Université Victor Segalen Bordeaux 2

Année 2010/2011

Thèse n°

THÈSE

pour le

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ BORDEAUX 2

Mention : Psychologie

Présentée et soutenue publiquement

Le 4 juillet 2011 à 14 Heures

Par BORDABERRY Pierre

Né(e) le 27/09/1984 à BORDEAUX

Fonctionnement et dysfonctionnement du système visuel : une dissociation entre systèmes parvocellulaire et magnocellulaire chez l'adulte jeune et âgé et rôle de la dopamine

Membres du Jury

Mme S. DELORD.....Co-directrice
Mme M. ALLARD .....Présidente
Mme M. FABRE-THORPE.....Rapporteur
Mme D. PINS.....Rapporteur
Mr C.MARENDAZ…….Examinateur
Mme F. GELIE.....Directrice de thèse

Remerciements

Je remercie sincèrement Sandrine Delord et Florence Cousson-Gélie de m’avoir offert l’opportunité de réaliser cette thèse.

Mes remerciements s’adressent aussi à Michèle Fabre-Thorpe, Delphine Pins et Michèle Allard pour avoir lu ma thèse et permis sa soutenance.

La liste des remerciements étant trop longue, je remercie ceux qui m’ont aidé à:

- financer ces trois années
- trouver tous les articles nécessaires
- élaborer mes expériences
- atteindre le nombre de participants souhaité
- interpréter les résultats
- écrire et relire consciencieusement cette thèse

Résumé

L'objectif de cette thèse était l'investigation du fonctionnement et des dysfonctionnements des deux systèmes visuels principaux (magnocellulaire et parvocellulaire). Une synthèse théorique sur la dissociation de ces deux systèmes et une revue sur les procédures expérimentales permettant de les dissocier constituaient la première partie de cette thèse. Ensuite, des arguments neuropsychologiques concernant le vieillissement normal et pathologique du système visuel ont été synthétisés et différents résultats de la littérature ont été analysés pour étayer cette dissociation. La quinzaine d'expériences réalisées a mis en évidence deux résultats principaux. Il y a un déficit massif du système parvocellulaire dans le vieillissement normal dès les étapes précoces du traitement et qui perdure aux étapes plus tardives, ainsi qu'un déficit magnocellulaire sous certaines conditions seulement. L'étude des dysfonctionnements visuels dans les pathologies à syndromes extrapyramidaux a montré que ces patients présentaient un déficit spécifiquement magnocellulaire en lien avec la dénervation dopaminergique dans le système central, objectivée à l'aide d'une technique de scintigraphie cérébrale.

Keywords

vision, magnocellulaire, parvocellulaire, vieillissement, dopamine

Laboratoire :
EA 4139 - Laboratoire de Psychologie : Santé et qualité de vie
Unité de recherche, Département Sciences humaines et humanités
UFR Sciences de l'Homme 3, Place de la Victoire
33076 BORDEAUX Cedex

Abstract

The objective was to investigate the normal functioning and the impairment of the two main visual systems, the parvocellular and the magnocellular systems. A theoretical review on the two systems and on the experimental procedures that have been used to dissociate them is proposed in the first chapter. In a second part, a synthesis of the neuropsychological studies focusing on the normal aging of the visual system and on the visual deficits found in various pathologies, that support the parvocellular / magnocellular dissociation is presented. The experimental chapter comprised about fifteen experiments and showed two main results: 1/ a major low-level parvocellular impairment with normal aging that was not compensated at the later stages, and a slighter magnocellular impairment under certain conditions: 2/ a specific deterioration of the magnocellular system in extrapyramidal patients, correlated with dopamine denervation in two structures of the central system.

Keywords

Vision, Parvocellular, Magnocellular, Aging, Dopamine

1° Partie : Introduction théorique 7
I. Le système visuel 8
1. Structure anatomique et fonctionnelle générale 8
A. De la rétine à V1 8
B. Dans le cortex visuel 10
2. Caractéristiques spécifiques des systèmes parvocellulaire et magnocellulaire 12
A. Le contraste 12
B. La fréquence spatiale 15
C. L'excentricité 19
D. Le mouvement 21
II. Le traitement cognitif visuel du stimulus 24
A. Les primitives visuelles 25
B. Le traitement de stimuli complexes 30
C. L'influence du contexte sur le traitement de l'objet 46
III. Dysfonction du système visuel 50
1. Pourquoi étudier ces dysfonctionnements ? 51
A. Une meilleure compréhension des symptomatologies 51
B. Elaboration d'outils diagnostiques 54
C. La prise en charge 55
D. Un outil pour la compréhension du système visuel humain normal 57
2. Evolution du système visuel dans le vieillissement normal 59
A. Au niveau ophtalmologique 59
B. Au niveau des systèmes visuels cognitifs 61
3. L'étude d'un dysfonctionnement appliquée à la question de la dopamine 65
IV. Objectifs 71
2° Partie : Partie expérimentale 73
I. Mise en place et adaptation des outils 73
1. Les traitements de bas niveau: expérience psychophysique 73
2. Les traitements de stimuli complexes 79
A. La différenciation par la fréquence spatiale 79
B. La différenciation par l'excentricité 93
C. La différenciation par le mouvement 99
D. Effets des attentes liées à la tâche 103
E. L'objet dans la scène 119
3. Conclusion 132
A. Dissociation parvocellulaire/magnocellulaire 132
B. Système visuel normal 133
C. L'objet dans la scène 134

II. Vieillissement normal 136
1. Les traitements de bas niveau : expérience psychophysique 136
2. Les traitements de stimuli complexes 140
A. La différenciation par la fréquence spatiale 140
B. La différenciation par l'excentricité 144
C. La différenciation par le mouvement 150
D. Effets des attentes liées à la tâche 153
E. L'objet dans la scène 158
3. Discussion 162
III. Dopamine et système visuel 165
1. Les traitements de bas niveau 165
2. Les traitements de stimuli complexes 169
A. La différenciation par la fréquence spatiale 170
B. La différenciation par l'excentricité 173
C. La différenciation par le mouvement 175
D. Effets des attentes liées à la tâche 177
E. Données dénervation dopaminergique 181
3. Discussion 184
3° Partie : Conclusion 186

1° Partie : Introduction théorique

La vision est le système perceptif dont l'étude est la plus approfondie, que cela soit au niveau neurophysiologique ou cognitif. Les études ont fait émerger deux sous-systèmes visuels : le système magnocellulaire et le système parvocellulaire. Ceux-ci ont des propriétés distinctes qui leur permettent de prendre en charge différentes caractéristiques des stimuli. Les études neurophysiologiques ont permis d'isoler deux types de cellules rétiniennes responsables des traitements sous-tendant ces systèmes. Au fur et à mesure des traitements de l'information visuelle, la dissociation entre ces deux systèmes va persister jusqu'au niveau cortical avec la distinction entre système dorsal et système ventral. La littérature actuelle nuance cependant cette dissociation. Tout d'abord, les approches neurophysiologiques montrent que la distinction entre les deux types de cellules n'est pas aussi évidente qu'elle pourrait paraître au départ. Une revue de la littérature concernant les deux systèmes sera présentée, mentionnant leurs caractéristiques, les procédures permettant de les différencier, ainsi que leur utilité heuristique au regard des études remettant en cause leur distinction. Le premier objectif de cette thèse sera donc d'examiner la dissociation entre système parvocellulaire et système magnocellulaire et les procédures permettant de les différencier.

Dans un deuxième temps, la dissociation neuropsychologique sera présentée en montrant comment l'un ou l'autre de ces sous-systèmes peut être sélectivement atteint dans différentes pathologies. Les détériorations du système visuel dans le vieillissement normal et le vieillissement pathologique seront notamment examinées en réintégrant certains déficits dans le cadre de cette double dissociation. La description des troubles visuels liés au vieillissement est importante au niveau ophtalmologique; cependant peu d'études tentent de la comprendre au niveau cognitif. Cette thèse permettra de comprendre l'évolution du système visuel avec l'avancée en âge et de mettre en évidence le lien entre dopamine et déficits visuels grâce à l'étude de pathologies particulières (pathologies à syndromes extrapyramidaux).

I. Le système visuel

La description du système visuel se centre sur les structures sous-tendant les deux systèmes.

1. Structure anatomique et fonctionnelle générale

A. De la rétine à V1

La rétine est composée de six couches de cellules (Voir Figure 1). La couche de photorécepteurs, composée de pigments photosensibles, va être à l'origine du message nerveux. Le traitement passe ensuite par les cellules bipolaires qui acheminent l'information jusqu'aux cellules ganglionnaires. C'est au niveau de celles-ci que débute la dissociation entre les systèmes magnocellulaire et parvocellulaire.

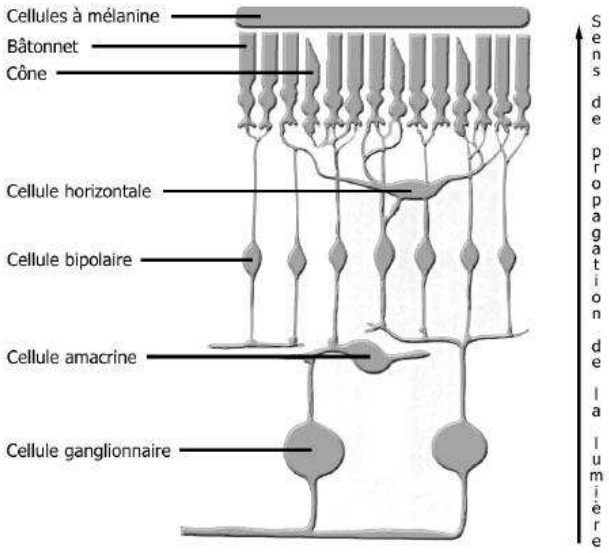


Figure 1. Coupe schématique de la rétine

Les premiers travaux étudiant l'organisation fonctionnelle des cellules ganglionnaires ont débuté chez le singe (Hubel et Wiesel, 1977) et chez le chat (Ozhama, Sclar et Freeman, 1982). Les auteurs ont distingué les cellules X et les cellules Y. Les cellules de type X ont un petit champ récepteur, une vitesse de conduction de l'information lente et un comportement tonique (la cellule reste activée lors du maintien de la stimulation sensorielle). Leur concentration est plus forte vers la fovéa, au centre de la rétine. Les cellules de type Y ont, au contraire, des champs récepteurs larges, une vitesse de conduction rapide. Elles sont présentes principalement dans la périphérie de la rétine et ont un comportement phasique (activation lors de l'apparition ou la disparition de la stimulation). Les cellules ganglionnaires se distinguent aussi selon leur capacité à coder les longueurs d'onde (couleur). Les cellules

chromatiques sont de type X. Les cellules achromatiques sont soit de type Y, soit de type X. (Kaplan & Shapley, 1982 ; Blake-more et Vital-Durand, 1986 ; Bagot, 1996). La distinction entre cellules parasol et cellules naines est, cependant, la plus pertinente à la dissociation parvocellulaire/magnocellulaire (Polyak, 1941; Calkins, Schein, Tsukamoto & Sterling, 1994). Les cellules parasol sont reliées à plusieurs cônes alors que les cellules naines reçoivent les afférences d'un seul cône. Cette différence anatomique est à la base des systèmes magnocellulaire (cellules parasol) et parvocellulaire (cellules naines).

On distingue alors deux types de cellules ganglionnaires[1] aux fonctions différentes (Voir Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques générales des cellules parvocellulaires et magnocellulaires

	Cellules du système Parvocellulaire	Cellules du système Magnocellulaire
Type	Tonique	Principalement phasique
Couleur	Chromatique	Achromatique
Contraste	Gain de contraste linéaire avec l'augmentation du contraste	Gain de contraste plus élevé pour les conditions de contraste faible
Résolution spatiale	Résolution spatiale élevée	Résolution spatiale faible
Emplacement rétinien	Plus forte proportion au centre	Plus grande proportion en périphérie

[1] Il existe aussi un troisième type : les cellules koniocellulaires qui ne font pas l'objet de cette thèse. Elles permettraient d'intégrer des informations des deux autres types de cellules, comme le traitement de la couleur dans le mouvement (Ruppertsberg, Wuerger & Bertamini, 2003).

Les axones des cellules ganglionnaires se regroupent au niveau de la papille et forment le nerf optique. L'information est relayée jusque dans les corps genouillés latéraux (CGL. Voir Figure 2). Ceux-ci sont composés de six couches différentes. Les deux couches ventrales reçoivent les afférences des cellules magnocellulaires. Les quatre couches dorsales reçoivent principalement les afférences des cellules parvocellulaires (mais 10% des cellules présentes dans les quatre couches sont de type magnocellulaire (Leventhal, Rodieck & Dreher, 1981; Perry, Oehler & Cowey, 1984). Les projections des différentes couches de cellules des corps genouillés latéraux sont indépendantes (Shapley & Perry, 1986). Cette dissociation entre deux systèmes, l'un « magnocellulaire », l'autre « parvocellulaire » se poursuit jusque dans le cortex (Nealey & Maunsell, 1994). Les cellules magnocellulaires se projettent dans la couche 4Cβ du cortex visuel primaire V1 alors que les cellules parvocellulaires se projettent dans la couche 4Cα (Gilbert & Kelly, 1975).

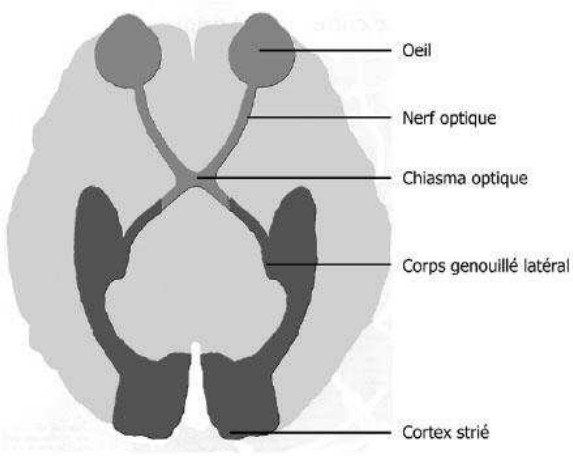
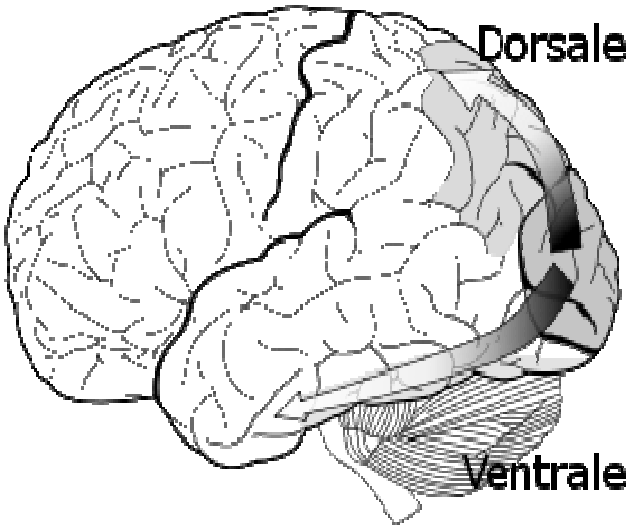


Figure 2. De la rétine au cortex

B. Dans le cortex visuel

Le système visuel est composé de plusieurs aires corticales, chacune spécialisée dans des fonctions spécifiques. Le message nerveux arrivé en V1 est traité par des structures organisées de manière hiérarchique qui permettent d'élaborer progressivement des représentations de plus en plus complexes (Boucart, 1996). A partir de V1, Ungerleider et Mishkin, en 1982 (in Ungerleider et Haxby, 1994), distinguent deux grandes voies visuelles anatomiquement et fonctionnellement différentes (Voir Figure 3). Ils distinguent la voie occipito-temporale ou voie ventrale, responsable de l'identification visuelle des objets et la

voie occipito-pariétale ou voie dorsale, responsable de l'évaluation des relations spatiales entre les objets et de la poursuite visuelle des objets en mouvement. Cette théorie est fondée sur des études de cas de patients cérébro-lésés (Merigan, Nealey & Maunsell, 1993 ; Schenk, Mai, Ditterich & Zihl, 2000 ; Carey, Dijkerman, Murphy, Goodale & Milner, 2006).



dorsale

Les fonctions spécifiques de ces deux voies sont liées aux propriétés des cellules qui les sous-tendent. La voie ventrale, étant composée principalement par les cellules parvocellulaires, traite les composantes de l'image telles que la couleur, la forme. Ces traitements amènent à une représentation de l'objet permettant son identification consciente. Au contraire, la voie dorsale est composée principalement de cellules magnocellulaires. Leurs caractéristiques permettent, par exemple, le traitement du mouvement dans la voie dorsale (Livingstone et Hubel, 1988).

Cette distinction sera nuancée plus tard. Anatomiquement, ces deux voies ne sont pas aussi indépendantes qu'Ungerleider et Mishkin (1982) les décrivaient. Par exemple, Merigan et Maunsell, en 1993, ont décrit de nombreuses relations entre les deux voies au lieu d'un traitement strictement parallèle de l'information. Il y a plus de 300 connexions entre les aires du cortex d'un primate et ces interactions ne reflètent pas l'organisation parallèle que proposaient Ungerleider & Mishkin. Au niveau fonctionnel, Milner et Goodale, en 1993, proposent une autre interprétation du rôle de la voie dorsale. Selon eux, celle-ci transforme l'information visuelle en action. Cette hypothèse se basait au départ sur l'étude d'une patiente souffrant de déficits sévères de la vision de la forme mais qui était pourtant capable d'adapter

les mouvements de sa main à la forme des objets (Goodale & Milner, 1991). Dans une revue de littérature, en 1995, Milner et Goodale ont proposé que les compétences visuospatiales, la vision pour l'action et la reconnaissance d'objet sont traitées indépendamment. Ils font l'hypothèse d'une troisième voie anatomique dans le lobe inféro-pariétal qui est responsable des compétences visuospatiales, la voie dorsale étant celle de l'action. Cette troisième voie reçoit les afférences des couches magnocellulaires des corps genouillés latéraux. Bien que les connexions entre les aires visuelles corticales sont nombreuses et remettent en cause une distinction stricte entre voie ventrale et voie dorsale, la continuité anatomique et fonctionnelle des cellules parvocellulaires et magnocellulaires à un niveau cortical a été démontrée. La distinction entre le système dorsal (magnocellulaire) et le système ventral (parvocellulaire) reste donc très présente dans la littérature actuelle.

2. Caractéristiques spécifiques des systèmes parvocellulaire et magnocellulaire

Ainsi, de la rétine aux aires visuelles les plus avancées, les informations visuelles sont traitées par deux sous-systèmes visuels aux caractéristiques distinctes. On peut donc solliciter ces sous-systèmes de façon privilégiée en variant la stimulation de façon cohérente avec leurs caractéristiques propres. Dans cette thèse, la fréquence spatiale, le contraste, l'excentricité et le mouvement ont été manipulés dans cet objectif. Le prochain chapitre présente chacune de ces caractéristiques

A. Le contraste

a) Définition générale

L'environnement coloré est composé de stimuli de luminances différentes (évidents lorsque l'on transforme l'image en noir et blanc). La luminance est la valeur physique qui mesure l'intensité des niveaux de gris. Le contraste est la différence de luminance entre la région la plus claire et la plus sombre d'une image. Le contraste peut être calculé par la

formule suivante : $C = \frac{L\max - L\min}{L\max + L\min}$ (Contraste de Michelson). Cependant, ce calcul ne permet pas de rendre tout à fait compte de la complexité des écarts de luminance dans une scène naturelle qui comporte non pas deux, mais plus d'une centaine de niveaux de gris. La perception des contrastes dépend aussi de la taille des objets (de leur fréquence spatiale). Notre capacité à discriminer deux luminances différentes au seuil de perception est plus ou moins sensible selon la fréquence spatiale de l'objet, comme le montre la fonction de sensibilité aux contrastes montrée en Figure 4.

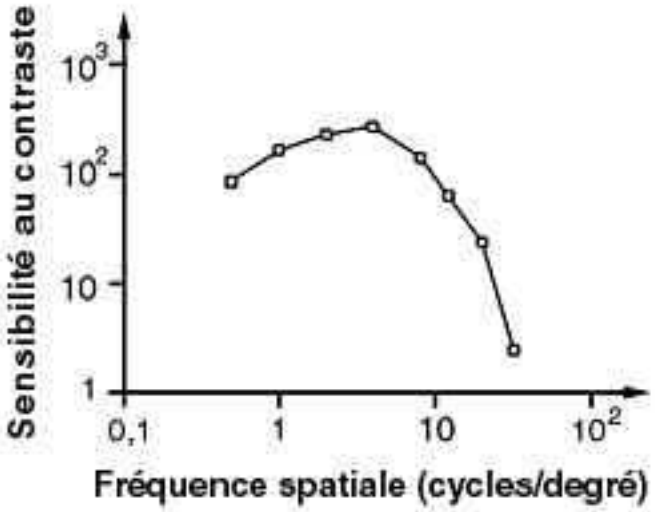


Figure 4. Courbe de sensibilité aux contrastes. La capacité à discriminer deux luminances différentes dépend aussi de la fréquence spatiale de la cible d'où les baisses de performances pour les fréquences spatiales extrêmes.

Les deux grands types de cellules ganglionnaires se distinguent tout d'abord sur leur codage de cette information de contraste ; plus particulièrement sur le gain de contraste. Les couches magnocellulaires des corps genouillés latéraux ont un gain de contraste (élévation du nombre d'impulsions par seconde par rapport à l'augmentation du contraste) élevé dans des conditions de faible contraste de luminance et saturent à partir de 10%-15% de différence de luminance (Croner & Kaplan, 1995 ; Pokorny et Smith, 1997). Les couches parvocellulaires des corps genouillés

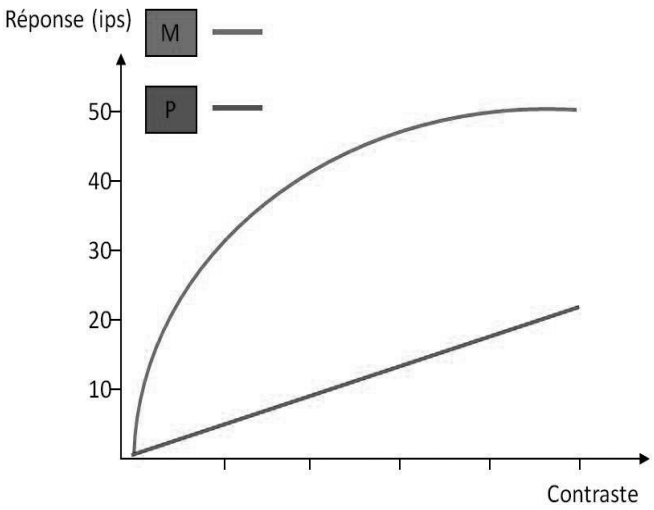


Figure 5. Nombre d'impulsions par seconde d'une cellule en fonction du type de cellules (magnocellulaire :courbe du haut/parvocellulaire :courbe du bas) et de l'augmentation du contraste

latéraux ont un gain de contraste linéaire ; il est faible mais constant quel que soit le contraste (Voir Figure 5).

b) Etudes neurophysiologiques

Les études chez le singe (Kaplan & Shapley, 1982 ; Kaplan & Shapley, 1986 ; Bernadete & Kaplan, 1997 ; Kaplan & Bernadete ; 2001) ont mis en évidence la spécificité du codage du contraste des cellules magnocellulaires et parvocellulaires, avec un meilleur gain de contraste pour les cellules magnocellulaires que pour les cellules parvocellulaires. Kaplan & Bernadete, en 2001, ont identifié deux types de réponse à l'augmentation du contraste en enregistrant la cadence des potentiels d'action des cellules des corps genouillés latéraux en réponse à une stimulation visuelle. Le premier type de réponse est non linéaire, avec une augmentation rapide et importante du nombre d'impulsions/seconde, suivie d'une saturation. Cette réponse est spécifique aux cellules magnocellulaires. Pour les cellules parvocellulaires, la réponse est linéaire puisque l'augmentation de la réponse avec l'augmentation du contraste est constante.

Cette distinction est toujours présente dans les premières aires visuelles. Martinez et al. (2008), dans une étude en IRM (Imagerie par Résonance Magnétique), ont montré une augmentation du signal Bold dans les conditions de contraste maximum (100%) lors de la présentation de stimuli (réseaux sinusoïdaux) de fréquence spatiale élevée (traitement parvocellulaire). Au contraire, lors de la présentation de réseaux de fréquence spatiale basse (traitement magnocellulaire), la réponse est plus importante pour des stimuli à 12% de contraste que pour les stimuli à 100% de contraste. Ce résultat confirme donc la distinction entre un système parvocellulaire qui traite les stimuli à fort contraste et le système magnocellulaire qui traite les stimuli à contraste faible.

Les mécanismes à l'origine de cette différence des traitements magnocellulaires et parvocellulaires sont encore mal identifiés. La taille des champs récepteurs des deux types de

cellules l'explique en partie (Croner & Kaplan, 1995), mais n'en rend pas compte totalement. Il est possible que l'organisation du système parvocellulaire diminue son efficacité et que deux processus différents régissent le comportement des cellules magnocellulaires (un pour les conditions de contraste faible et l'autre pour les conditions de contraste élevé; Kaplan, 2003). Bien que les mécanismes ne soient pas encore entièrement compris, les auteurs s'accordent tous sur l'existence de cette différence du traitement du contraste pour les deux types de cellules.

B. La fréquence spatiale

a) Définition

Contrairement à ce qui peut être pensé intuitivement, le système visuel humain ne traite pas l'information dans un domaine euclidien mais effectue une transformée de Fourier afin de le décrire dans le domaine spectral (De Valois & De Valois, 1990). En effet, une image peut être décrite simplement par la luminance de chaque point (x,y) (e.g. un ordinateur traite les données de l'écran en fonction des valeurs RGB de chacun de ses pixels). Alternativement, elle peut être décrite comme une superposition d'alternances entre bandes sombres et bandes claires. Chaque réseau d'alternances (une onde sinusoïdale bidimensionnelle) se caractérise par son amplitude (différence maximale entre bande blanche et bande sombre), sa phase (point de départ de l'onde) et sa fréquence spatiale (nombre d'alternances sur une unité de taille). La fréquence spatiale est ainsi exprimée en cycles par degré d'angle visuel (cpd). Un cycle est une alternance complète entre bande claire et bande sombre. La taille se mesure en taille angulaire en vision: puisque l'oeil est sphérique, la taille est un angle qui s'apprécie en degré d'angle visuel, c'est l'angle de la projection de l'image sur

la rétine[2]. Plus le nombre d'alternances par degré d'angle visuel augmente, plus la fréquence spatiale du réseau est donc élevée (Voir Figure 6).

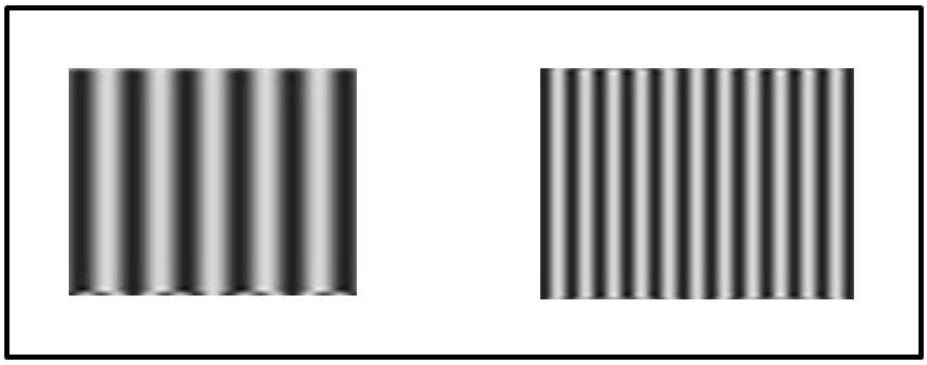


Figure 6. Deux réseaux de fréquence spatiale. *Gauche*: réseau de fréquence spatiale basse. *Droite*: réseau de fréquence spatiale plus élevée

Les cellules visuelles répondent à une gamme limitée de fréquences spatiales avec un maximum d'activité pour une fréquence spatiale spécifique (De Valois & De Valois, 1990 ; Bagot, 1996). Des cellules s'accordant sur le traitement de la même gamme de fréquence spatiale vont former des canaux de traitement que l'on retrouve aussi bien dans les cellules ganglionnaires, dans le CGL et dans le cortex visuel primaire. Les cellules magnocellulaires ont une résolution spatiale faible (elles sont sensibles aux fréquences spatiales basses). Au contraire, les cellules parvocellulaires ont une résolution spatiale élevée (sensibles aux fréquences spatiales moyennes et élevées). La fréquence spatiale est donc une des caractéristiques de l'information visuelle qui permet de dissocier les deux sous-systèmes.

b) Etudes neurophysiologiques

Les premières études neurophysiologiques ont commencé chez le chat (Hochstein & Shapley, 1976 *a*, *b*). La méthode consistait en l'insertion, grâce à un cadran stéréotaxique, d'une aiguille dans le tractus optique (situé entre le chiasma optique et les corps genouillés

[2] La taille angulaire est calculé par : $\frac{h}{d} \times 57{,}5$. h = taille (en cm), d = distance de l'objet par rapport à l'observateur (en cm). Un melon de 15 cm de large à 60 cm de l'œil fera donc 14,3° d'angle visuel de large.

latéraux). L'aiguille permet d'obtenir les réponses de cellules ciblées à des stimuli. Hochstein et Shapley, en 1976 [b], ont présenté aux chats des réseaux de fréquences spatiales dont ils ont varié le contraste, la fréquence temporelle et spatiale. Ils ont montré que les cellules X et Y réagissaient différemment à la présentation d'un réseau de fréquence spatiale basse (0,15 cpd) ou élevée (0,77 cpd). Des réponses « on-off »[3] pour les cellules Y pour les fréquences spatiales élevées ont été observées. Cependant, ces résultats ne permettent pas, à eux seuls, de distinguer ces deux types de cellules. Il se pourrait, en fait, qu'elles soient de même nature en ayant chacune une sensibilité différente à une gamme de fréquences spatiales en fonction de la taille de leurs champs récepteurs.

Ces résultats ont été répliqués chez le singe. En 1982, Kaplan et Shapley ont reproduit cette expérience (en implantant des micropipettes de verre dans les corps genouillés latéraux de singes). Ils observent que la différence de traitement de la fréquence spatiale ne se trouve pas dans l'opposition entre cellules X et cellules Y mais entre cellules magnocellulaires et cellules parvocellulaires (les cellules magnocellulaires peuvent être de type X ou Y). Les résultats ont montré que la sensibilité au contraste des cellules magnocellulaires chutait brusquement lors de la présentation de stimuli de plus de 1 cpd alors que la sensibilité des cellules parvocellulaires augmentait linéairement avec l'augmentation de la fréquence spatiale. En 1983, Hicks, Lee et Vidyasagar retrouvent les mêmes résultats avec une atténuation du nombre d'impulsions/seconde pour les cellules parvocellulaires lors de la présentation d'ondes sinusoïdales de fréquence spatiale basse.

Chez l'être humain, les techniques actuelles ne permettent pas de rendre compte aussi nettement de la différenciation entre traitement des fréquences spatiales basses et élevées à des niveaux de traitement si précoces. En plus du traitement du contraste mentionné dans la

[3] Les champs récepteurs rétiniens sont composés d'un centre (zone on, activation du message nerveux) et d'une périphérie (zone off, inhibition du message nerveux). Un stimulus uniforme qui se projette sur le champ récepteur en entier ne provoque pas d'influx nerveux car il excite et inhibe en même temps les cellules sous-tendant le champ récepteur. Les cellules Y sont reliées à des champs récepteurs de petite taille, elles sont donc capables de discriminer des stimuli de petite taille relativement aux cellules X qui ont des champs récepteurs plus large.

partie précédente, Martinez et al., en 2008, ont étudié le traitement cortical des fréquences spatiales. Les 11 participants devaient observer un réseau sinusoïdal de 0,2 cpd. La fréquence spatiale du réseau augmentait progressivement et atteignait 4,9 cpd à la fin de l'essai (64 secondes). Les réponses des aires visuelles étaient enregistrées tout au long des essais. Les résultats montraient une plus forte activation du cortex médio-occipital et du pôle occipital (espace de traitement des informations fovéales) pour les fréquences spatiales les plus élevées. Les réponses maximales obtenues pour les fréquences spatiales basses apparaissaient dans des régions plus antérieures et latérales du cortex occipital mais aussi dans les régions répondant aux régions périphériques de la rétine. Ils ont aussi montré que les régions corticales aux temps de latence courts étaient plus sensibles aux fréquences spatiales basses. Au contraire, les régions aux temps de latence longs répondaient préférentiellement aux stimuli présentés en fréquence spatiale élevée. Dans une revue de la littérature, Bullier et Nowak (1995) avaient montré que les fréquences spatiales basses se projetaient dans le cortex préfrontal par la voie dorsale.

Les études chez le singe et le chat démontrent donc que les fréquences spatiales élevées sont plutôt traitées par les cellules parvocellulaires et les fréquences spatiales basses par les cellules magnocellulaires. Certaines études ont remis en cause cette distinction en montrant que les deux types de cellules ganglionnaires ne répondraient pas différemment à la fréquence spatiale (Blakemore &Vital-durand, 1986; Crook, Lange-Malecki, Lee & Valberg; 1988). Malgré leurs champs récepteurs de grande taille, les cellules magnocellulaires ont une forte sensibilité qui leur permet d'atteindre la même sensibilité que des cellules parvocellulaires. La faible résolution spatiale du système magnocellulaire serait alors due au couplage électrique des cellules parasol, non aux capacités des cellules elles-mêmes mais à l'organisation de leur réseau (Dacey & Brace, 1992; in Kaplan, 2003).

Toutefois, comme cela est mentionné au-dessus. Dans les niveaux de traitement plus profond, les techniques d'imagerie cérébrale montrent que cette dissociation de la fréquence

spatiale est toujours présente. La voie dorsale (principalement magnocellulaire) va relayer exclusivement les fréquences spatiales basses alors que la voie ventrale (principalement parvocellulaire) est activée principalement par les fréquences spatiales élevées.

C. L'excentricité

a) Définition

La rétine est composée de deux types de photorécepteurs : les cônes et les bâtonnets. Les cônes ne sont activés que par des luminances élevées. Leurs pigments visuels (substance photosensible permettant la transformation de la lumière en message nerveux) leur permettent de discriminer des longueurs d'onde différentes, donnant lieu à des expériences colorées différentes. La fovéa (le centre de la rétine) est composée exclusivement de cônes. Leur nombre chute brutalement en s'éloignant du centre de la rétine puis se stabilise aux alentours de 5000/mm2. Ils sont remplacés progressivement par les bâtonnets qui sont sensibles aux luminances faibles. La constitution de la rétine n'est donc pas homogène et il existe une opposition entre la structure du centre et celle de la périphérie (Williamson & Cummins, 1983).

Les cônes font relais avec les cellules parvocellulaires (d'où la compétence chromatique de ces cellules). Les couches magnocellulaires reçoivent principalement les afférences des bâtonnets (Gouras & Link, 1966 in Sun, Pokorny & Smith, 2001). Le système parvocellulaire est alors principalement responsable du traitement des informations projetées au centre de la rétine. Le système magnocellulaire prend le relais pour le traitement des informations périphériques.

b) Etudes neurophysiologiques

En 1991, Silveira et Perry ont utilisé une teinture neurofibrillaire permettant de marquer précisément les cellules magnocellulaires dans la rétine et ainsi créer une carte de la

composition cellulaire rétinienne d'un singe. Près de la fovéa (1mm), la concentration de cellules magnocellulaires était de 6% à 10% des cellules rétiniennes. A mesure que l'on s'éloigne de la fovéa, leur proportion augmente progressivement jusqu'à atteindre 20% dans les régions les plus excentrées. Afin d'obtenir une mesure plus précise, Azzopardi, Jones et Cowey (1999) ont utilisé un traceur injecté dans V1 afin d'étudier la répartition des cellules magnocellulaires et parvocellulaires dans les corps genouillés latéraux d'un singe. Un ratio parvocellulaire/magnocellulaire a été calculé. Pour le traitement des informations fovéales, le ratio est de 35/1 (30/1 chez l'homme; Dacey & Petersen, 1992). Celui-ci descend à 5/1 pour les informations projetées à 15° d'excentricité. Ces résultats confirment la distinction entre traitements parvocellulaires et magnocellulaires dans la vision centrale et périphérique.

