. Interaction of top-down and bottom-up processing in the fast visual analysis of natural scenes. *Brain Res Cogn Brain Res.* 2004; 19(2): 103-113.

DeSouza JF, Menon RS et Everling S. Preparatory set associated with pro-saccades and anti-saccades in humans investigated with event-related fMRI. *J Neurophysiol.* 2003; 89(2): 1016-1023.

Distler C, Boussaoud D, Desimone R et Ungerleider LG. Cortical connexions of inferior temporal area TEO in macaque monkeys. *J Comp Neurol.* 1993; 334(1): 125-150.

Dodge R. Five types of eye movement in the horizontal meridian plane of the field of regard. *Am J Physiol.* 1903; 8: 307-329.

Dollfus H et Pellevier V. Génétique et œil. *EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Ophtalmologie.* 2008 ; 21-001-A-10.

Duncan RO et Boynton GM. Cortical magnification within human primary visual cortex correlates with acuity thresholds. *Neuron.* 2003; 38(4): 659-671.

E.

Edwards AO, Ritter R 3rd et Abel KJ, Manning A, Panhuysen C, Farrer LA.

Complement factor H polymorphism and age-related macular degeneration. *Science*. 2005; 308(5720): 421-424.

Ehinger KA, Hidalgo-Sotelo B, Torralba A et Oliva A. Modeling Search for People in 900 Scenes: A combined source model of eye guidance. *Vis cogn*. 2009; 17(6-7): 945-978.

F.

Fabre-Thorpe M. The characteristics and limits of rapid visual categorization. *Front Psychol*. 2011; 2: 243.

Falkenberg HK1, Rubin GS et Bex PJ. Acuity, crowding, reading and fixation stability. *Vision Res*. 2007; 47(1): 126-135.

Falkner-Radler CI, Krebs I, Glittenberg C, Povazay B, Drexler W, Graf A et Binder S. Human retinal pigment epithelium (RPE) transplantation: outcome after autologous RPE-choroid sheet and RPE cell-suspension in a randomised clinical study. 2011; 95(3): 370-375.

Feeney-Burns L, Hilderbrand ES et Eldridge S. Aging human RPE: morphometric analysis of macular, equatorial, and peripheral cells. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1984; 25(2): 195-200.

Ferris FL, Davis MD, Clemons TE, Lee LY, Chew EY, Lindblad AS, Milton RC, Bressler SB et Klein R; Age-Related Eye Disease Study (AREDS) Research Group. A simplified severity scale for age-related macular degeneration: AREDS Report n° 18. *Arch Ophthalmol*. 2005; 123(11): 1570-1574.

Findlay JM. Saccade target selection during visual search. *Vision Res*. 1997; 37(5): 617-631.

Fisher SA, Abecasis GR, Yashar BM, Zarepari S, Swaroop A, Iyengar SK, Klein BE, Klein R, Lee KE, Majewski J et al Meta-analysis of genome scans of age-related macular degeneration. *Hum Mol Genet*. 2005; 14(15): 2257-2264.

Fize D, Cauchoix M et Fabre-Thorpe M. Humans and monkeys share visual representations. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2011; 108(18): 7635-7640.

Friedman A. Framing pictures: the role of knowledge in automatized encoding and memory for gist. *J Exp Psychol Gen*. 1979; 108(3): 316-355.

Fritsche LG, Fariss RN, Stambolian D, Abecasis GR, Curcio CA et Swaroop A. Age-related macular degeneration: genetics and biology coming together. *Annu Rev Genomics Hum Genet*. 2014; 15:151-171.

Fukushima K, Yamanobe T, Shinmei Y, Fukushima J, Kurkin S et Peterson BW. Coding of smooth eye movements in three-dimensional space by frontal cortex. *Nature*. 2002; 419(6903): 157-162.

G.

Gattass R, Sousa AP, Mishkin M et Ungerleider LG. Cortical projections of area V2 in the macaque. *Cereb Cortex*. 1997; 7(2): 110-129.

Gegenfurtner KR et Rieger J. Sensory and cognitive contributions of color to the recognition of natural scenes. *Curr Biol*. 2000; 10(13): 805-808.

Goffaux V, Jacques C, Mouraux A, Oliva A, Rossion B et Schyns PG. Diagnostic colors contribute to early stages of scene categorization: behavioral and

neurophysiological evidences. *Visual Cognition*. 2005; 12: 878–892.

Goffaux V, Peters J, Haubrechts J, Schiltz C, Jansma B et Goebel R. From coarse to fine? Spatial and temporal dynamics of cortical face processing. *Cereb Cortex*. 2011; 21(2): 467-476.

Goldman PS et Nauta WJ. Autoradiographic demonstration of a projection from prefrontal association cortex to the superior colliculus in the rhesus monkey. *Brain Res*. 1976; 116(1): 145-149.

Gouras P. Identification of cone mechanisms in monkey ganglion cells. *J Physiol*. 1968; 199(3): 533-547.

Greene MR et Oliva A. Recognition of natural scenes from global properties: seeing the forest without representing the trees. *Cogn Psychol*. 2009; 58(2): 137-176.

Greenstein VC, Santos RAV, Tsang SH, Smith RT, Barile GR, et Seiple W. Preferred Retinal Locus in macular disease. *Retina*. 2008; 28(9): 1234-1240.

Grieve KL1, Acuña C et Cudeiro J. The primate pulvinar nuclei: vision and action. *Trends Neurosci*. 2000; 23(1): 35-39.

Grill-Spector K, Kourtzi Z et Kanwisher N. The lateral occipital complex and its role in object recognition. *Vision Res*. 2001; 41(10-11): 1409-1422.

Gupta N et Yücel YH. Should we treat the brain in glaucoma? *Can J Ophthalmol*. 2007; 42(3): 409-413.

Gupta N, Greenberg G, de Tilly LN, Gray B, Polemidiotis M et Yücel YH. Atrophy of the lateral geniculate nucleus in human glaucoma detected by magnetic

resonance imaging. *Br J Ophthalmol*. 2009; 93(1): 56-60.

H.

Haines JL, Hauser MA, Schmidt S, Scott WK, Olson LM, Gallins P, Spencer KL, Kwan SY, Nouredine M, Gilbert JR et al Complement factor H variant increases the risk of age-related macular degeneration. *Science*. 2005; 308(5720): 419-421.

Hassan SE, Lovie-Kitchin JE et Woods RL. Vision and mobility performance of subjects with age-related macular degeneration. *Optom Vis Sci*. 2002; 79(11): 697-707.

Heinen SJ et Skavenski AA. Recovery of visual responses in foveal V1 neurons following bilateral foveal lesions in adult monkey. *Exp Brain Res*. 1991; 83(3): 670-674.

Henderson JM. Object identification in context: the visual processing of natural scenes. *Can J Psychol*. 1992; 46(3): 319-341.

Henderson JM. Human gaze control during real-world scene perception. *Trends Cogn Sci*. 2003; 7(11): 498-504.

Henderson JM et Hollingworth A. High-level scene perception. *Annu Rev Psychol*. 1999; 50: 243-271.

Henderson JM, Larson CL et Zhu DC. Full scenes produce more activation than close-up scenes and scene-diagnostic objects in parahippocampal and retrosplenial cortex: an fMRI study. *Brain Cogn*. 2008; 66(1): 40-49.