Cependant, l'influence de cette architecture sur les caractéristiques fonctionnelles de la vision centrale et périphérique doit être précisée. En effet, les cellules parvocellulaires fovéales et excentrées ne possèdent pas les mêmes caractéristiques. Solomon, Lee, White, Ruttiger et Martin (2005) ont utilisé une procédure permettant d'étudier le comportement des cellules ganglionnaires centrales et périphériques (Smith, Lee, Pokorny, Martin & Valbergh, 1992). Dans une première étape, l'activité extracellulaire des cellules ganglionnaires était analysée afin d'isoler cellules magnocellulaires et parvocellulaires. Une localisation précise des deux types de cellules fondée sur leurs propriétés fonctionnelles et non physiques était alors réalisée. Une fois leurs champs récepteurs définis, les cellules étaient stimulées par des LED aux longueurs d'onde différentes (638 nm : rouge, 554 nm : vert, 470 nm : bleu) et aux fréquences temporelles différentes (0,61 Hz à 78 Hz). Les résultats montrent que les propriétés de la vision périphérique ne peuvent pas être expliquées seulement par la proportion grandissante de cellules magnocellulaires avec l'excentricité. Ils ont observé que la résolution temporelle des cellules parvocellulaires elles-mêmes augmentait avec l'excentricité. Ces résultats ont été confirmés par d'autres études (Vanni, Henriksson, Viikari & James, 2006 ; Swanson, Pan & Lee, 2008 ; Hansen, Pracejus & Ggenfurtner, 2009). La

résolution spatiale se modifie aussi avec l'excentricité, indépendamment de la distinction parvocellulaire/magnocellulaire (Blake-more & Vital-Durand, 1986).

A cette nuance près, la dissociation magnocellulaire et parvocellulaire peut donc aussi être opérationnalisée en variant l'excentricité même si cette distinction est plus quantitative que qualitative. La répartition entre les deux types de cellules sur la rétine n'est pas homogène. Inversement, la distinction magnocellulaire/parvocellulaire ne suffit pas à rendre compte des spécificités de la vision centrale et périphérique, le fonctionnement des cellules se modifiant en excentricité.

D. Le mouvement

a) Définition

Le mouvement est aussi une caractéristique du stimulus visuel et bénéficie de canaux de traitements spécifiques tout autant que la couleur, la forme, etc… . Dans le domaine visuel, la vitesse d'un objet n'est pas mesurée en km/h mais en degré/seconde, c'est-à-dire en fonction de la distance que parcourt sa projection sur la rétine. La vitesse d'un objet pour le système visuel dépend donc aussi de la distance entre l'objet et l'observateur (un avion dans le ciel va moins vite pour notre système visuel qu'un vélo nous passant à côté).

Kaplan et Shapley (1986) ont mis en évidence les caractéristiques des cellules magnocellulaires leur permettant de traiter un stimulus en mouvement. La forte sensibilité au contraste des cellules magnocellulaires et leur résolution temporelle élevée (liées à leur nature phasique) leur permettent de traiter de façon privilégiée les stimuli en mouvement. La résolution temporelle est la durée minimum entre deux stimuli dont a besoin un détecteur (cellule) pour pouvoir les considérer comme séparés. Les cellules parvocellulaires ont un temps de latence plus élevé entre deux stimulations, ce qui ne leur permet pas de traiter le mouvement de manière appropriée.

b) Etudes neurophysiologiques

Les études s'intéressant au codage du mouvement par les cellules magnocellulaires sont nombreuses. En 1984, Derrington et Lennie ont relevé les potentiels d'action des cellules magnocellulaires et parvocellulaires des corps genouillés latéraux, stimulées par des spots de longueurs d'onde et de fréquences temporelles différentes. Les cellules parvocellulaires étaient plus sensibles aux stimuli présentés à 10Hz. Au contraire, les cellules magnocellulaires atteignaient leur pic de réponses aux stimuli modulés à 20 Hz, les rendant plus aptes à réagir aux changements brusques de l'environnement et donc au mouvement. Valberg, Lee, Kaiser et Kremers (1992) ont montré qu'une tâche utilisant des stimuli à bord mouvant était sous-tendue par le système magnocellulaire. L'un des marqueurs de ces capacités est la « fréquence critique de fusion » (*critical fusion frequency*). La CFF est la fréquence temporelle de clignotement en deçà de laquelle deux stimuli sont perçus comme distincts. En 2002, Solomon, Martin, White, Ruttiger et Lee ont enregistré l'activité de 66 cellules ganglionnaires (46 magnocellulaires et 20 parvocellulaires) dans l'objectif de déterminer les fondements biologiques de la CFF. Une LED dont on augmentait progressivement la fréquence de clignotement finit par apparaître comme continue. La CFF désigne la limite à partir de laquelle le stimulus devient continu. De même, les images d'un film paraissent continues car elles sont présentées au-delà de la CFF du système visuel. La CFF est calculée grâce à la loi de Ferry-Porter. Les résultats montrent que la CFF du système visuel humain est déterminée par le fonctionnement des cellules magnocellulaires. Les capacités de traitement temporel des cellules parvocellulaires sont trop faibles pour rendre compte de ce phénomène.

Bien que moins performant, le système parvocellulaire n'est pas totalement incapable de traiter des informations liées au mouvement comme l'ont démontré Merigan, Byrne et Maunsell (1991). Leur objectif était d'étudier l'implication du système magnocellulaire dans le traitement du mouvement. Pour cela, ils ont lésé la couche 1 des corps genouillés latéraux (magnocellulaire) de trois singes qui passaient ensuite un test de sensibilité au contraste, de

discrimination de direction de mouvement et de discrimination de vitesse (trouver le stimulus le plus rapide parmi deux stimuli variant de 1,5 à 20 deg/sec). Leurs résultats ont indiqué que la discrimination de la direction et l'estimation de la vitesse diminuaient mais restaient néanmoins possibles. Les informations parvocellulaires peuvent donc être utiles pour prendre en charge le traitement du mouvement. La dissociation entre systèmes parvocellulaire et magnocellulaire se situerait là encore plus à un niveau quantitatif que qualitatif. Les cellules parvocellulaires sont capables de traiter le mouvement mais de façon moins efficace que les cellules magnocellulaires.

Pour conclure sur cette partie, les études neurophysiologiques confortent l'existence de deux sous-systèmes distincts aux propriétés opposées, même si des études apportent des limites à cette dissociation. Le système magnocellulaire est davantage spécialisé dans le traitement des fréquences spatiales basses, des contrastes faibles, des stimuli présentés en périphérie de la rétine et est performant pour traiter les stimuli en mouvement. Le système parvocellulaire est quant à lui plus spécialisé dans le traitement des fréquences spatiales moyennes et élevées ; il est réactif aux contrastes élevés et il traite les stimuli présentés en fovéa. Il est moins performant que le système magnocellulaire pour traiter des stimuli en mouvement.

Bien sûr, les choses ne sont pas aussi tranchées. Le traitement de l'information est plus complexe qu'une simple distinction entre ces deux systèmes. Il existe ainsi le système koniocellulaire dont les propriétés sont mal connues. De plus, les résultats sur les traitements des fréquences spatiales, de la vision centrale/périphérique et du mouvement montrent que les traitements se décrivent mieux sur un continuum que par une opposition binaire. La simple distinction entre ces deux types de cellules ne suffit pas à expliquer le fonctionnement du système visuel. Enfin, les propriétés des cellules magnocellulaires et parvocellulaires se modifient. Le nombre important de changements entre les cellules classifiées

magnocellulaires/parvocellulaires permet de postuler l'existence d'une quantité bien plus important de types de cellules (Wassle & Boycott, 1991; Dacey,2000). Les propriétés des cellules parvocellulaires sont hétérogènes (Rodieck & Watanabe, 1993) et les cellules magnocellulaires ne se projettent pas, par exemple, de façon homogène dans les corps genouillés latéraux (Blasdel & Lund, 1983), ce qui laisse supposer l'existence de deux types de cellules magnocellulaires (Kaplan, 2003).

Si lors des premières études, la distinction entre cellules naines et parasol laissait penser à deux systèmes hétérogènes et clairement différenciés, les études concernant les propriétés fonctionnelles des deux systèmes ont remis en cause progressivement cette dissociation. Les différences fonctionnelles entre les systèmes se situent plus souvent à un niveau quantitatif que qualificatif et les différences intra-système observées laissent entrevoir une réalité plus complexe qu'une opposition nette sur la dissociation entre deux sous-systèmes. Cependant, les connaissances concernant ces différences sont encore trop peu nombreuses pour appréhender cette complexité. La distinction entre système parvocellulaire et système magnocellulaire reste donc très présente au niveau théorique et elle offre un cadre théorique important s'appuyant sur de nombreuses études et permettant de comprendre de nombreux phénomènes. Le prochain chapitre présente une revue de cette dissociation dans le traitement des primitives visuelles. Le fonctionnement visuel de plus haut niveau rend-il aussi compte des deux systèmes?

II. Le traitement cognitif visuel du stimulus

Comme cela vient d’être résumé, la distinction entre système parvocellulaire et système magnocellulaire est établie au niveau neurophysiologique. D'autres approches ont cherché à savoir si cette distinction s’observait à un niveau comportemental. La distinction entre processus de bas niveau et de haut niveau peut être introduite pour différencier ces études. La question est de savoir si l’existence de deux systèmes a une influence sur les

traitements de bas niveau (distinction de contraste, de stimuli visuels élémentaires, etc…) seulement, ou si on l'observe aussi sur les processus de haut niveau (reconnaissance d'objet, traitement d'une scène, etc…) où les interactions inter-systèmes sont plus importantes et qui se fondent sur les processus de bas niveau.

A. Les primitives visuelles

a) Contraste

En tirant profit de leurs propriétés de gain de contraste variables, Pokorny et Smith (1997) ont tenté d'isoler les deux sous-systèmes dans deux paradigmes. Les participants ont été confrontés à deux situations expérimentales. Dans la première (piédestal continu), quatre carrés sont présentés (le piédestal) aux participants et l'un des carrés change ensuite de luminance. Le participant doit juger lequel a changé de luminance. Dans la deuxième situation (piédestal flashé), le piédestal n'apparaît que dans la deuxième phase (Voir Figure 7)

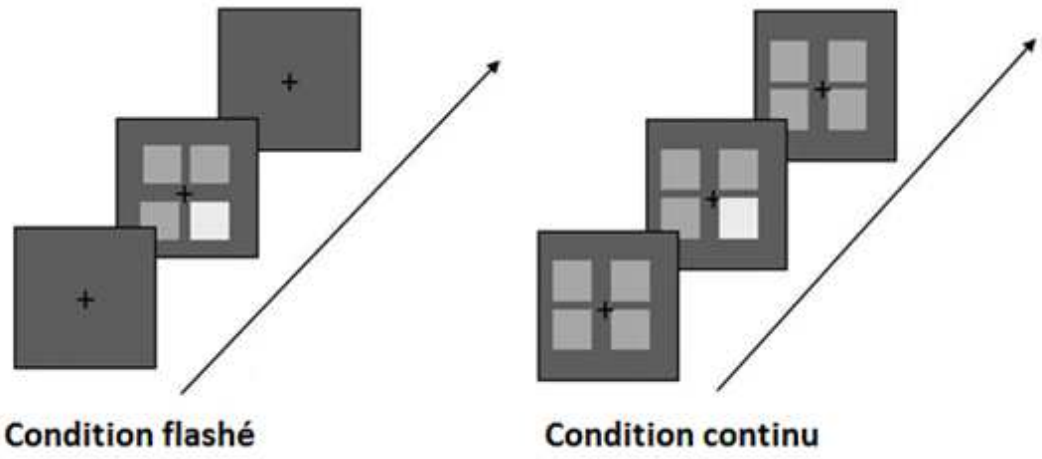


Figure 7. Les conditions Pulsed pedestal (flashé) et Steady pedestal (continu) de l'expérience de Pokorny et Smith (1997)

Dans la condition piédestal continu, le participant va juger de la différence de contraste entre le carré cible et le piédestal. Dans la condition piédestal flashé où le piédestal est absent dans la première phase, le participant va comparer plutôt le carré cible au fond de

l'écran qui présente un plus fort contraste. La condition piédestal flashé doit donc stimuler le système parvocellulaire préférentiellement et la condition piédestal continu plus particulièrement le système magnocellulaire. L'enregistrement des potentiels évoqués (activité électrique au niveau du scalp) et les résultats comportementaux (seuils de discrimination : la plus petite différence de luminance entre les carrés distracteurs et le carré cible pour laquelle une différence est perçue) observés par les auteurs rendent compte des caractéristiques spatio-temporelles des systèmes parvocellulaire et magnocellulaire. La condition piédestal flashé montre la signature temporelle (intégration sensorielle en plus de 100 ms) et la réactivité psychophysique de cellules chromatiques (baisse des performances quand le stimulus s'éloigne de la luminance moyenne). Cette procédure a été adaptée et reprise dans de nombreuses études (Leonova, Pokorny & Smith, 2003 ; MacAnany & Alexander, 2006 ; MacAnany & Alexander, 2008).

La distinction entre les deux systèmes a aussi été observée sur les temps de réponse. Mitov et Totev, en 2005, ont identifié deux types de réponses différentes selon que les stimuli soient présentés à contraste fort ou faible (Voir Figure 8). Lors de la présentation de stimuli à contraste fort (32 DT), ils ont observé une augmentation linéaire des temps de réponse en fonction de la fréquence spatiale. Lors de la présentation de stimuli à contraste faible (2DT), les résultats ont montré

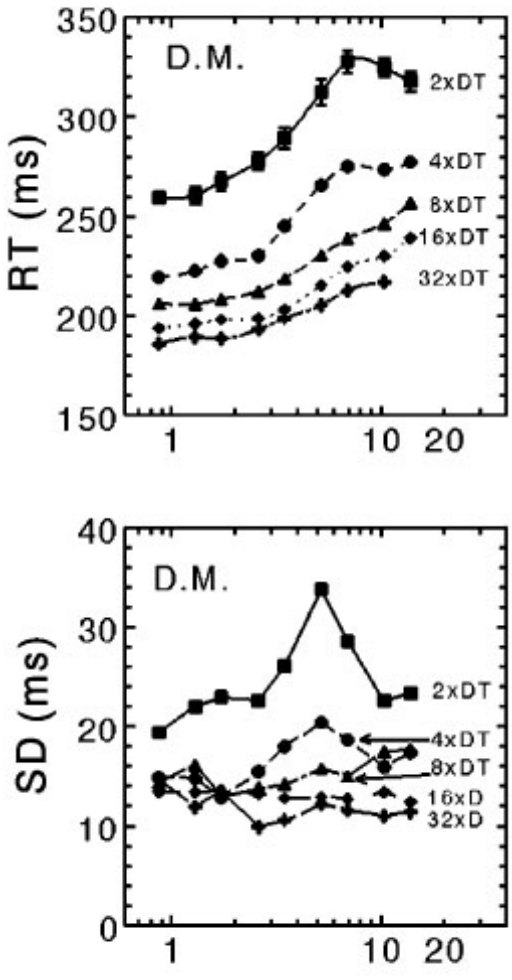


Figure 8. *Haut*: Temps de réponse à un réseau sinusoïdal en fonction de la fréquence spatiale en abscisse et du contraste (DT). *Bas*: Ecartype des temps de réponse en fonction de la fréquence spatiale en abscisse et du contraste (DT). Extrait de Mitov & Totev, 2005

deux plateaux différents. Selon les auteurs, ces résultats suggèrent qu'il existe deux mécanismes déterminant les temps de réaction pour les stimuli à contraste faible : un mécanisme « tonique » (*type de réponse linéaire*) et un mécanisme « phasique » (*changement brutal de la fonction*). Les caractéristiques phasiques et toniques des deux systèmes permettent d'expliquer ces phénomènes (Awatramani & Slaughter, 2000).

La distinction parvocellulaire/magnocellulaire se retrouve donc dans le traitement de primitives visuelles à différents niveaux de contraste. Les observations comportementales rendent compte des propriétés des deux systèmes visuels.

b) La fréquence spatiale

Les expériences réalisées avec des stimuli comme les réseaux sinusoïdaux confirment aussi la distinction entre systèmes parvocellulaire et magnocellulaire. En 2000, Plainis et Murray ont manipulé la fréquence spatiale, la luminance et le contraste de réseaux sinusoïdaux. Les temps de réaction des participants à une tâche de détection simple ont été enregistrés. Leurs résultats ont montré une augmentation des temps de réponse pour les réseaux de fréquence spatiale élevée comparés aux réseaux de fréquence spatiale basse, confirmant ainsi la plus grande rapidité de traitement du système magnocellulaire que du système parvocellulaire. Ces résultats sont corroborés par l'expérience, exposée précédemment, de Mitov et Totev (2004). La procédure utilisée par Pokorny et Smith (1997) ayant démontré sa capacité à différencier les deux types de traitement, Leonova, Pokorny et Smith (2003) l'ont adaptée à l'étude du traitement des fréquences spatiales. Leur procédure consistait à présenter des réseaux sinusoïdaux dans des conditions expérimentales stimulant préférentiellement la voie magnocellulaire (piédestal continu) ou la voie parvocellulaire (piédestal flashé). La variable dépendante était la fonction de sensibilité au contraste. Les résultats montrent une meilleure sensibilité des participants (seuil de sensibilité au contraste plus faible) pour les fréquences spatiales basses dans la condition piédestal continu (magnocellulaire) et une moins bonne sensibilité dans la condition piédestal flashé

(parvocellulaire), dans laquelle la performance pour les fréquences spatiales élevées était meilleure.

Ces études démontrent que la manipulation de la fréquence spatiale de stimuli élémentaires va dans le même sens que dans la manipulation du contraste. Elle est donc efficace pour distinguer les deux systèmes.

c) L'excentricité

Levi, Mcgraw et Klein (2000) ont proposé à des participants le test d'acuité de Vernier (Voir Figure 9) en vision périphérique et vision centrale. Les résultats ont montré une baisse des performances en vision périphérique par rapport à une présentation en vision centrale. La vision centrale (parvocellulaire) est donc bien spécialisée dans le traitement des détails comparée à la vision périphérique.

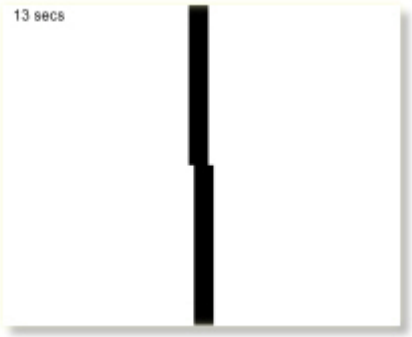


Figure 9. Test d'acuité de Vernier. Le seuil est déterminé par la plus petite différence observée entre les deux bâtons (i.e. Quand le participant ne fait plus la différence entre les deux cibles).

Cette dissociation n'avait pas seulement été observée sur les capacités perceptives. En 2005, Brown, Halpert et Goodale ont tenté d'étudier les fonctions du système visuel central et du système visuel périphérique. Le participant fixait l'une des 24 LED disposées dans huit directions et à trois excentricités autour d'un emplacement cible central. Un objet cible était présenté au centre du dispositif, et les participants ont répondu de deux manières. Pour le groupe « action », les participants devaient atteindre la cible. Pour la tâche de perception, ils devaient estimer la hauteur de la cible en ajustant la séparation pouce/index. Les résultats ont montré que les capacités à attraper les objets se modifiaient avec l'excentricité contrairement aux capacités à estimer la taille. Par extension, ces résultats confirment la distinction voie de l'action (magnocellulaire)/voie de l'identification (parvocellulaire). Une modification

comportementale est observée lorsque les participants doivent agir sur une cible en excentricité.

Les études concernant l'excentricité ont fait émerger d'autres caractéristiques du système magnocellulaire. Aedo-Jury et Pins (2010) ont présenté des stimuli en variant l'excentricité et le type de stimuli (stimuli traités soit par le système magnocellulaire, soit par le système parvocellulaire). L'objectif était d'évaluer le phénomène de "compression temporelle" observé sur les stimuli présentés en excentricité. Les résultats ont montré que ce phénomène était lié au système magnocellulaire, confirmant encore le lien entre excentricité, système magnocellulaire et perception dans l'action. Ces résultats permettent d'établir un lien direct entre système magnocellulaire/parvocellulaire et vision centrale/périphérique. Les expériences précédentes opérationnalisaient cette dissociation en faisant varier la tâche. En utilisant des stimuli activant préférentiellement le système magnocellulaire ou le système parvocellulaire, Aedo-jury et Pins ont pu faire le lien entre système magnocellulaire et excentricité.

d) Mouvement

L'association entre système magnocellulaire et traitement du mouvement a aussi été démontrée comportementalement. Kim, Wylie, Pasternak, Butler et Javitt, en 2006, ont étudié la contribution de la voie magnocellulaire dans le traitement du mouvement en combinant approches neurophysiologiques et comportementales. La tâche était de discriminer la vitesse de stimuli simples. Les résultats ont montré une corrélation entre la capacité à discriminer les vitesses et l'amplitude de la réponse des potentiels évoqués pour les stimuli traités par la voie magnocellulaire (le contraste des stimuli était manipulé pour stimuler préférentiellement l'une ou l'autre des voies).

L'étude de la pathologie a confirmé cette association. En 2008, Pellicano et Gibson ont étudié la voie magnocellulaire dans l'autisme et la dyslexie. Il existe une hypothèse selon

laquelle ces deux pathologies présentent une atteinte de la voie magnocellulaire. Les auteurs ont évalué la sensibilité au mouvement de patients autistes, dyslexiques et d'enfants au développement normal. Les résultats montrent des performances détériorées chez les patients par rapport au groupe contrôle, confirmant l'hypothèse de l'implication du système magnocellulaire dans le traitement du mouvement.

Les caractéristiques des systèmes parvocellulaire et magnocellulaire peuvent donc être démontrées comportementalement sur des stimuli élémentaires en variant le contraste, la fréquence spatiale, l'excentricité ou le mouvement.

B. Le traitement de stimuli complexes

Au fil du traitement, les informations magnocellulaires et parvocellulaires interagissent entre elles afin d'élaborer des représentations toujours plus complexes du stimulus. De plus, les représentations stockées en mémoire, les capacités attentionnelles et les attentes du sujet modifient les traitements en cours. Tout cela complique l'étude par dissociation des systèmes magnocellulaire et parvocellulaire dans le traitement de stimuli complexes. La dichotomie perd ainsi de son importance au fur et à mesure des traitements. Cependant, de nombreuses études ont montré que cette dissociation était toujours valide dans des tâches impliquant des traitements de haut niveau.

a) Contraste

Des études manipulant le contraste de stimuli complexes ont été mises en place. En 2005, Macé, Thorpe et Fabre-Thorpe présentent des scènes à huit niveaux de contraste (3,1 %; 6,2 %; 7,1 %; 8,3 %; 10 %; 12,5 %; 25 % ; 100%. Voir Figure 10). Une tâche de catégorisation dans un paradigme go/ no go (animaux vs. non-animaux) était proposée. Les résultats ont montré une forte capacité du système visuel pour traiter les images à faible

contraste. Les taux de réponses correctes chutaient progressivement avec la diminution du contraste et n'atteignaient le niveau du hasard que pour le niveau de contraste 3%. Or, un contraste de 10% est considéré comme le contraste minimum que peut traiter le système parvocellulaire. Les auteurs concluent que la catégorisation de scène à faible contraste implique le système magnocellulaire. Celui-ci fournirait assez d'informations permettant la catégorisation de la scène dans une tâche à choix forcé. Ils postulent l'existence d'une première représentation construite par les entrées magnocellulaires, qui permettrait de guider la représentation plus détaillée sous-tendue par les traitements parvocellulaires plus lents.

Figure 10. Exemples de stimuli utilisés par Macé et al. (2005)

La dissociation des deux types de traitement par le contraste n'aurait d'influence qu'à un niveau précoce. En 2002, Avidan et al. ont présenté des dessins de visages ou d'objets à cinq niveaux de contrastes différents (0, 4, 6, 10 et 100%). Les participants devaient réaliser une tâche de dénomination dans une IRM. Les résultats ont montré une forte sensibilité aux changements de contraste dans les aires visuelles primaires. Cette dépendance disparaîtrait dans les aires de plus haut niveau comme dans le complexe occipito-pariétal. Au fur et à mesure du traitement de l'objet, l'information de contraste devient de moins en moins importante, les représentations de l'objet stockées en mémoire ne variant pas avec le contraste (tout comme la position du stimulus n'influence pas sa représentation). Cette expérience

illustre la difficulté d'étudier l'influence des traitements magnocellulaires et parvocellulaires à des niveaux de traitement aussi hauts.

Si les deux systèmes sont différenciables sur le traitement des contrastes à bas niveau, il semblerait que cette distinction perde de son importance quand on approche des représentations de l'objet. La manipulation du contraste n'influencerait le traitement qu'à un niveau précoce. De plus, celle-ci ne permet pas d'isoler les systèmes magnocellulaire et parvocellulaire. Un stimulus présenté avec un haut niveau de contraste mettra en jeu autant le système parvocellulaire que magnocellulaire.

b) Fréquence spatiale

A l'inverse, le traitement des fréquences spatiales constitue une dimension essentielle dans la reconnaissance d'objets. Leur rôle a été étudié dans plusieurs études. Les auteurs se sont principalement centrés sur la recherche du type de stimuli (i.e. de la gamme de fréquences spatiales) permettant la reconnaissance des objets. Ces études peuvent être réinterprétées dans le cadre de la dissociation entre systèmes parvocellulaire et magnocellulaire.

La fréquence spatiale dans la reconnaissance visuelle

L'étude des fréquences spatiales dans la reconnaissance visuelle a commencé avec les études de Harmon et Julesz (1973) sur la reconnaissance des visages. L'objectif était de déterminer quelle gamme de fréquence spatiale sous-tendait la reconnaissance des visages. Leur méthode a consisté à appliquer des masques de différents contenus spectraux et de formes différentes (rectilignes ou circulaires) sur des visages. Ils ont montré que le pouvoir masquant augmentait lorsque le contenu spectral du masque se rapprochait du contenu spectral de l'image. Avec la même méthode, Tieger et Ganz, en 1979, ont étudié les fréquences spatiales nécessaires à la reconnaissance des visages. Ils ont présenté aux

participants plusieurs visages, puis dans une deuxième phase, ont appliqué des masques (une grille sinusoïdale) de différentes fréquences spatiales sur les visages (Voir Figure 11).

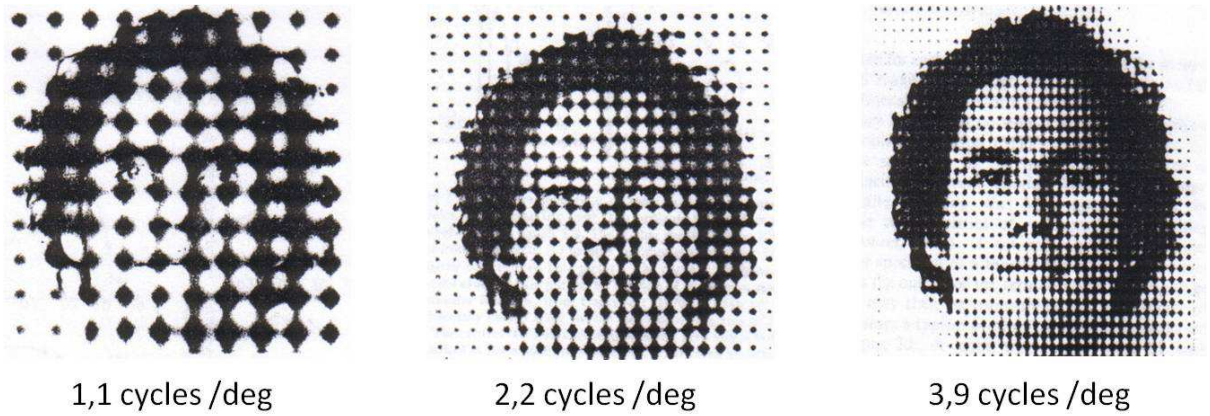


Figure 11. Exemple de stimuli utilisés par Tieger & Ganz (1979). Un masque de fréquence spatiale différente est appliqué sur le visage

La tâche était d'identifier si le visage avait été présenté dans une phase précédente. Si les performances des participants diminuaient avec un masque donné, cela signifiait que celui-ci masquait des informations importantes pour la reconnaissance du visage. Tieger et Ganz ont remarqué que les masques de 2,2 cycles/degré avaient le plus d'effet sur la reconnaissance des visages. Ils ont conclu que les informations yeux, nez, bouche étaient utiles à la reconnaissance visuelle des visages (fréquences spatiales intermédiaires). En 2001, Parker et Costen ont répliqué ce résultat. Les filtres d'images ont été utilisés dans les études postérieures. Cette méthode consiste à appliquer un filtre gaussien sur le contenu spectral d'une image. Ce filtre va permettre de laisser passer les gammes de fréquences spatiales sélectionnées et ainsi permettre de tester la capacité des images filtrées à activer les représentations (Voir Figure 12). Ce procédé a été utilisé dans cette thèse afin de pouvoir isoler certaines gammes de fréquence spatiale et ainsi stimuler préférentiellement système magnocellulaire ou parvocellulaire.

Figure 12. *Gauche*: Image non-filtrée. *Milieu*: Image passe-bas, filtre ne laissant passer que les fréquences spatiales basses. Droite: Image passe-haut. Filtre ne laissant passer que les fréquences spatiales élevées.

Cependant, les études à la recherche de la partie du stimulus qui est efficace pour le système cognitif ont tantôt montré le rôle privilégié des fréquences spatiales élevées ou intermédiaires, tantôt le rôle des fréquences spatiales basses. Cette disparité des résultats dans la recherche du « stimulus efficace » pousse à envisager le problème sous un angle différent. L'intégration des informations entre elles serait plus importante que leur capacité à activer les représentations correspondantes. Deux hypothèses ont été testées, soit les fréquences spatiales basses précédent les fréquences spatiales élevées (Coarse to Fine), soit l'inverse (Fine to Coarse).

L'ordre des traitements fréquentiels

« Coarse » désigne la représentation grossière du stimulus, sa forme globale. Cette représentation est plus particulièrement véhiculée par les fréquences spatiales basses. « Fine » se réfère aux détails de l'image. Les auteurs ont étudié quel type d'information est disponible en premier pour la reconnaissance visuelle. Deux théories s'opposent.
La première « Coarse to fine » suppose que la forme globale est traitée avant les détails. Ce point de vue est soutenu autant par des études physiologiques que comportementales. Kaplan & Bernadete (2001) ont montré que les cellules ganglionnaires de la rétine responsables de l'information « magnocellulaire », donc fréquences spatiales basses, conduisent l'information plus vite que les cellules parvocellulaires. Les caractéristiques anatomiques et spatio-

temporelles de ces cellules pourraient expliquer l'avantage « Coarse ». Au niveau comportemental, les auteurs (Plainis et Murray, 2000 ; Mitov & Totev, 2004) ont observé que le temps de réponse était significativement plus long pour les réseaux de fréquence spatiale élevée, démontrant que l'information « Fine » est traitée plus lentement.

Schyns et Oliva (1994) ont introduit un nouveau procédé qui a permis d'approfondir l'étude de la compétition entre « Coarse » et « Fine ». Ils ont utilisé des versions hybrides de scènes (images composées à la fois d'une scène « Coarse » et d'une scène passe-bande « Fine ». Voir Figure 13), ce qui permet de présenter les deux informations simultanément. Les participants devaient réaliser une tâche d'appariement. Une scène était présentée pendant 30 ms (condition courte) ou 150 ms (condition longue) suivie d'un masque et d'un stimulus cible. Les participants devaient dire si les deux scènes étaient identiques. Les résultats ont montré que les stimuli hybrides sont interprétés différemment selon la condition (courte ou longue). Pour la durée brève, les participants répondaient positivement lorsque la composante passe-bas de la première scène correspondait à l'image cible tandis que dans la condition longue, la composante passe-haut de l'hybride était utilisée. Ils ont conclu que la reconnaissance rapide de scènes pourrait être fondée sur les informations « Coarse ». La composante fréquence spatiale élevée de l'image ne serait utilisée que lorsque plus de temps est donné pour le traitement. Parker, Lishman et Hugues (1992) ont montré une meilleure intégration des informations spatiales lors d'une présentation successive dans un mode Coarse-Fine que dans un mode Fine-Coarse,

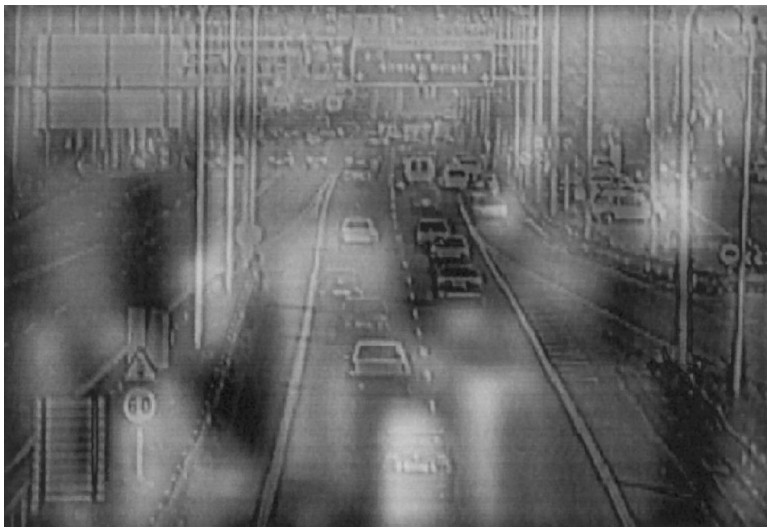


Figure 13. Scène hybride avec un élément fréquence spatiale basse (immeuble) et un élément fréquence spatiale élevée (autoroute)

même avec un délai de présentation élevé (120 ms). Pour d'autres types de stimuli, un avantage « Coarse » a aussi été trouvé. Loftus et Harley (1994) ont présenté une amorce de 40 ms (4 chiffres de fréquence spatiale basse ou élevée), suivie par la cible (4 chiffres filtrés passe-haut si le premier filtre était passe-bas et inversement). Les résultats ont montré que les performances (taux de rappel correct) étaient plus élevées pour les fréquences spatiales élevées avec une longue durée de présentation de la cible et pour la cible fréquence spatiale basse avec une durée de présentation courte.

Toutefois, le fait que l'information Coarse soit traitée plus vite que l'information Fine ne veut pas dire qu'elle soit la première utilisée pour la reconnaissance. De plus, De Valois et De Valois (1990) ont expliqué que les caractéristiques physiologiques des cellules sous-jacentes au traitement des informations Coarse et Fine n'étaient pas suffisamment sélectives pour contraindre le traitement de l'un des types d'information. La théorie Fine to Coarse suppose que les détails sont traités avant la forme globale, qui ne serait pas une dimension primitive mais plutôt une dimension complexe reconstruite plus tardivement. Le modèle de la reconnaissance proposé par Biederman & Kalocsai (1997) met en avant le rôle des informations « Fine » en proposant comme première étape le traitement des détails. Comme les mots sont constitués de phonèmes, les objets sont composés de «géons » : formes géométriques simples. Un objet est déterminé par la disposition spatiale de ses «géons ». Biederman propose que 24 géons soient suffisants pour créer tous les objets existants. Dans ce modèle, la reconnaissance d'objets n'est pas déterminée par la forme globale, mais par des caractéristiques locales, en particulier des informations transmises par les fréquences spatiales élevées. Hummel et Biederman, en 1992, avaient créé un modèle informatique de la reconnaissance d'objets en six étapes. Dans ce modèle, la forme globale se construit uniquement dans la deuxième étape, après que les caractéristiques locales aient été traitées dans la première étape. Les résultats d'Oliva et Schyns (1997) ont confirmé ce modèle. Une image hybride a été présentée pendant 30 ms, suivie d'une cible de 40 ms que le participant

devait catégoriser. Les résultats ont montré que bien que les deux types d'information (Coarse ou Fine) amorçaient la cible, mais l'amorçage par les fréquences spatiales élevées était plus efficace que par les fréquences spatiales basses. Parker, Lishman et Hughes (1996) ont utilisé un paradigme d'amorçage avec des objets et des visages. Ils ont observé que les filtres passe-bande (fréquences spatiales élevées) ont un pouvoir plus perturbant sur le traitement de la cible lorsque l'amorce et la cible différaient. Ils ont conclu que l'information Fine conduit plus facilement à la représentation que l'information Coarse.

Comme expliqué précédemment, ces études peuvent être interprétées dans le cadre de la dissociation entre les systèmes parvocellulaire et magnocellulaire. Premièrement, ces études distinguent deux types d'information, Coarse et Fine, qui correspondent respectivement aux fréquences spatiales basses et aux fréquences spatiales élevées d'une image. Les détails de l'image sont donc traités par le système parvocellulaire, capable de discriminer des stimuli à fréquence spatiale élevée alors que la forme globale de l'image est d'abord traitée par le système magnocellulaire. Il reste cependant à définir les rôles de chacune des primitives dans la reconnaissance d'objets.

Bar, en 2003, met en relation traitement magnocellulaire/parvocellulaire et représentation Coarse/Fine. Les informations "fréquence spatiale basse" sont acheminées le long de la voie dorsale (extension magnocellulaire) puis projetées dans le cortex préfrontal. Le rôle du cortex préfrontal avait déjà été observé dans d'autres études (Parker, Wilding & Akerman, 1998 ; Freedman, Riesenhuber, Poggio & Miller, 2001; Freedman, Riesenhuber, Poggio & Miller, 2002) qui montraient l'existence de projections de fibre véhiculant les fréquences spatiales basses vers le cortex préfrontal. Bar (2003) a proposé que, dans le cortex préfrontal, différentes interprétations possibles du stimulus soient activées. Celles-ci se projettent ensuite dans le cortex temporal, centre de la reconnaissance. Ce circuit neuronal a ainsi deux fonctions. La première est d'aider la perception en proposant des interprétations possibles des stimuli. La seconde est de faciliter les comportements de fuite ou de combat par

les connexions du lobe frontal avec le système limbique. Il existe donc une première vague de traitement des fréquences spatiales basses, qui préactivent les représentations probables de l'objet et facilite ainsi le traitement ultérieur des fréquences spatiales élevées qui activeront la représentation précise de l'objet. Les traitements magnocellulaires permettent une représentation grossière de la situation permettant une prise de décision rapide. Les traitements parvocellulaires, plus tardifs, permettront la reconnaissance précise de l'objet.

Il s'agit du premier modèle complet mettant en jeu les informations magnocellulaires et parvocellulaires. Une continuité de la distinction traitement fréquence spatiale basse/élevée au niveau des traitements ventraux et dorsaux est postulée. La fréquence spatiale est donc une caractéristique tout à fait adaptée de la dissociation parvocellulaire et magnocellulaire jusqu'aux étapes de traitement les plus avancées.

c) L'excentricité

La variation de l'excentricité entraîne des modifications des traitements visuels pour des stimuli complexes. En 1996, Strasburger et Rentschler ont étudié l'influence d'une présentation périphérique ou centrale dans la reconnaissance d'objets. Ils ont cherché à déterminer le champ de reconnaissance ; c'est-à-dire la partie du champ visuel dans laquelle un stimulus est reconnu. Ils ont évalué la largeur du champ visuel des sujets. Ensuite, un stimulus (un chiffre de 0 à 9) était présenté de façon plus ou moins excentrée sur un axe horizontal. Les résultats ont montré que le champ de reconnaissance d'objets est deux fois plus petit que le champ visuel. Pour les niveaux d'excentricité élevée, la cible est détectée mais pas reconnue. Ces résultats confirment la distinction entre un système central spécialisé dans la perception, l'identification des détails et un système périphérique spécialisé dans la perception de l'action, du changement.

Fize, Fabre-Thorpe, Richard, Doyon et Thorpe, en 2005, ont évalué l'effet de l'excentricité sur la catégorisation d'images naturelles. Pour cela, ils ont comparé les

performances des participants à une tâche de détection d'un animal dans une scène (go pour présence d'un animal) avec présentation centrale de la cible à une tâche de catégorisation dans laquelle les photographies pouvaient apparaître au centre ou à 3,6 degrés d'excentricité du point de fixation. Les résultats ont montré une chute des performances de catégorisation lorsque la photographie était présentée en périphérie. Il est important de noter qu'il n'y avait pas, par contre, de différence significative entre les performances de la première expérience (simple présentation centrale des objets) et celles de la condition « image centrale » de la deuxième expérience (bloc mixte : présentation périphérique et/ou centrale dans le même bloc). Ce déficit s'explique donc autrement que par un déficit attentionnel dû au déplacement de la cible (l'incertitude de la position de la cible dans la deuxième expérience pourrait augmenter la charge attentionnelle de la tâche). Ces résultats confirment ceux de l'expérience de Strasburger et Rentschler (1996) en démontrant un déficit de perception de la vision périphérique comparée à la vision centrale.

Les résultats sont compatibles avec l'existence d'un système central de la perception des détails et un système périphérique de l'action. Bien que ces deux systèmes dépendent des caractéristiques des systèmes magnocellulaires et parvocellulaire, les procédures ne les isolent pas complètement car n'utilisant pas des stimuli permettant de stimuler sélectivement les deux types de cellules. Le lien ne peut être déduit qu'à posteriori à partir de leurs capacités spatiales.

d) Mouvement

La recherche fondamentale sur le traitement cognitif du mouvement d'images d'objets naturels est peu développée. Les recherches se sont concentrées sur des applications concrètes des résultats dans des situations écologiques (e.g. la conduite). Ainsi, de nombreuses recherches sont liées à la conduite automobile où la gestion d'un environnement en mouvement est cruciale (Henderson, Gagnon, Belanger, Tabone & Collin, 2010 ; Chang, Lin, Fung, Hwang & Doong, 2008).

Les recherches sur les populations pathologiques sont les sources d'informations les plus importantes sur le lien entre le traitement du mouvement et les deux systèmes visuels. En 1996, Eden, Van Meter, Rumsey et Zeffiro ont étudié les capacités visuospatiales d'enfants dyslexiques. La dyslexie est une pathologie de la lecture dans laquelle un déficit d'activation des aires visuelles V5/MT a notamment été observé (Eden, Van Meter, Rumsey, Maisog, Woods et Zeffiro, 1996). Les enfants dyslexiques montrent une baisse des performances aux épreuves mobilisant leurs capacités visuospatiales, visuomotrices, mais aussi leurs capacités à traiter le mouvement.

En conclusion, la dissociation magnocellulaire/parvocellulaire est moins homogène dès que des traitements de haut niveau sont mis en jeu. Différents phénomènes viennent obscurcir la compréhension de leur rôle, comme les interactions tardives entre les deux systèmes et/ou la diminution de l'influence des variables manipulées, comme pour le traitement du contraste: l'influence du contraste diminue. Concernant l'excentricité et le traitement du mouvement, les études sont peu nombreuses et ne permettent pas de faire ressortir le rôle des systèmes magnocellulaire et parvocellulaire à ce niveau-là, seulement de le déduire en fonction de résultats impliquant plus directement le système ventral et le système dorsal. La fréquence spatiale nous a semblé l'information la plus pertinente pour dissocier les deux systèmes à un haut niveau de traitement.

La distinction parvocellulaire/magnocellulaire est d'autant plus difficile à étudier à haut niveau que les caractéristiques des deux types de cellules ne sont pas les seuls facteurs qui vont biaiser un traitement magnocellulaire et parvocellulaire. La tâche et les attentes qu'elle engendre ont aussi une influence.

e) Modulation des traitements parvocellulaires et magnocellulaires

La sélection du système qui va traiter l'information visuelle ne dépend pas seulement des caractéristiques du signal. Le contexte, la catégorie de stimuli et les attentes de l'observateur modifient également les traitements.

Par le type de stimuli et le contexte

Les objets manipulables présentent une spécificité observée dès les premiers mois de la vie. Mareschal et Johnson (2003) ont présenté à des nourrissons de quatre mois des visages de femme ou des jouets manipulables. La cible changeait ensuite de localisation, de couleur ou d'identité. Les nourrissons regardaient plus longuement les objets manipulables lorsqu'ils changeaient de localisation. Les visages étaient plus longuement fixés lors d'un changement d'identité ou de couleur que lors d'un changement de localisation.

Les auteurs proposent que cette spécificité soit liée aux connexions entre perception et programmation de l'action. En 2009, Kao et Goodale ont comparé chez l'adulte trois conditions de présentation d'un stimulus. Un point rouge était présenté sur la main du participant, sur une fausse main ou sur un outil de jardinage. La tâche était une détection. Les participants répondaient plus rapidement lorsque la cible est présentée sur leur main que dans les deux autres conditions. En 2009, Brown, Morrisey & Goodale montrent que cet effet est plus fort lorsque la cible est positionnée sur la paume que sur le dos de la main. Selon Whiteley, Spence et Haggard (2008), les interactions entre le système visuel et les sensations proprioceptives expliquent ce bénéfice. Le traitement de l'information motrice facilite le traitement de l'information visuelle. Cette interaction pourrait être médiatisée par la voie dorsale et ses connexions avec le cortex moteur.

Comme l'aspect manipulable des objets, un stimulus ne sera pas traité de façon identique selon sa catégorie sémantique. Schwarzlose, Swisher, Dang et Kanwisher (2008)

ont présenté différentes catégories d'images (corps, scènes, visages et objets) lors d'un enregistrement IRM. Les stimuli étaient présentés sur le point de fixation, au-dessus ou au-dessous. Différentes régions cérébrales se sont activées selon le type d'image. Les informations spécifiques à la catégorie et à la localisation sont traitées indépendamment l'une de l'autre. Une observation identique a été faite à un niveau comportemental par Mc Cotter, Gosselin, Sowden et Schyns (2005). Ils ont modifié le contenu spectral de huit types de scènes naturelles en randomisant la phase de gamme de fréquences spatiales et d'orientations différentes. La tâche du participant était de catégoriser les scènes. L'objectif de l'étude était d'identifier quelles étaient les fréquences spatiales et les orientations dont la présence était essentielle à la reconnaissance des scènes. Les résultats indiquaient que chaque catégorie de scène nécessitait l'intégrité d'une partie spécifique de son contenu spectral. Par exemple, pour être reconnue, une montagne a besoin que la phase des orientations diagonales ne soit pas modifiée, une plage a besoin de la phase des orientations horizontales (l'axe vertical dans le domaine spectral).

Les fréquences spatiales utilisées pour reconnaître un objet ne sont donc pas les mêmes selon la catégorie sémantique de l'objet. En 2001, Vannucci, Viggiano et Argenti ont présenté des stimuli dans une version passe-bas. Des fréquences spatiales de plus en plus élevées étaient ensuite rajoutées toutes les 200 ms jusqu'au stimulus présenté en version normale. (Voir Figure 14). Les résultats montraient que chaque catégorie sémantique était reconnue à des niveaux de filtres

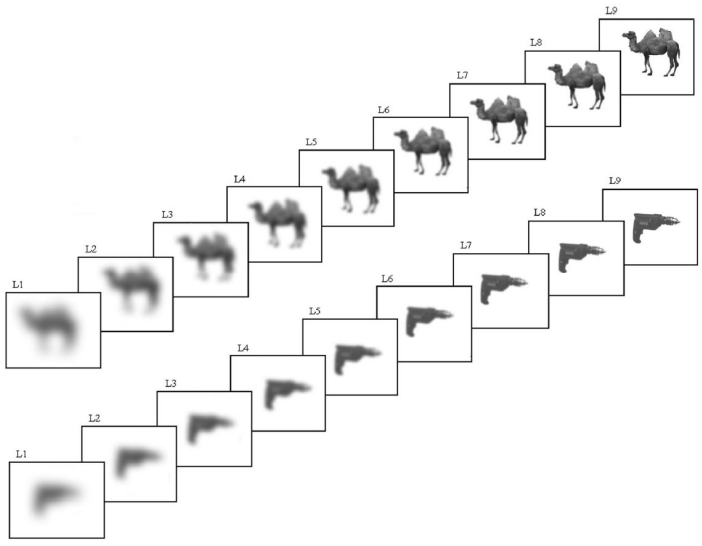


Figure 14. Exemples de stimuli utilisés par Vannucci et al. (2001) : Une cible de base (L1) à laquelle sont rajoutées progressivement les fréquences spatiales élevées.

différents. Les animaux étaient reconnus à des fréquences spatiales plus basses que les autres catégories sémantiques (outils, végétaux). Ces expériences montrent que le stimulus efficace n'est pas le même selon sa catégorie.

Traitement actif du signal

Différents auteurs ont montré que le traitement de la gamme de fréquence spatiale était dépendant de la tâche demandée au participant. En 1999, Schyns et Oliva ont montré que, selon la tâche, les participants utilisaient préférentiellement certaines gammes de fréquences spatiales différentes. En utilisant des visages hybrides (composés de deux images de fréquences spatiales différentes. Voir Figure 15), ils ont remarqué que lorsque les participants devaient juger le genre du visage (masculin/féminin), ils utilisaient le visage passe-bas (fréquence spatiale basse) et lorsqu'ils devaient juger le type d'expression sur le visage, ils utilisaient le visage passe-bande (fréquence spatiale élevée). Les auteurs ont alors émis l'hypothèse que les stades précoces du traitement visuel étaient influencés par une fonction attentionnelle qui permettrait de sélectionner les fréquences spatiales à traiter en priorité. Cette hypothèse était déjà évoquée dans leurs travaux de 1997 dans lesquels ils avaient observé que les participants traitaient plus facilement la gamme de fréquence spatiale qu'ils s'attendaient à voir apparaître. Cependant, leurs conditions expérimentales ne permettaient pas de déterminer si la fonction attentionnelle influençait les traitements précoces, en modifiant la sensibilité des différents canaux perceptifs ou bien si la sélection avait lieu dans le cortex en empêchant les informations inutiles d'être traitées consciemment.

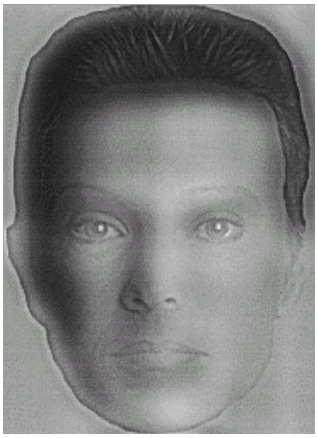


Figure 15. Visage utilisé par Oliva et Schyns (1997). Visage hybride. En éloignant le visage, la femme au visage posé devient un homme en colère

D'autres travaux ont également montré une influence de la tâche sur la gamme de fréquence spatiale pertinente. Le pouvoir masquant d'un masque visuel pouvait être prédit par son contenu spectral, en considérant les gammes utiles pour la tâche (Delord, 1998). Dans la

première expérience, les participants devaient déterminer la forme globale d'objets fragmentés (ronds ou ovales). Dans la deuxième expérience, ils devaient nommer les objets présentés. Les résultats ont montré que l'effet perturbant des masques variait selon les tâches. Les masques puissants dans les fréquences spatiales basses étaient plus efficaces que les autres pour la tâche impliquant l'extraction de la forme globale, et les masques puissants sur les fréquences spatiales moyennes et élevées étaient plus efficaces que les autres dans la tâche d'identification.

Une explication de ce phénomène est avancée par Rohtstein, Vuillemier, Winston, Driver et Dolan (2005). Ils ont étudié le traitement des visages hybrides à l'aide d'un enregistrement IRM. Les résultats ont montré que le traitement des différentes gammes de fréquences spatiales avait lieu dans des régions cérébrales distinctes. Les informations convergeaient ensuite vers le gyrus fusiforme droit, où les informations étaient combinées afin de créer une représentation du visage indépendante de la gamme de fréquences spatiales traitées. Cette architecture permet d'expliquer l'usage flexible des fréquences spatiales réalisé par le système visuel.

Cette flexibilité ne concerne pas seulement le traitement des fréquences spatiales. Kroliczak, Heard, Goodale et Gregory (2006) ont utilisé l' « Hollow face illusion ». C'est une illusion dans laquelle un masque concave apparaît comme convexe à l'observateur. (Voir Figure 16). Après présentation d'un masque concave ou normal, les participants étaient amenés à réaliser une tâche de pointage rapide (enlever un aimant présent sur le visage), une tâche de pointage lent (pointage vers la localisation du visage) et un dessin du masque. Les résultats ont montré une dissociation entre perception et action : l'illusion n'empêchait pas les participants d'interagir

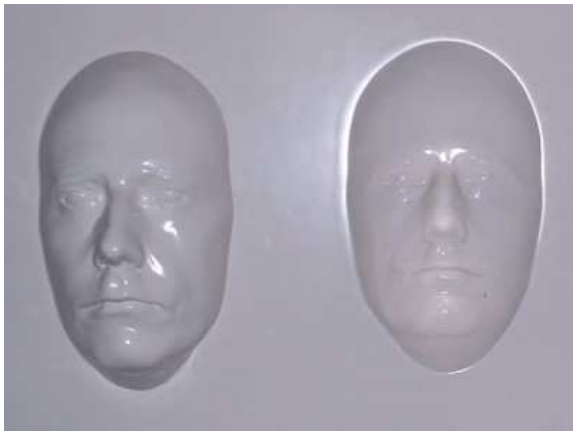


Figure 16. Hollow face illusion. Bien que concave, le visage de droite semble ressortir vers l'observateur

correctement avec le visage lors d'actions motrices. Le système visuel est donc capable, pour agir sur son environnement, de faire appel à une représentation autre que celle qui accède à la conscience.

Cette dissociation entre vision pour l'identification et vision pour l'action est répliquée dans d'autres études. Une différence entre la dénomination et la saisie d'un objet dans un paradigme de répétition en IRM a été observée (Garofeanu, Kroliczak, Goodale & Humphrey, 2004). Une plus forte activation de la voie dorsale a également été obtenue lors de la saisie d'objets réels plutôt que lors de la perception d'une distance entre l'objet et l'observateur (Cavina-pratesi, Goodale & Culham, 2006). Dans la perception passive de la cible (simple présentation de l'objet), la voie dorsale et la voie ventrale s'activaient de manière équivalente mais la tâche demandée aux participants influençait le système utilisé pour traiter l'objet. Enfin, le même phénomène a été observé avec une condition « changement d'identité » de la cible activant la voie ventrale et une condition « changement d'orientation » activant la voie dorsale. (Valyear, Culham, Sharif, Westwood et Goodale, 2006).

Selon Kunde, Landgraf, Paelecke et Kiesel (2007), la sélection d'un traitement ventral ou dorsal de l'information est ainsi gérée par un système attentionnel puisque les deux types de traitement étaient limités par les capacités attentionnelles du participant: les performances aux deux tâches (perception de la taille et préhension d'un objet) étaient diminuées dans une situation de double tâche. La littérature fait ainsi apparaître des différences d'activation à un niveau cortical suggérant que la sélection attentionnelle interviendrait plutôt sur les processus de haut niveau. Ces études se sont centrées sur la dissociation ventral/dorsal plus que sur la dissociation magnocellulaire/parvocellulaire. Nous allons tenter de réconcilier ces deux littératures en utilisant des procédures permettant de biaiser les traitements parvocellulaire/magnocellulaire dans des tâches de bas et de haut niveau.

C. L'influence du contexte sur le traitement de l'objet

Jusqu'à présent, le rôle des informations magnocellulaires et parvocellulaires a été analysé lors du traitement d'un stimulus isolé. Dans cette partie, un niveau de complexité supplémentaire a été ajouté avec l'influence de la scène sur le traitement de cet objet.

a) Généralités sur l'influence de la scène sur le traitement de l'objet

Reconnaître une scène, en extraire les informations importantes, ne demande que très peu de temps à notre système visuel (Biederman, Rabinowitz, Glass & Stacy, 1974 ; Potter, 1976 ; Schyns & Oliva, 1994). L'étude de l'interaction entre le traitement de la scène et de l'objet a fait émerger trois théories différentes.

La première postule que le traitement de la scène a une influence dès la première étape de traitement de l'objet (Biederman, Mezzanotte & Rabinowitz, 1982). Palmer, en 1975, avait observé une interférence de la scène non appropriée. Les scènes incongruentes rendaient l'objet plus difficile à identifier qu'une scène neutre (pas de contexte, présentation simple de l'objet. Voir Figure 17). Metzger et Antes (1983), en variant le temps de présentation des images, ont montré que les informations pertinentes d'une scène étaient extraites très rapidement, supposant ainsi que l'influence de la scène apparaît dès les premières étapes du traitement.

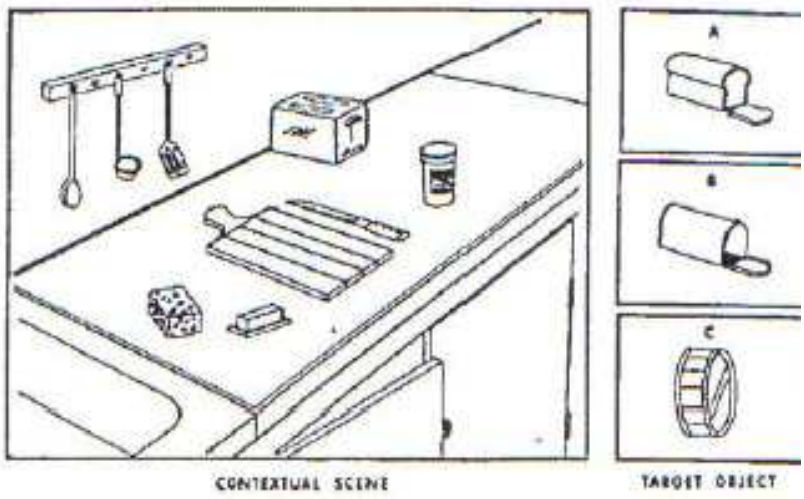


Figure 17. Exemple de stimuli utilisés par Palmer (1975)

La seconde théorie propose que cette influence apparaisse plus tardivement dans le traitement en préactivant les objets liés à la scène présentée. En 1979, Friedman a utilisé six images cibles, chacune contenant des objets congruents ou incongruents à la scène. Les mouvements des yeux ont été enregistrés lors de la présentation des scènes (30 secondes/scène). Des scènes étaient ensuite présentées aux participants qui devaient retrouver la scène dont un élément avait été changé. L'analyse des fixations oculaires durant la phase d'apprentissage a montré que les objets incongruents étaient fixés deux fois plus longtemps que les objets congruents. Les résultats à la tâche de reconnaissance ont montré que les participants étaient plus aptes à détecter le changement d'un objet incongruent que d'un objet congruent. Selon Friedman, ce résultat n'est pas seulement interprétable par le temps de fixation plus élevé sur les objets incongruents. Ce résultat s'expliquerait par l'intrication sémantique des objets congruents à leur scène. Ainsi, la vision de la scène activerait tous les objets habituellement présents dans celle-ci, les rendant moins discriminables. Bar et Ullman (1996) retrouvent aussi une plus grande distinctibilité des objets incongruents. Selon Gordon (2006), cet effet serait un effet attentionnel. Les objets incongruents attireraient plus facilement l'attention et seraient donc plus présents en mémoire.

Enfin, la troisième théorie suggère une indépendance fonctionnelle entre le traitement de la scène et celui de l'objet. Hollingworth et Henderson (1999) ont mis en place une procédure pour élucider le rôle de la scène dans le traitement de l'objet. Dans une première expérience, les participants devaient déterminer lequel des deux objets qu'on leur présentait avait été vu dans une scène au préalable. Les deux objets pouvaient être congruents ou incongruents. Les résultats ont montré une meilleure discrimination des objets incongruents. Dans une deuxième expérience, ils présentaient une scène puis deux versions d'un objet présenté dans la scène (e.g. une chaise était présentée dans la scène et ils devaient ensuite la reconnaître parmi d'autres types de chaise). Ils n'ont pas observé non plus de facilitation de la scène sur la capacité à traiter de façon détaillée les objets congruents. Selon les auteurs, ces

résultats montrent que le traitement perceptif d'un objet et l'appariement de celui-ci à une scène sont isolés des connaissances stockées en mémoire sur l'adéquation entre les scènes et les objets.

b) Influence des systèmes parvocellulaire/magnocellulaire

La première problématique concerne les processus sous-tendant la catégorisation rapide des scènes. Comme nous l'avons détaillé plus haut, Schyns et Oliva (1994) ont fait varier le temps de présentation d'images hybrides dans un paradigme d'amorçage. Selon les auteurs, les informations passe-bas étaient perçues lors de la présentation courte. La reconnaissance rapide des scènes se base sur la forme globale, l'orientation générale des formes, leur taille. Les autres informations, comme les contours plus fins, ne sont utilisées que lorsque des temps de traitement plus longs sont autorisés. La reconnaissance rapide de scène est donc sous-tendue très rapidement par les fréquences spatiales basses, c'est à dire par les traitements magnocellulaires. Le rôle essentiel de la forme globale dans la reconnaissance de la scène est répliqué dans le travail d'Oliva et Torralba (1994).

Cette implication de la voie magnocellulaire dans l'extraction rapide d'information d'une scène permet d'aborder le problème de l'influence de la scène sur le traitement de l'objet sous un angle différent. Ainsi, le modèle de reconnaissance d'objets proposé par Bar (2003) peut permettre d'éclaircir la question. Si les fréquences spatiales basses d'un objet préactivent des représentations possibles de l'objet, ne pourrait-il pas en être de même pour la composante fréquence spatiale d'une scène ? Bar (2004) élabore un modèle à partir de données neurologiques et comportementales. L'aire parahippocampique, située dans le cortex parahippocampique, est en effet un module pour l'analyse des scènes (Epstein, Graham & Downing, 2003), stockant les associations contextuelles et interagissant avec le cortex préfrontal.

Les fréquences spatiales basses sont projetées précocement et rapidement à partir du cortex visuel vers le cortex préfrontal et le cortex parahippocampique. Le cortex parahippocampique (PHC) activé forme une représentation du contexte et envoie l'information au cortex inféro-temporal qui active des associations pertinentes d'objets par rapport au contexte. Les objets présents dans la scène sont traités en parallèle. Leur composante fréquence spatiale basse active le cortex préfrontal et fournit des représentations possibles de l'objet (Voir Figure 18).

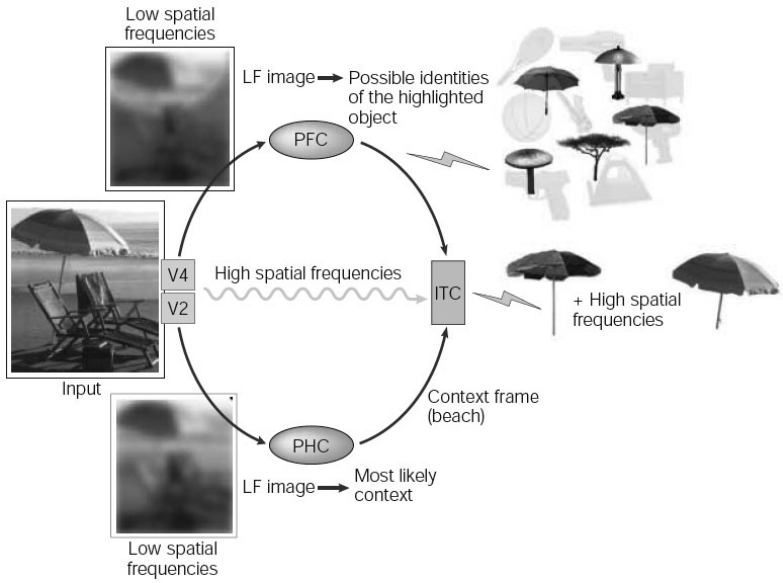


Figure 18. Modèle de Bar (2004)

Les fréquences spatiales basses suffisent donc à activer un ensemble de candidats pour l'interprétation du stimulus visuel. Le traitement de la scène et de l'objet se mettant à jour continuellement, les deux types de traitement s'aident mutuellement en proposant constamment des interprétations possibles aux stimuli visuels. Ce modèle a été validé par des études anatomiques (Rempel-Clower & Barbas, 2000). Ainsi, une projection précoce d'informations magnocellulaires active des attentes concernant le contexte et l'identité qui, quand elles sont combinées, résultent en une reconnaissance d'objet plus rapide.

En résumé, l'ensemble des études de bas et haut niveau présentées dans ce chapitre convergent vers l'hypothèse d'une dissociation entre les deux systèmes visuels. Le système magnocellulaire est spécialisé dans le traitement des fréquences spatiales basses et des contrastes faibles, des stimuli présentés en périphérie de la rétine et en mouvement. Le

système parvocellulaire est spécialisé dans le traitement des fréquences spatiales moyennes et élevées ; il réagit plus spécifiquement aux contrastes élevés et aux stimuli présentés en fovéa. Il est moins performant que le système magnocellulaire pour traiter des stimuli en mouvement. Au fil des traitements, la distinction entre ces deux systèmes progressivement disparaît (dû aux interactions qu'entretiennent les deux systèmes entre eux, et avec les représentations stockées en mémoire et le système attentionnel). L'examen de la littérature montre toutefois que les différentes gammes de fréquences spatiales qui véhiculent les différentes dimensions de l'objet gardent un rôle plutôt distinct dans des fonctions de haut niveau, telles que la reconnaissance d'objets, même présentés dans une scène.

Le premier objectif de cette thèse a donc été de mettre en place des procédures permettant d'isoler ces deux systèmes comportementalement et d'évaluer la pertinence de cette dissociation dans l'étude des traitements de bas et haut niveau. Un autre objectif a été d'étudier les dysfonctionnements sélectifs de ces deux systèmes, plus particulièrement dans le vieillissement normal et dans une pathologie spécifique.

III. Dysfonction du système visuel

Comme précisé au-dessus, l'un des objectifs de cette thèse est de comprendre l'évolution et les déficits des systèmes magnocellulaire et parvocellulaire, notamment dans le vieillissement normal. Si au niveau ophtalmologique, l'évolution et les pathologies de l'œil vieillissant sont bien étudiées, les conséquences du vieillissement du système visuel au niveau cognitif sont encore peu étudiées. Dans la conception de la neuropsychologie cognitive, la démonstration d'une atteinte spécifique de l'un ou l'autre des systèmes dans différentes pathologies donnerait des arguments supplémentaires pour une dissociation des deux systèmes pour le traitement visuel.

1. Pourquoi étudier ces dysfonctionnements ?

A. Une meilleure compréhension des symptomatologies

Outre le vieillissement normal, des troubles cognitifs visuels sont observés dans de nombreuses pathologies au niveau anatomique ou cognitif.

Certaines maladies affectent exclusivement le fonctionnement du système visuel. Alexander, Pokorny, Smith, Fishman et Barnes (2001) ont, par exemple, étudié la rétinite pigmentaire, dans le but d'évaluer les conséquences de la dégénérescence rétinienne sur les systèmes magnocellulaire et parvocellulaire. Pour cela, ils ont utilisé le paradigme de Pokorny et Smith (1997) permettant de calculer un seuil de sensibilité au contraste dans deux conditions biaisant les traitements magnocellulaires et parvocellulaires. Sur les 14 patients de l'étude, 9 montraient une élévation des seuils dans la condition magnocellulaire. Ce résultat montre que la rétinite pigmentaire perturbe la capacité à différencier deux contrastes différents particulièrement dans les conditions impliquant la voie magnocellulaire. Ce paradigme a été utilisé plusieurs fois. Mackendrick, Badcock et Morgane (2004) ont cherché à comprendre les répercussions de la baisse de sensibilité au contraste observée chez les patients atteints de glaucome. Les patients étaient confrontés aux deux paradigmes (présentation au centre de la rétine mais aussi en périphérie). Ils ont observé une perte sélective de la qualité des traitement magnocellulaires et parvocellulaires dans un glaucome précoce. Anderson et O'Brien (1997) ont identifié une des caractéristiques du glaucome. Ils ont stimulé la rétine de patients atteints de glaucome en douze points différents avec des réseaux sinusoïdaux stationnaires ou se modifiant à une fréquence de 30 Hz (deux conditions différentes qui permettent d'isoler les traitements parvocellulaires et magnocellulaires). Selon les auteurs, les déficits comportementaux (acuité visuelle) observés laissent supposer une diminution plus forte de la population de cellules magnocellulaires que de cellules parvocellulaires chez les patients atteints de glaucome.

Les déficits visuels ont aussi été étudiés dans des pathologies dont les symptômes visuels ne sont pas la principale caractéristique. La question se pose alors de la répercussion de ces déficits sur les autres processus dans des pathologies dont plusieurs fonctions cognitives sont atteintes. Par exemple, l'hypothèse selon laquelle le déficit magnocellulaire est responsable du déficit attentionnel visuel observé chez les schizophrènes a été revue par Skottun et Skoyles(2008). Selon les auteurs, les arguments ne sont pas encore assez convaincants pour faire un tel lien, notamment parce que les informations parvocellulaires ont aussi leur rôle à jouer au niveau attentionnel. Les tentatives d'explication de troubles schizophréniques par un dysfonctionnement des systèmes visuels ont aussi été développées. En 2003, Schechter et al. avaient postulé un dérèglement des interactions parvocellulaire/magnocellulaire à l'origine des déficits attentionnels. Par ailleurs, la théorie de Korn (2002) a permis de montrer qu'une désinhibition de la vision panoramique entraînait une vision déformée de l'environnement chez les schizophrènes.

D'autres maladies psychiatriques, telles que la psychose et les troubles bipolaires ont été étudiées (Laycock, Crewther & Crewther, 2006). Selon Keri et Benedek (2007), le dysfonctionnement de la voie magnocellulaire observé chez des personnes à forte tendance psychotique explique les expériences visuelles anormales. Ils ont montré que chez ces patients, les seuils de sensibilité aux contrastes étaient abaissés, c'est-à-dire que leur sensibilité était supérieure à celle des contrôles. Cette hyperréactivité de la voie magnocellulaire est la cause de l'élévation de la luminosité des stimuli et peut être à l'origine de la sensation d'être submergé, inondé et de l'incapacité à se focaliser sur les détails pertinents que l'on retrouve dans la psychose. L'étude des systèmes visuels dans les troubles bipolaires a aussi montré que lors de la phase dépressive de la maladie, les patients avaient des performances diminuées dans les conditions parvocellulaires et magnocellulaires alors que dans la phase maniaque, leurs performances étaient égales à celles des participants contrôles.

En plus des troubles psychiatriques, les maladies dégénératives ont été étudiées. La maladie d'Alzheimer présente, en plus des troubles mnésiques et attentionnels majeurs, de nombreux symptômes visuels dont une agnosie et une prosopagnosie dans les phases tardives de la maladie. Pour comprendre quel mécanisme prévenait l'activation de la représentation, des dessins en noir et blanc ont été présentés à des patients atteints de la maladie d'Alzheimer. (Adlington, Laws et Gale, 2009). Les informations de surface et de couleur étaient rajoutées progressivement. Les résultats montraient que le groupe contrôle bénéficiait des informations supplémentaires qui l'aidaient à nommer les cibles et que ce n'était pas le cas des patients. De plus, les déficits des patients pour les traitements de bas niveau étaient prédictifs de leurs résultats à la tâche de dénomination. Il est ainsi possible qu'un déficit dans les traitements de bas niveau engendre progressivement des déficits bien plus larges, affectant les étapes plus profondes de traitement.

Enfin, la dissociation magnocellulaire/parvocellulaire a aussi été explorée dans la dyslexie avec la proposition de la théorie selon laquelle un déficit magnocellulaire est à l'origine de la dyslexie (Stein, 2001). Le développement des couches magnocellulaires des corps genouillés latéraux est anormal chez les dyslexiques et de nombreux déficits visuels en résultent (sensibilité au mouvement détériorée, fixation binoculaire mal maitrisée, localisation visuelle déficitaire). Le contrôle des mouvements oculaires étant extrêmement important dans la lecture, de tels déficits visuospatiaux peuvent provoquer une perception anormale des lettres. Les lettres semblent bouger d'elles mêmes et commencent à se superposer. Il a été proposé que la cause soit génétique et une explication phylogénétique postule que cette anormalité aurait perduré grâce au développement plus avancé de la voie parvocellulaire chez les dyslexiques, leur octroyant d'autres capacités (vision globale, artistique du monde). Les études rapportant un déficit magnocellulaire dans la dyslexie sont de fait nombreuses et montrent une diminution de la capacité à traiter les fréquences spatiales basses et à réussir des tâches visuospatiales (Buchloz & McKone ; 2004), un déficit de la perception du mouvement

chez les enfants dyslexiques (Skottun et Skoyles ; 2008), un déficit de la voie dorsale (Pellicanno et Gibson ; 2008). Ces études confirment l'hypothèse selon laquelle le déficit précoce observé dans les corps genouillés latéraux chez les enfants dyslexiques peut avoir des incidences sur les tâches de plus haut niveau.