Henderson JM, McClure KK, Pierce S et Schrock G. Object identification without foveal vision: evidence from an artificial scotoma paradigm. *Percept Psychophys*. 1997; 59(3): 323-346.

Henderson JM, Weeks PA Jr et Hollingworth A. The effects of semantic consistency on eye movements during scene viewing. *J. Exp. Psychol.: Hum. Percept. Perform*. 1999; 25(1): 210-228.

Hendry SH et Yoshioka T. A neurochemically distinct third channel in the macaque dorsal lateral geniculate nucleus. *Science*. 1994; 264(5158): 575-577.

Hernowo AT, Prins D, Baseler HA, Plank T, Gouws AD, Hooymans JM, Morland AB, Greenlee MW et Cornelissen FW. Morphometric analyses of the visual pathways in macular degeneration. *Cortex*. 2013; 56: 99-110.

Hidalgo-Sotelo B, Oliva A et Torralba A. Human Learning of Contextual Priors for Object Search: Where does the time go? Proceedings of the 3rd Workshop on Attention and Performance in Computer Vision at the Int. *CVPR*. 2005.

Hirsh J et Curcio CA. The spatial resolution capacity of human foveal retina. *Vision Res*. 1989; 29(9): 1095-1101.

Hollingworth A et Henderson JM. Does consistent scene context facilitate object perception? *J Exp Psychol Gen*. 1998; 127(4): 398-415.

Horton JC et Adams DL. The cortical column: a structure without a function. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2005; 360(1456): 837-862.

Hossain P, Seetho IW, Browning AC et Amoaku WM. Artificial means for

restoring vision. *BMJ*. 2005; 330(7481): 30-33.

Hubel DH et Wiesel TN. Sequence regularity and geometry of orientation columns in the monkey striate cortex. *J Comp Neurol*. 1974; 158(3): 267-293.

Huerta MF et Kaas JH. Supplementary eye field as defined by intracortical microstimulation: connexions in macaques. *J Comp Neurol*. 1990; 293(2): 299-330.

I.

Iachini I, Iavarone A, Senese VP, Ruotolo F et Ruggiero G. Visuospatial memory in healthy elderly, AD and MCI: a review. *Curr. Aging Sci*. 2009; 2(1): 43-59.

Iidaka T, Yamashita K, Kashikura K et Yonekura Y. Spatial frequency of visual image modulates neural responses in the temporo-occipital lobe. An investigation with event-related fMRI. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2004; 18(2): 196-204.

Ikeda H, Blake R et Watanabe K. Eccentric perception of biological motion is unscalably poor. *Vision Res*. 2005; 45(15): 1935-1943.

J.

Jackson GR, Owsley C et Curcio CA. Photoreceptor degeneration and dysfunction in aging and age-related maculopathy. *Ageing Res Rev*. 2002; 1(3): 381-396.

Jay MF et Sparks DL. Auditory receptive fields in primate superior colliculus shift

with changes in eye position. *Nature*. 1984; 309(5966): 345-347.

Johnson M, Dabholkar A, Huang JD, Presley JB, Chimento MF et Curcio CA. Comparison of morphology of human macular and peripheral Bruch's membrane in older eyes. *Curr Eye Res*. 2007; 32(9): 791-799.

Jolicoeur P, Gluck MA et Kosslyn SM. Pictures and names: making the connexion. *Cogn Psychol*. 1984; 16(2): 243-275.

Joubert OR, Fize D, Rousselet GA et Fabre-Thorpe M. Early interference of context congruence on object processing in rapid visual categorization of natural scenes. *J Vis*. 2008; 8(13): 1-18.

Joubert OR, Rousselet GA, Fize D et Fabre-Thorpe M. Processing scene context: fast categorization and object interference. *Vision Res*. 2007; 47(26): 3286-3297.

K.

Kaas JH, Krubitzer LA, Chino YM, Langston AL, Polley EH et Blair N. Reorganization of retinotopic cortical maps in adult mammals after lesions of the retina. *Science*. 1990; 248(4952): 229-231.

Kaas JH et Lyon DC. Pulvinar contributions to the dorsal and ventral streams of visual processing in primates. *Brain Res Rev*. 2007; 55(2): 285-296.

Kabanarou SA, Crossland MD, Bellmann C, Rees A, Culham LE et Rubin GS. Gaze changes with binocular versus monocular viewing in age-related macular degeneration. *Ophthalmology*. 2006; 113(12): 2251-2258.

Kaplan J, Gerber S, Larget-Piet D, Rozet JM, Dollfus H, Dufier JL, Odent S, Postel-Vinay A, Janin N, Briard ML, et al A gene for Stargardt's disease (fundus flavimaculatus) maps to the short arm of chromosome 1. *Nat Genet*. 1993; 5(3): 308-311.

Kawamura S et Tachibanaki S. Rod and cone photoreceptors: molecular basis of the difference in their physiology. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 2008; 150(4): 369-377

Keane PA, Patel PJ, Ouyang Y, Chen FK, Ikeji F, Walsh AC, Tufail A et Sadda SR. Effects of retinal morphology on contrast sensitivity and reading ability in neovascular age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010; 51(11): 5431-5437.

Kirchner H et Thorpe SJ. Ultra-rapid object detection with saccadic eye movements: visual processing speed revisited. *Vision Res*. 2006; 46(11): 1762-1776.

Klaver CC, Kliffen M, van Duijn CM, Hofman A, Cruts M, Grobbee DE, van Broeckhoven C et de Jong PT. Genetic association of apolipoprotein E with age-related macular degeneration. *Am J Hum Genet*. 1998; 63(1): 200-206.

Klein RJ, Zeiss C, Chew EY, Tsai JY, Sackler RS, Haynes C, Henning AK, SanGiovanni JP, Mane SM, Mayne ST et al Complement factor H polymorphism in age-related macular degeneration. *Science*. 2005; 308(5720): 385-389.

Klein R, Klein BE, Knudtson MD, Wong TY, Cotch MF, Liu K, Burke G, Saad MF et Jacobs DR Jr. Prevalence of age-related macular degeneration in 4 racial/ethnic groups in the multi-ethnic study of

atherosclerosis. *Ophthalmology*. 2006; 113(3): 373-380.

Koch C et Ullman S. Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry. *Hum Neurobiol*. 1985; 4(4): 219-227.

Künzle H, Akert K et Wurtz RH. Projection of area 8 (frontal eye field) to superior colliculus in the monkey. An autoradiographic study. *Brain Res*. 1976; 117(3): 487-492.

L.

Lamb TD et Pugh EN Jr. Phototransduction, dark adaptation, and rhodopsin regeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2006; 47(12): 5137-5152

Larson AM et Loschky LC. The contributions of central versus peripheral vision to scene gist recognition. *J Vis*. 2009; 9(10): 1-16.

Lê S, Cardebat D, Boulanouar K, Hénaff MA, Michel F, Milner D, Dijkerman C, Puel M et Démonet JF. Seeing, since childhood, without ventral stream: a behavioural study. *Brain*. 2002; 125(Pt 1): 58-74.

Lecerf JM et Desmettre T. Nutrition and age-related macular degeneration. *J Fr Ophtalmol*. 2010; 33(10): 749-57.