B. Elaboration d'outils diagnostiques

Comme les autres fonctions cognitives, la compréhension du système visuel et des pathologies associées à son dysfonctionnement a entraîné l'élaboration d'outils diagnostiques. Ces tests se révèlent tout d'abord particulièrement pertinents dans les pathologies neuropsychologiques atteignant la vision (e.g, agnosie). Les outils diagnostiques impliquant des traitements visuels sont aussi indispensables dans les diagnostics différentiels. Ala, Hughes, Kyrouac, Ghobrial et Elble (2003) ont, par exemple, démontré l'importance de la vision dans le diagnostic différentiel de la maladie d'Alzheimer et de la démence à corps de Lewy. Le MMSE (Folstein, Folstein & McHughes, 1975) a tout simplement été administré à 17 patients souffrant de démence à corps de Lewy et 27 patients Alzheimer, et les résultats aux différents sous-tests ont été comparés. Les patients présentant une démence à corps de Lewy ont des scores significativement plus faibles aux tests d'attention et de construction (recréer une figure) que les patients Alzheimer. Dans la démence à corps de Lewy, des déficits visuo-constructifs sont effectivement proéminents. Ces déficits sont spécifiques à cette démence et permettent de l'identifier. Calderon et al. (2001) ont fait passer une batterie de tests qui évaluaient la mémoire sémantique, épisodique, de travail et des fonctions attentionnelles et visuo-perceptives de patients Alzheimer et de patients atteints de démence à corps de Lewy. Ces derniers montraient des déficits plus particulièrement dans les tests visuo-perceptifs. Ferman et al. (2006) ont noté des scores inférieurs des patients avec une démence à corps de Lewy lors du Trail-Making Test A et du test de forme visuelle de Benton. La démence à Corps de Lewy est une maladie encore assez mal connue. Elle partage des

caractéristiques communes à de nombreuses pathologies dont la maladie d'Alzheimer, mais aussi la maladie de Parkinson. Après avoir administré une batterie de tests (mémoire verbale et visuelle, DMS-48, langage, gnosie, praxie, fonction exécutive) à une population parkinsonienne et une population démence à corps de Lewy, Mondon et al. (2007) ont noté que les patients déments à corps de Lewy avaient plus de difficultés au Trail-making test A, à un test d'orientation, au test de dénomination des couleurs de la tâche de Stroop et au test de mémoire visuelle. Aucune différence n'a été observée dans les autres fonctions cognitives. Ces recherches sont d'autant plus importantes que la démence à corps de Lewy est mal diagnostiquée. Les principales caractéristiques de la maladie (hallucinations visuelles, syndrôme parkinsonien, cognition fluctuante) ne permettent pas de différencier correctement cette pathologie des autres (Nelson et al., 2010).

Des pathologies comme la maladie de Parkinson pourraient aussi bénéficier d'une meilleure compréhension de leurs dysfonctionnements visuels. Aucun test pour l'instant n'est assez pertinent pour la diagnostiquer clairement, et 25% des cas seraient mal diagnostiqués (Tolosa, Wenning & Poewe, 2006). Cette pathologie est particulièrement difficile à différencier des pathologies présentant les mêmes symptômes moteurs, comme la paralysie supranucléaire progressive. Ces deux pathologies se distinguent, par contre, par leur dysfonctionnement visuel. Les fixations oculaires, le contrôle volontaire du regard, sont particulièrement déficitaires dans la paralysie supranucléaire progressive alors que c'est la vision des couleurs qui serait touchée plus gravement dans la maladie de Parkinson.

C. La prise en charge

En plus du diagnostic, la prise en compte des symptômes visuels améliore la prise en charge de nombreuses pathologies. Premièrement, l'amélioration de la capacité à les diagnostiquer le plus précocement possible a des conséquences non négligeables sur la prise en charge : les patients à démence à corps de Lewy présentent, par exemple, une intolérance

aux neuroleptiques qui sont parfois prescrits quand la maladie est mal diagnostiquée (Mondon et al., 2007).

Deuxièmement, les symptômes visuels sont souvent liés aux difficultés liées à la vie quotidienne (Muller, Woitalla, Peters, Kohla et Przuntek, 2002). Le déclin des fonctions visuelles permet de prédire le développement futur des pathologies. En 2008, Hamilton et al. ont mené une étude longitudinale sur des patients déments à corps de Lewy et des patients Alzheimer. Les résultats ont montré que des performances dégradées dans les tests visuospatiaux étaient associées à un déclin cognitif rapide. De plus, les patients avec des compétences visuospatiales déficitaires avaient plus de chance d'être victimes d'hallucinations visuelles. Chapman, Dickinson et McKeith (1999) ont montré que l'acuité visuelle était associée aux hallucinations visuelles, les patients de leur étude qui avaient une acuité visuelle normale ne souffraient pas d'hallucinations. De plus, la prise en charge permet souvent d'adopter des mesures compensatoires et de pallier aux déficits (Davidsdottir, Gronin-Colomb et lee, 2004).

Des dysfonctionnements visuels même précoces peuvent entraîner des difficultés dans la vie quotidienne (une mauvaise appréciation des distances a pour conséquence des chutes, des problèmes pour attraper les objets, ...). En 2005, Ray, Fowler et Stein ont montré que des lunettes à filtre jaune amélioraient les traitements le long de la voie magnocellulaire (déficitaires dans plusieurs pathologies, comme exposé plus haut). Les cellules ganglionnaires présentent une opposition au plan chromatique (bleu/jaune, rouge/vert). Les entrées bleues ont un effet inhibiteur sur la voie magnocellulaire. En augmentant l'activité de son antagoniste (jaune), le filtre jaune supprime l'effet inhibiteur du bleu. Ainsi, les enfants qui avaient des difficultés de lecture ont montré une augmentation significative de leur capacité à lire après trois mois de port des lunettes « jaunes » par rapport à un groupe utilisant un placebo.

D. Un outil pour la compréhension du système visuel humain normal

En plus des avancées pratiques de diagnostic et de prise en charge, la compréhension des déficits neuropsychologiques aide également à la compréhension du fonctionnement des systèmes visuels, notamment grâce au paradigme de double dissociation. Il s'agit d'attribuer des rôles fonctionnels différents à des modules (système, localisation cérébrale, ...). Si un patient avec une lésion cérébrale A ne réussit qu'une tâche X mais pas la tâche Y et si un autre patient avec une lésion B réussit la tâche Y mais pas la X, l'indépendance entre les deux fonctions ainsi que leur localisation cérébrale distincte peuvent être confortées. En 1997, Turnbull observe le cas de deux patients et met en évidence une double dissociation entre reconnaissance de l'objet et discrimination d'orientation d'objets au plan neuropsychologique. Le premier, nommé D.M, victime d'un traumatisme crânien, pouvait placer correctement des objets mais était incapable de les nommer. Le deuxième patient, nommé L.G., avait été victime d'accidents vasculaires cérébraux du fait d'une malformation au niveau de la région temporo-pariétale de l'hémisphère droit. Il avait de très mauvaises capacités visuospatiales. Il pouvait cependant reconnaître et nommer tous les objets. Cette double dissociation pour deux études de cas est un exemple de double dissociation. Elle a permis ici de confirmer la dissociation entre la voie de l'identification des objets (ventrale) et la voie responsable des compétences visuospatiales (dorsale).

La dissociation entres les deux systèmes visuels s'est énormément fondée sur l'étude de patients cérébro-lésés. Par exemple, le patient LM était incapable de traiter le mouvement mais bien qu'ayant des performances inférieures aux sujets contrôles, il arrivait néanmoins à attraper des objets en mouvement (Schenk, Mai, Ditterich & Zihl, 2000). Ceci permet de postuler une dissociation dans la voie dorsale entre compétence visuospatiale et vision pour l'action, et de confirmer les travaux de Merigan et Maunsell (1993) et Milner et Goodale (1993). De même, les deux processus ont été dissociés à l'intérieur de la voie dorsale: un

patient qui montrait des difficultés à localiser un objet n'avait aucune difficulté à pointer vers un objet (Carey, Dijkerman, Murphy, Goodale et Milner, 2006).

Les techniques d'imagerie ont permis de visualiser le substrat de cette dissociation chez les patients, par exemple chez la patiente DF qui présentait des lésions dans la voie ventrale et qui avait des performances dégradées à une tâche de catégorisation d'objets mais dont les capacités visuomotrices étaient épargnées (James, Culham, Humphrey, Milner & Goodale, 2003). Des études comme celle de Muckli et al. (2006) ont tenté par ailleurs de comprendre les mécanismes cérébraux de la vision grâce à l'étude de patients amblyopes. Selon ces auteurs, l'amblyopie correspond à une baisse d'activité de l'œil sans lésion organique de la rétine et dont le dysfonctionnement doit se situer à un niveau de traitement plus élevé. La dissociation a été confirmée anatomiquement en montrant que, chez un patient amblyope, les réponses cérébrales étaient de moins en moins fortes au fur et à mesure du traitement, impliquant donc un déficit à un niveau cortical. De même, dans l'autisme, une corrélation a été observée entre le score à l'échelle « Autism spectrum quotient » et un retard de l'arrivée des informations magnocellulaires dans les premières aires visuelles (Sutherland & Crewther, 2010). Ce retard entraînait un dérèglement des interactions entre informations parvocellulaires et magnocellulaires qui était responsable de l'altération de la perception. Ainsi, ces quelques exemples montrent que la compréhension des dysfonctionnements présents dans telle ou telle pathologie, donne des indications sur la façon dont ces processus sont normalement organisés.

Cette approche de neuropsychologie cognitive s'applique à l'étude du vieillissement normal, bien que l'on ne considère plus des processus pathologiques, mais l'évolution normale du fonctionnement visuel. L'évolution des deux sous-systèmes peut être effectuée à des rythmes différents avec l'avancée en âge. La revue de la littérature suivante cherche à faire le point sur cette question.

2. Evolution du système visuel dans le vieillissement normal

A. Au niveau ophtalmologique

La littérature s'est plus particulièrement intéressée aux évolutions anatomiques et fonctionnelles du système visuel avec l'avancée en âge. Celles-ci seront donc exposées avant les évolutions cognitives, objets de cette thèse.

a) Evolution anatomique

Les études concernant le vieillissement anatomique ont montré que la structure de l'œil subit de modifications lors du vieillissement à tous les niveaux, que cela soit pour la cornée (Faragher, Mulholland, Tuft, Sanderman & Khaw, 1997), les pupilles (Salvi, Akhtar & Currie, 2006), le cristallin (Duncan, Wormstone & Davies, 1997), l'humeur vitrée (Salvi et al., 2006), la rétine (Salvi et al., 2006), la macula (Grunwald, Piltz, Patel, Bose & Riva, 1993) et le nerf optique (Moya, Brigatti & Capriolli, 1999).

b) Evolution fonctionnelle

Ces changements anatomiques de l'œil dans le vieillissement normal occasionnent des modifications au niveau fonctionnel. Dès l'âge adulte, l'acuité visuelle diminue, la résolution spatiale de l'œil diminue sur un œil sain (Jackson & Owsley, 2003). Le traitement des primitives visuelles est affecté. Premièrement, une modification de la sensibilité aux fréquences spatiales apparaît. La perte la plus sévère s'observe pour les fréquences spatiales élevées (Owsley, Sekuler & Siemsen, 1983). Selon, Corbe et al. (1993), ce déclin est progressif. A 40 ans, il y a un déficit du traitement des fréquences spatiales élevées; à 50 ans, le traitement des fréquences spatiales moyennes est également affecté. En revanche, le traitement des fréquences spatiales basses n'est que modérément altéré au cours du vieillissement. La fréquence de fusion critique diminue aussi avec l'âge (Coppinger, 1955 ; in Brandies & Yehuda, 2008). Les capacités spatiotemporelles se détériorent, notamment pour

les fréquences temporelles moyennes et élevées (Wright & Drasdo, 1985). En conséquence, la discrimination de la direction du mouvement se détériore. Le système visuel est moins apte à discriminer deux directions différentes (Ball & Sekuler, 1986). La sensibilité aux mouvements est aussi diminuée (Gilmore, Wenk, Naylor & Stuve, 1992). Une perte de la discrimination des couleurs se manifeste également par une diminution des capacités de discrimination sur l'axe bleu (Jackson & Owsley, 2003). Enfin, un déclin de la courbe de sensibilité au contraste s'observe en vision périphérique dès 1° d'excentricité. Cet effet s'accentue avec l'augmentation de l'excentricité (Jaffe, Alvarado & Juster, 1986).

c) Les pathologies oculaires liées au vieillissement

En plus des évolutions normales du système visuel avec l'avancée en âge, des pathologies spécifiques peuvent se développer tout au long du vieillissement, affectant la structure anatomique de l'œil. La cataracte,qui due à l'opacification du cristallin entraîne une baisse de l'acuité visuelle ainsi qu'une photophobie. Elle peut aussi être engendrée par un traumatisme ou par une anomalie génétique (Zhou & al. 2010). La dégénérescence maculaire liée à l'âge affecte la macula, donc lèse principalement la vision centrale. Les facteurs principaux sont génétiques et vasculaires (Gastaud, 2003). La destruction du nerf optique ou une augmentation de la pression intraoculaire peut entraîner un glaucome (Helj & al., 2010). Ceci a pour conséquence une perte de la vision, la vision périphérique est affectée en premier pouvant aller jusqu'à la cécité. Enfin, la rétinopathie diabétique détériore les petits vaisseaux de la rétine et des lésions vasculaires augmentent avec l'hyperglycémie liée à l'âge (Jackson & Barber, 2010) mais l'évolution est très lente tant que la macula n'est pas touchée.

Ces affections sont les plus couramment observées. La littérature concernant le vieillissement de la vision est développée, que cela soit sur son évolution anatomique, fonctionnelle ou pathologique. Cependant, les études tentant de comprendre le vieillissement du système visuel au niveau cognitif sont plus rares.

B. Au niveau des systèmes visuels cognitifs

Ces recherches se centrent à chaque fois sur un des aspects spécifiques du système visuel, par exemple, la sensibilité au contraste ou le codage du mouvement. Elles seront classées et interprétées dans le cadre de la dissociation parvocellulaire/magnocellulaire. La question d'un éventuel déficit parvocellulaire ou magnocellulaire dans le vieillissement normal est évaluée.

a) Un déficit parvocellulaire

Les résultats concernant l'évolution de la sensibilité aux fréquences spatiales apportent des arguments vers l'hypothèse d'un déficit parvocellulaire. Zanlonghi, Charlier et Chevalier (1992) ont testé la sensibilité au contraste de participants âgés de 8 à 82 ans. Pour les fréquences spatiales basses, il n'y avait pas de modification pour toutes les tranches d'âge entre 13 et 82 ans. Par contre, la sensibilité au contraste pour les trois fréquences spatiales élevées diminuait dès 31 ans. Ce résultat confirme celui d'Owsley et al. (1983) qui avaient observé une perte de la sensibilité au contraste d'abord pour les fréquences spatiales élevées, avec une méthode similaire (sensibilité au contraste sur des réseaux sinusoïdaux). Même si les auteurs n'interprétaient pas leurs effets dans ce cadre, ces résultats sont compatibles avec l'hypothèse d'un déficit parvocellulaire dans le vieillissement. Le myosis sénile (opalescence cristalline) pourrait être responsable de ce déficit (Zanlonghi et al., 1992) bien que certains auteurs s'opposent à cette interprétation (Owsley et al., 1983). L'opacité entraînait des déficits de la vision spatiale plutôt que des traitements temporels, sous-tendus par les cellules parvocellulaires. Aussi, en condition photopique, l'acuité morphoscopique (reconnaissance des formes globales de lettres, objets,...) chute progressivement avec l'âge (Verriest, 1971).

b) Un déficit magnocellulaire

D'autres études ont mis en évidence des déficits visuels s'accordant avec l'hypothèse d'un déficit magnocellulaire. Dans une étude portant sur 50 participants sains âgés de 20 à 88 ans, les seuils de sensibilité au contraste ont été mesurés pour sept gammes de fréquences spatiales différentes (Schefrin, Tregear, Harvey et Werner, 1999). Le déclin relatif à l'âge de la sensibilité en condition d'éclairement scotopique montrait des pertes significatives pour les fréquences spatiales basses, ce qui va dans le sens d'une altération de la voie magnocellulaire au cours du vieillissement normal. Entre l'âge de 20 ans et celui de 60 ans, 35 à 42 % d'éclairement rétinien est en effet perdu selon les conditions d'éclairement (Verriest, 1971). La stimulation des bâtonnets en périphérie de l'œil diminue donc, ce qui entraîne des difficultés à percevoir les images à faible contraste. Des images d'animaux et d'outils filtrées passe-bas étaient présentées (Viggiano, Righi & Galli, 2006). Progressivement, les fréquences spatiales plus élevées étaient ajoutées à l'image. Les participants devaient identifier les objets pour la version la plus dégradée possible. Le groupe contrôle identifiait l'image pour un filtre préservant davantage les fréquences spatiales basses que les personnes âgées qui avaient besoin de fréquences spatiales plus élevées. Ce résultat est compatible avec un déficit magnocellulaire puisque les personnes âgées ont plus de mal à accéder aux représentations de l'objet avec des informations fréquences spatiales basses. Cependant, cette étude ne renseigne pas spécifiquement sur la voie parvocellulaire.

c) Un déficit général

Un déficit magnocellulaire et parvocellulaire

D'autres études ont observé des déficits à la fois dans le système magnocellulaire et dans le système parvocellulaire (McKendrick, Simpson, Walland & Badock ; 2007). Les effets du glaucome et du vieillissement sur le traitement des fréquences spatiales basses ont été observés à l'aide du paradigme continu et flashé de Pokorny et Smith (1997). Les résultats distincts observés aux paradigmes "continu" et "flashé" confirment l'existence de deux

mécanismes différents chez les jeunes. En outre, l'étude a montré que les performances des personnes âgées étaient détériorées par comparaison aux groupes des jeunes adultes, quelle que soit la condition. Cette atteinte non spécifique des deux paradigmes avec l'avancée en âge démontre que le déficit est à la fois parvocellulaire et magnocellulaire.

Cette atteinte est plutôt corticale selon Spear, Moore, Kim, Wue et Tumosa (1994). Les données de cellules parvocellulaires et magnocellulaires des corps genouillés latéraux ont été enregistrées chez des singes jeunes et âgés et les résultats reproduisaient ceux des études précédentes concernant la préservation des cellules des corps genouillés latéraux avec l'âge (Spear, 1993). Afin de quantifier plus précisement la perte éventuelle des cellules rétiniennes, Kim, Tom et Spear (1996) ont utilisé une méthode stéréologique (méthode d'estimation de nombre et de densité des volumes) sur les rétines aplaties. Ils ont pu estimer précisément le nombre de cellules ganglionnaires chez les singes jeunes (1.529.039 +- 115.260) et chez les singes âgés (1.556.698 +- 165.056). Il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes, même dans le volume des cellules. L'explication des déficits serait donc à chercher dans les circuits de traitement plus tardifs au niveau du cortex.

Un déficit dans la sélection des voies de traitement

Une autre approche suppose qu'il n'y ait ni déficit parvocellulaire, ni déficit magnocellulaire à proprement parler mais que, dans le vieillissement, ces informations soient utilisées de manière inappropriée. 48 adultes âgés ont été testés avec une batterie de sept tests visuospatiaux impliquant plus ou moins spécifiquement la voie ventrale ou la voie dorsale (Chen, Myerson et Hale, 2002). Une analyse en composante principale a ensuite été effectuée. Pour le groupe contrôle, deux facteurs ressortaient de l'analyse. Les tâches « dorsales » étaient corrélées entre elles, tout comme les tâches « ventrales ». Par contre, pour le groupe de personnes âgées, la distinction entre voie dorsale et voie ventrale était moins nette. Les auteurs ont proposé que la suractivation des voies ventrale et/ou dorsale rend compte des

résultats. Ainsi, le système cognitif ne pourrait pas utiliser ces deux voies de la manière la plus pertinente.

Cette hypothèse s'appuie aussi sur des mesures électrophysiologiques (Rousselet & al., 2009). Le traitement des visages chez les personnes âgées a été étudié, en enregistrant des potentiels évoqués lors d'une tâche de discrimination de deux visages. Les performances des groupes de jeunes étaient meilleures que celles du groupe de personnes âgées qui, de plus, avait une réponse N170 (active lors de la présentation d'objets, particulièrement des visages) plus importante en réponse au bruit (stimulus non pertinent à la tâche). Ces résultats confirment l'utilisation inappropriée des voies visuelles. L'activation est plus forte qu'elle ne devrait l'être dans le vieillissement. Un résultat identique a été obtenu en examinant les voies dorsale et ventrale. Les activations cérébrales de singes ont été mesurées lors de la présentation de réseaux sinusoïdaux (Yang & al., 2008). Les potentiels d'action ont montré une activité différente de la voie dorsale et de la voie ventrale entre les singes jeunes et les singes âgés. Les neurones medio-temporaux des singes âgés montraient une plus forte activité spontanée, des réponses visuelles maximum plus élevées et un rapport signal/bruit réduit. Selon les auteurs, un déficit des processus inhibiteurs amènerait les circuits à s'activer même lors de la présentation de stimulations non pertinentes.

Un déficit d'activation

D'autres études ont montré une diminution d'activation des circuits visuels lors du vieillissement, par exemple dans les voies visuelles dorsale et ventrale qui étaient toutes deux moins actives chez les âgés dans deux épreuves: une tâche d'encodage de parcours et une tâche de reconnaissance de parcours (Meulenbroek, Peterson, Voermans, Weber & Fernandez, 2004).

Pas de déficit lié au vieillissement

Certaines études ne mettent pas en évidence de déficits des deux sous-systèmes dans le vieillissement. En analysant les capacités chromatiques dans une tâche de détection de contraste et d'appariement de contraste (Delahunt, Hardy, Okajima & Werner, 2005) de réseaux de fréquence spatiale (de 0.5 cpd à 8 cpd), les auteurs ont montré que les seuils de contraste ne variaient pas selon le groupe de participants, quelle que soit la fréquence spatiale.

Cette revue de la littérature montre donc des résultats discordants. La diversité des méthodes utilisées peut possiblement expliquer ces différences concernant une même capacité. Ces études proposent ainsi différentes interprétations des déficits visuels liés au vieillissement normal, et il est difficile de trancher en faveur d'un type de dysfonctionnement. La mise en place de procédures adaptées et évaluant simultanément les deux systèmes devrait apporter des arguments supplémentaires. Nos procédures permettent aussi d'étudier des pathologies impliquant des déficits visuels.

3. L'étude d'un dysfonctionnement appliquée à la question de la dopamine

La dopamine est un neurotransmetteur important dans la vision mais le lien qu'elle entretient avec le système visuel est assez mal connu. L'étude des dysfonctionnements visuels présents dans les pathologies à déficience dopaminergique semble donc un moyen approprié pour appréhender cette problématique.

a) Les systèmes dopaminergiques

La rétine est l'un des tissus le plus riche en dopamine (Brandies & Yehuda, 2008). Produite par les cellules amacrines rétinienne, elle est impliquée dans l'adaptation de l'œil au

changement de luminosité, les rythmes circadiens et le développement de l'œil. Ses propriétés chimiques et son mode de transmission sont particulièrement bien connus aussi bien au niveau des cellules amacrines, ganglionnaires, que des photorécepteurs (Nguyen-Legros, Versaux-Botteri & Savy, 1997).

Il est important de distinguer le système dopaminergique rétinien et le système dopaminergique central. Le premier, décrit ci-dessus, est impliqué bien sûr seulement dans les processus rétiniens. Le second fait référence, ici, au système nigrostrié (base cellulaire dans la substance noire se projetant dans le striatum) et est impliqué dans le contrôle moteur. Une pathologie classée comme étant à déficience dopaminergique n'implique pas forcément les deux types de systèmes. Dans des pathologies comme la rétinite pigmentaire, par exemple, seul le système dopaminergique rétinien est atteint (Djamgoz, Hankins, Hirano & Archer, 1997).

b) Déficit dopaminergique et système visuel

La dopamine est impliquée dans plusieurs structures cérébrales réparties grossièrement en deux grand sous-systèmes (le système dopaminergique central et rétinien) qui n'ont pas les mêmes fonctions au niveau visuel. Les auteurs ont d'abord tenté de déterminer quelle était la structure responsable de tel ou tel processus visuel. Ils ont cherché les associations entre les déficits comportementaux visuels et les déficits en dopamine dans des substrats neuronaux spécifiques (Masson, Mestre et Blin, 1993; Haug et al., 1995; Amick et al., 2003; Schechter et al., 2003; Keri et al., 2004 ; Smith et al., 2004 ; Tomasi et al., 2009), mais aussi à différencier les traitements rétiniens des traitements corticaux (Djamgoz et al., 1997; Jackson & Owsley, 2003). Les résultats ont globalement montré autant l'implication du système dopaminergique rétinien que l'implication du système dopaminergique central. Toutefois, le système dopaminergique central semble être davantage impliqué dans les tâches visuelles de haut niveau que le système dopaminergique rétinien. Les pathologies n'ayant pour signes que des

troubles rétiniens (par exemple, la rétinite pigmentaire; Djamgoz et al., 1997) montrent des déficits dans les fonctions visuelles basiques, dans l'extraction de primitives visuelles (Alexander et al.,2001 ; Alexander, Barnes, Fishman, Pokorny & Smith ; 2004) alors que le système dopaminergique central semble plutôt contribuer à des tâches de plus haut niveau (Amick & al. 2003, Brandies & Yehuda, 2008). Une connaissance plus approfondie de la localisation du déficit dopaminergique dans certaines pathologies permettrait aussi d'adapter la médication. Certains médicaments agissant sur la dopamine ne cible pas tous les systèmes dopaminergiques et ne sont donc pas en mesure de traiter certains troubles visuels (Mongeon, Planchet & Messiet, 2009).

Les auteurs tentent de lier système visuel et pathologie à déficience dopaminergique mais beaucoup de processus restent encore à explorer (Voir Tableau 2).

Tableau 2. Fonctions visuelles atteintes selon la condition de modification dopaminergique (Extrait de Brandies & Yehuda, 1998). +=effet ; -=pas d'effet

	AV	Adaptation lumière	VEP	FERG	PERG	SC	CFF	Sensibilité spatio-temporelle	Discrimination mouvement	Discrimination couleur	Visuospatial	Vitesse perceptuelle	Champ visuel	Oculo-moteurs
Parkinson	-	+/-	+/-	+/-	+	+/-	+	+	+/-	+/-	+/-	+	-	+
Vieillissement	+	+	+	+	+	+	+	+/-	+	+	+	+	+	
Alzheimer	+/-		+	-	+	+/-			+/-	+/-	+/-	+/-		+
Rétinite pigmentaire		+								+			+	
Amblyopie	+		+										+	
phenylketonurie														
Déficience en acide gras	+	+		+										
Sclérose en plaque	-		+			+			+				+/-	+
Dénérvation dopaminergique	+	+	+/-	+/-	+/-					+				
Elevation dopaminergique		+	+/-	+	+/-	+/-			+					
Déficit transporteurs glutamates										+/-			+	+
Schizophrenie traitée			+			+			+	+		+/-	+	+
Schizophrenie non traitée			-			+/-		+	+	+/-		+/-		+

c) Dopamine et Système magnocellulaire/Parvocellulaire

La relation entre système dopaminergique et système magnocellulaire ou parvocellulaire est peu investiguée. Néanmoins, le type de déficit visuel émergeant dans les maladies à dénervation dopaminergique laisse plutôt supposer un déficit magnocellulaire. En effet, les déficits (dans la détection et la perception du mouvement, le traitement de la forme globale, la sensibilité aux contrastes faibles, et dans les tâches visuospatiales) observés dans la maladie de Parkinson (Lee, Harris & Calvert, 1998; Lee et Harris, 1999; Rampello et al., 2004 ; De Lau et Breteler, 2006 ; Mowry et al., 2007 ; Amstrong, 2008), dans la maladie d'Alzheimer (Hunt et al., 1995) ou dans la sclérose en plaques (Mowry et al., 2007) pourraient être le signe d'un dysfonctionnement de la voie magnocellulaire. L'observation d'un déficit de discrimination des couleurs (traitement parvocellulaire) dans la maladie de Parkinson (Haug, Kolle, Trenkwalder, Oertel & Paulus, 1995; Djamgoz et al., 1997; Amstrong, 2008) et dans le syndrome Gilles de la Tourette (Melun, Morin, Muise & DesRosiers., 2001) laisse au contraire penser à une atteinte parvocellulaire. Un déficit de la voie ventrale a aussi été observé chez les patients atteints de la démence à corps de Lewy (Yamamoto et al. 2006). Cependant, rien n'indique que ces déficits soient liés à un déficit dopaminergique.

Certains auteurs ont étudié spécifiquement les deux systèmes dans ces pathologies présentant par ailleurs une dénervation dopaminergique en utilisant des procédures dissociant parvocellulaire et magnocellulaire. Ils mettent en évidence un déficit magnocellulaire. En 2004, Keri et al. ont montré que les patients schizophrènes avaient de moins bonnes performances au seuil de Vernier dans les conditions « achromatique » et « faible contraste ». Certains auteurs ont confirmé ces résultats en utilisant des masquages rétroactifs (Schechter, Butler, Silipo, Zemon & Javitt, 2003). Un déficit magnocellulaire a également été trouvé dans la maladie de Parkinson (Silva et al., 2005) et dans la maladie d'Alzheimer (Jacob, Hache & Pasquier, 2002 ; Nguyen, Chubb & Huff, 2003). Ces études sont peu nombreuses, plus particulièrement celles sur les processus de haut niveau. Le lien entre l'appauvrissement de la

dopamine et un déficit magnocellulaire éventuel sera l'un des objectifs de cette thèse. L'investigation des pathologies à syndromes extrapyramidaux (déficit dopaminergique central) en même temps que la mesure objective de leur déficit par imagerie devrait permettre de comprendre de manière plus approfondie l'implication du système dopaminergique central dans les tâches de haut niveau, telles que la reconnaissance d'objets.

Un syndrome extrapyramidal désigne une affection du système extrapyramidal (Tenback, Van Harten, Sloof & Van Os, 2006). L'étendue des symptômes réunis sous ce terme est large (dyskinésie : incoordination, spasmes; bradykinésie : rigidité musculaire empêchant les mouvements fins (écriture, dessin, ...); mouvements involontaires; dystonie; trouble du tonus musculaire). Les causes entraînant un syndrome extrapyramidal sont variées. Celui-ci peut apparaître après un traumatisme crânien, se développer dans une pathologie (Parkinson, Huntington, Wilson, Démence à corps de Lewy, ...) ou être un effet secondaire des traitements psychotiques car ces traitements sont souvent des antagonistes de la dopamine; ils inhibent donc le fonctionnement normal du système extrapyramidal (Sachdev, 2004). Les troubles visuel inhérents à ces pathologies ont souvent été étudiés (Lee, Harris & Calvert, 1998 ; Lee et Harris, 1999 ; Ballard, Walker, O'brien, Rowan, & Mckeith, 2001, Del Rosario, 2002; Mosimann et al., 2004 ; Rampello et al., 2004 ; De Lau et Breteler, 2006 ; Mowry et al., 2007; Amstrong, 2008) même si ces études ne font pas le lien entre ces déficits et la dissociation des systèmes magnocellulaire et parvocellulaire.

La dopamine est principalement impliquée dans les syndromes extrapyramidaux. Le lien entre syndrome extrapyramidal et un déficit visuel spécifique n'a pas été clairement établi. L'hypothèse avancée, ici, serait que le déficit dopaminergique observé pourrait être, en partie, à l'origine de la symptomatologie visuelle des pathologies à syndrome extrapyramidal. L'identification des déficits présents dans ces pathologies devrait permettre de comprendre l'implication du système dopaminergique central dans le système visuel.

IV. Objectifs

L'examen de la littérature a mis en évidence la pertinence de la dissociation parvocellulaire/magnocellulaire. Bien que la réalité soit plus complexe que cette simple dissociation, celle-ci propose un cadre d'interprétation cohérent des processus visuels et de certaines pathologies visuelles. L'un des objectifs de la partie expérimentale est la mise en place d'outils appropriés à l'étude des systèmes magnocellulaire et parvocellulaire, fondées sur les caractéristiques distinctes des deux systèmes (traitement des fréquences spatiales, du contraste, du mouvement, en excentricité). La dissociation sera analysée à plusieurs niveaux de traitement. Pour les traitements de bas niveau, la littérature a fait émerger le paradigme psychophysique de Pokorny et Smith (1997). Sa capacité à isoler les deux systèmes a été reconnue dans plusieurs études. Ce paradigme nous a semblé le plus approprié à l'étude de cette dissociation. Une modification sera néanmoins apportée afin de l'adapter à l'étude du vieillissement normal et pathologique.

La partie sur les traitements de haut niveau constituera la majeure partie de cette thèse. Il n'existe pas de procédure aussi utilisée que celle de Pokorny et Smith (1997). L'utilisation de la fréquence spatiale nous a semblé la plus pertinente. C'est celle qui est privilégiée par le plus grand nombre d'études et un modèle complet de son influence à haut niveau a été proposé (Bar, 2003). Elle a donc été le facteur le plus important manipulé dans cette partie. Ainsi, des filtres passe-bas et passe-bande ont été utilisés afin de sélectionner les gammes de fréquences spatiale des stimuli pour biaiser les traitements vers le système parvocellulaire ou magnocellulaire. Comme on l'a présenté dans la partie théorique, la plupart des expériences sur les traitements de haut niveau concernant l'excentricité et le mouvement n'ont pas permis de les lier directement aux systèmes parvocellulaire et magnocellulaire. Notre but a été de présenter en mouvement ou en excentricité des stimuli biaisant les traitements parvocellulaires et magnocellulaires pour étudier leur interaction. La tâche a aussi été manipulée afin de comprendre l'implication des deux systèmes et des fréquences spatiales

dans différentes tâches comme la catégorisation, la localisation, la discrimination et la comparaison d'orientation. La prédominance des traitements parvocellulaires attendue dans une tâche de catégorisation devrait diminuer pour les tâches plus dorsales.

Pour finir la première partie, l'implication des informations magnocellulaires dans la facilitation du traitement de l'objet par la scène a été investiguée. Les expériences avaient pour objet de déterminer à quel niveau se situait l'effet facilitateur de la composante fréquence spatiale basse de la scène sur le traitement de l'objet. En comparant les effets obtenus avec les objets naturels et des stimuli silhouette, l'effet facilitateur de la scène à un niveau sémantique et au niveau de la ségrégation figure/fond sera étudié.

Le second objectif de cette thèse était d'étudier l'intégrité ou le déficit éventuel des systèmes magnocellulaire et parvocellulaire dans le vieillissement normal et pathologique. Dans ce but, les expériences présentées précédemment ont été mises en place en tenant compte des particularités de ces groupes. Des procédures comme celle de Pokorny et Smith (1997) qui nécessitait plusieurs heures de passation ont été réduites. Concernant les tâches de haut niveau, les procédures et consignes utilisées sont simples, permettant ainsi aux patients d'exécuter la tâche. La revue de la littérature a fait ressortir plusieurs interprétations des déficits liés au vieillissement. L'ensemble des expériences de cette thèse devrait permettre de trancher entre plusieurs pistes.

D'autre part, l'étude des dysfonctionnements du système visuel dans les syndromes extrapyramidaux permettra de répondre aux problématiques concernant le rôle de la dopamine. En mettant à l'épreuve l'intégrité des processus visuels de patients atteints d’une pathologie à syndromes extrapyramidaux, l'implication du système dopaminergique central dans les systèmes visuels a été analysée. Une procédure permettant de quantifier la dénervation dopaminergique a été utilisée et permettra d'établir ou non une corrélation entre les différents déficits visuels et un déficit dopaminergique.

2° Partie : Partie expérimentale

I. Mise en place et adaptation des outils

Les expériences seront présentées en fonction de la complexité des processus cognitifs qu'elles impliquent, c'est à dire de la profondeur du traitement du signal qu'elles requièrent, allant du plus bas niveau au traitement d'objet dans un contexte.

1. Les traitements de bas niveau: expérience psychophysique

Le paradigme de Pokorny et Smith (1997) a été utilisé pour dissocier les traitements magnocellulaires et parvocellulaires à un niveau précoce. Cette procédure a déjà été utilisée dans de nombreuses études (Leonova, Pokorny et Smith, 2003 ; Mackendrick, Badcock et Morgane, 2004; Silva et al., 2005; ; Delord et al., 2006; MacAnany et Alexander, 2006; MacAnany et Alexander, 2008; Eliott & Werner, 2010). Dans le paradigme original, il y avait trois conditions expérimentales, seulement deux ont été utilisées ici (Voir Figure 7). Quatre carrés sont présentés dont l'un est plus clair que les autres. La tâche est de localiser le carré de luminance différente. On mesure le seuil de contraste du carré cible : c'est la luminance la plus faible qui permette juste de le discriminer des carrés distracteurs. Dans la condition de présentation continu, un stimulus est présenté très brièvement et précédé puis suivi par un piédestal (une disposition de quatre carrés de luminance uniforme). Dans la condition de présentation flashé, il n'y a pas de piédestaux avant et après le stimulus, qui est flashé brièvement. Le contraste du piédestal est également manipulé.

Dans la condition continu, le jugement du carré cible se base principalement sur le contraste entre les carrés formant le piédestal et le carré cible. Ce contraste étant faible, les auteurs ont démontré que cette condition met en jeu surtout le système magnocellulaire, qui a une sensibilité plus grande que le système parvocellulaire pour les niveaux de contraste faible. Dans la condition flashé, le seuil du carré cible est plus directement dépendant de la

différence de luminance entre le carré cible et le fond d'écran, puisque l'influence des piédestaux est beaucoup plus réduite. Le contraste est donc plus important et cette condition met en jeu principalement le système parvocellulaire. Ainsi, ce paradigme se fonde sur les caractéristiques spatiotemporelles des cellules magnocellulaires et parvocellulaires. La condition flashé montre la signature temporelle et la réactivité psychophysique des cellules chromatiques (augmentation des seuils quand le stimulus s'éloigne de la luminance moyenne), c'est-à-dire du système parvocellulaire.

Ce paradigme semblait donc tout à fait pertinent pour dissocier finement les deux systèmes. Cependant, l'expérimentation psychophysique est longue, ce qui peut être difficile pour étudier le vieillissement, notamment pathologique. En effet, le calcul des seuils nécessite plus d'une centaine d'essais dans quatorze conditions différentes. Les patients, plus particulièrement ceux atteints de démence, présentent une fatigabilité importante et ne peuvent donc pas être confrontés à une expérimentation aussi longue. De plus, les fluctuations attentionnelles imprévisibles observées dans plusieurs de ces pathologies pourraient augmenter la variabilité intra-individuelle de façon trop importante et une expérimentation longue augmente les chances d'influence de cette variable parasite. Le paradigme de Pokorny et Smith a donc été adapté pour tenter de réduire le temps de passation.

Le premier point d'adaptation a concerné le nombre de blocs expérimentaux. Le paradigme original de Pokorny et Smith (1997) comprend sept blocs expérimentaux (3 blocs avec piédestaux plus clairs que le fond, 3 blocs avec piédestaux plus sombres que le fond et un dernier bloc avec piédestaux d'intensité lumineuse égale au fond, c'est-à-dire pas de piédestal). Une restriction de la procédure aux blocs expérimentaux les plus critiques pour observer l'interaction entre le contraste des piédestaux et la condition a été proposée. Le deuxième point d'adaptation concerne le nombre d'essais nécessaires à l'établissement d'un seuil. Afin de réduire ce nombre, une méthode adaptative a été utilisée pour la détermination des seuils. Un escalier psychophysique pour lequel le maximum d'essais concerne la zone

seuil, et qui converge automatiquement vers le seuil du participant, qui s' « adapte » au participant a été programmé. Le carré cible était présenté à une luminance élevée 15% au dessus du carré distracteur. Puis, tant que le participant répondait correctement, la luminance de l'essai suivant diminuait de 0,4%. Dès qu'une erreur était commise, la luminance ré-augmentait et il fallait alors deux réponses correctes pour diminuer à nouveau le contraste à l'essai précédent. Cette méthode permet de stabiliser les réponses vers la luminance seuil, celle qui correspond à 71% de réponses correctes.

Méthode

Participants

Les participants étaient 12 jeunes âgés de 18 à 29 ans (m= 19,9 et σ=3,2) avec une vue normale ou corrigée à la normale. Il s'agissait d'étudiants en psychologie de la première année de licence jusqu'au doctorat.

Matériel

L'expérience a été programmée sur Matlab v.7.2 (The Mathworks) avec les boîtes à outils traitement du signal, traitement de l'image, et Psychtoolbox v.3 (Brainard, 1997; Pelli, 1997). Un ordinateur Acer, modèle Aspire 1694WLMi (2.0 Ghz, 1GB de Ram, Ati Radeon X700) avec un écran de 15 pouces et de résolution de 1024x1080 a été utilisé.

Stimuli

Le stimulus était constitué de 4 carrés de 30 pixels de côté, soit 1.21° d'angle visuel à 50 cm de distance, séparés par un intervalle de 7 pixels, soit 0.28°. Une croix de fixation noire était affichée au centre de l'écran. La luminance du fond était de la luminance moyenne (50%) pour la LUT (Annexe 1). Trois niveaux de contraste de piédestaux ont été déterminés au début de l'expérience, répartis sur une échelle logarithmique (63%, 70% et 75%), sur la base d'essais pilotes. La cible était présentée au premier essai avec un contraste 15% au-dessus du contraste des piédestaux.

Procédure

La séquence des événements est présentée en Figure 19. Les participants devaient localiser le carré à la luminance la plus élevée; la cible étant toujours plus claire que les distracteurs. La réponse était donnée soit verbalement, soit par pointage. L'expérimentateur entrait alors la réponse sur le clavier numérique de l'ordinateur, sur un des quatre boutons correspondants.

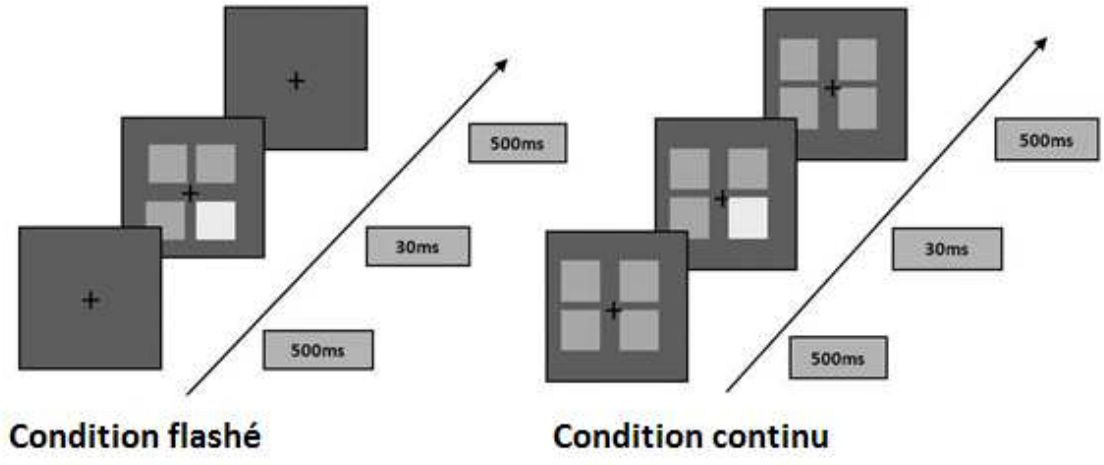


Figure 19. Séquence des événements de l'expérience pour les conditions "flashé" et "continu"

L'expérience était composée de 6 blocs expérimentaux résultant du croisement des facteurs condition (continu ou flashé) et contraste du piédestal (63%, 70%, 75%). La moitié des participants commençait l'expérience par les trois blocs de luminance en continu, et l'autre moitié commençait par la condition flashé. L'ordre de passation des trois blocs correspondant aux trois niveaux de luminance était tiré au hasard pour chaque sujet. A l'intérieur de chaque bloc, une procédure adaptative de présentation des niveaux de contraste du carré-cible était utilisée : au premier essai, le carré-cible était présenté à la luminance maximale (78% pour la condition de contraste des piédestaux de 63%, 85% pour 70% et 89% pour 75%), puis la luminance du carré-cible diminuait de 0.4% à chaque réponse correcte. Dès qu'une erreur était commise, la luminance augmentait de 0,4%. Après une augmentation de la luminance, deux réponses correctes consécutives étaient nécessaires pour faire diminuer à nouveau la luminance du carré-cible. La règle d'arrêt était calculée sur la base de la pente de

la fonction reliant la luminance aux dix derniers essais ; cette pente devait être nulle (+/- 0.1%) pour que l'escalier psychophysique s'arrête. Le seuil, qui est l'ordonnée à l'origine de cette fonction, était calculé.

Résultats

Une A.N.O.V.A. prenant en compte les facteurs intra-sujet condition et contraste des piédestaux a été effectuée sur la variable dépendante seuil de contraste du carré cible.

Les résultats ont montré un effet significatif de la tâche, $F(1,11)=28,4$; $p<.001$. Les participants avaient en moyenne des seuils plus bas pour la condition continu (1%) que pour la condition flashé (1,9%). Le contraste avait aussi un effet significatif, $F(2,22)=24,9$; $p<.001$. Le seuil moyen observé pour le contraste le plus faible des piédestaux était significativement plus bas (1,1%) que le seuil pour le contraste intermédiaire (1,5%), qui tendait lui-même à être plus bas pour le contraste des piédestaux les plus élevés (1,7%).

L'interaction entre la condition et le contraste des piédestaux était significative, $F(2,22)=9,8$; $p<.001$. Dans la condition continu, le test de Bonferonni montrait que les seuils ne variaient pas significativement en fonction du contraste des piédestaux (63% : 0,8% ; 70% : 1% ; 75% :1,1%). Dans la condition flashé, le seuil pour le contraste des distracteurs de 63% (1,4%) était significativement plus bas que celui pour le contraste de 70% (1,9%) lui-même plus bas pour un contraste de 75% (2,3%. Voir Figure 20).

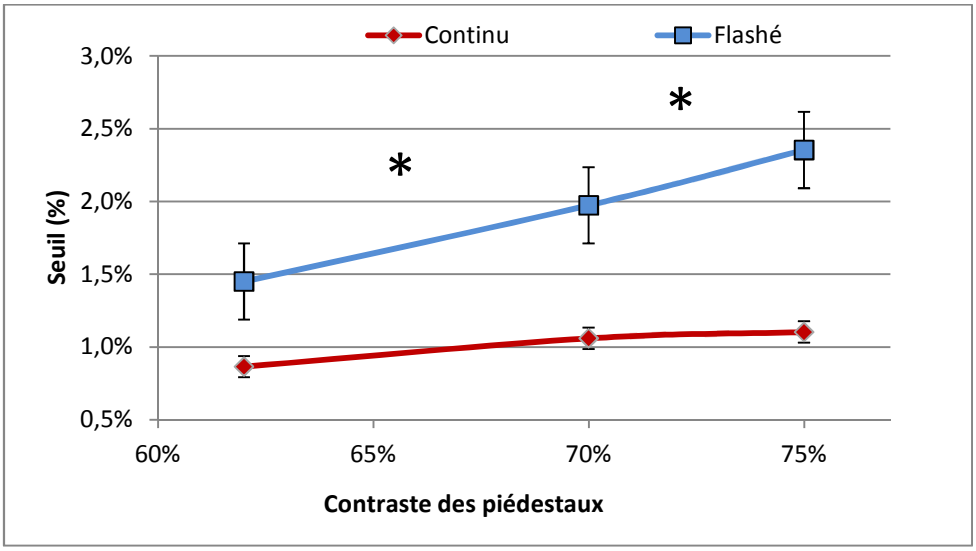


Figure 20. Seuils de contraste du carré cible (%) selon de la condition (continu ou flashé) et du contraste des distracteurs[4]

Discussion

L'objectif de cette expérience était d'adapter la procédure de Pokorny et Smith (1997) à l'étude du vieillissement normal et pathologique en diminuant le nombre de conditions et en utilisant une procédure adaptative. Les résultats de cette expérience reproduisent l'interaction observée par Pokorny et Smith (1997). En condition continu, le contraste des carrés distracteurs n'a pas d'effet significatif sur les seuils alors qu'en condition flashé, une augmentation des seuils est observée proportionnellement à l'augmentation du contraste des carrés distracteurs. Ces résultats rendent compte des différentes propriétés des processus parvocellulaires et magnocellulaires.

De plus la variabilité interindividuelle des participants est très faible: les effets ont été observés sur 10 des 12 participants. Grâce aux adaptations mises en place, la durée de l'expérience a été réduite à une heure en moyenne pour évaluer la dissociation des processus magnocellulaires et parvocellulaires à un niveau précoce de traitement. Cette procédure s'avère donc être utilisable dans l'étude du vieillissement normal et pathologique des systèmes visuels.

[4] Dans tous les graphiques, les étoiles marquent une comparaison de moyennes significative.

2. Les traitements de stimuli complexes

A. La différenciation par la fréquence spatiale

Pour les processus de haut niveau, la manipulation du contraste des stimuli perd progressivement son importance (Avidan et al., 2002). Par contre, les fréquences spatiales semblent bénéficier d'un traitement spécifique (Bar, 2003; Martinez et al., 2008) quel que soit le niveau de traitement. Pour comprendre le traitement des informations magnocellulaires et parvocellulaires, de haut niveau réalisée par la voie ventrale/dorsale, la manipulation des fréquences spatiales a souvent été utilisée (Parker, Lishman & Hughes, 1996; Loftus & Harley, 1994; Schyns et Oliva, 1994; Plainis & Murray, 2000; Mitov & Totev, 2004). Ce facteur a donc été choisi pour la première expérience visant à dissocier parvocellulaire et magnocellulaire dans une tâche de catégorisation de photographies d'objets naturels (animaux/outils).

a) Présentation brève d'un objet naturel

Cette première expérience va servir de point de départ aux expériences manipulant la fréquence spatiale. Elle a consisté à présenter tout simplement un objet soit normal, soit filtré. Les performances de discriminabilité permettront d'avoir un niveau de base du matériel. Dans la reconnaissance de visage, les études ont montré le rôle prédominant des informations de fréquences spatiales moyennes (Tieger et Ganz, 1979 ; Parker et Costen, 2003). Les résultats concernant la reconnaissance d'objet sont plus disparates, mettant en évidence selon l'étude l'influence des fréquences spatiales basses (Legge, Pelli, Rubin & Schenkle, 1985, in Braje, Tjan & Legge, 1995) ou des fréquences spatiales élevées (Parker, Lishman & Hughes, 1996). Cependant, l'avantage des fréquences spatiales basses n'en était pas vraiment un car aucun avantage n'a été observé par rapport aux fréquences spatiales plus élevées (Braje, Tjan & Legge, 1995) mais toujours par rapport à une condition contrôle. La tâche de catégorisation

implique la reconnaissance de la catégorie sémantique de l'objet, et donc un traitement ventral. On devrait donc observer un privilège des fréquences spatiales moyennes sur les fréquences spatiales basses. La version complète devrait, quant à elle, engendrer les mêmes performances que la version passe-bande, voire de meilleures performances.

Méthode

Participants

Les participants étaient 30 jeunes adultes âgés de 17 à 25 ans (m= 22,6 et σ=1,2) avec une vue normale ou corrigée à la normale. Il s'agissait d'étudiants en psychologie de la première année de licence au doctorat.

Matériel

L'expérience a été réalisée sur un Dell Precision M6400 17 "" (Core 2 Duo P8400@2.26 GHz sous le contrôle de la carte graphique Quadro FX2700M). Les participants ont été placés à 45 cm de l'écran dans une pièce sombre. La génération et la présentation des stimuli ont été réalisées avec Matlab 7.2 (The Mathworks) et la Psychtoolbox 3,0 (Brainard, 1997; Pelli, 1997).

Stimuli

Cent vingt photographies (Voir annexe 3.1) en noir et blanc ont été utilisées pour l'expérience (60 animaux / 60 outils. Voir annexe 2). Leur taille était de 4,1 cm (5,3 degrés d'angle visuel). Trois versions des images ont été présentées : non filtrée, passe-bande et passe-bas. Les images passe-bas étaient formées seulement des composantes de fréquences spatiales basses de l'image originale et les images passe-bande seulement des fréquences spatiales moyennes. Afin d'obtenir ces images, un filtre a été appliqué à l'image originale (voir les détails dans la figure 21). Pour cela, une transformée de Fourrier a été réalisée sur l'image originale pour transformer les informations du domaine euclidien au domaine

spectral, ce qui permettait d'obtenir le spectre d'amplitude et le spectre de phase correspondant à l'image. Les spectres représentent des fréquences spatiales dans toutes leurs orientations, l'amplitude ou la phase. Un filtre gaussien est ensuite appliqué sur le spectre d'amplitude afin de ne préserver dans l'image que les fréquences spatiales basses ou moyennes, quelle que soit son orientation. Une transformée de Fourrier inverse permet ensuite de resynthétiser l'image dans le domaine euclidien à partir du spectre modifié. Le filtre passe-bas ne laisse ainsi passer que les fréquences spatiales basses et le filtre passe-bande ne laisse passer qu'une gamme de fréquences spatiales moyennes.

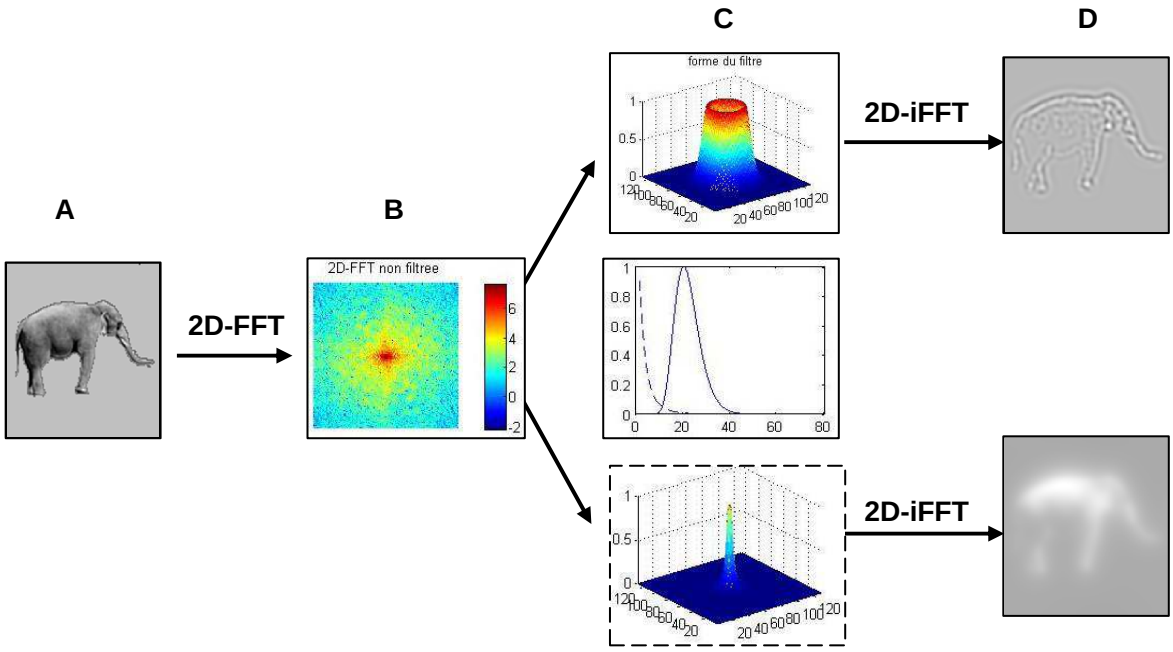


Figure 21. Procédure de filtrage. Une 2D-FFT (Fast Fourier Transform) bidimensionnelle est effectuée sur l'image originale (A) afin d'obtenir le spectre d'amplitude (B). Les fréquences spatiales basses se retrouvent au centre du spectre, les fréquences spatiales les plus élevées sont les plus excentrées sur le spectre. Le nombre de fréquences spatiales représentées dans le spectre dépend de la taille de l'image en degré d'angle visuel. Ici, la fréquence spatiale la plus basse est de 0,19 cpd (Cycles Par Degré). Elle se calcule en divisant le nombre minimum de cycles par image (1) par la taille maximale de l'image en degré d'angle visuel (5.23). La fréquence spatiale la plus élevée est de 12,3 cpd, ce qui correspond à un cycle sur deux pixels de l'image. Le gradient à droite du spectre d'amplitude représente l'étendue des amplitudes des différentes fréquences spatiales. Des filtres gaussiens (C) sont ensuite appliqués sur le spectre d'amplitude. En pointillé, le filtre passe-bas choisi ici préserve les fréquences spatiales de 0 cpd à 3,83 cpd (jusqu' à environ 20 x le pas de fréquence). En trait plein, le filtre passe-bande préserve les fréquences spatiales de 1,9 cpd (10 x le pas de fréquence) à 7,7 cpd (40 x le pas de fréquence). L'image est ensuite resynthétisée dans le domaine euclidien à partir du nouveau spectre (D).

Les images ont été appariées en terme de luminance moyenne (moyenne = 121; SD = 7), contraste moyen (moyenne = 62%; écart type = 5%), complexité visuelle (évaluée par 10

participants avec une échelle de Likert à 5 points dans un pré-test) et fréquence lexicale orale et écrite (évaluée par la base de données française LEXIQUE; New, Pallier, Ferrand & Matos, 2001). Chaque catégorie sémantique avait le même nombre de stimuli horizontaux et verticaux.

Procédure

L'expérience se composait de 120 essais : pour chacun, un point de fixation était présenté pendant 500 ms dans le centre de l'écran et l'une des trois versions de la cible était affichée pendant 200 ms juste au-dessus ou au dessous du point de fixation[5]. Le participant devait effectuer le plus précisément et aussi rapidement que possible une catégorisation sémantique (animaux/outils). Chaque image a été vue dans ses trois versions à travers les participants.

Résultats

Analyse de la précision

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur le taux de réponses correctes en prenant le facteur type de filtrage en variable intra-sujet. Le type de filtrage avait un effet significatif sur le taux de réponses correctes , $F(2,58)=129,55$; $p<.001$. Le test de Bonferroni a montré que les images non filtrées (95%) étaient catégorisées plus facilement que les images passe-bande (89%), elles-mêmes catégorisées

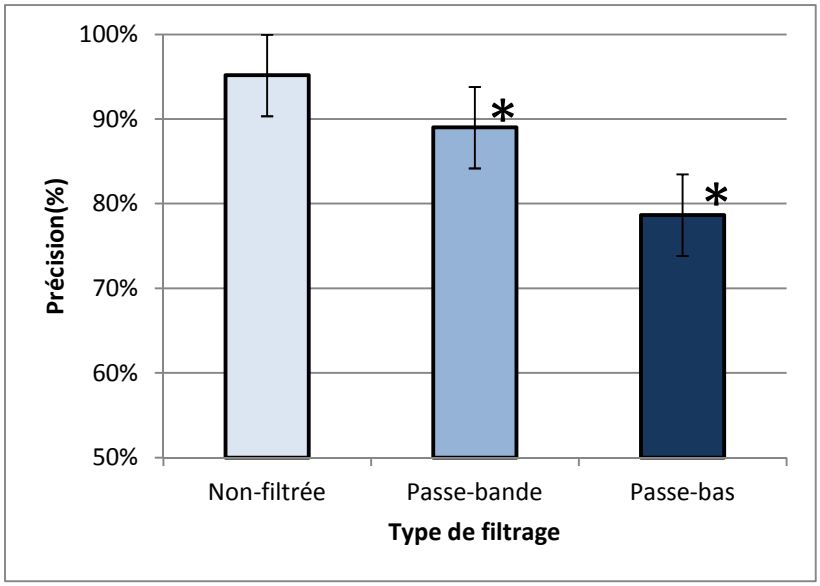


Figure 22. Précision (%) en fonction du type de filtrage

[5] Ce type de présentation a été utilisé en prévision d'une expérience de localisation exposée plus loin.

plus facilement que les images passe-bas (75%. Voir Figure 22).

Analyse des temps de réponse

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur les temps de réponse filtrés (+/- deux écart-type de la moyenne) en prenant le facteur type de filtrage comme variable intra-sujet. Ce facteur avait aussi un effet significatif sur les temps de réponse, $F(2,58)=77,91$; $p<.001$. Les participants étaient plus longs à catégoriser les images passe-bas (697 ms) que les images passe-bande (655 ms). Les images non filtrées (605 ms) étaient catégorisées plus rapidement que les images filtrées (Voir Figure 23).

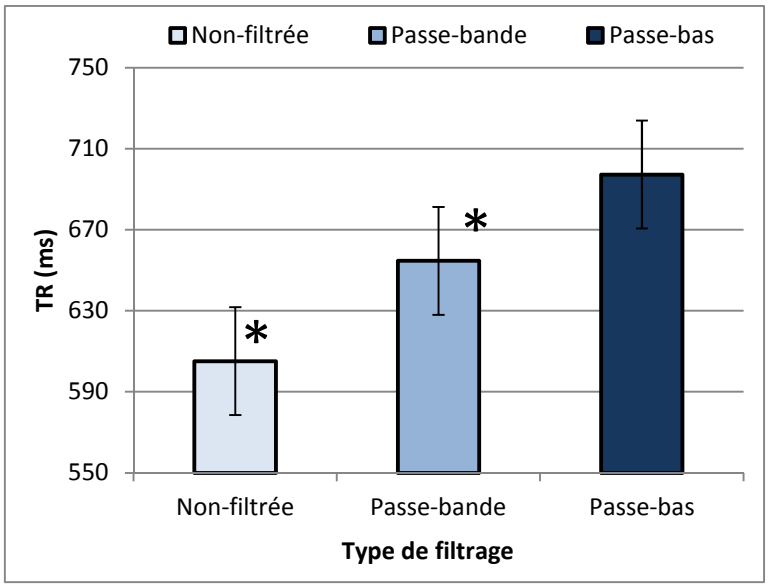


Figure 23. Temps de réponse (ms) en fonction du type de filtrage.

Discussion

L'objectif de cette expérience était de déterminer quelle gamme de fréquence spatiale avait un rôle prédominant. L'hypothèse principale était que les fréquences spatiales moyennes sous-tendaient la catégorisation d'un stimulus. La catégorisation n'implique pas forcément un traitement sémantique très profond de l'objet. Elle peut aussi se fonder sur l'extraction des caractéristiques de forme (i.e. des courbes pour les objets naturels/ angles et bord droits pour les objets artificiels). Les fréquences spatiales basses, pour lesquelles les informations de forme fine sont perdues, peuvent être utiles pour la catégorisation sans qu'elles ne soient les

informations les plus pertinentes. De meilleures performances étaient donc attendues pour les images passe-bande que pour les images passe-bas.

Les résultats confirment cette hypothèse. Les participants ont été moins précis et moins rapides à catégoriser les images passe-bas que les images passe-bande. Ce résultat peut être expliqué, comme indiqué précédemment, par la moindre pertinence des informations de fréquence spatiale basse pour la catégorisation. Les fréquences spatiales moyennes et élevées sont acheminées le long de la voie ventrale jusque dans le cortex inféro-temporal où est activée la représentation de l'objet alors que les fréquences spatiales basses, bien que relayées plus rapidement par les cellules magnocellulaires dans les étapes précoces, n'ont qu'un accès détourné au cortex inféro-temporal par la voie dorsale. Ce résultat comportemental concorde donc avec les données concernant les caractéristiques des systèmes magnocellulaire/parvocellulaire et des voies dorsale/ventrale. De plus, l'analyse individuelle montre que 19 des 30 participants présentent descriptivement cet effet. Cette procédure pourrait donc être un marqueur efficace des systèmes parvocellulaire et magnocellulaire pour l'étude du vieillissement normal et pathologique.

b) Amorçage

Afin d'approfondir la connaissance du rôle des informations fréquences spatiales basses et élevées dans la catégorisation, une procédure d'amorçage a été mise en place. L'objectif de cette expérience était d'analyser le décours temporel des informations des fréquences spatiales basses et élevées.

En se basant sur les propriétés des cellules magnocellulaires et parvocellulaires démontrées par les études neurophysiologiques, les gammes de fréquence spatiale basse de l'image devraient être traitées plus rapidement que les gammes de fréquence spatiale élevée, les cellules magnocellulaires relayant plus rapidement l'information que les cellules parvocellulaires même si l'information la plus pertinente est formée par les fréquences

spatiales moyenne et élevées. Les deux informations peuvent permettre d'activer la catégorie de l'objet. Un paradigme d'amorçage a été utilisé: un effet facilitateur devrait être observé pour les deux types d'amorce mais il devrait être plus important pour la gamme de fréquences spatiales moyennes et élevées. Pour étudier le décours temporel des deux gammes de fréquence spatiale, la durée de l'amorce variait: 30 ms ou 70 ms. Une interaction de ce facteur avec les autres étaient attendue. Seules les images fréquences spatiales basses devraient amorcer l'objet pour la durée de présentation la plus courte, 30 ms, puisque cette durée est inférieure à la durée nécessaire pour que les informations de fréquence spatiale élevée ne soient extraites[6]. Il est attendu que la façon dont les informations sont traitées précocement détermine les processus de plus haut niveau impliqués dans la reconnaissance. La prise en compte du décours temporel permettra, de plus, de répondre à la question Coarse to Fine/Fine to Coarse. La divergence dans les résultats des expériences précédentes pourrait être expliquée par le fait de ne pas avoir pris la durée en compte (Parker, Lishman & Hughes; 1996; Loftus & Harley, 1994; Oliva & Schyns, 1997).

En résumé, l'hypothèse principale est que les fréquences spatiales élevées devraient amorcer plus fortement le traitement de la cible que les fréquences spatiales basses. Cette différence devrait être plus faible pour la durée courte de présentation de l'amorce, la voie magnocellulaire traitant l'information plus rapidement que la voie parvocellulaire. Lors de la durée de présentation d'amorce la plus longue, cette différence devrait s'accentuer, les cellules parvocellulaires ayant eu le temps de traiter correctement l'information.

Méthode

Participants

Les participants étaient 40 jeunes âgés de 18 à 29 ans (m= 20,7 et σ=2,79) avec une vue normale ou corrigée à la normale. Il s'agissait d'étudiants en psychologie de première année de licence au doctorat.

[6] Selon Bullier (1998), les fréquences spatiales élevées d'un stimulus sont extraites en 50 ms.

Matériel

L’expérience a été programmée sur le même ordinateur que l'expérience précédente à l'aide du logiciel Matlab v.7.2.0.232 et de la boîte à outils traitement du signal et traitement d’images, ainsi que la boîte à outils Psychtoolbox v.3 (Brainard, 1997 ; Pelli, 1997).

Stimuli

Les cibles étaient 128 (Voir annexe 3.2) images en noir et blanc de 128x128 pixels (soit 4,1cm ou 5,23° d’angle visuel). Les images appartenaient à quatre catégories sémantiques, il s’agissait soit d’objets artificiels (32 meubles et 32 outils), soit d’objets naturels (32 végétaux et 32 animaux). La moitié d’entre eux avait une orientation verticale et l’autre une orientation horizontale.

Quatre types d’amorce ont été utilisés. Il y avait les amorces « complètes », c'est-à-dire les images cibles non filtrées (Voir Figure 24), passe-bande, passe-bas et contrôles. Les amorces contrôles sont des images dont le spectre de phase a été rendu aléatoire. Ainsi, le spectre d'amplitude est préservé, la structure de l’image est perdue mais l’énergie et la répartition sur le spectre d’amplitude sont conservées.

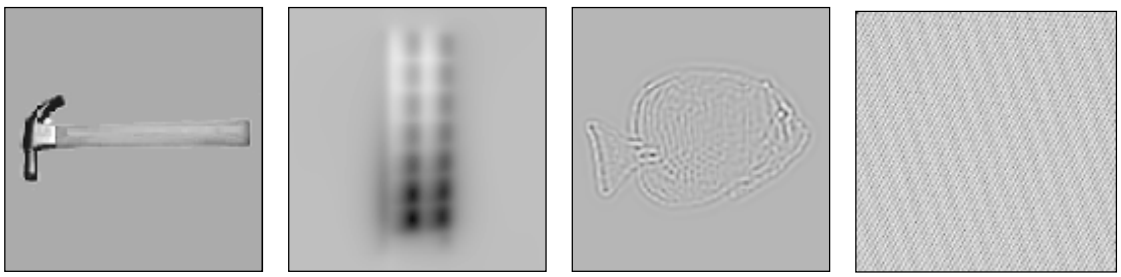


Figure 24 . Quatre types d’amorce. De gauche à droite : Une amorce « complète », une amorce passe-bas, une amorce passe-bande et une amorce contrôle (chaise)

Procédure

L'expérience était composée de 128 essais. L'écran du fond était gris, de luminance moyenne (167 de R.G.B.). La séquence des évènements au cours d'un essai était la suivante : un point de fixation de 500 ms, la présentation de l'amorce à durée variable (30 ms ou 70 ms), puis la présentation de la cible qui restait à l'écran jusqu'à ce que le participant réponde à une tâche de catégorisation sémantique (naturel/artificiel. Voir Figure 25).

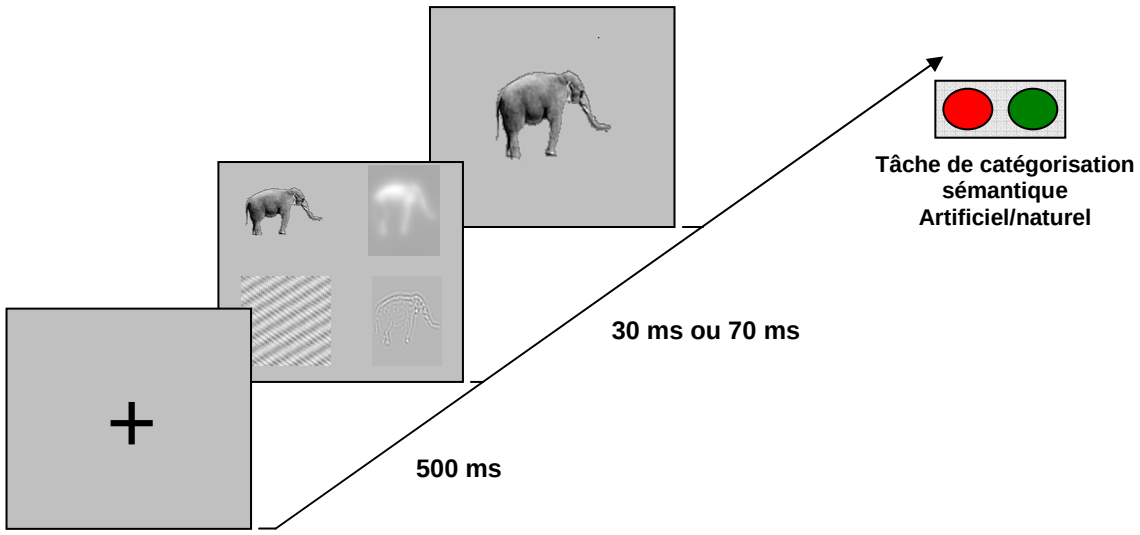


Figure 25*:* Séquence des événements d'un essai constitué d'un point de fixation de 500 ms, de la présentation d'un des quatre types d'amorce (30 ou 70 ms) puis de la présentation de la cible.

Des contrebalancements ont été effectués. Chaque image n'est vue qu'une seule fois par chaque participant. Cependant, chaque image aura été présentée dans chacune des huit conditions différentes sur l'ensemble des participants afin d'éviter des effets d'ordre qui peuvent se produire quand les objets sont répétés. Ainsi, tous les huit participants, chaque image aura été présentée dans toutes les conditions bien que chaque participant ne l'ait vue qu'une seule fois.

Résultats

Analyse des temps de réponse

Les taux de réponses correctes atteignaient un score plafond (m=96%; l'A.N.O.V.A ne révélait aucun effet significatif des facteurs sur la précision).

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur les temps de réponse filtrés (+/- deux écarts-type de la moyenne) en prenant les facteurs durée de présentation de l'amorce et type d'amorce comme variables intra-sujet. L'analyse par sujet montrait un effet significatif de la durée de présentation de l'amorce sur les temps de réponse, $F(1,39)=20,22$; $p<.001$. Le temps de réponse était significativement plus long lorsque la durée de présentation des amorces était de 30 ms (651 ms) que lorsque la durée de présentation de l'amorce était de 70 ms (629 ms). L'analyse montrait aussi un effet principal du type d'amorce sur les temps de réponse, $F(3,39)= 39,69$; $p<.001$. Le test de Bonferonni indiquait que le temps de réponse lorsqu'une amorce contrôle précédait la cible (673 ms) était significativement plus long que lorsqu'une amorce filtrée passe-bas (643 ms), passe-bande (643 ms) ou non filtrée (602 ms) précédait la cible. En outre, les temps de réponse aux conditions amorce passe-bas et amorce passe-bande ne différaient pas significativement entre eux mais étaient plus élevés qu'en condition amorce non filtrée.

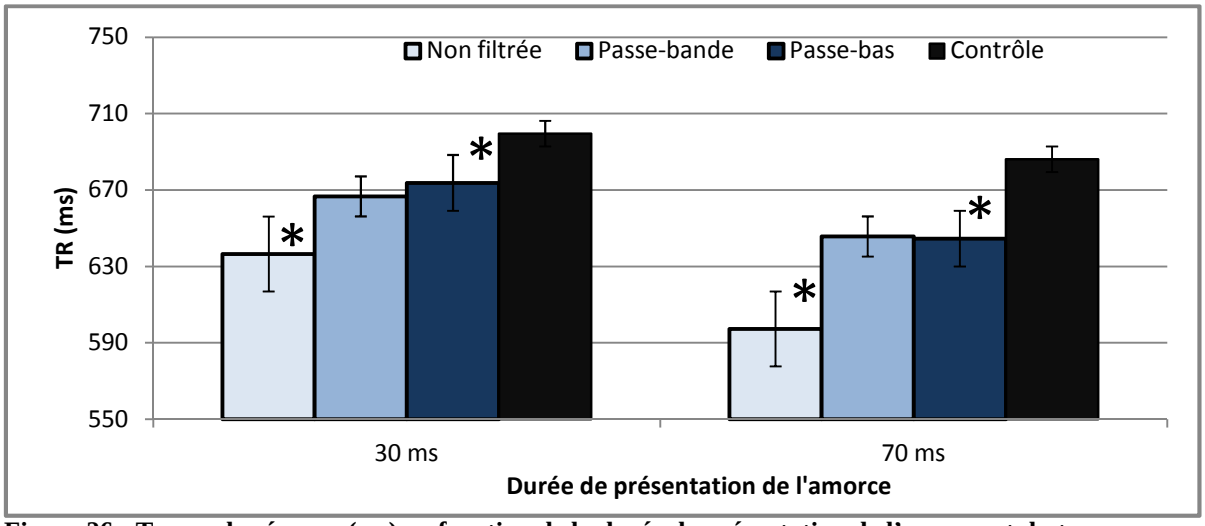


Figure 26 : Temps de réponse (ms) en fonction de la durée de présentation de l'amorce et du type d'amorce.