Lee BB, Martin PR et Valberg A. Nonlinear summation of M- and L-cone inputs to phasic retinal ganglion cells of the macaque. *J Neurosci*. 1989; 9(4): 1433-1442.

Legge GE, Rubin GS, Pelli DG et Schleske MM. Psychophysics of reading--II. Low vision. *Vision Res*. 1985; 25(2): 253-265.

Lei H et Schuchard RA. Using two preferred retinal loci for different lighting conditions in patients with central scotomas. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1997; 38(9): 1812-1818

Leventhal AG, Rodieck RW et Dreher B. Retinal ganglion cell classes in the Old World monkey: morphology and central projections. *Science*. 1981; 213(4512): 1139-1142.

Leventhal AG, Rodieck RW et Dreher B. Central projections of cat retinal ganglion cells. *J Comp Neurol*. 1985; 237(2): 216-226.

Levy I, Hasson U, Avidan G, Hendler T et Malach R. Center-periphery organization of human object areas. *Nat Neurosci*. 2001; 4(5): 533-539.

Liu T, Cheung SH, Schuchard RA, Glielmi CB, Hu X, He S et Legge GE. Incomplete cortical reorganization in macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010; 51(12): 6826-6834.

Liversedge SP, Gilchrist ID et Everling S. *The Oxford Handbook of eye movements*. Oxford University Press. 2011.

Livingstone MS et Hubel DH. Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *J Neurosci*. 1987; 7(11): 3416-3468.

Livingstone M et Hubel D. Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*. 1988; 240(4853): 740-749.

Loschky LC et Larson AM. The natural/man-made distinction is made before basic-level distinctions in scene gist processing. 2010; 18(4): 513-536.

Lott LA, Schneck ME, Haegerström-Portnoy G, Brabyn JA, Gildengorin GL et West CG. Reading performance in older adults with good acuity. *Optom Vis Sci.* 2001; 78(5): 316-324.

Lynch JC, Graybiel AM et Lobeck LJ. The differential projection of two cytoarchitectonic subregions of the inferior parietal lobule of macaque upon the deep layers of the superior colliculus. *J Comp Neurol.* 1985; 235(2): 241-254.

M.

Macé MJ, Delorme A, Richard G et Fabre-Thorpe M. Spotting animals in natural scenes: efficiency of humans and monkeys at very low contrasts. *Anim Cogn.* 2010; 13(3): 405-418.

Macé MJ, Joubert OR, Nespoulous JL et Fabre-Thorpe M. The time-course of visual categorizations: you spot the animal faster than the bird. *PLoS One.* 2009; 4(6): e5927.

Macé MJ, Thorpe SJ et Fabre-Thorpe M. Rapid categorization of achromatic natural scenes: how robust at very low contrasts? *Eur J Neurosci.* 2005; 21(7): 2007-2018.

Malach R, Amir Y, Harel M et Grinvald A. Relationship between intrinsic connexions and functional architecture revealed by optical imaging and in vivo targeted biocytin injections in primate striate cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1993; 90(22): 10469-10473.

Malpeli JG, Lee D et Baker FH. Laminar and retinotopic organization of the macaque lateral geniculate nucleus: magnocellular and parvocellular

magnification functions. *J Comp Neurol.* 1996; 375(3): 363-377.

Manor BR et Gordon E. Defining the temporal threshold for ocular fixation in free-viewing visuocognitive tasks. *Journal of Neuroscience Methods.* 2003; 128(1-2): 85-93.

Marc RE et Sperling HG. Chromatic organization of primate cones. *Science.* 1977; 196(4288): 454-456.

Marendaz C, Guyader N et Malsert J. What the eye tells us about the brain': Executive functions, ocular saccades and neuropsychology/neuropsychiatry. *Revue de Neuropsychologi.* 2007; Vol 17(1): 1-35.

Masuda Y, Dumoulin SO, Nakadomari S et Wandell BA. V1 projection zone signals in human macular degeneration depend on task, not stimulus. *Cereb Cortex.* 2008; 18(11): 2483-2493.

Masuda Y, Horiguchi H, Dumoulin SO, Furuta A, Miyauchi S, Nakadomari S et Wandell BA. Task-dependent V1 responses in human retinitis pigmentosa. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010; 51(10): 5356-5364.

Matin E. Saccadic suppression: a review and an analysis. *Psychol Bull.* 1974; 81(12): 899-917.

Medeiros NE et Curcio CA. Preservation of ganglion cell layer neurons in age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2001; 42(3): 795-803.

Meissirel C, Wikler KC, Chalupa LM et Rakic P. Early divergence of magnocellular and parvocellular functional subsystems in the embryonic primate visual system. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1997; 94(11): 5900-5905.

Meredith MA et Stein BE. Descending efferents from the superior colliculus relay integrated multisensory information. *Science*. 1985; 227(4687): 657-659.

Merigan WH et Maunsell JH. How parallel are the primate visual pathways? *Annu Rev Neurosci*. 1993; 16: 369-402.

Michael GA, Boucart M, Degreef JF et Godefroy O. The thalamus interrupts top-down attentional control for permitting exploratory shiftings to sensory signals. *Neuroreport*. 2001; 12(9): 2041-2048.

Midena E, Degli Angeli C, Blarzino MC, Valenti M et Segato T. Macular function impairment in eyes with early age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1997; 38(2): 469-477.

Mishkin M, Ungerleider LG et Macko KA. Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends Neurosci*. 1983; 6(10), 414-417.

Morris JS, Friston KJ et Dolan RJ. Neural responses to salient visual stimuli. *Proc Biol Sci*. 1997; 264(1382): 769-775.

Munoz DP et Everling S. Look away: the anti-saccade task and the voluntary control of eye movement. *Nat Rev Neurosci*. 2004; 5(3): 218-228.

Musel B, Bordier C, Dojat M, Pichat C, Chokron S, Le Bas JF et Peyrin C. Retinotopic and lateralized processing of spatial frequencies in human visual cortex during scene categorization. *J Cogn Neurosci*. 2013; 25(8): 1315-1331.

Musel B, Chauvin A, Guyader N, Chokron S et Peyrin C. Is coarse-to-fine strategy sensitive to normal aging? *PLoS One*. 2012; 7(6): e38493

Musel B, Hera R, Chokron S, Alleysson D, Chiquet C, Romanet JP, Guyader N et Peyrin C. Residual abilities in age-related macular degeneration to process spatial frequencies during natural scene categorization. *Vis Neurosci*. 2011; 28(6): 529-541

N.

Nakamura H, Gattass R, Desimone R et Ungerleider LG. The modular organization of projections from areas V1 and V2 to areas V4 and TEO in macaques. *J Neurosci*. 1993; 13(9): 3681-3691.

Neider MB et Zelinsky GJ. Scene context guides eye movements during visual search. *Vision Res*. 2006; 46(5): 614-621.

New J, Cosmides L et Tooby J. Category-specific attention for animals reflects ancestral priorities, not expertise. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2007; 104(42): 16598-16603.

Nowak LG, Munk MH, Girard P et Bullier J. Visual latencies in areas V1 and V2 of the macaque monkey. *Vis Neurosci*. 1995; 12(2): 371-384.

Nyffeler T, Pierrot-Deseilligny C, Felblinger J, Mosimann UP, Hess CW et Müri RM. Time-dependent hierarchical organization of spatial working memory: a transcranial magnetic stimulation study. *Eur J Neurosci*. 2002; 16(9): 1823-1827.

Nyffeler T, Pierrot-Deseilligny C, Pflugshaupt T, von Wartburg R, Hess CW et Müri RM. Information processing in long delay memory-guided saccades: further insights from TMS. *Exp Brain Res*. 2004; 154(1): 109-112.

O.

O'Connor DH, Fukui MM, Pinsk MA et Kastner S. Attention modulates responses in the human lateral geniculate nucleus. *Nat Neurosci.* 2002; 5(11): 1203-1209.

Oliva A et Schyns PG. Coarse blobs or fine edges? Evidence that information diagnosticity changes the perception of complex visual stimuli. *Cogn Psychol.* 1997; 34(1): 72-107.

Oliva A et Schyns PG. Diagnostic colors mediate scene recognition. *Cogn Psychol.* 2000; 41(2): 176-210.

Oliva A et Torralba A. Building the gist of a scene: the role of global image features in recognition. *Prog Brain Res.* 2006; 155: 23-36.

Oliva A et Torralba A. Modeling the Shape of the Scene: A Holistic Representation of the Spatial Envelope. *Int J Comput Vis.* 2001; 42(3): 145-175

Oliva A, Torralba A, Castelhana MS et Henderson JM. Topdown control of visual attention in object detection. In Proceedings of the IEEE international conference on image processing. 2003; Vol. I: 253-256. Barcelona, Spain: IEEE.

Owsley C et Sloane ME. Contrast sensitivity, acuity, and the perception of 'real-world' targets. *Br J Ophthalmol.* 1987; 71(10): 791-796.

P.

Palmer TE. The effects of contextual scenes on the identification of objects. *Mem Cognit.* 1975; 3(5): 519-526.

Pennick MR et Kana RK. Specialization and integration of brain responses to object recognition and location detection. *Brain Behav.* 2012; 2(1): 6-14.

Perry VH et Cowey A. Retinal ganglion cells that project to the superior colliculus and pretectum in the macaque monkey. *Neuroscience.* 1984; 12(4): 1125-1137.

Petersen SE, Robinson DL et Morris JD. Contributions of the pulvinar to visual spatial attention. *Neuropsychologia.* 1987; 25(1A): 97-105.

Peyrin C, Baciou M, Segebarth C et Marendaz C. Cerebral regions and hemispheric specialization for processing spatial frequencies during natural scene recognition. An event-related fMRI study. *Neuroimage.* 2004; 23(2): 698-707.

Peyrin C, Chauvin A, Chokron S et Marendaz C. Hemispheric specialization for spatial frequency processing in the analysis of natural scenes. *Brain Cogn.* 2003; 53(2): 278-282.

Peyrin C, Mermillod M, Chokron S et Marendaz C. Effect of temporal constraints on hemispheric asymmetries during spatial frequency processing. *Brain Cogn.* 2006; 62(3): 214-220.

Peyrin C, Michel CM, Schwartz S, Thut G, Seghier M, Landis T, Marendaz C et Vuilleumier P. The neural substrates and timing of top-down processes during coarse-to-fine categorization of visual scenes: a combined fMRI and ERP study. *J Cogn Neurosci.* 2010; 22(12): 2768-2780.

Pierrot-Deseilligny C, Rivaud S, Gaymard B et Agid Y. Cortical control of memory-guided saccades in man. *Exp Brain Res.* 1991 (a); 83(3): 607-617.

Pierrot-Deseilligny C, Rivaud S, Gaymard B et Agid Y. Cortical control of reflexive visually-guided saccades. *Brain*. 1991 (b); 114 (Pt 3): 1473-1485.

Pierrot-Deseilligny C1, Müri RM, Ploner CJ, Gaymard B, Demeret S et Rivaud-Pechoux S. Decisional role of the dorsolateral prefrontal cortex in ocular motor behaviour. *Brain*. 2003 (a); 126(Pt 6): 1460-1473.

Pierrot-Deseilligny C, Müri RM, Ploner CJ, Gaymard B et Rivaud-Péchéoux S. Cortical control of ocular saccades in humans: a modèle for motricity. *Prog Brain Res*. 2003 (b); 142: 3-17.

Plank T, Frolo J, Brandl-Rühle S, Renner AB, Hufendiek K, Helbig H et Greenlee MW. Gray matter alterations in visual cortex of patients with loss of central vision due to hereditary retinal dystrophies. *Neuroimage*. 2011; 56(3): 1556-1565.

Ploner CJ, Gaymard BM, Rivaud-Péchéoux S, Baulac M, Clémenceau S, Samson S et Pierrot-Deseilligny C. Lesions affecting the parahippocampal cortex yield spatial memory deficits in humans. *Cereb Cortex*. 2000; 10(12): 1211-1216.

Potter MC. Short-term conceptual memory for pictures. *J Exp Psychol Hum Learn*. 1976; 2(5): 509-522.

Preston TJ, Guo F, Das K, Giesbrecht B et Eckstein MP. Neural representations of contextual guidance in visual search of real-world scenes. *J Neurosci*. 2013; 33(18): 7846-7855.

R.

Rafal RD et Posner MI. Deficits in human visual spatial attention following thalamic lesions. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1987; 84(20): 7349-7353.

Rajimehr R, Devaney KJ, Bilenko NY, Young JC et Tootell RB. The "parahippocampal place area" responds preferentially to in humans and monkeys. *PLoS Biol*. 2011; 9(4): e1000608.

Ramanoël S, Kauffmann L, Cousin E, Dojat M et Peyrin C. Age-Related Differences in Spatial Frequency Processing During Scene Categorization. (Soumis)

Reid RC et Shapley RM. Spatial structure of cone inputs to receptive fields in primate lateral geniculate nucleus. *Nature*. 1992; 356(6371): 716-718.

Reinhard J, Messias A, Dietz K, Mackeben M, Lakmann R, Scholl HP, Apfelstedt-Sylla E, Weber BH, Seeliger MW, Zrenner E et Trauzettel-Klosinski S. Quantifying fixation in patients with Stargardt disease. *Vision Res*. 2007; 47(15): 2076-2085.

Rémy F, Saint-Aubert L, Bacon-Macé N, Vayssière N, Barbeau E et Fabre-Thorpe M. Object recognition in congruent and incongruent natural scenes: A life-span study. *Vision Res*. 2013; 91: 36-44.

Rémy F, Vayssière N, Pins D, Boucart M et Fabre-Thorpe M. Incongruent object/contexte relationships in visual scenes: Where are they processed in the brain? *Brain Cogn*. 2014; 84(1): 34-43.

Rizzolatti G et Matelli M. Two different streams form the dorsal visual system: anatomy and functions. *Exp Brain Res*. 2003 Nov; 153(2): 146-157.

Robinson DL et Petersen SE. The pulvinar and visual salliance. *Trends Neurosci*. 1992; 15(4): 127-132.

Rodieck RW, Binmoeller KF et Dineen J. Parasol and midget ganglion cells of the human retina. *J Comp Neurol.* 1985; 233(1): 115-132.

Roorda A et Williams DR. The arrangement of the three cone classes in the living human eye. *Nature.* 1999; 397(6719): 520-522.