Les analyses ne révélaient pas d'interaction significative entre la durée de présentation de l'amorce et le type d'amorce, $F(3,117)<1$). Comme le montre la Figure 26, l'effet facilitateur de l'amorce non filtrée et des amorces filtrées ne variait pas selon la durée.

Discussion

L'hypothèse principale était que la tâche de catégorisation sémantique était fondée sur le traitement des fréquences spatiales moyennes plutôt que sur celui des fréquences spatiales basses, et que, donc, une amorce passe-bande facilite plus fortement le traitement de la cible que l'amorce passe-bas. Cet effet devait varier selon la durée de présentation de l'amorce utilisée, les informations parvocellulaires mettant plus de temps à être intégrées que les informations magnocellulaires. La différence d'amorçage des amorces passe-bas et des amorces passe-bande aurait donc dû augmenter pour une durée de présentation d'amorce longue. Les résultats indiquent au contraire un effet d'amorçage significatif et important pour les amorces non filtrées, significatif et plus faible pour les images passe-bas et passe-bande qui ne différaient pas entre elles et, ceci dès 30 ms de présentation des amorces. Ainsi, l'effet d'amorçage reste constant quelle que soit la durée de présentation de l'amorce et la gamme de fréquence spatiale considérée.

Cette tâche a été choisie car elle doit, en théorie, favoriser le traitement parvocellulaire. Un amorçage identique des fréquences spatiales moyennes et des fréquences spatiales basses a déjà été observé dans la littérature : en 2005, Altmann, Wolfgang, Kourtzi, Bulthoff et Karnath ont mis en place une expérience en IRM comprenant une tâche de catégorisation sémantique. Les résultats indiquent que la voie dorsale comme la voie ventrale sont actives lors de la réalisation de la tâche. Bar (2003) a aussi montré l'importance des informations parvocellulaires comme magnocellulaires dans la catégorisation d'objets. Il apparaît donc que les informations magnocellulaires comme parvocellulaires soient toutes

aussi importantes l’une que l’autre, et que l'efficacité des fréquences spatiales basses a été sous-estimé.

Un autre résultat surprenant est l'absence d'interaction avec la durée de présentation de l'amorce. On sait que les traitements les plus tardifs sont massivement parallèles (Merigan & Maunsell, 1993) mais le décalage temporel de l'amorce dans la procédure d'amorçage devait contraindre le traitement séquentiel des stimuli. Toutefois, il n'y a pas de masque après l'amorce pour stopper son traitement ; les traitements de l'amorce et de la cible doivent donc beaucoup coïncider et s'entremêlent. D'autant que les informations contenues dans l’amorce sont aussi contenues dans la cible. Ainsi, il est probable que l’amorce continue d’être traitée au delà de sa durée de présentation, ce qui laisserait le temps à toutes les informations (i.e. toutes les gammes de fréquences spatiales) d’être traitées avant la réponse du participant, même pour des durées de présentation de l’amorce très brèves. Il y a ainsi deux vagues de traitement parvocellulaire et magnocellulaire : celle de l’amorce puis celle de la cible, ce qui empêche d'isoler l'effet de l'amorce.

En résumé, cette expérience a permis de mettre en évidence un effet d’amorçage des amorces passe-bas et passe-bande mais les résultats ne permettent pas de différencier les deux types de traitement en fonction de la durée de présentation de l’amorce, comme attendu. Afin d’écarter l’influence des interactions amorce-cible, la même expérience a été réalisée avec des masques.

c) Amorçage masqué

L'expérience précédente n'a pas permis de dissocier comportementalement les amorçages parvocellulaires et magnocellulaires. Cette absence de différence entre amorces passe-bande et passe-bas peut être due à l'absence de masque dans le paradigme précédent. Cette expérience avait pour objectif de le vérifier.

Méthode

Participants

Les participants étaient 40 jeunes âgés de 17 à 26 ans (m= 20,2 et σ=3,02) avec une vue normale ou corrigée à la normale. Il s'agissait d'étudiants en psychologie de la première année de licence au doctorat.

Matériel et stimuli

Le matériel et les stimuli étaient les mêmes que ceux utilisés dans l'expérience d'amorçage. Huit masques (type pattern) ont été construits. Chaque masque était composé de 16 parties d'images différentes (Voir Figure 27). L'ensemble était aléatorisé.

Figure 27. Exemple de masque utilisé

Procédure

L'expérience comprenait 128 essais. Le fond d'écran était de luminance moyenne (167 RGB). Chaque essai était constitué d'un point de fixation pendant 500 ms suivi d'un masque de 50 ms, de l'amorce d'une durée variable, puis d'un masque de 17 ms. Le participant devait effectuer une tâche de catégorisation. Chaque cible a été présentée aux participants. Le type d'amorce a été contrebalancé.

Résultats

Les taux de réponses correctes atteignaient un score plafond (m=95%; l'A.N.O.V.A ne révélait aucun effet significatif sur la précision).

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur les temps de réponse filtrés (+/- deux écart-type de la moyenne) en prenant les facteurs durée de présentation de l'amorce et type d'amorce comme variables intra-sujet. Les résultats ont montré un effet de la durée de présentation de

l'amorce, $F(1,3)=16,9$; $p<.001$. Les participants étaient plus rapides lorsqu'une amorce était présentée 70 ms (595 ms) que lors d'une présentation d'amorce de 30 ms (611 ms). Le type d'amorce avait également un effet significatif sur les temps de réponse, $F(1,3)=17,4$; $p<.001$. Le test de Bonferroni a montré que les temps de réponse pour l'amorce non filtrée étaient plus faibles (577 ms) que les temps de réponse des amorces filtrées (passe-bas : 607 ms ; passe-bande : 604 ms), elles-mêmes égales entre elles. Les trois types d'amorce entraînaient des temps de réponse plus faibles par rapport à l'amorce contrôle (624 ms).

Comme le montre la Figure 28, l'interaction entre la durée de présentation de l'amorce et le type d'amorce n'était pas significative, $F(1,141)=2.038$; n.s.

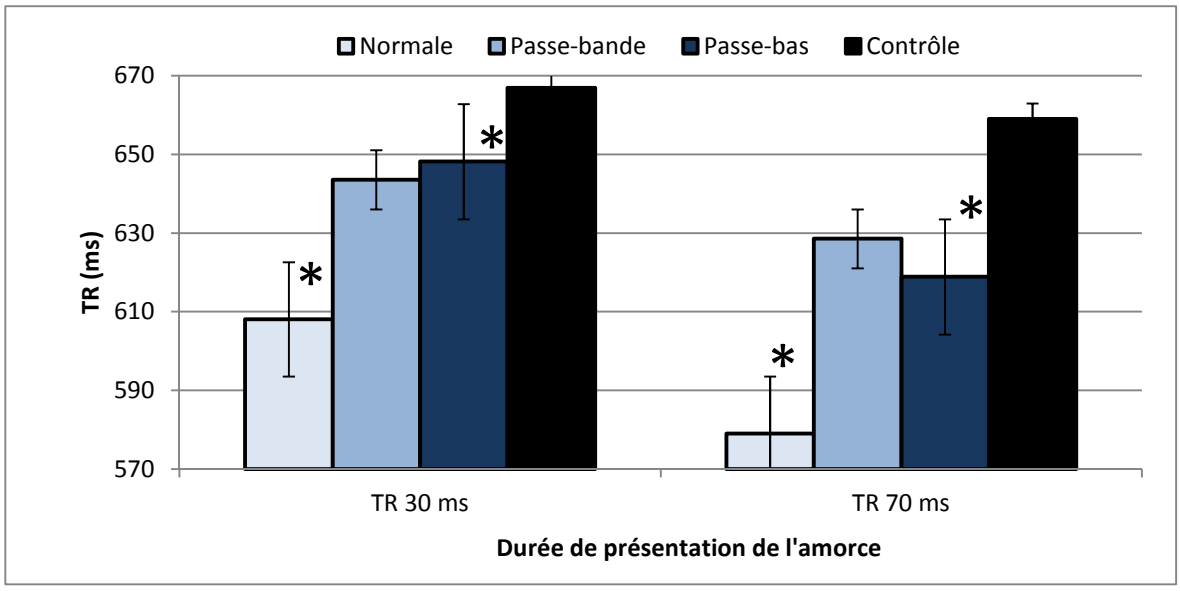


Figure 28. Temps de réponse (ms) en fonction de la durée de présentation et du type d'amorce

Discussion

Les résultats de cette expérience reproduisent ceux de l'expérience précédente. L'analyse des résultats a montré que, contrairement à ce qui était attendu, les informations passe-bas et passe-bande amorcent toujours la cible de manière équivalente. L'ajout d'un masque, qui interrompt les traitements tardifs de l'amorce, n'a pas aidé à mettre en évidence un effet de la durée de présentation. L'interprétation précédente, qui postulait que des interactions amorce-cible avaient pu interférer et compenser les durées variables de l'amorce,

n'est donc pas corroborée par les résultats. Le résultat selon lequel il y a un amorçage équivalent pour les deux gammes de fréquence spatiale résiste donc dans ces deux études. Le bénéfice engendré par les fréquences spatiales basses peut provenir de leur capacité à préactiver des représentations des objets. Les fréquences spatiales basses n'ont théoriquement pas le temps d'activer des représentations à des durées de présentation d'amorce aussi courtes mais les informations présentes dans l'amorce sont aussi présentes dans la cible, diminuant ainsi les effets d'amorçage. En préactivant les représentations possibles de l'objet, les fréquences spatiales basses ont donc dû faciliter le traitement de la cible autant que les fréquences spatiales moyennes le long de la voie ventrale.

Cette procédure ouvre de nouvelles perspectives. Premièrement, un amorçage pouvait avoir lieu à des durées de présentation de l'amorce très brèves, et ceci quelle que soit la gamme de fréquences spatiales. La procédure peut être utilisée tout aussi bien dans la reconnaissance d'autres types de stimuli (visage, scène, ...). Par ailleurs, cette méthode, en prenant en compte les durées de présentation de l'amorce, permet d'amener de nouveaux éléments aux problématiques Coarse and Fine concernant le jugement d'orientation (Voir page). En effet, les résultats des expériences suivantes vont faire apparaître une différence des effets d'amorçage selon la gamme de fréquences spatiales.

B. La différenciation par l'excentricité

Les expériences d'amorçage, bien que montrant des résultats intéressants, ne permettent pas de dissocier systèmes magnocellulaire et parvocellulaire. Afin de poursuivre cet objectif, la procédure de l'expérience de présentation simple des objets a donc été reprise en variant cette fois l'excentricité, de façon orthogonale à la variation de la fréquence spatiale.

Les études sur l'organisation anatomique de la rétine ont montré une diminution de la concentration des cellules parvocellulaires à mesure que l'excentricité augmente (Williamson

& Cummins, 1983, Silveira & Perry, 1991, Azzopardi, Jones & Cowey, 1999). De plus, les mesures comportementales ont montré que des performances à des tâches perceptives diminuaient lorsque les stimuli étaient présentés en rétine excentrée (Fize & al., 2005 ; Strasburger & Rentschler, 1996; Levi & al., 2008). Ces études confirment le lien entre cellules parvocellulaires/système de l'identification et cellules magnocellulaires/système de l'action.

L'objectif de cette expérience était d'utiliser cette opposition pour dissocier comportementalement les deux systèmes visuels. La base de l'expérience de présentation simple des objets, ayant démontré sa capacité à marquer les systèmes magnocellulaire et parvocellulaire, a été reprise en rajoutant l'excentricité en tant que variable. Il était attendu que dans une tâche de catégorisation sémantique, les performances soient moindres lors d'une présentation périphérique que lors d'une présentation centrale de la cible De plus, l'avantage des fréquences spatiales élevées sur les fréquences spatiales basses en présentation centrale devrait être atténué lors d'une présentation excentrée.

Méthode

Participants

Les participants étaient 36 jeunes adultes âgés de 19 à 24 ans (m= 21,6 et σ=1,3) avec une vue normale ou corrigée à la normale. Il s'agissait d'étudiants en psychologie de la première année au doctorat.

Matériel et stimuli

Le matériel et les stimuli étaient les mêmes que ceux utilisés dans l'expérience de présentation simple (voir page 79).

Procédure

L'expérience était composée de 120 essais. Un essai était constitué d'une croix de fixation de 500 ms, puis de la présentation de la cible dans l'une de ces trois versions (non

filtrée, passe-bande, passe-bas) pendant 200 ms. La cible était présentée soit au centre de l'écran, soit à 20° d'excentricité. La moitié des images était présentée au centre, le quart à droite et le dernier quart à gauche. L'excentricité et le type de filtrage (non-filtrée, passe-bande, passe-bas) étaient contrebalancés de façon à ce que chaque image soit vue dans toutes les positions et toutes les versions possibles sur l'ensemble des participants.

Résultats

Analyse du pourcentage de réponses correctes

Une A.N.O.V.A a été réalisée sur la précision en prenant le type de filtrage et l'excentricité comme variables intra-sujet. Les résultats montraient un effet significatif de l'excentricité des cibles sur la précision, $F(1,35)=26,43$; $p<.001$. Les participants étaient plus précis lors d'une présentation centrale (90%) que lors d'une présentation périphérique (84%. voir Figure 29). Le type de filtrage avait lui aussi un effet significatif, $F(2,70)=39,84$; $p<.001$. Le test de Bonferroni montre que les images non filtrées (91%) étaient catégorisées de façon plus efficace que les images filtrées (passe-bande : 84% ; passe-bas : 81%), qui ne différent pas entre elles.

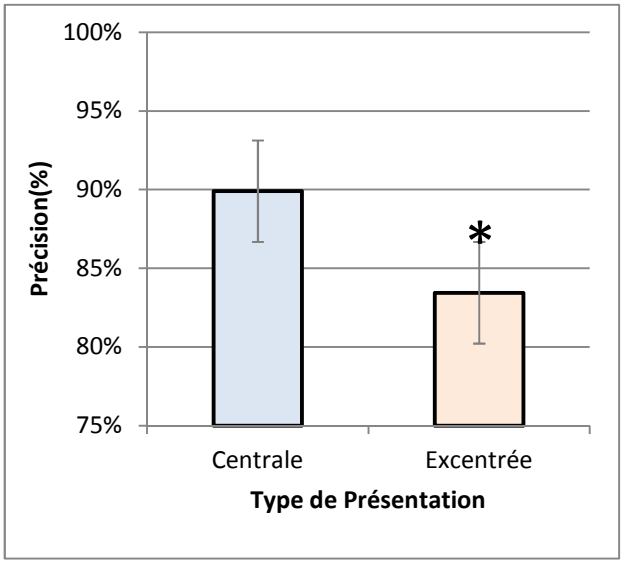


Figure 29.Précision (%) en fonction du type de présentation

Comme le montre la Figure 30, Il n'y avait pas d'interaction significative entre le type de filtrage et l'excentricité sur le taux de réponses correctes, $F(2,70)<1$.

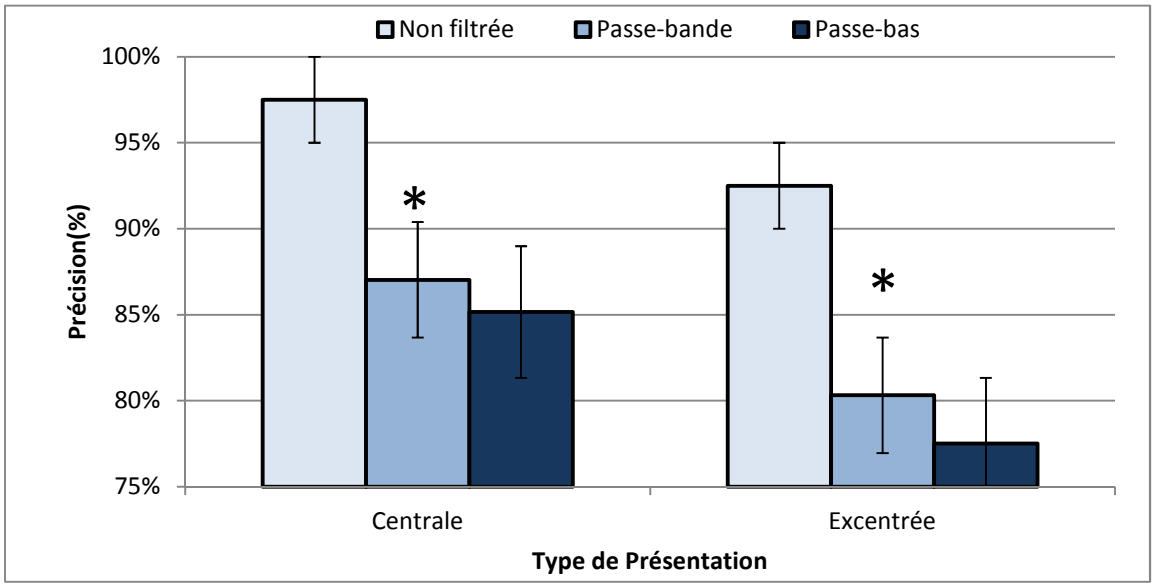


Figure 30. Précision (%) en fonction du type de présentation et du type de filtrage

Analyse des temps de réponse

Une A.N.O.V.A a été réalisée sur les temps de réponse filtrés en prenant le type de filtrage et l'excentricité comme variables intra-sujet. Les résultats montrent un effet significatif de l'excentricité, $F(1,35)=61,9$; $p<.001$. Les cibles présentées en périphérie (776 ms) étaient plus longues à être catégorisées que les images présentées centralement (713 ms). Le type de filtrage avait aussi un effet significatif sur les temps de réponse, $F(2,70)=83,9$; $p<.001$. Les images non filtrées étaient plus rapidement catégorisées (665 ms) que les images passe-bande (768 ms), elles mêmes plus rapidement catégorisées que les images passe-bas (799 ms).

L'interaction entre l'excentricité et le type de filtrage était significative, $F(2,70)=7,03$; $p<.01$. Dans la condition de présentation centrale, les images non filtrées (630 ms) étaient catégorisées plus rapidement que les images filtrées passe-bande (724 ms), elles-mêmes plus rapidement que les images passe-bas (783 ms). Dans la condition de présentation périphérique, les images non filtrées (701 ms) avaient des temps de réponse inférieurs aux

images filtrées quel que soit le type de filtrage (passe-bande : 812 ms ; passe-bas : 815 ms. Voir Figure 31).

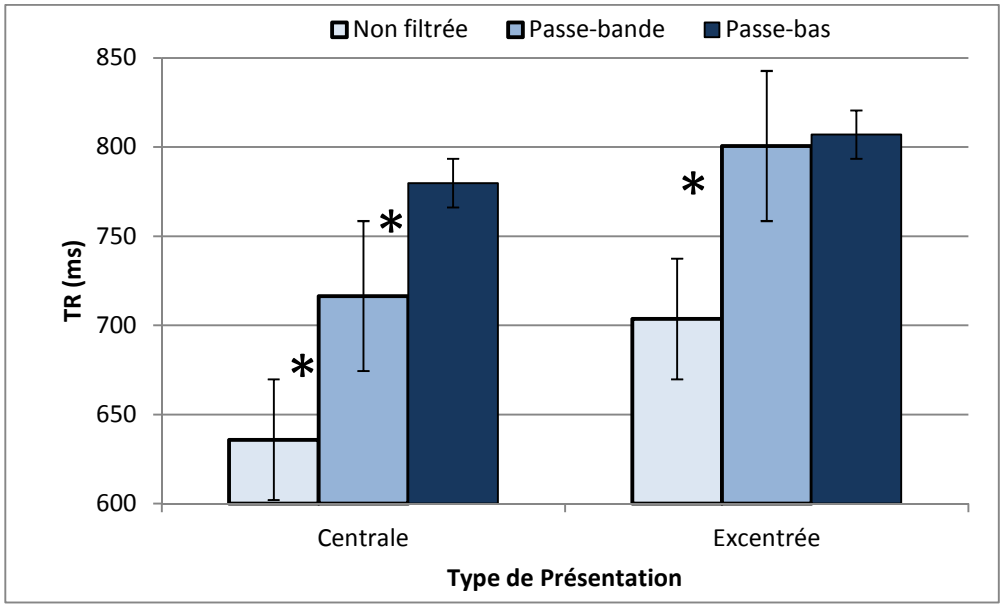


Figure 31. Temps de réponse (ms) en fonction du type de présentation et du type de filtrage

Discussion

L'objectif de cette expérience était de tester l'opposition vision centrale/périphérique pour opérationnaliser la distinction des systèmes parvocellulaire et magnocellulaire. L'hypothèse principale était qu'une présentation périphérique entraînerait une baisse des performances à une tâche de catégorisation sémantique. Cette hypothèse est confirmée. Les participants se sont montrés moins précis et moins rapides lors de la catégorisation des images présentées en vision périphérique. Ces résultats confirment ceux de Strasburger et Rentschler (1996), Fize et al. (2005), et Levi et al. (2008). La seconde hypothèse concernait l'interaction entre l'excentricité de l'image et le type de filtrage. On attendait que la baisse des performances engendrée par l'excentricité soit plus marqué pour les images passe-bande. Dans l'expérience de simple présentation, les performances aux images non filtrées étaient meilleures que les performances pour les images filtrées passe-bande, elles-mêmes meilleures que pour les images passe-bas. Il était attendu qu'en vision périphérique, cet avantage des

fréquences spatiales élevées sur les fréquences spatiales basses s'estompe. Les résultats concernant les temps de réponse corroborent cette hypothèse. En vision périphérique, les participants sont aussi longs à catégoriser les deux types d'images filtrées alors qu'en vision centrale les images passe-bande étaient catégorisées plus rapidement que les passe-bas. Toutefois, cet effet ne s'observe pas sur la précision. L'effet observé en présentation centrale n'est pas celui de notre première expérience d'ailleurs. Ceci pourrait être lié à des processus attentionnels par la présentation en bloc mixte de la variation de l'excentricité. Ces effets n'ont toutefois pas contaminé les temps de réponse.

La vision périphérique spécialisée dans la localisation et la perception pour l'action se fonde moins sur les fréquences spatiales élevées que la vision centrale, ce qui est compatible avec l'organisation anatomique de la rétine. La diminution de la population de cellules parvocellulaires dans l'excentricité de la rétine entraîne une diminution de la rapidité de traitement des fréquences spatiales élevées. En vision périphérique, les informations parvocellulaires sont traitées de façon équivalente et perdent la priorité de traitement qu'elles ont sur les fréquences spatiales basses. En montrant que les fréquences spatiales élevées étaient relayées moins rapidement en vision périphérique qu'en vision centrale, ce résultat confirme, au niveau comportemental, la dissociation parvocellulaire/magnocellulaire. L'opposition centre/périphérie va donc être une opérationnalisation valable des traitements parvocellulaires et magnocellulaires. Cette expérience apporte une dimension supplémentaire aux expériences précédentes (Strasburger & Rentschler, 1996; Fize & al., 2005) en stimulant les systèmes parvocellulaire et magnocellulaire sélectivement grâce à l'utilisation des fréquences spatiales. La dissociation a été plus souvent opérationnalisée par la tâche que par la manipulation des stimuli. Ces procédures mettaient plus en avant la dissociation ventrale/dorsale que magnocellulaire/parvocellulaire.

C. La différenciation par le mouvement

Les fréquences spatiales et l'opposition centre/périphérie se sont avérées des facteurs pertinents pour dissocier les traitements parvocellulaires et magnocellulaires dans des tâches de haut niveau. Le traitement du mouvement est, autant au niveau neurophysiologique que fonctionnel, une des primitives qui dissocie les systèmes parvocellulaire et magnocellulaire. La sensibilité aux fréquences temporelles des cellules magnocellulaires est plus importante que celle des cellules parvocellulaires. Elles sont donc plus aptes à prendre en charge le mouvement d'un stimulus. Si des auteurs comme Kim et al. (2006) ont montré l'effet de cette variable sur le traitement de stimuli élémentaires, les études concernant ses répercussions sur les traitements d'objets complexes sont rares.

L'expérience suivante va utiliser toujours la base de l'expérience de présentation simple des objets en interaction avec le mouvement des stimuli. L'hypothèse principale était que pour un stimulus en mouvement, les fréquences spatiales basses seront plus critiques que pour les stimuli fixes. Une plus forte dégradation des performances avec le mouvement devrait être observée pour les images filtrées passe-bande que pour les images passe-bas.

Méthode

Participants

Les participants étaient 27 jeunes adultes âgés de 18 à 24 ans (m= 20,9 et σ=1,5) avec une vue normale ou corrigée à la normale. Il s'agissait d'étudiants en psychologie de la première année au doctorat.

Matériel et stimuli

Le matériel et les stimuli étaient les mêmes que ceux utilisés dans l'expérience de présentation simple (voir page 79).

Procédure

L'expérience était composée de 120 essais. Un essai était constitué d'une croix de fixation de 500 ms, puis de la présentation de la cible dans l'une de ces trois versions (non filtrée, passe-bande, passe-bas) pendant 200 ms. La cible était présentée soit fixe, soit se déplaçant à une vitesse de 30°/sec. Les images en mouvement se dirigeaient toutes vers la droite. La moitié des images était présentée fixe, l'autre moitié en mouvement. La condition de mouvement et le type de filtrage étaient contrebalancés de façon à ce que chaque image soit vue dans toutes les positions et toutes les versions possibles sur l'ensemble des participants.

Résultats

Analyse du pourcentage de réponses correctes

Une A.N.O.V.A a été réalisée sur la précision en prenant le type de filtrage et la présence/absence de mouvement comme variables intra-sujet. Les résultats ne montraient pas d'effet significatif du mouvement sur la précision du participant, $F(1,26)<1$ contrairement au type de filtrage, $F(2,52)=57,79$; $p<.001$. Le test de Bonferroni montrait que les images non filtrées (95%) étaient mieux catégorisées que les images filtrées (passe-bande : 85% ; passe-bas : 78%). Les images passe-bande étaient mieux catégorisées que les images passe-bas.

Il y avait une interaction significative entre le type de filtrage et la présence/absence de mouvement sur la précision, $F(2,52)=4,7$; $p<.05$. Le test de Bonferroni montrait que dans la condition de présentation fixe, les images non filtrées (95%) étaient catégorisées plus facilement que les images passe-bande (87%), elles-mêmes catégorisées plus facilement que les images passe-bas (77%). En condition de présentation de mouvement, les deux types d'images filtrées (passe-bande : 77 % ; passe-bas : 80%) étaient catégorisés moins précisément que les images non filtrées (95%. Voir Figure 32).

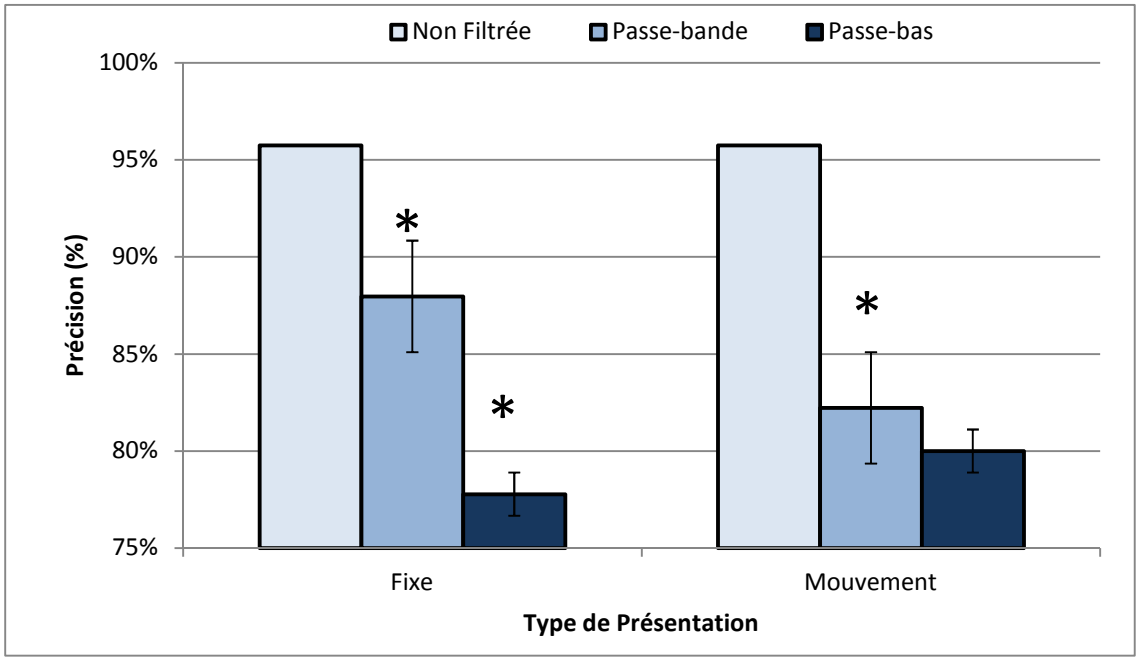


Figure 32. Précision (%) en fonction du type de présentation et du type de filtrage

Analyse des temps de réponse

Une A.N.O.V.A a été réalisée sur les temps de réponse filtrés en prenant le type de filtrage et la présence/absence de mouvement comme variables intra-sujet. Les résultats montraient un effet significatif du mouvement sur les temps de réponse, $F(1,26)=33,9$; $p<.001$. Les cibles présentées en mouvement (526 ms) étaient plus longues à catégoriser que les images fixes (469 ms). Le type de filtrage avait aussi un effet significatif sur les temps de réponse, $F(2,52)=58,6$; $p<.001$. Les images non filtrées étaient plus rapidement catégorisées (422 ms) que les images passe-bande (510 ms), elles-mêmes plus rapidement catégorisées que les images passe-bas (561 ms)

Comme le montre la Figure 33, l'interaction entre la présence/absence de mouvement et le type de filtrage ne ressortait pas significativement, $F(2,52)<1$.

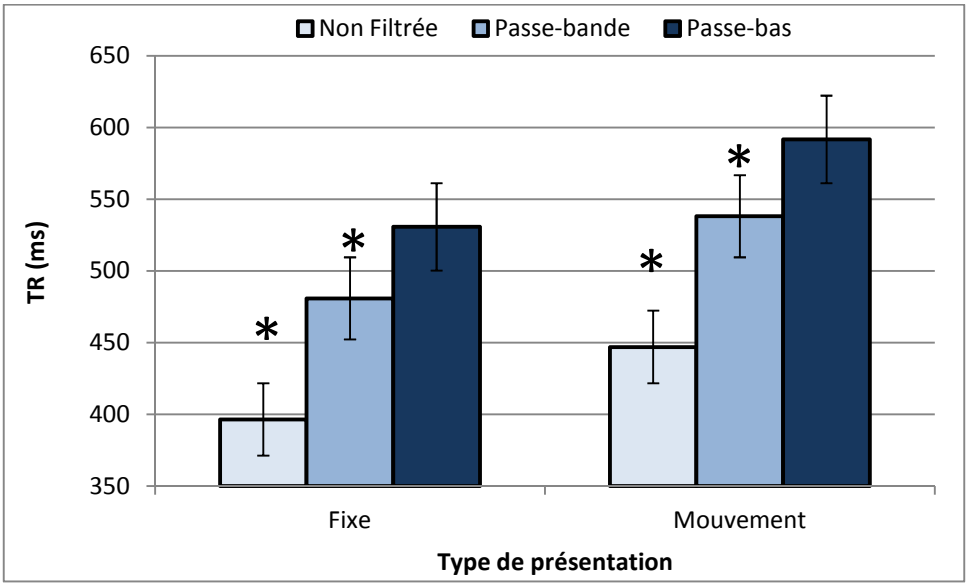


Figure 33.Temps de réponse (ms) en fonction du type de présentation et du type de filtrage

Discussion

L'objectif de cette expérience était de tester le mouvement de la cible pour opérationnaliser la dissociation parvocellulaire/magnocellulaire. L'hypothèse principale était qu'une cible en mouvement stimulerait le système magnocellulaire et donc entraînerait une baisse des performances à une tâche de catégorisation dont les informations sont plus spécialement véhiculée par le système parvocellulaire. Cette hypothèse est confirmée pour la précision mais pas sur la rapidité.

Le premier résultat important de cette étude est la réplication des résultats de la première expérience de catégorisation dans la condition fixe aussi bien pour la précision que pour la rapidité (les images non filtrées sont plus efficaces que les images filtrées passe-bande, elles-mêmes mieux filtrées que les images passe-bas). Les participants étaient plus aptes à catégoriser l'image non filtrée que l'image passe-bande, et l'image passe-bas entraînait une plus grande baisse de performance. Cela confirme l'efficacité de cette procédure de filtrage.

Les résultats ont également confirmé les attentes concernant l'effet du mouvement. Les participants ont des temps de catégorisation plus longs lors de la présentation de stimuli en

mouvement pourtant ils ne sont pas moins précis. Deux interprétations sont possibles. En terme d'interférence, le traitement de mouvement entraîne un surplus d'information visuelle à traiter qui viendrait interférer avec le traitement de la forme de l'objet. La deuxième interprétation prend en compte la structure des cellules magnocellulaires et parvocellulaires. Les cellules magnocellulaires ont un comportement phasique qui leur permet de traiter le mouvement, contrairement aux cellules parvocellulaires. Ces dernières ont des capacités de discrimination de résolution spatiale plus importantes que les cellules magnocellulaires, leur permettant de discriminer plus de détails d'un objet. Catégoriser un objet en mouvement entraîne donc un conflit dans ces deux processus expliquant ainsi l'interaction entre le type de filtrage et la présence/absence du mouvement sur la précision. Les images passe-bande perdent l'avantage qu'elles ont sur les images passe-bas lors d'une présentation en mouvement.

D. Effets des attentes liées à la tâche

Des travaux (Delord et al., 1998; Oliva & Schyns, 1999; Rohtstein et al., 2005) ont montré que les attentes du sujet, opérationnalisées par la tâche demandée , modifiaient le traitement des fréquences spatiales. La tâche de catégorisation sémantique proposée dans les expériences précédentes nécessite plus spécialement un traitement parvocellulaire de l'information. L'objectif était maintenant de la comparer à une tâche de discrimination d'orientation ou de localisation. Une tâche impliquant des traitements visuospatiaux devrait solliciter plus fortement le système magnocellulaire et son extension dorsale, et donc se fonder sur les fréquences spatiales basses. Valyear et al. (2005) avaient déjà montré une différence dans les traitements ventraux/dorsaux liés à ces deux tâches dans une étude IRM. Le but, ici, est d'observer ces différences à un niveau comportemental.

a) Localisation d'un objet naturel

La première expérience comportait une tâche très simple de localisation. L'objectif était de favoriser les traitements dorsaux. La procédure mise en place pour l'expérience de présentation simple a été reprise (voir page 79). Les résultats montraient une plus grande efficacité des fréquences spatiales moyennes et élevées pour une tâche de catégorisation que des fréquences spatiales basses. Dans une tâche de localisation, une relation inverse est attendue avec de meilleures performances pour les fréquences spatiales basses que pour les fréquences spatiales moyennes et élevées.

Méthode

Participants, matériel, stimuli et procédure ont été les mêmes que ceux employés dans l'expérience de présentation simple des objets sauf que les participants devaient réaliser une tâche de localisation (haut/bas).

Résultats

Analyse des temps de réponses

Les taux de réponses correctes atteignaient un score plafond (m=99%); l'A.N.O.V.A ne révélait aucun effet significatif sur la précision. Afin de comparer les différences de traitement des fréquences spatiales dans les deux tâches, une A.N.O.V.A a été réalisée sur le temps de réponse en prenant le type de filtrage et la tâche en facteurs intra-sujet.

Les résultats ont montré que la tâche avait une influence significative sur les temps de réponse, $F(1,29)=317,1$; $p<.001$. Les participants étaient plus rapides à la tâche de localisation (382 ms) qu'à la tâche de catégorisation sémantique (652 ms). Le type de filtrage avait aussi un effet sur les temps de réponse, $F(1,58)=87,66$; $p<.001$. Les images non filtrées (490 ms) étaient catégorisées plus rapidement que les images passe-bande (521 ms), elles-mêmes catégorisées plus rapidement que les images passe-bas (538 ms).

L'interaction entre la tâche et le type de filtrage ressortait significativement, $F(1,58)=61,36$; $p<.001$. Dans la tâche de localisation, les temps de réponse étaient équivalents quel que soit le type de filtrage (non filtrée : 376 ms ; passe-bande : 389 ms; passe-bas: 380 ms), alors que dans la tâche de catégorisation sémantique, les images non filtrées (605 ms) étaient catégorisées plus rapidement que les images passe-bande (656 ms), elles-mêmes catégorisées plus rapidement que les images passe-bas (697 ms. Voir Figure 34).