Rosengarth K, Keck I, Brandl-Rühle S, Frolo J, Hufendiek K, Greenlee MW et Plank T. Functional and structural brain modifications induced by oculomotor training in patients with age-related macular degeneration. *Front Psychol.* 2013; 4:428. 1:21.

Rousselet GA, Mace MJ et Fabre-Thorpe M. Is it an animal? Is it a human face? Fast processing in upright and inverted natural scenes. *J of Vis.* 2003; 3(6), 440–455.

Rovamo J et Virsu V. An estimation and application of the human cortical magnification factor. *Exp Brain Res.* 1979; 37(3): 495-510.

Rozet JM, Gerber S, Perrault I, Camuzat A, Calvas P, Viegas-Pequignot E, Molina-Gomes D, Le Paslier D, Chumakov I, Munnich A et Kaplan J. Structure and physical mapping of DR1, a TATA-binding protein-associated phosphoprotein gene, to chromosome 1p22.1 and its exclusion in Stargardt disease (STGD). *Genomics.* 1996; 36(3): 554-556.

Rozet JM, Gerber S, Ducroq D, Hamel C, Dufier JL et Kaplan J. Hereditary macular dystrophies. *J Fr Ophtalmol.* 2005; 28(1): 1131-24.

Rubin GS et Feely M. The role of eye movements during reading in patients with age-related macular degeneration

(AMD). *Neuro-Ophthalmology.* 2009; 33(3): 120–126.

Rudolf M, Clark ME, Chimento MF, Li CM, Medeiros NE et Curcio CA. Prevalence and morphology of druse types in the macula and periphery of eyes with age-related maculopathy. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008; 49(3): 1200-1209.

S.

Sakai K, Rowe JB et Passingham RE. Active maintenance in prefrontal area 46 creates distractor-resistant memory. *Nat Neurosci.* 2002; 5(5): 479-484.

Sallo FB, Rechtman E, Peto T, Stanescu-Segall D, Vogt G, Bird AC et Fitzke FW. Functional aspects of drusen regression in age-related macular degeneration. *Br J Ophthalmol.* 2009; 93(10): 1345-1350

Salvi SM, Akhtar S et Currie Z. Ageing changes in the eye. *Postgrad Med J.* 2006; 82(971): 581–587.

Sasaki Y, Hadjikhani N, Fischl B, Liu AK, Marrett S, Dale AM et Tootell RB. Local and global attention are mapped retinotopically in human occipital cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2001; 98(4): 2077-2082.

Scherlen AC, Bernard JB, Calabrese A et Castet E. Page mode reading with simulated scotomas: oculo-motor patterns. *Vision Res.* 2008; 48(18): 1870-1878.

Schmolesky MT, Wang Y, Hanes DP, Thompson KG, Leutgeb S, Schall JD et Leventhal AG. Signal timing across the macaque visual system. *J Neurophysiol.* 1998; 79(6): 3272-3278.

Schumacher EH, Jacko JA, Primo SA, Main KL, Moloney KP, Kinzel EN et Ginn J. Reorganization of visual processing is related to eccentric viewing in patients with macular degeneration. *Restor Neurol Neurosci*. 2008; 26(4-5): 391-402.

Schyns PG et Oliva A. Dr. Angry and Mr. Smile: when categorization flexibly modifies the perception of faces in rapid visual presentations. *Cognition*. 1999; 69(3): 243-65.

Schyns PG et Oliva A. From blobs to boundary edges: evidence for time and spatial scale dependent scene recognition. *Psychol. Sci*. 1994; 5(4): 195-200.

Seiple W, Grant P et Szlyk JP. Reading rehabilitation of individuals with AMD: relative effectiveness of training approaches. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2011; 52(6): 2938-2944.

Seiple W, Szlyk JP, McMahan T, Pulido J et Fishman GA. Eye-movement training for reading in patients with age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2005; 46(8): 2886-2896.

Sengupta S, Nguyen AM, van Landingham SW, Solomon SD, Do DV, Ferrucci L, Friedman DS et Ramulu PY. Evaluation of real-world mobility in age-related macular degeneration. *BMC Ophthalmol*. 2015; 15: 9.

Shook BL, Schlag-Rey M et Schlag J. Primate supplementary eye field: I. Comparative aspects of mesencephalic and pontine connexions. *J Comp Neurol*. 1990; 301(4): 618-642.

Sinha P, Balas B et Ostrovsky Y. Discovering faces in infancy [Abstract]. *Journal of Vision*. 2007; 7(9): 569, 569a, <http://journalofvision.org/7/9/569/>

Snowden R, Thompson P et Troscianko T. Basic vision, an introduction to visual perception Revised Edition. Oxford. 2012.

Solomon SG et Lennie P. The machinery of colour vision. *Nat Rev Neurosci*. 2007; 8(4): 276-286.

Souied EH, Benlian P, Amouyel P, Feingold J, Lagarde JP, Munnich A, Kaplan J, Coscas G et Soubrane G. The epsilon4 allele of the apolipoprotein E gene as a potential protective factor for exudative age-related macular degeneration. *Am J Ophthalmol*. 1998; 125(3): 353-359.

Souied EH, Coscas G et Soubrane G. Dystrophies héréditaires de la macula. *EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Encycl Méd Chir*. 2003 ; 21-249-A-10.

Souied EH, Leveziel N, Richard F, Dragon-Durey MA, Coscas G, Soubrane G, Benlian P et Fremeaux-Bacchi V. Y402H complement factor H polymorphism associated with exudative age-related macular degeneration in the French population. *Mol Vis*. 2005; 11:1135-1140.

Stargardt K. Über familiäre, progressive Degeneration in der Maculagegend des Auges. *Albrecht von Graefes Arch Ophthalmol*. 1909; 71(3): 534-550.

Stanton GB, Goldberg ME et Bruce CJ. Frontal eye field efferents in the macaque monkey: II. Topography of terminal fields in midbrain and pons. *J Comp Neurol*. 1988; 271(4): 493-506.

Stanton GB, Bruce CJ et Goldberg ME. Topography of projections to posterior cortical areas from the macaque frontal eye fields. *J Comp Neurol*. 1995; 353(2): 291-305.

Stein BE, Stanford TR et Rowland BA. The neural basis of multisensory integration in

the midbrain: its organization and maturation. *Hear Res.* 2009; 258(1-2): 4-15.

Steinberg RH, Fisher SK et Anderson DH. Disc morphogenesis in vertebrate photoreceptors. *J Comp Neurol.* 1980; 190(3): 501-508.

Sterling P, Freed MA et Smith RG. Architecture of Rod and Cone Circuits to the On-beta Ganglion Cell. *J Neurosci.* 1988; 8(2): 623-642.

Stockman A et Sharpe LT. Into the twilight zone - the complexities of mesopic vision and luminous efficiency. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2006; 26(3): 225-239.

Strasburger H et Rentschler I. Contrast-dependent dissociation of visual recognition and detection fields. *Eur J Neurosci.* 1996; 8(8): 1787-1791.

Sugase Y, Yamane S, Ueno S et Kawano K. Global and fine information coded by single neurons in the temporal visual cortex. *Nature.* 1999; 400(6747): 869-873.

Sunness JS, Liu T et Yantis S. Retinotopic mapping of the visual cortex using functional magnetic resonance imaging in a patient with central scotomas from atrophic macular degeneration. *Ophthalmology.* 2004; 111(8): 1595-1598.

Swaroop A, Branham KE, Chen W et Abecasis G. Genetic susceptibility to age-related macular degeneration: a paradigm for dissecting complex disease traits. *Hum Mol Genet.* 2007; 16 Spec N°2: 174-182.

Szlyk JP et Little DM. An fMRI study of word-level recognition and processing in patients with age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2009; 50(9): 4487-4495.

T.

Tanaka JW et Presnell LM. Color diagnosticity in object recognition. *Percept Psychophys.* 1999; 61(6): 1140-1153.

Tarita-Nistor L, González EG, Markowitz SN, Lillakas L et Steinbach MJ. Increased role of peripheral vision in self-induced motion in patients with age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008; 49(7): 3253-3258.

Tatler B W. Current understanding of eye guidance. *Visual Cognition.* 2009; 17(6/7): 777-789.

Taub E, Uswatte G et Elbert T. New treatments in neurorehabilitation founded on basic research. *Nat Rev Neurosci.* 2002; 3(3): 228-236.

Tejeria L, Harper RA, Artes PH et Dickinson CM. Face recognition in age related macular degeneration: perceived disability, measured disability, and performance with a bioptic device. *Br J Ophthalmol.* 2002; 86(9): 1019-1026.

Theeuwes J, Kramer AF, Hahn S et Irwin DE. Our eyes do not always go where we want them to go - capture of the eyes by new object. *Psychol Sci.* 1998; 9(5): 379-385.

Thompson B, Hansen BC, Hess RF et Troje NF. Peripheral vision: good for biological motion, bad for signal noise segregation? *J Vis.* 2007; 7(10): 1-7.

Thorpe S, Fize D et Marlot C. Speed of processing in the human visual system. *Nature.* 1996; 381(6582): 520-522.

Thorpe SJ, Gegenfurtner KR, Fabre-Thorpe M et Bülthoff HH. Detection of animals in natural images using far peripheral vision. *Eur J Neurosci.* 2001; 14(5): 869-876.

Torralba A et Oliva A. Statistics of natural image categories. *Network.* 2003; 14(3): 391-412.

Torralba A, Oliva A, Castelhana MS et Henderson JM. Saliency, objects and scenes: global scene factors in attention and object detection. *Journal of Vision.* 2004; 4(8):. 337. doi:10.1167/4.8.337.

Torralba A, Oliva A, Castelhana MS et Henderson JM. Contextual guidance of eye movements and attention in real-world scenes: the role of global features in object search. *Psychol Rev.* 2006; 113(4): 766-786.

Tran TH et Boucart M. Perception of objects and scenes in age-related macular degeneration. *J Fr Ophtalmol.* 2012; 35(1): 58-68.

Tran TH, Despretz P et Boucart M. Scene perception in age-related macular degeneration: the effect of contrast. *Optom Vis Sci.* 2012; 89(4): 419-425

Tran TH, Despretz P et Boucart M. Space representation in age-related macular degeneration. *Optom Vis Sci.* 2014; 91(8): 1012-1020.

Tran THC, Guyader N, Guerin A, Despretz P et Boucart M. Figure Ground Discrimination in Age-Related Macular Degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011; 52(3): 1655-1660.

Tran THC, Rambaud C, Despretz P et Boucart M. Scene Perception in Age-Related Macular Degeneration, *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010; 51(2): 6868-6874.

U.

Ungerleider LG et Desimone R. Cortical connexions of visual area MT in the macaque. *J Comp Neurol.* 1986; 248(2): 190-222.

V.

Van der Stigchel S, Bethlehem RA, Klein BO, Berendschot TT, Nijboer TC et Dumoulin SO. Macular degeneration affects eye movement behavior during visual search. *Front Psychol.* 2013; 6(1): 1-11.

Vass LK et Epstein RA. Abstract representations of location and facing direction in the human brain. *J Neurosci.* 2013; 33(14): 6133-6142.

Vickery TJ, King LW et Jiang Y. Setting up the target template in visual search. *J Vis.* 2005; 5(1): 81-92.

W.

Wald. Human vision and spectrum. *Science.* 1945; 101(2635): 653-658.

Wandell BA, Dumoulin SO et Brewer AA. Visual field maps in human cortex. *Neuron.* 2007; 56(2): 366-383.

Wardak C, Olivier E et Duhamel JR. Saccadic target selection deficits after lateral intraparietal area inactivation in monkeys. *J Neurosci.* 2002; 22(22): 9877-9884.

Webster MJ, Bachevalier J et Ungerleider LG. Subcortical connexions of inferior

temporal areas TE and TEO in macaque monkeys. *J Comp Neurol.* 1993; 335(1): 73-91.

Westerfeld C et Mukai S. Stargardt's disease and the ABCR gene. *Semin Ophthalmol.* 2008; 23(1): 59-65.

Wolfe JM, Horowitz TS, Kenner N, Hyle M et Vasan N. How fast can you change your mind? The speed of top-down guidance in visual search. *Vision Res.* 2004; 44(12): 1411-1426.

Wood JM, Lacherez PF, Black AA, Cole MH, Boon MY et Kerr GK. Postural stability and gait among older adults with age-related maculopathy. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2009; 50(1): 482-487.

Wurm LH, Legge GE, Isenberg LM et Luebker A. Color improves object recognition in normal and low vision. *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 1993; 19(4): 899-911.

Wurtz RH, Joiner WM et Berman RA. Neuronal mechanisms for visual stability:

progress and problems. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2011; 366(1564): 492-503.

Y.

Yarbus AL. Eye movements and vision. New-York: Plenum Press. 1967.

Z.

Zeidman P, Mullally SL, Schwarzkopf DS et Maguire EA. Exploring the parahippocampal cortex response to high and low spatial frequency spaces. *Neuroreport.* 2012; 23(8): 503-507.

Zhang K, Kniazeva M, Han M, Li W, Yu Z, Yang Z, Li Y, Metzker ML, Allikmets R, Zack DJ et al A 5-bp deletion in ELOVL4 is associated with two related forms of autosomal dominant macular dystrophy. *Nat Genet.* 2001; 27(1): 89-93.

Annexes

Lettre d'information (patients)

Titre de l'étude : La perception des objets et des scènes naturelles chez les personnes souffrant de basse vision.

Investigateur coordonnateur : Dr. Tran Thi Ha Chau
Service d'ophtalmologie

Hôpital St Vincent de Paul
Boulevard Belfort BP 387
59020 Lille Cedex

Promoteur : Groupe hospitalier de l'institut catholique de Lille (GHICL)

Madame, Monsieur,

Vous êtes atteint d'une **pathologie oculaire** qui peut avoir un retentissement sur la vision et sur les activités de la vie quotidienne, créant ainsi un handicap.

L'objectif de cette étude, vise à mieux comprendre la nature de ces perturbations des fonctions visuelles et de la perception de l'espace.