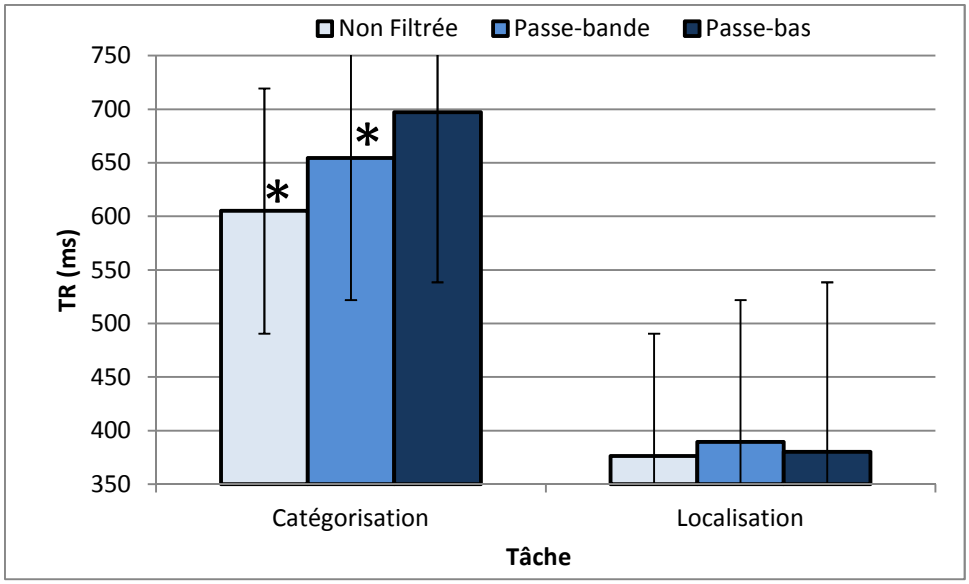


Figure 34. Temps de réponse (ms) en fonction de la tâche et du type de filtrage

Discussion

Les résultats de cette étude confirment l'hypothèse selon laquelle le traitement des fréquences spatiales est modifié selon la tâche utilisée. La tâche de localisation ne semble pas mobiliser les mêmes informations que la tâche de catégorisation sémantique. Il semble qu'elle puisse être réalisée dés qu'une des composantes atteint son propre seuil ; c'est à dire indépendamment du type de fréquence spatiale. Il était attendu que les fréquences spatiales basses soient plus efficaces que les fréquences spatiales moyennes. Les images passe-bas, traitées par le système magnocellulaire, auraient théoriquement dues être plus adaptées à une tâche visuospatiale. Or, la cible est localisée aussi rapidement quelle que soit la gamme de fréquence spatiale présentée. Soit cette tâche n'est pas spécifiquement dorsale, soit la voie

dorsale n’utilise pas spécifiquement les informations magnocellulaires. Les tâches "dorsales" suivantes devraient aider à départager ces deux interprétations.

b) Amorçage dans une tâche de jugement d’orientation

Les procédures des expériences d’amorçage, qui manipulaient seulement la fréquence spatiale, n'avaient pas permis de dissocier les traitements magnocellulaires et parvocellulaires, puisque les deux gammes de fréquences spatiales étaient aussi efficaces pour amorcer la catégorisation. Le facteur tâche a donc été ajouté pour tester l'hypothèse selon laquelle le traitement des fréquences spatiales pouvait être modulé par les attentes liées à la tâche.

Méthode

Participants

Les participants étaient 40 jeunes âgés de 18 à 25 ans (m= 19,8 et σ=2,54) avec une vue normale ou corrigée à la normale. Il s’agissait d’étudiants en psychologie de la première année au doctorat.

Matériel et stimuli

Le matériel et les stimuli étaient les mêmes que ceux de l’expérience d'amorçage dans une tâche de catégorisation (voir page 84).

Procédure

La procédure était identique, seule la tâche a été modifiée. Le participant devait effectuer une tâche de discrimination d’orientation globale de l'image (horizontal/vertical). La moitié des cibles avait un axe d'élongation vertical, l'autre moitié horizontal. Toutes les cibles étaient présentées aux participants et le type d’amorce était contrebalancé sur l'ensemble des participants.

Résultats

Analyse des temps de réponse

Les taux de réponses correctes atteignaient un score plafond (m=97%; l'A.N.O.V.A. ne révélait aucun effet significatif sur le taux de réponses correctes).

Une A.N.O.V.A a été réalisée sur les temps de réponse filtrés en prenant la durée de présentation et le type d'amorce comme variables intra-sujet. L'analyse révélait un effet significatif de la durée de présentation de l'amorce sur les temps de réponse, $F(1,39)=4,279$; $p<.05$. Les temps de réponse étaient significativement plus longs lorsque la durée de présentation des amorces était de 30 ms (755 ms) que lorsqu'elle était de 70 ms (733 ms). L'analyse montrait aussi un effet du type d'amorce sur les temps de réponse, $F(3,117)=11,090$; $p<.001$. Une analyse des contrastes indiquait que les temps de réponse lorsqu'une amorce contrôle précédait la cible (781 ms) étaient significativement plus longs que lorsqu'une amorce filtrée passe-bas (746 ms), passe-bande (736 ms) et non filtrée (712 ms) précédait la cible. Les temps de réponse aux conditions amorce passe-bas et amorce passe-bande ne différaient pas significativement entre eux mais étaient plus longs qu'en condition amorce non filtrée. La différence entre amorce non filtrée et amorce passe-bande était cependant tendancielle (p=.052).

Les analyses ne montraient pas d'interaction significative entre la durée de présentation de l'amorce et le type d'amorce, $F(3,117)<1$ (Voir Figure 35).

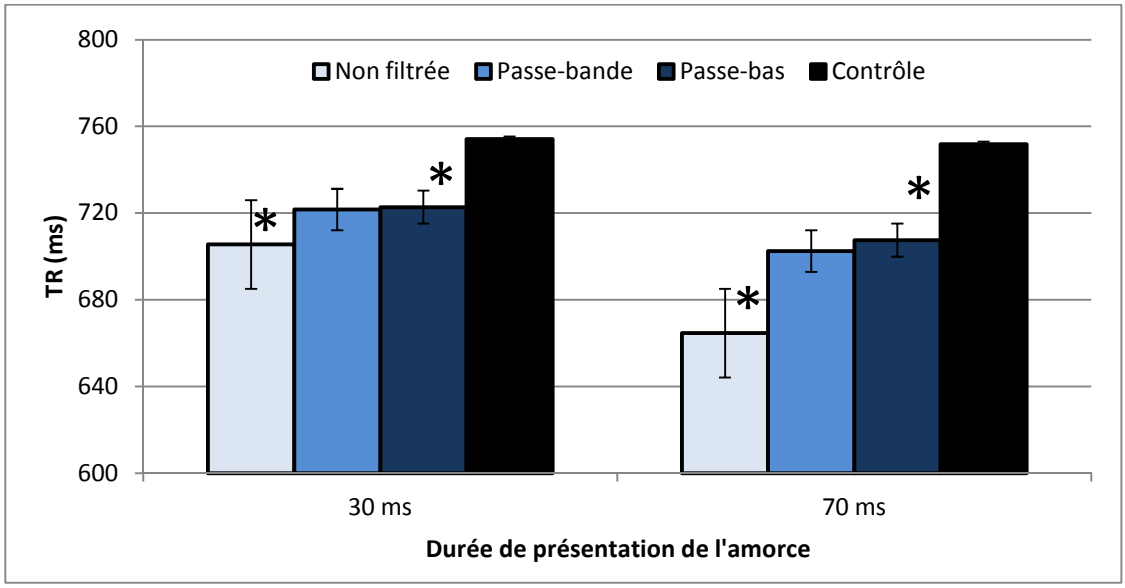


Figure 35.Temps de réponse (ms) en fonction du type et de la durée de présentation d'amorce.

Discussion

L'hypothèse principale était qu'une tâche de discrimination d'orientation privilégierait l'utilisation des fréquences spatiales basses.

Les résultats ne confirment pas cette hypothèse. Les fréquences spatiales élevées et les fréquences spatiales basses amorcent la cible de façon équivalente. Ce résultat était celui observé pour la tâche de catégorisation sémantique. Deux explications sont possibles. La première provient de l'expérience d'Altmann et al. (2005). Ceux-ci ont montré qu'une tâche de catégorisation sémantique activait les mêmes circuits neuronaux qu'une tâche de discrimination d'orientation. L'orientation globale d'une image peut donc être extraite à partir de deux primitives. Le traitement dans ces deux tâches ne serait pas aussi distinct que prévu initialement. Avant d'invalider complètement ce postulat, voyons si les effets d'amorçage résistent à l'ajout d'un masque avant et après l'amorce, qui diminue les interactions cible/amorce, celles-ci ayant pu minimiser les différences entre les deux amorces.

c) Amorçage masqué dans une tâche de jugement d'orientation

Un masquage a donc été utilisé afin de diminuer les interactions tardives entre l'amorce et la cible.

Méthode

Participants, matériel, stimuli et procédure étaient les mêmes que ceux de l'expérience d'amorçage masqué (voir page 90). Seule la tâche a été modifiée. Les participants devaient réaliser une tâche de discrimination d'orientation globale de l'image (horizontal/vertical).

Résultats

Les taux de réponses correctes atteignaient un score plafond (m=95%; l'A.N.O.V.A ne révélait aucun effet significatif lors d'un analyse par comparaison de moyenne des taux de réponses correctes). Une A.N.O.V.A a été réalisée sur les temps de réponse filtrés en prenant la durée de présentation et le type d'amorce comme variables intra-sujet.

Les résultats ont montré un effet de la durée de présentation de l'amorce, $F(1,3)=13,22$; $p<.001$. Les participants étaient plus rapides pour répondre lors d'une présentation d'amorce de 70 ms (634 ms) que lors d'une présentation d'amorce de 30 ms (614 ms). Le type d'amorce avait un effet significatif sur les temps de réponse, $F(1,3)=18,76$; $p<.001$. Le test de Bonferroni a montré que le temps de réponse pour l'amorce non filtrée (611 ms) ne différait pas de celui de l'amorce passe-bande (607 ms) et qu'il était plus court pour les amorces filtrées passe-bas (624 ms) et pour les amorces contrôle (656 ms), qui différaient entre elles (Voir partie Orientation de la Figure 36/ page 110).

L'interaction entre la durée de présentation de l'amorce et le type d'amorce n'était pas significative, $F(1,141)=1,71$; n.s.

Comparaison des deux tâches

Une A.N.O.V.A a été réalisée sur les temps de réponse filtrés en prenant la durée de présentation, le type d'amorce et le type de tâche comme variables intra-sujet.

Les résultats ne montraient pas d'effet significatif du type de tâche, $F(1,94) = 1,97$, n.s, mais un effet de la durée de présentation de l'amorce, $F(1,94)=25,31$, $p<.001$. Pour la durée de 70 ms, les temps de réponse étaient plus courts (605 ms) que pour une durée de présentation de 30 ms (623 ms). Les résultats ont également montré un effet du type d'amorce, $F(3,282)=34.59$, $p<.001$. Toutes les amorces engendraient des temps de réponse significativement plus courts que ceux de la condition contrôle. En outre, Le test de Bonferroni a montré que les amorces non filtrées (594 ms) étaient significativement plus efficaces que les amorces passe-bande (605 ms), elles-mêmes plus efficaces que les amorces passe-bas (615 ms).

L'analyse n'a pas révélé d'interaction significative entre la durée de présentation de l'amorce et le type de tâche, $F(1, 94)=0,324$; n.s. Cependant, l'interaction entre le type d'amorce et le type de tâche, $F(2,282)=4,11$, $p<.01$, était significative. Pour la tâche de catégorisation sémantique, les amorce non filtrées (577 ms) étaient plus efficaces que les amorces passe-bande (604 ms) et passe-bas (607 ms) alors que dans la discrimination de forme globale, les amorces non filtrées (611 ms) et passe-bande (607 ms) entraînaient des temps de réponse similaires, mais seules les amorces passe-bande avaient des temps de réponse significativement plus élevés que les amorces passe-bas (624 ms. Voir Figure 36).

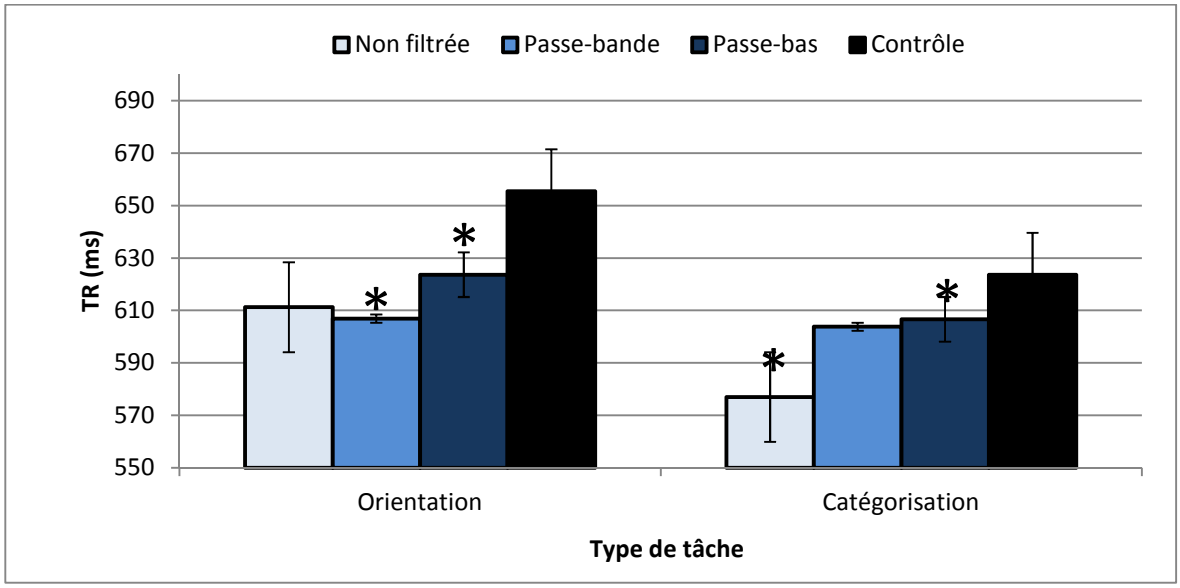


Figure 36. Temps de réponse (ms) en fonction du type de tâche et du type d'amorce.

L'interaction entre la durée de présentation et le type d'amorce, $F(2,282)=3,25$, $p<.05$, était significative. Pour une durée de présentation de 30 ms, les amorces non filtrées (611 ms) et passe-bande (612 ms) entraînaient des temps de réponse plus courts que pour les images passe-bas (626 ms). Pour une durée de présentation de 70 ms, les images non filtrées (578 ms) étaient plus efficaces que les amorces passe-bande (599 ms) et passe-bas (604 ms. Voir Figure 37).

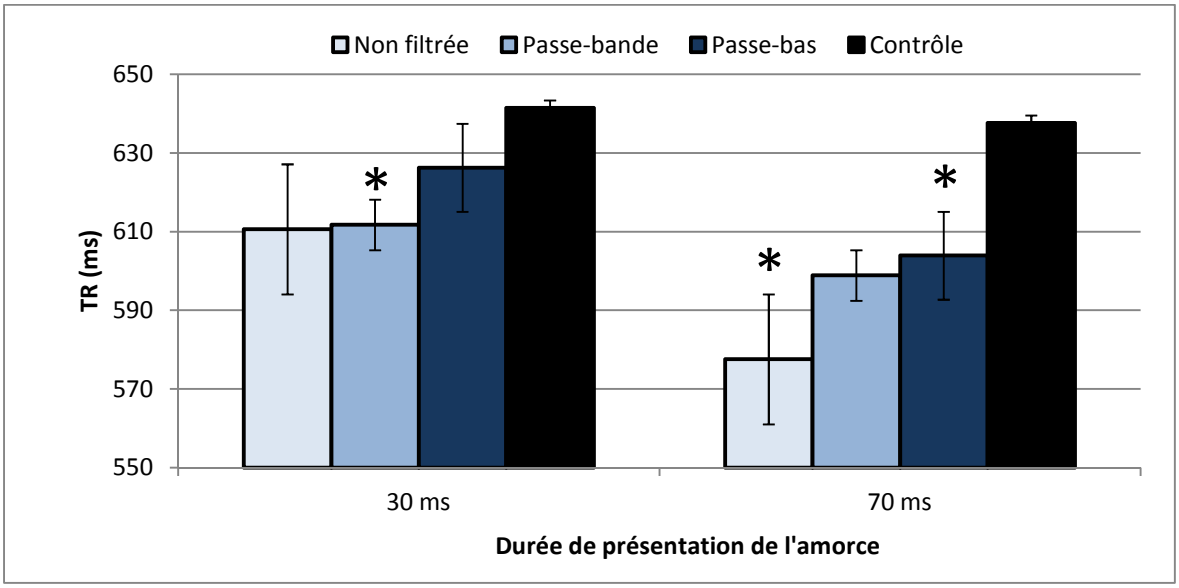


Figure 37. Temps de réponse (ms) en fonction de la durée de présentation et du type d'amorce.

L’interaction entre le type et la durée de l’amorce et la tâche n'était pas significative, $F(2,282)<1$.

Discussion

Il y a deux résultats principaux. Premièrement, la tâche de discrimination d'orientation, comme celle de catégorisation, utilise les fréquences spatiales basses et moyennes de façon équivalente. Ensuite, cette expérience révèle que s'il existe un privilège de l'une sur l'autre, il va dans le sens des fréquences spatiales moyennes sur les basses. Elles sont aussi efficaces que l'image non filtrée, dès 30 ms de durée de présentation de l'amorce. Ce résultat met en évidence la nécessité de prendre en compte le décours temporel des traitements dans les problématiques Coarse et Fine. Schyns et Oliva (1994) avaient montré qu’un temps de présentation différent pouvait modifier les résultats obtenus, comme le montre l'interaction entre le type d'amorce et la durée de présentation de l'amorce, mais les expériences suivantes ont rarement pris ce facteur en compte. De plus, le poids accordé aux deux types d'informations est déterminé par les attentes des participants. Cette étude a confirmé les résultats de Oliva et Schyns (1999) qui révélaient l'influence de deux types de tâche (discrimination du sexe: coarse vs. discrimination d'émotions: fine) sur le traitement Coarse et Fine des visages (visages hybrides). Selon la tâche, les participants percevaient le visage à fréquence spatiale basse ou le visage à fréquence spatiale élevée.

Nos résultats vont donc dans le sens de l’hypothèse « Fine to Coarse ». Premièrement, l’interaction entre la durée de présentation et le type d’amorce dans la dernière expérience de discrimination d'orientation en amorçage masqué montre une prédominance du traitement Fine aux premières étapes de traitement. Pour une durée de présentation de l’amorce de 30 ms, les informations « Fine » étaient aussi efficaces que les images non filtrées. Les informations « Coarse » sont moins efficaces pour apporter des informations utiles à la discrimination d'orientation globale. Ces résultats sont difficiles à réconcilier avec ceux des nombreuses études qui ont révélées un traitement plus rapide des informations « Coarse »

(Kaplan & Bernadete, 2001; Bullier & Nowak, 1995; Plainis & Murray, 2000; Mitov & Totev, 2004). Toutefois, ces études utilisaient des stimuli et des tâches plus simples. L'extraction de la forme globale pour nos objets naturels n'utilise sûrement pas uniquement les fréquences spatiales basses. En outre, les informations « Coarse » même traitées plus rapidement, sont sûrement envoyées vers des régions cérébrales moins pertinentes pour cette tâche. Si les informations de fréquence spatiale basse sont extraites plus rapidement, le codage de la forme globale doit être plus difficile à effectuer qu'avec les fréquences spatiales plus élevées.

Deuxièmement, les résultats ont montré une plus grande implication de la composante « Fine » dans la tâche que nous considérions comme étant de plus bas niveau (discrimination de forme globale). L'interaction entre le type d'amorce et le type de tâche a montré que cette tâche nécessite le traitement de l'information « Fine ». Les informations « Coarse » sont sans doute nécessaires plus tardivement, notamment par la préactivation des représentations possibles de l'objet comme dans le modèle de Bar (2003).

En conclusion, cette expérience a révélé que la gamme de fréquences spatiales critique au traitement de l'objet dépendait de la tâche et du décours temporel. Ces résultats confirment l'hypothèse « Fine to Coarse ». Que cela soit dans les premiers stades du traitement (traitement de la forme) ou avec une durée de présentation de l'amorce de 30 ms, la composante « Fine » se révèle aussi efficace qu'une image non filtrée. Plus tard, la composante « Coarse » apporterait d'autres informations, aidant aussi la catégorisation sémantique et la discrimination forme globale de la cible.

d) Comparaison d'identité et d'orientation

L'objectif de cette expérience était d'explorer encore une autre tâche dorsale. Valyear, Culham, Sharif, Westwood et Goodale (2006) ont montré que la voie dorsale était

particulièrement sensible à un changement d'orientation ; et que la voie ventrale était particulièrement sensible aux changements d'identité d'objets.

En mesurant les réponses hémodynamiques, ils ont ainsi procédé à une étude sur sept sujets hommes et femmes ayant une acuité visuelle normale. Une suite de deux images d'objets communs préhensibles étaient présentée et chacune suivie par un masque. Chaque stimulus était présenté longuement (1,25 sec). L'identité et l'orientation des objets changeaient indépendamment l'un de l'autre. Il y avait donc quatre conditions (Voir Figure 38) : pas de changement (suite de deux images représentant un même objet dans une même orientation) : « No Δ » ; changement d'orientation seulement : « Orient Δ » ; changement d'identité seulement : « Ident Δ » et changement des deux paramètres : « Both Δ ». Les résultats montraient une activation plus importante de la voie dorsale au changement d'orientation d'objets, plus précisément au niveau de la jonction occipito-pariétale (OPJ). La voie dorsale est donc sélective aux changements d'orientation d'objets et non aux changements d'identité.

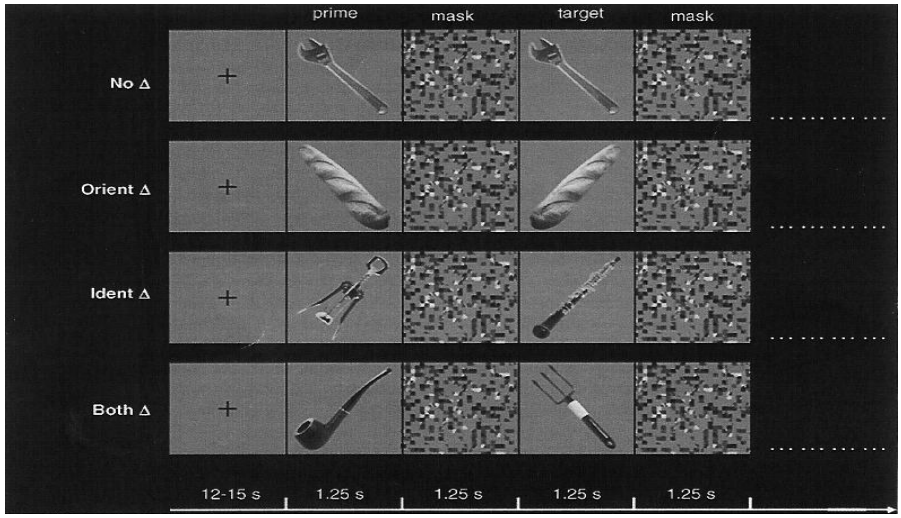


Figure 38. Les quatre conditions de l'expérience de Valyear et al. (2005)

Les résultats indiquaient également que lors d'un changement d'identité de l'objet, une zone cérébrale s'activait plus particulièrement, située dans la voie ventrale de l'hémisphère droit : il s'agit de la jonction ventrale occipito-temporale (aire vTO). Cette région est donc sensible au changement d'identité d'objets. De plus, elle est sélective à ce type de changement (i.e. cette aire ne s'active pas lorsqu'il y a seulement un changement d'orientation). La voie

ventrale est donc sélective aux changements d'identité d'objets et non aux changements d'orientation.

Dans cette étude, les auteurs n'avaient pas enregistré de réponses comportementales, les participants ont regardé passivement le dispositif. Le but de notre expérience était de reproduire à un niveau comportemental les résultats obtenus par Valyear et al. (2006) en manipulant la fréquence spatiale des objets afin de biaiser les traitements ventraux et dorsaux par les propriétés des cellules magnocellulaires et parvocellulaires. Concernant la comparaison d'identité, les résultats des expériences de catégorisation ont déjà montré le poids prépondérant des fréquences spatiales moyennes pour le traitement. Nous nous attendions à un privilège des images passe-bande. La tâche dorsale de détection d'orientation proposée par Valyear et al. (2006) devrait s'avérer plus judicieuse et permettre d'observer un avantage de la condition passe-bas, ce que n'avait pas permis la tâche de localisation qui était réalisée quelle que soit la gamme de fréquences spatiales.

Méthode

Participants

Les participants étaient 23 jeunes âgés de 17 à 25 ans (m= 19,2 et σ=1,9) avec une vue normale ou corrigée à la normale. Il s'agissait d'étudiants en psychologie de la première année de licence au doctorat.

Stimuli

Les stimuli ont été tirés de la base de données Hemera Photoshop 2.0 : 180 images d'outils en noir et blanc. Les objets étaient tous des objets que l'on pouvait saisir (fourchette, cuillère, peigne, …. Voir annexe 3.4). La taille des images était de 5,23 ° d'angle visuel. Les trois versions (normal, passe-bande, passe-bas) des images ont été construites comme précédemment.

Matériel

L’expérience a été réalisée sur un Dell Precision M6400 17 "" (Core 2 Duo P8400@2.26 GHz sous le contrôle de la carte graphique Quadro FX2700M). Les participants ont été placés à 45 cm de l'écran dans une pièce faiblement éclairée. La génération et la présentation des stimuli ont été réalisées avec Matlab 7.2 (The Mathworks) et la Psychtoolbox 3,0 (Brainard, 1997; Pelli, 1997).

Procédure

La procédure est une adaptation de celle de Valyear et al. (2006). Un bloc comprenait 60 essais. Après un point de fixation de 500 ms, une première cible était projetée, pendant 600 ms, suivie par un masque de 400 ms. Ensuite, la seconde cible était projetée pendant 600 ms, également suivie d’un masque de 400 ms. Le masque était composé des 16 parties des stimuli précédents, agencées aléatoirement. La relation entre le premier outil et la cible pouvait être de quatre sortes différentes. Dans la première condition, les deux stimuli étaient identiques. Dans la deuxième, la cible changeait d'orientation. Dans la troisième, la cible changeait d'identité et enfin dans la dernière condition, la cible changeait d'identité et d'orientation.

L ‘expérience était composée de deux blocs différents selon la tâche à effectuer. Dans le premier bloc, les participants devaient appuyer sur la touche réponse (barre espace) quand les cibles ne présentaient pas la même orientation. Dans le deuxième bloc, le participant appuyait sur la touche réponse quand la cible ne partageait pas l’identité (go pour changement). L’ordre des blocs ainsi que le type de stimuli étaient contrebalancés sur l'ensemble des participants.

Résultats

Les taux de réponses correctes atteignaient un score plafond (m=98%, L’A.N.O.V.A ne révélait aucun effet significatif sur la précision).

Une A.N.O.V.A a été réalisée sur les temps de réponse en prenant les facteurs type de filtrage et type de tâche comme variables intra-sujet. Les résultats ont montré un effet significatif de la tâche, $F(1,22)=10,9$; $p<.001$. Les participants étaient plus longs à répondre pour la tâche de catégorisation sémantique (537 ms) que pour la tâche d'orientation (467 ms). Le type de filtrage avait aussi un effet sur les temps de réponse, $F(1,44)=22,1$; $p<.001$. Les temps de réponse étaient moins longs pour les images non filtrées (477 ms) que pour les images passe-bande (506 ms), eux-mêmes moins longs que pour les images passe-bas (524 ms).

Comme le montre la Figure 39, l'effet d'interaction entre la tâche et le type de filtrage ressortait significativement, $F(1,44)=4,1$; $p<.05$. Dans la tâche de comparaison d'identité, les temps de réponse étaient moins longs pour les images non filtrées (502 ms) que pour les images passe-bande (539 ms), qui ne différaient pas de ceux observés pour les images passe-bas (570 ms). Dans la tâche de comparaison d'orientation, les temps de réponse ne variaient pas significativement selon le type de filtrage.

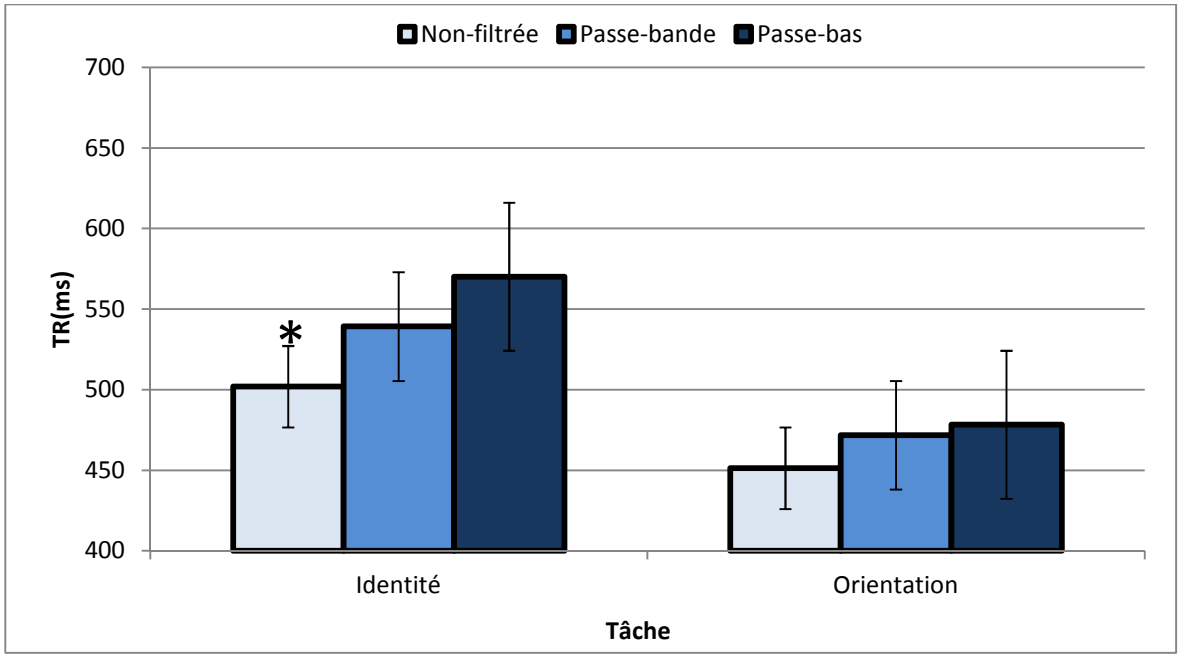


Figure 39. Temps de réponse (ms) en fonction de la tâche et du type de filtrage

Discussion

Si la tâche de discrimination d'orientation utilise la gamme de fréquence spatiale basse de façon préférentielle et la tâche d'identité les fréquences spatiales moyennes, les participants auraient dû être plus efficaces pour les images passe-bande que pour les images passe-bas dans la tâche de comparaison d'identité et inversement dans la tâche de comparaison d'orientation. Quelle que soit la tâche, les temps de réponse pour les images passe-bande et passe-bas ne différaient pas significativement. Le seul effet était une amélioration de la performance pour les images non filtrées par rapport aux images filtrées pour la tâche de comparaison d'identité, alors que les trois types d'images ne variaient pas significativement pour la tâche de comparaison d'orientation. L'effet simple de la tâche montre toutefois que la comparaison d'identité implique des traitements plus profonds que la comparaison d'orientation. L'interaction avec le type de filtrage est sensiblement la même que pour nos tâches précédentes. Il semble que les tâches dorsales puissent être réalisées quelle que soit la gamme de fréquence spatiale, alors que les tâches ventrales utilisent préférentiellement les fréquences spatiales moyennes ou élevées. L'avantage systématique de la version non filtrée sur la version passe-bande peut être lié au filtrage passe-bande relativement peu restrictif. Ici, les images sont des objets très fins : le filtrage passe-bande aurait peut être dû être adapté à des fréquences spatiales plus élevées pour le distinguer du filtre passe-bas.

Les expériences de localisation et d’amorçage masqué ont montré que le traitement des fréquences spatiales pouvait être modifié par la tâche demandée aux participants. Bien que les résultats de la tâche de localisation n'aient pas été en accord avec les hypothèses, ils ont permis de démontrer que les résultats précédents sont liés à la catégorisation, et non pas à la nature des stimuli ou des filtres. L’expérience de catégorisation rend donc bien compte du poids donné aux fréquences spatiales intermédiaires dans la reconnaissance d'objets.

E. L’objet dans la scène

Les études concernant le traitement de l’objet dans la scène ont montré l’importance des informations magnocellulaires dans la facilitation du traitement de la cible. Bar, en 2003, a notamment publié un modèle dans lequel les informations de fréquence spatiale basse servent à préactiver une gamme d’objets possiblement présents dans la scène.

Les expériences suivantes reprendront la méthode d’amorçage employée par Chaumet et al. (2009). L’objectif était d'évaluer l’influence des fréquences spatiales basses de la scène sur la reconnaissance d’objets en variant le décours temporel. La méthode consistait en la présentation d’une amorce pendant 250 ms ou 800 ms. L’amorce était une scène pouvant être présentée en trois versions différentes : scène non filtrée, scène filtrée passe-bas et scène contrôle (image déphasée). L’objet cible était ensuite présenté pendant 250 ms, superposé à la scène.

Cette étude avait montré une facilitation du traitement de l’objet par la scène, toujours congruente par rapport à une scène neutre. Cet effet facilitateur s'observait aussi lorsque la scène était filtrée pourvu que les scènes soient familières. L'effet était toutefois moins important que celui engendré par la scène non filtrée. L'objectif de cette expérience était d'adapter cette procédure à l'étude du vieillissement normal ou pathologique du système visuel en réduisant d'une part le nombre d'essais et en utilisant une procédure go/no go.

a) Amorçage d’un objet par une scène congruente

Etude 1: Effet proactif du contexte

Méthode

Participants

Les participants étaient 27 jeunes âgés de 18 à 29 ans (m= 20,5 et σ=2,21) avec une vue normale ou corrigée à la normale. Il s’agissait d’étudiants en psychologie de la première année au doctorat.

Matériel

L'expérience a été réalisée sur un Dell Optiplex GX280 sous le contrôle de la carte graphique Intel 829156. Les participants ont été placés à 60 cm de l'écran dans une pièce sombre. La génération et la présentation des stimuli ont été réalisées avec E-Prime 1.0.

Stimuli

168 photographies en noir et blanc ont été utilisées (84 objets et 84 scènes). Il y avait 84 couples scène-objet. Les objets ont été positionnés sur l'image à une place convenable en fonction des dimensions des autres objets, de l'orientation, de l'angle de vue et de la luminance. Les scènes mesuraient 16° d'angle visuel (256x256 pixels) et les objets 8° d'angle visuel (128x128 pixels). La moitié des objets était naturelle (21 animaux et 21 végétaux), l'autre moitié artificielle (21 meubles et 21 outils). Les associations étaient toutes congruentes mais le niveau de compatibilité variait. Les associations scènes intérieures/objets artificiels et scènes extérieures/ objets naturels étaient considérées comme de compatibilité élevée. Les associations scènes intérieures/objets naturels et scènes extérieures/ objets artificiels étaient considérées comme de compatibilité plus faible.

Procédure

L'expérience était composée de 84 essais. Un essai se composait d'un point de fixation de 500 ms, suivi de la scène amorce (800 ms). L'objet apparaissait ensuite dans la scène pendant 250 ms (voir Figure 40). La tâche du participant était une catégorisation sémantique en go/ no go (go pour les objets naturels). La procédure go/no go a été choisie afin de faciliter la passation des expériences par les patients. La durée de l'expérience initiale a aussi été réduite afin d'éviter aux patient de se fatiguer. Le choix d'une seule durée de présentation d'amorce (800 ms) en est une conséquence. Cette durée a été choisie car les effets étaient plus forts dans cette condition que dans la condition de présentation d'amorce à 250 ms. Le type de scène a été contrebalancé sur l'ensemble des participants.