Après quelques tests cliniques que vous aurez probablement déjà réalisés pour votre maladie, nous vous proposerons de participer à une série de tests de votre vision des objets et de l'espace. Nous vous présenterons des photos de scènes naturelles sur un écran d'ordinateur et/ou sur un écran panoramique et nous vous demanderons d'effectuer des évaluations sur les images. Pour le test sur écran d'ordinateur, il vous sera demandé de détecter un objet dans les différentes scènes défilantes sur l'écran. Pour le test sur écran panoramique, vous serez amené à rechercher la présence d'un objet dans chaque scène. Nous mesurerons votre temps de réponse et la précision de vos réponses. Ces tests sont variés et de courte durée, ne dépassant pas 2h au total.

La participation à cette étude ne présente aucun risque puisque vos réponses sont données manuellement par une pression sur un bouton réponse ou oralement. La participation à cette étude ne changera en rien le reste de la prise en charge de votre pathologie.

Il faut que vous sachiez :

- Afin de pouvoir participer à cette étude, vous devez être affilié(e) à un régime obligatoire d'Assurance Maladie ou ayant droit d'un assuré social.
 - Nous informerons votre médecin traitant de votre participation à cette étude, sauf si vous le refusez
 - Vous pourrez poser toutes les questions que vous désirez au Dr.investigateur principal de l'étude du centreau N° de tel
 - Votre participation à l'étude est entièrement libre et volontaire. Vous êtes libre de décider à tout moment de retirer votre consentement ce qui ne modifie en rien votre prise en charge médicale.
 - Les données enregistrées au cours de cette étude seront codées et l'anonymat sera respecté.

- Vous pouvez demander des explications quant à l'avancée des recherches en général au Dr.....au Si vous le désirez, vous serez informé des résultats globaux de l'étude lorsque celle-ci sera terminée.
- Conformément à l'article L.1121-10 du code de la santé publique, le Groupe Hospitalier de l'institut catholique de Lille (GHICL) a souscrit une assurance garantissant sa responsabilité civile et celle de tout intervenant.
- Conformément à la réglementation sur les études cliniques, le Comité de Protection des Personnes Nord Ouest IV a rendu un AVIS FAVORABLE pour la réalisation de cette recherche et l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé a donné son autorisation (N° 2010-A01088-31) le 27 octobre 2010 pour la réalisation de cette recherche.
- Dans le cadre de la recherche biomédicale à laquelle le GHICL vous propose de participer, un traitement de vos données personnelles va être mis en œuvre pour permettre d'analyser les résultats de la recherche au regard de l'objectif qui vous a été présenté.

A cette fin, les données médicales vous concernant et les données relatives à vos habitudes de vie, seront transmises au Promoteur de la recherche ou aux personnes ou sociétés agissant pour son compte, en France. Ces données seront identifiées par un numéro de code et/ou vos initiales. Ces données pourront également, dans des conditions assurant leur confidentialité, être transmises aux autorités de santé françaises.

Le traitement des données sera réalisé dans des conditions de confidentialité définies par la loi du 6 janvier 1978 modifiée relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés (CNIL) le traitement des données sera effectué conformément aux exigences de la méthodologie de référence MR 06001 de la CNIL.

- Conformément aux dispositions de loi relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification. Vous disposez également d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel susceptibles d'être utilisées dans le cadre de cette recherche et d'être traitées.

Fait à : Le :

Paraphe du patient : Paraphe de l'investigateur

Ou de la personne apparentée

(Barrer la mention inutile)

Nous vous remercions de bien vouloir parapher chaque page de ce document (réalisé en trois exemplaires), afin d'attester que vous l'avez bien lu et compris.

Si vous êtes d'accord pour participer à cette étude, nous vous remercions également de bien vouloir donner votre consentement écrit en signant le formulaire ci-après, préparé à cet effet.

Lettre d'information (témoins)

Titre de l'étude : La perception des objets et des scènes naturelles chez le sujet sain.

Investigateur coordonnateur : Dr. Tran Thi Ha Chau
Service d'ophtalmologie

Hôpital St Vincent de Paul
Boulevard Belfort BP 387
59020 Lille Cedex

Promoteur : Groupe hospitalier de l'institut catholique de Lille

Madame, Monsieur,

Nous réalisons une recherche sur les déficits visuels dans les pathologies ophtalmiques. L'objectif de cette étude, vise à mieux comprendre l'éventuelle survenue de ces perturbations des fonctions visuelles et de la perception de l'espace suite à des lésions de la rétine. Nous vous proposons de participer à cette étude en tant que population **témoin** pour les patients.

Nous vous proposons de participer à une série de tests de votre vision des objets et de l'espace. Nous vous présenterons des photos de scènes naturelles sur un écran d'ordinateur et/ou sur un écran panoramique et nous vous demanderons d'effectuer des évaluations sur les images. Pour le test sur écran d'ordinateur, il vous sera demandé de détecter un objet dans les différentes scènes défilantes sur l'écran. Pour le test sur écran panoramique, vous serez amené à rechercher la présence d'un objet dans chaque scène. Nous mesurerons votre temps de réponse et la précision de vos réponses. Ces tests sont variés et de courte durée, ne dépassant pas 2h au total.

Il faut que vous sachiez :

- Afin de pouvoir participer à cette étude, vous devez être affilié(e) à un régime obligatoire d'Assurance Maladie ou ayant droit d'un assuré social.
- Vous pourrez poser toutes les questions que vous désirez au Dr.
investigateur principal de l'étude du centreau N° de tel
.....
- Votre participation à l'étude est entièrement libre et volontaire. Vous êtes libre de décider à tout moment de retirer votre consentement.
- Les données enregistrées au cours de cette étude seront codées et l'anonymat sera respecté.
- Vous pouvez demander des explications quant à l'avancée des recherches en général au Dr.....au Si vous le désirez, vous serez informé des résultats globaux de l'étude lorsque celle-ci sera terminée.
- Conformément à l'article L.1121-10 du code de la santé publique, le Groupe hospitalier de l'institut catholique de Lille (GHICL) a souscrit une assurance garantissant sa responsabilité civile et celle de tout intervenant.
- Conformément à la réglementation sur les études cliniques, le Comité de Protection des Personnes Nord Ouest IV a rendu un AVIS FAVORABLE pour la réalisation de cette recherche et l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé a

donné son autorisation (N° 2010-A01088-31) le 27 octobre 2010 pour la réalisation de cette recherche.

- Dans le cadre de la recherche biomédicale à laquelle le GHICL vous propose de participer, un traitement de vos données personnelles va être mis en œuvre pour permettre d'analyser les résultats de la recherche au regard de l'objectif qui vous a été présenté.

A cette fin, les données médicales vous concernant et les données relatives à vos habitudes de vie, seront transmises au Promoteur de la recherche ou aux personnes ou sociétés agissant pour son compte, en France. Ces données seront identifiées par un numéro de code et/ou vos initiales. Ces données pourront également, dans des conditions assurant leur confidentialité, être transmises aux autorités de santé françaises.

Le traitement des données sera réalisé dans des conditions de confidentialité définies par la loi du 6 janvier 1978 modifiée relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés (CNIL) le traitement des données sera effectué conformément aux exigences de la méthodologie de référence MR 06001 de la CNIL.

- Conformément aux dispositions de loi relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification. Vous disposez également d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel susceptibles d'être utilisées dans le cadre de cette recherche et d'être traitées.

Fait à : Le :

Paraphe du sujet : Paraphe de l'investigateur

Ou de la personne apparentée
(Barrer la mention inutile)

Nous vous remercions de bien vouloir parapher chaque page de ce document (réalisé en trois exemplaires), afin d'attester que vous l'avez bien lu et compris.

Si vous êtes d'accord pour participer à cette étude, nous vous remercions également de bien vouloir donner votre consentement écrit en signant le formulaire ci-après, préparé à cet effet.

Formulaire de consentement (patients et témoins)

Titre de l'étude : La perception des objets et des scènes naturelles chez les personnes souffrant de basse vision.

Investigateur coordonnateur : Dr. Tran Thi Ha Chau
Service d'ophtalmologie

Hôpital St Vincent de Paul
Boulevard Belfort BP 387
59020 Lille Cedex

Promoteur : Groupe Hospitalier de l'institut catholique de Lille (GHICL)

Je soussigné(e).....(Nom, Prénom)

Demeuranttéléphone.....

Déclare avoir été informé(e) du déroulement, des objectifs et de la durée de cette étude.

Je confirme que ma participation est volontaire et que j'ai le droit de me retirer à tout moment de cette étude, sans que cette décision ne modifie ma prise en charge. J'ai bénéficié d'un délai de réflexion suffisant avant de prendre ma décision.

J'ai noté que :

- Ma participation à l'étude est de 2h maximum
- Que les investigateurs se réservent le droit de réaliser toutes analyses sur mes données qui pourrait se révéler intéressantes dans le cadre du projet de recherche, en fonction de l'évolution des connaissances scientifiques.
- Toutes les données me concernant resteront confidentielles. Ces données pourront éventuellement être auditées ou inspectées par les investigateurs, les attachés de recherche cliniques de la Direction de recherche clinique GHICL/FLM et par les représentants des autorités de santé.
- J'accepte que les données enregistrées à l'occasion de cette recherche puissent faire l'objet d'un traitement informatisé par le promoteur ou pour son compte. J'ai bien noté que le droit d'accès prévu par la loi du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés (article 39) s'exerce à tout moment auprès Dr qui me suit dans le cadre de la recherche et qui connaît mon identité. Je pourrai exercer mon droit de rectification et d'opposition auprès de ce même médecin qui contactera le promoteur de la recherche.
- Conformément à l'article L.1121-10 du code de la santé publique, le GHICL a souscrit une assurance garantissant sa responsabilité civile et celle de tout intervenant.
- J'ai été informé que conformément à la réglementation sur les études cliniques, le CPP Nord Ouest IV a rendu un AVIS FAVORABLE pour la réalisation de cette recherche et l'AFSSAPS a donné son autorisation (N° 2010-A01088-31) le 27 octobre 2010 pour la réalisation de cette recherche.
- J'ai pu poser toutes les questions que je désirais au cours de l'entretien médical.
- Pour toute information complémentaire, je pourrai contacter le Dr investigateur principal de cette étude, au

Je confirme avoir reçu un exemplaire de ce document ainsi qu'un exemplaire de la lettre d'information.

Fait à :

Date

Date

Signature du patient

Signature de l'investigateur

Ou de la personne apparentée en l'absence d'autonomie de lecture et d'écriture
lien de parenté :

Fait en 3 exemplaires : un exemplaire est remis à la personne, un exemplaire est adressé au Promoteur, un exemplaire est conservé par l'investigateur

Mini Mental State Examination (MMSE) (Version consensuelle du GRECO)

Orientation

/ 10

Je vais vous poser quelques questions pour apprécier comment fonctionne votre mémoire.

Les unes sont très simples, les autres un peu moins. Vous devez répondre du mieux que vous pouvez.

Quelle est la date complète d'aujourd'hui ? _____

Si la réponse est incorrecte ou incomplète, posez les questions restées sans réponse, dans l'ordre suivant :

- | | |
|----------------------------------|--------------------------|
| 1. En quelle année sommes-nous ? | <input type="checkbox"/> |
| 2. En quelle saison ? | <input type="checkbox"/> |
| 3. En quel mois ? | <input type="checkbox"/> |
| 4. Quel jour du mois ? | <input type="checkbox"/> |
| 5. Quel jour de la semaine ? | <input type="checkbox"/> |

Je vais vous poser maintenant quelques questions sur l'endroit où nous trouvons.

- | | |
|--|--------------------------|
| 6. Quel est le nom de l'hôpital où nous sommes ?* | <input type="checkbox"/> |
| 7. Dans quelle ville se trouve-t-il ? | <input type="checkbox"/> |
| 8. Quel est le nom du département dans lequel est située cette ville ?** | <input type="checkbox"/> |
| 9. Dans quelle province ou région est située ce département ? | <input type="checkbox"/> |
| 10. A quel étage sommes-nous ? | <input type="checkbox"/> |

Apprentissage

/ 3

Je vais vous dire trois mots ; je vous voudrais que vous me les répétiez et que vous essayiez de les retenir car je vous les redemanderai tout à l'heure.

- | | | | | | |
|------------|----|--------|----|----------|--------------------------|
| 11. Cigare | | Citron | | Fauteuil | <input type="checkbox"/> |
| 12. Fleur | ou | Clé | ou | Tulipe | <input type="checkbox"/> |
| 13. Porte | | Ballon | | Canard | <input type="checkbox"/> |

Répéter les 3 mots.

Attention et calcul

/ 5

Voulez-vous compter à partir de 100 en retirant 7 à chaque fois ?*

- | | | |
|-----|----|--------------------------|
| 14. | 93 | <input type="checkbox"/> |
| 15. | 86 | <input type="checkbox"/> |
| 16. | 79 | <input type="checkbox"/> |
| 17. | 72 | <input type="checkbox"/> |
| 18. | 65 | <input type="checkbox"/> |

Pour tous les sujets, même pour ceux qui ont obtenu le maximum de points, demander : Voulez-vous épeler le mot MONDE à l'envers ?**

Rappel

/ 3

Pouvez-vous me dire quels étaient les 3 mots que je vous ai demandés de répéter et de retenir tout à l'heure ?

- | | | | | | |
|------------|----|--------|----|----------|--------------------------|
| 11. Cigare | | Citron | | Fauteuil | <input type="checkbox"/> |
| 12. Fleur | ou | Clé | ou | Tulipe | <input type="checkbox"/> |
| 13. Porte | | Ballon | | Canard | <input type="checkbox"/> |

Langage

/ 8

Montrer un crayon. 22. Quel est le nom de cet objet ?* Montrer votre montre. 23. Quel est le nom de cet objet ?**

24. Ecoutez bien et répétez après moi : « PAS DE MAIS, DE SI, NI DE ET »***

Poser une feuille de papier sur le bureau, la montrer au sujet en lui disant : « Ecoutez bien et faites ce que je vais vous dire :

25. Prenez cette feuille de papier avec votre main droite,

26. Pliez-la en deux,

27. Et jetez-la par terre. »****

Tendre au sujet une feuille de papier sur laquelle est écrit en gros caractère : « FERMEZ LES YEUX » et dire au sujet :

28. « Faites ce qui est écrit ».

Tendre au sujet une feuille de papier et un stylo, en disant :

29. « Voulez-vous m'écrire une phrase, ce que vous voulez, mais une phrase entière. »*****

Praxies constructives

/ 1

Tendre au sujet une feuille de papier et lui demander : 30. « Voulez-vous recopier ce dessin ? »

« FERMEZ LES YEUX »