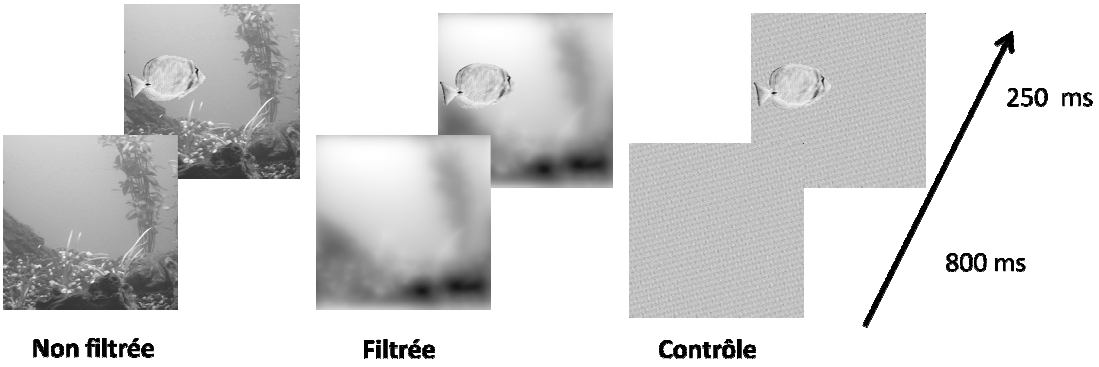


Figure 40. Les trois conditions de l'expérience

Résultats

Les taux de réponses correctes atteignaient un score plafond (m=96%); aucun effet significatif lors d'une analyse par comparaison de moyenne sur la précisions n'a été observé.

Deux A.N.O.V.As ont été effectuées sur les temps de réponse : une sur les participants (F1), l'autre sur les items (F2). La compatibilité et le type de scène ont été pris en compte en tant que variables intra-sujet. Le type de scène avait un effet significatif sur les temps de réponse, $F1(1,52)=3,4$; $p<.05$, $F2(1,166)=6,1$; $p<.01$. Les objets associés à une scène non filtrée (457 ms) étaient catégorisés moins rapidement que les objets associés à une scène contrôle (432 ms). Les objets associés à une scène filtrée (446 ms) étaient catégorisés aussi rapidement que les deux autres types de scène. Les résultats ont dévoilé aussi un effet significatif de la compatibilité des images, $F1(1,26)=78,1$; $p<.001$, $F2(1,83)=16,5$; $p<.001$. Les objets présentés avec une scène fortement compatible (421 ms) étaient catégorisés plus rapidement que les images présentées avec une scène faiblement compatible (469 ms).

L'interaction entre la compatibilité des images et le type de scène ressortait significativement, F $1(1,52)=4,2$; $p<.05$, $F2(1,166)=8,4$; $p<.01$. Dans la condition de compatibilité forte, les temps de réponse aux objets associés avec les scènes contrôles (397 ms) étaient plus courts que pour les objets associés aux scènes filtrées (427 ms) et aux scènes non filtrées (439 ms), qui ne différaient pas entre elles. Dans la condition de compatibilité faible, les objets associés avec les scènes non filtrées (475 ms) étaient catégorisés moins

rapidement que les objets associés aux scènes filtrées (465 ms) et aux scènes contrôles (465 ms. Voir Figure 41).

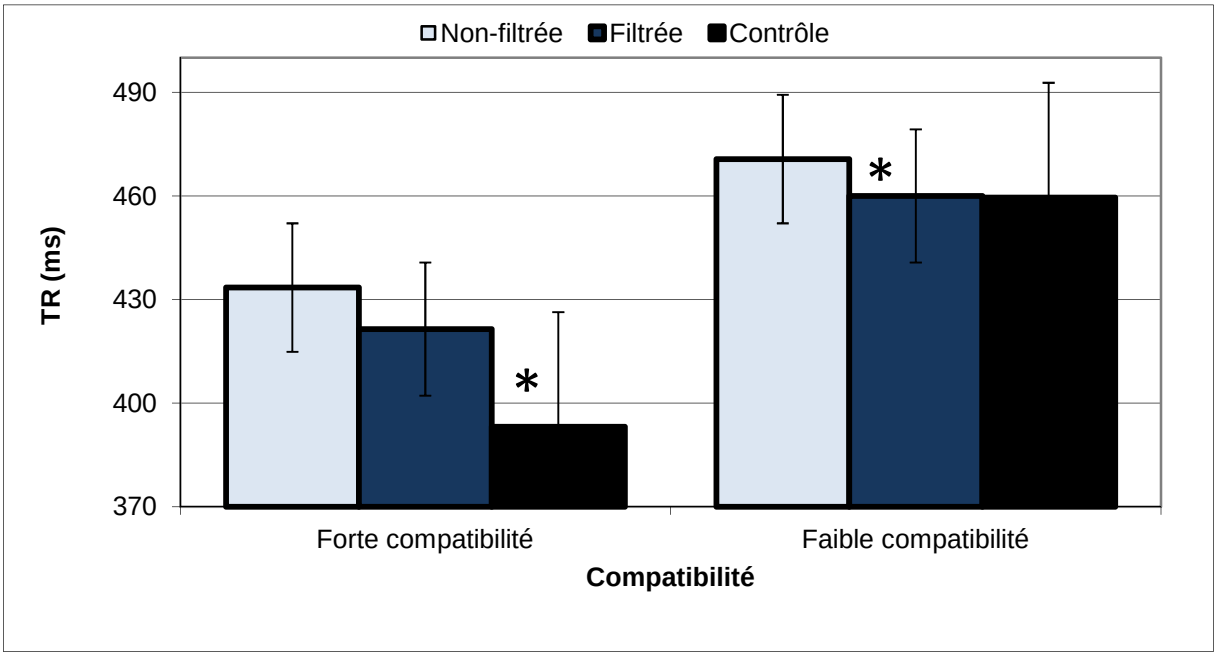


Figure 41. Temps de réponse (ms) en fonction de la compatibilité et du type de scène

Discussion

L'objectif de cette expérience était d'adapter la procédure utilisée par Chaumet et al. (2009) à l'étude du vieillissement normal et pathologique du système visuel. Une réduction de la durée de l'expérience et une simplification des modalités de réponse ont été proposées. Les résultats ont montré un effet de la scène sur le traitement de l'objet mais inverse à celui attendu. Une inhibition de la réponse à l'objet par la scène congruente, filtrée ou non, a été mise en évidence par la scène congruente. Quelle que soit la compatibilité de la scène, les temps de réponse aux objets étaient plus courts lorsque l'amorce était un fond contrôle que lorsqu'il s'agissait de la scène congruente. La scène a donc un effet inhibiteur et il s'observe aussi pour la version filtrée, seulement en compatibilité forte.

Ces résultats vont dans le sens de ceux de Friedman (1979), Bar et Ullman (1996) Hollingworth et Anderson (1999). La scène peut réduire la ségrégation figure/fond de l'objet et donc ralentir son traitement même si la procédure d'amorçage avec un objet qui "pop-out"

dans la scène facilite beaucoup la ségrégation figure/fond. Ces résultats ne reproduisent pas ceux de Chaumet et al. (2009) avec pourtant une procédure quasiment identique. L'explication pourrait provenir du changement de réponse (naturel vs. artificiel précédemment et go pour naturel ici). Il y a quand même un effet sémantique de la scène puisque l'association fortement compatible engendre des temps de réponse plus courts que les associations plus faiblement compatibles. Peut être que la réponse go pour naturel et l'inhibition de la réponse pour artificiel accentue la compétition avec les autres objets de la scène ce qui explique la facilitation de la scène contrôle.

Etude 2: effet du contexte

Son objectif est de comprendre à quel niveau du traitement a lieu l'interaction scène/objet observée dans l'expérience de Chaumet et al. (2009). En éliminant la scène "amorce" de la procédure précédente et en présentant la scène en même temps que l'objet, cette expérience permettra de comprendre si la facilitation scène/objet se produit lors du traitement parallèle des deux informations. L'absence de facilitation du traitement de l'objet par la scène dans cette expérience laisserait postuler qu'un processus top-down (un traitement élevé de la scène viendrait aider le traitement de l'objet) serait à l'origine de cet effet. Bien que n'ayant, au premier abord, aucun lien direct avec la problématique des systèmes parvocellulaire et magnocellulaire, cette expérience permet d'approfondir les résultats obtenus par Chaumet et al. (2009) et ainsi en savoir plus sur l'interaction entre information magnocellulaire et traitement de l'objet dans la scène. La procédure reprendra donc le même nombre d'essai, ainsi que la modalité de réponse à choix forcé (artificiel/naturel).

Méthode

Participants

Les participants étaient 25 jeunes âgés de 17 à 24 ans (m= 18,5 et σ=1,95) avec une vue normale ou corrigée à la normale. Il s'agissait d'étudiants en psychologie de la première année au doctorat

Matériel

L'expérience a été réalisée sur un Dell Optiplex GX280 sous le contrôle de la carte graphique Intel 829156. Les participants ont été placés à 60 cm de l'écran dans une pièce sombre. La génération et la présentation des stimuli ont été réalisées avec E-Prime 1.0.

Stimuli

240 photographies en noir et blanc ont été utilisées (120 objets et 120 scènes). Il y avait 120 couples scène-objet (Voir annexe 3.3). Les objets ont été positionnés sur l'image à une place convenable en fonction des dimensions des autres objets, de l'orientation, de l'angle de vue et de la luminance. Les scènes faisaient 16° d'angle visuel (256x256 pixels). Les objets faisaient quant à eux 8° d'angle visuel (128x128 pixels). La moitié des objets était naturelle (60 animaux et 60 végétaux), l'autre moitié était artificielle (60 meubles et 60 outils). Le niveau de compatibilité variait. Les associations scènes intérieures/objets artificiels et scènes extérieures/ objets naturels étaient considérées comme de compatibilité élevée. Les associations scènes intérieures/objets naturels et scènes extérieures/ objets artificiels étaient considérées comme de compatibilité faible.

Procédure

L'expérience était composée de 120 essais. Un essai était constitué d'un point de fixation de 500 ms, suivi de l'objet apparaissant dans une scène pendant 250 ms. La tâche du participant était une catégorisation sémantique (naturel/artificiel). Le type de présentation des scènes a été contrebalancé.

Résultats

Analyse de la précision

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur la précision en tenant compte de la compatibilité et du type de scène en tant que variables intra-sujet. Les résultats ont montré un effet significatif de la compatibilité, $F(1,24)=8,2$; $p<.01$. Les cibles associées à des scènes fortement compatibles (93%) étaient catégorisées plus précisément que les cibles associées à des scènes faiblement compatibles (90%). Un effet du type de scène ressortait significativement, $F(2,48)=12,1$; $p<.001$. Les cibles associées à des scènes contrôles (88%) étaient catégorisées moins précisément que les cibles associées à des scènes non filtrées (92%) ou filtrées (93%)

L'interaction entre la compatibilité et le type de scène n'était pas significatif (Voir Figure 42).

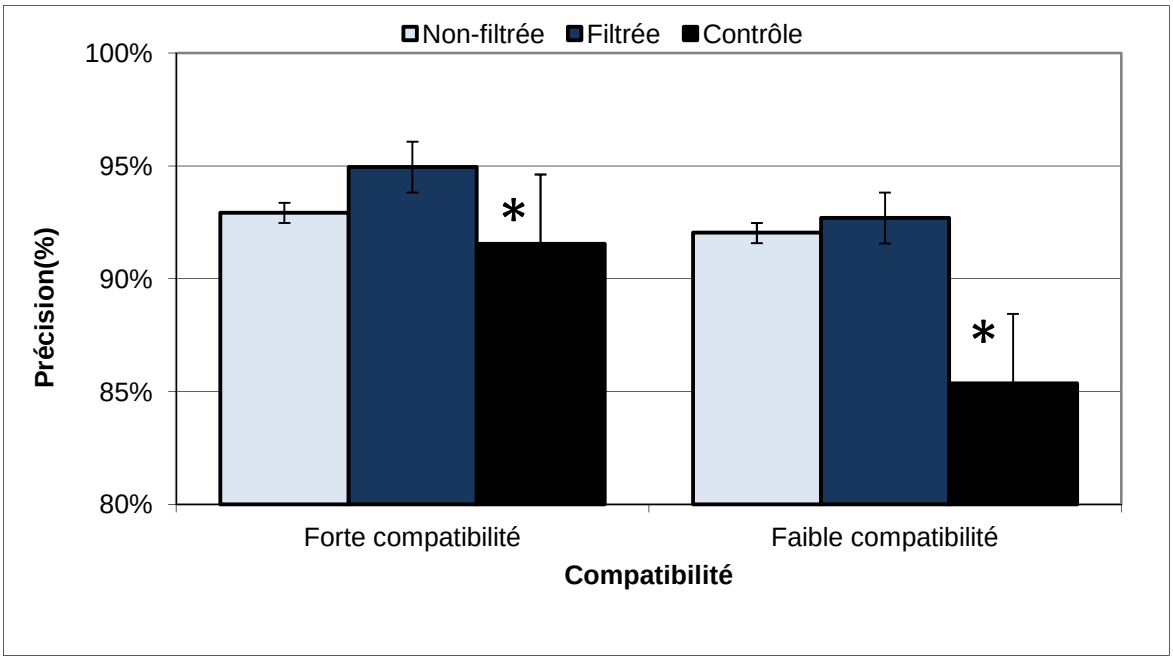


Figure 42. Précision (%) en fonction de la comptabilité et du type de scène

Analyse des temps de réponse

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur les temps de réponse en prenant en compte la compatibilité et le type de scène comme variables intra-sujet. Les résultats ont montré un effet significatif de la compatibilité, $F(1,24)=24,7$; $p<.001$. Les cibles associées à des scènes fortement compatibles (646 ms) étaient catégorisées plus rapidement que les cibles associées

à des scènes faiblement compatibles (678 ms). Un effet du type de scène ressortait significativement, $F(2,48)=11,1$; $p<.001$. Les cibles associées à de scènes contrôle (683 ms) étaient catégorisées moins rapidement que les cibles associées à des scènes non filtrées (650 ms) ou filtrées (653 ms. Voir figure 43).

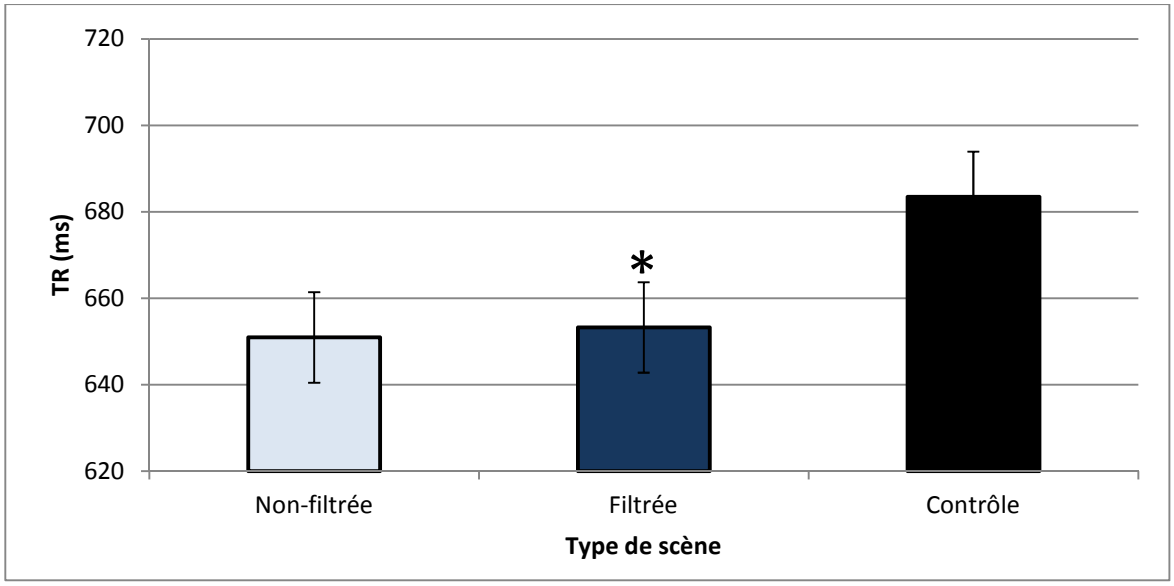


Figure 43. Temps de réponse (ms) en fonction du type de scène

L'interaction entre la congruence et le type de scène n'était pas significative, $F(2,48)=0,4$; n.s.

Discussion

L'objectif de cette étude était de comprendre si la présentation de la scène en amorce mise en place par Chaumet et al. (2009) entraînait une facilitation du traitement de l'objet par rapport à une présentation conjointe de l'objet et de la scène, comme dans l'expérience de Davenport et Potter (1994). Les résultats de Chaumet et al. (2009) n'avaient pas montré d'effet de la durée de la présentation de l'amorce, ce qui favorisait les interprétations en terme d'interactions précoces entre le traitement de la scène et celui de l'objet. On pouvait donc faire l'hypothèse d'une facilitation identique du traitement de l'objet par la scène lorsque présentée conjointement. Les résultats ont confirmé cette hypothèse. La scène non filtrée facilite le traitement de l'objet quelle que soit la compatibilité. On note en outre une influence du

facteur compatibilité. Les scènes qui présente une forte compatibilité avec l'objet cible engendrent des temps de catégorisation plus courts que les paires pour lesquelles l'association est moins compatible. Ces deux résultats montrent donc que les influences facilitatrices du contenu sémantique de la scène sur le traitement de l'objet sont très précoces. Enfin l'effet de la scène filtrée est identique à l'effet de la scène non filtrée. Dans son expérience, Chaumet et al. (2009) avait observé des effets d'amorçage plus faible pour les scènes filtrées que pour les scènes non filtrées sûrement car la forme globale de la scène permet de faciliter le traitement de l'objet précocement. Quand plus de temps est laissé par les conditions expérimentales pour traiter la scène plus en détail, elle devient plus efficace, comme c'est le cas pour Chaumet et al. (2009).

b) Amorçage d'une figure silhouette par la scène

Cette étude est issue d'une collaboration avec Mary Peterson, de l'université d'Arizona et avait pour but la compréhension, comme les expériences précédentes, des interactions scène/objet et de comprendre où se situent leur influence sur les traitements ségrégation figure/fond.

Une des étapes essentielles du traitement visuel est la ségrégation figure/fond, la séparation entre la cible et le reste des stimuli. Cette étape est critique dans les figures ambigües dont la figure comme le fond proposent un objet ayant une signification. La littérature sur le sujet est vaste et montre que la figure et le fond entrent en compétition dans le système visuel afin de déterminer le stimulus significatif. Cette compétition peut être influencée par des processus mnésiques (Peterson & Gibson, 1994) attentionnels (Kimchi & Peterson, 2008) et contextuels. Ces derniers seront la priorité de notre étude conjointe. Les études permettent seulement de montrer les effets du

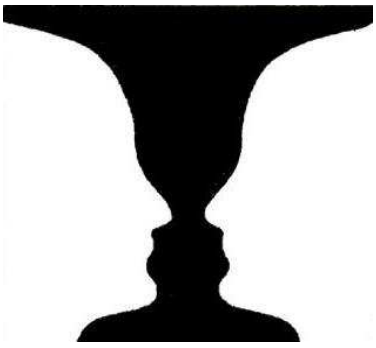


Figure 44. Le vase de Rubin. La surface noire représente un vase alors que la surface blanche représente deux visages

contexte à un niveau élémentaire (par exemple, l'effet de l'orientation d'éléments adjacents sur le traitement du contour des stimuli. Dakin & Baruch, 2009). L'aspect sémantique du contexte n'est pas pris en compte. L'objectif de cette expérience est de combler cette lacune en déterminant si les propriétés sémantiques du contexte influence le traitement de la ségrégation figure/fond. Cette expérience ne rentre pas directement dans la dissociation entre système parvocellulaire et magnocellulaire mais permet d'éclaircir la problématique de l'étude du traitement scène/objet, et indirectement de la facilitation, magnocellulaire qu'on y avait mis en évidence.

Méthode

Participants

Les participants étaient 30 jeunes âgés de 18 à 22 ans (m= 19,2 et σ=1,2) avec une vue normale ou corrigée à la normale. Il s'agissait d'étudiants en psychologie de la première année au doctorat.

Matériel

L'expérience a été réalisée sur un Dell Optiplex GX280 sous le contrôle de la carte graphique Intel 829156. Les participants ont été placés à 60 cm de l'écran dans une pièce sombre. La génération et la présentation des stimuli ont été réalisées avec E-Prime 1.0.

Stimuli

40 photographies en noir et blanc de 256 par 256 pixels ont été utilisées en tant que scènes (20 scènes d'intérieur et 20 scènes d'extérieur). Les stimuli silhouette ont été conçus par l'équipe de Mary Peterson. Trois scènes supplémentaires ont été ajoutées à notre base de données. Les paires composées d'une scène et d'un stimulus entretenaient une relation congruente ou incongruente sémantiquement. Une paire congruente était composée d'une scène d'extérieur associée à un objet naturel ou d'une scène

Figure 45. Exemple de stimuli silhouette

d'intérieur associée à un objet artificiel. Une paire incongruente était composée d'une scène d'extérieur associée à un objet artificiel ou d'une scène d'intérieur associée à un objet naturel. Les stimuli silhouette étaient des figures noires et blanches de taille variable confectionnées par l'équipe de Mary Peterson (Voir Figure 45. Voir annexe 3.5). Ces stimuli ont été préférés aux figures ambigües. Ces dernières sont trop rares pour en obtenir un nombre suffisant.

Procédure

L'expérience était composée de deux blocs de 60 essais. Un essai se composait d'un point de fixation de 500 ms, suivi de la scène amorce (250 ms ou 800 ms). L'objet apparaissait ensuite seul pendant 250 ms. La tâche du participant était une ségrégation figure/fond (droite/gauche) pour un bloc une catégorisation (naturel/artificiel) pour l'autre.

Résultats

Analyse de la tâche de localisation

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur la précision et les temps de réponse en prenant en compte le type de scène et la durée de présentation de la scène comme variables intra-sujet. Ni le type de scène, $F(1,58)<1$ (pour les deux VD), ni la durée de présentation, $F(1,29)<1$ (pour les deux VD), n'avait d'effet significatif. (Voir figure 46 pour la précision).

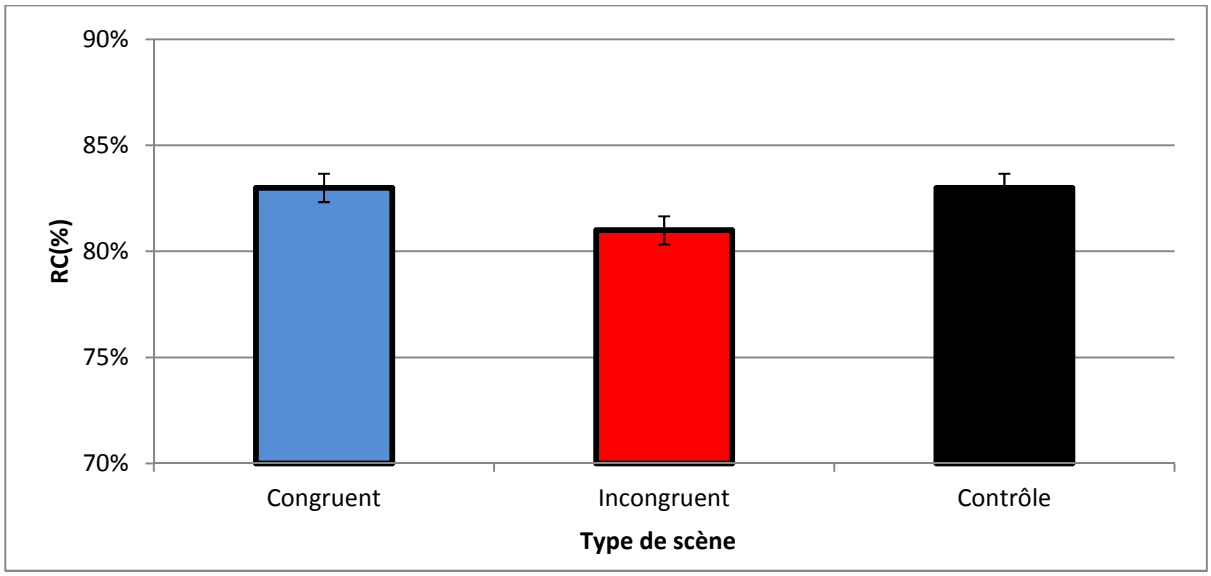


Figure 46. Précision (%) en fonction du type de scène

L'effet d'interaction n'est pas ressorti significativement sur la précision, F(1,58)<1, et sur les temps de réponse, F(1,58)<1.

Analyse de la tâche de catégorisation

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur la précision et les temps de réponse en prenant en compte le type de scène et la durée de présentation comme variables intra-sujet. La durée de présentation des scènes avait un effet significatif sur la précision, $F(1,29)=4,3$; $p<.05$ et les temps de réponse, $F(1,29)=8,6$; $p<.01$. Les figures étaient plus précisément et moins rapidement catégorisées pour une durée de présentation de 250 ms (62% ; 807 ms) que pour une durée de présentation de 800 ms (58% ; 770 ms). L'analyse révélait aussi un effet du type de scène sur la précision, F(1,58)=5,3 ; $p<.01$ mais pas sur les temps de réponse, F(1,58)<1. Les cibles associées à une scène incongruente étaient catégorisées plus difficilement (57%) que les cibles associées à des scènes congruentes (61%) et contrôles (62%. Voir Figure 47).

L'effet d'interaction n'est pas ressorti significativement sur la précision, F(1,58)=1,6 ; *n.s*, et sur les temps de réponse, F(1,58)<1.

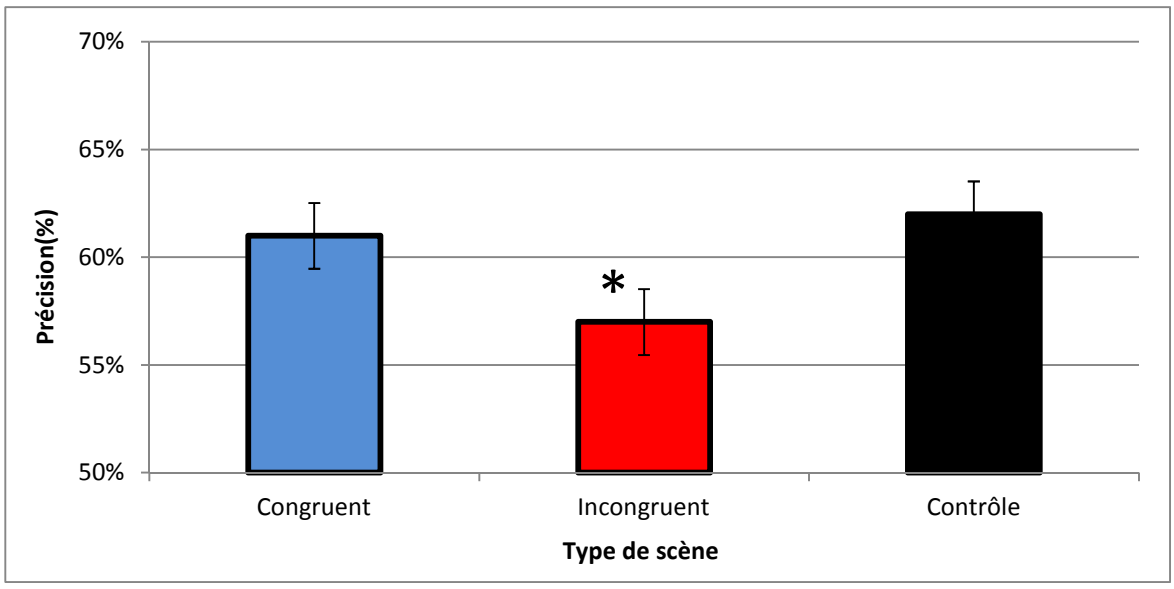


Figure 47. Précision (%) en fonction du type de scène

Discussion

L'objectif de cette étude était d'étudier l'influence de la scène sur l'étape de ségrégation figure/fond. Les résultats ont montré un effet inhibiteur de la scène incongruente sur la catégorisation des stimuli silhouette mais pas sur la localisation. Ces résultats suggèrent que l'influence des aspects sémantiques de la scène sur l'objet apparaîtrait tardivement après l'étape de ségrégation figure/fond. L'expérience de Yen & Finkel (1998) avait bien montré un effet de contexte mais celui-ci concernait des stimuli simples (lignes courbes) s'influençant entre eux. Notre étude souffre cependant de nombreux problèmes méthodologiques. Premièrement, la base sur laquelle le facteur congruence a été fondé ne convient pas aux stimuli silhouette à disposition. Le stimulus silhouette "Femme", par exemple, n'est pas plus incongruent dans une scène intérieure que dans une scène extérieure. Une étude pilote sera nécessaire dans les prochaines expériences afin de déterminer un niveau de congruence/incongruence entre scène et cible.

Deuxièmement, le nombre de cibles est extrêmement faible (20). Les cibles ont donc été vues plusieurs fois par le même participant (3 fois par bloc). La répétition des cibles a surement influencé les résultats. La randomisation de la présentation des stimuli dans un bloc ne permet pas d'analyser les effets d'ordre. Afin de pouvoir, au moins, contrôler les effets d'ordre, une présentation en bloc des modalités des différents facteurs serait appropriée.

Enfin, les stimuli ont une disparité élevée. En analysant la précision de chaque stimulus, il est observé que celle-ci diffère énormément selon les stimuli (Voir annexe 3) et des analyses de corrélation montrent que les performances de localisation ne sont pas liées aux performances de catégorisation. Cinq items ont donc été supprimés des analyses. Cela ne changeait pas radicalement les effets. Il est donc nécessaire de mettre en place une procédure exemptée de tels biais.[7]

[7] Une expérience a été mise en place récemment afin d'éviter de tel biais. Les premiers résultats confirment ceux de cette première expérience. Des analyses plus poussées sont cependant nécessaires. Elle n'est donc pas exposée dans cette thèse.

3. Conclusion

A. Dissociation parvocellulaire/magnocellulaire

Un des objectifs de cette thèse était de dissocier comportementalement les traitements parvocellulaires et magnocellulaires dans des procédures adaptées aux populations âgées et pathologiques. En se basant sur les spécificités des cellules magnocellulaires et parvocellulaires, différentes procédures ont été mises en place afin d'étudier les deux types de traitement à plus ou moins haut niveau. Les résultats ont démontré la pertinence de la plupart de ces expériences. De plus, celles-ci ont fait ressortir plusieurs résultats apportant des éléments à la compréhension du système visuel normal.

La première expérience reprenait le paradigme de Pokorny et Smith (1997). La procédure a été ajustée aux populations âgées et pathologiques et réplique les résultats observés dans les expériences reprenant le même paradigme. Cette procédure remplit donc un des objectifs de cette thèse en dissociant les deux types de traitement à bas niveau. Elle pourra donc aussi être utilisée dans l'étude du vieillissement pathologique car elle permettra, grâce à ces deux conditions stimulant préférentiellement l'une des deux voies, d'étudier l'intégrité de celles-ci au niveau du codage visuel.

Les expériences sur les traitements de haut niveau ont elles aussi permis de rendre compte des caractéristiques des systèmes magnocellulaire et parvocellulaire. L'expérience de présentation simple a montré la plus grande aptitude des participants à catégoriser des objets grâce aux fréquences spatiales intermédiaires plutôt qu'aux fréquences spatiales basses. Les expériences sur l'excentricité et le mouvement ont, quant à elles, permis de montrer que cet effet était sensible à la manipulation de variables annexes. L'avantage des fréquences spatiales intermédiaires sur les fréquences spatiales basses disparaît lorsque les stimuli étaient biaisés pour être traités par le système magnocellulaire. Ces effets sont compatibles avec les modifications structurelles du système visuel telles que la diminution de cellules

parvocellulaires en excentricité et la sensibilité aux fréquences temporelles plus élevée des cellules magnocellulaires. Ces expériences ont des procédures simples qui permettent de dissocier traitements parvocellulaires et magnocellulaires, tout comme l'expérience psychophysique.

Des tentatives d'opérationnalisation de la dissociation parvocellulaire/magnocellulaire par la manipulation de la tâche ont été effectuées. Les performances lors de la présentation d'images filtrées dans des tâches "ventrales" (catégorisation, discrimination d'identité) ont été comparées avec des performances à des tâches "dorsales" (localisation, discrimination d'orientation). La tâche de localisation et la tâche de comparaison d'orientation sont réalisées indépendamment de la gamme de fréquence spatiale. Elles sont donc moins intéressante pour étudier la dissociation des traitements parvocellulaires et magnocellulaires. Une réduction des temps de présentation des stimuli de l'expérience de Valyear et al. (2005) serait nécessaire, ou des tâches impliquant plus fortement la voie dorsale (nécessitant une action ou sa planification par exemple).

B. Système visuel normal

Outre les résultats concernant la dissociation parvocellulaire/magnocellulaire, les expériences ont permis de répondre à de nombreuses problématiques du système visuel. Premièrement, les expériences d'amorçage ont apporté de nouvelles données concernant la problématique Coarse to Fine vs. Fine to Coarse. Dans ces paradigmes d'amorçage, il a été montré que les informations Fine (fréquence spatiale élevée) amorçaient la cible de manière plus précoce et pour des tâches de moins haut niveau que les informations Coarse (fréquence spatiale basse). Ces résultats corroborent l'hypothèse Fine to Coarse (Biederman, 1987). Ils nous renseignent aussi sur l'intégration des informations magnocellulaires et parvocellulaires. Les cellules magnocellulaires sont sans doute plus rapides à relayer l'information. Cependant,

cet avantage se perd vite si les informations ne sont pas les plus pertinentes pour la réalisation de la tâche. Cette expérience confirme que les informations fréquences spatiales intermédiaires, bien qu'extraites plus lentement au départ, sont peut être intégrées plus rapidement que prévu au cours du traitement.

Les expériences sur la catégorisation ont toutefois confirmé la prédominance de l'utilisation des fréquences spatiales intermédiaires dans la reconnaissance d'objets. Ce résultat est en accord avec les modèles de la reconnaissance d'objets, qu'ils soient cognitifs et/ou neuropsychologiques. Il est aussi en accord avec les études sur le traitement des fréquences spatiales dans la reconnaissance de visages qui mettent en avant l'importance des fréquences spatiales intermédiaires.

C. L'objet dans la scène

L'étude de l'influence de la scène sur l'objet a révélé l'influence précoce des aspects sémantiques d'une scène. En effet, une présentation rapide et conjointe de la scène et de la cible permet de faire ressortir un effet de la compatibilité. Les scènes fortement compatibles avec l'objet vont faciliter le traitement de celui-ci quel la scène soit non filtrée ou filtrée. Cette facilitation est donc médiatisée par les fréquences spatiales basses, la scène non filtrée ne facilitant pas plus le traitement que la scène filtrée passe-bas. L'expérience sur les stimuli silhouette a permis de préciser le niveau auquel avait lieu cette influence. En effet, les résultats ont montré que le contenu sémantique avait une influence sur la catégorisation de la scène mais pas sur la ségrégation de la figure par rapport au fond. Ces résultats suggèrent que le contenu sémantique de la scène n'aurait pas d'influence sur des processus de bas niveau tels que la ségrégation figure/fond.

Pour conclure, les expériences mises en place ont montré leur capacité à différencier traitements parvocellulaires et magnocellulaires. Malgré les contrôles et les calibrages qu'elles nécessitent, ces expérimentations ont pu être adaptées à l’étude du vieillissement normal et pathologique.

II. Vieillissement normal

Comme exposé précédemment, l'un des objectifs de cette thèse était d'étudier l'évolution du système visuel dans le vieillissement normal. Les procédures mises en place dans la partie précédente vont permettre de tester plus particulièrement l'intégrité des systèmes magnocellulaire et parvocellulaire avec l'avancée en âge. De la même façon qu'au chapitre sur le fonctionnement normal, les expériences seront présentées du plus bas niveau au plus haut niveau de traitement.

Les théories concernant le vieillissement du système visuel sont nombreuses. Les expériences concernant le traitement de la fréquence spatiale (Owsley et al., 1983; Zanlonghi, Charlier & Chevalier, 1992; Corbe et al. 1993; McKendrick et al., 2007) et le contraste (Eliott & Werner, 2010) convergent vers l'hypothèse d'un déficit parvocellulaire massif avec l'avancée en âge. Le système magnocellulaire est plus rarement mis en défaut, les études précédentes montrent quand même une modification du traitement des informations magnocellulaires (McKendrick et al., 2007, Eliott & Werner, 2010). Cette modification apparaît plus tardivement que le déficit parvocellulaire (Corbe & al., 1993).

1. Les traitements de bas niveau : expérience psychophysique

Le paradigme de Pokorny et Smith a été utilisé dans l'étude du vieillissement normal (McKendrick & al., 2007; Eliott & Werner, 2010). McKendrick et al. (2007) l'ont cependant adapté à la manière de Leonova et al. (2003) en utilisant les fréquences spatiales plus que le contraste. Elliot et Werner (2010) ont montré une modification des résultats aux conditions magnocellulaires et parvocellulaires avec l'avancée en âge mais, avant tout, une augmentation des seuils dans la condition parvocellulaire. Notre expérience explore le tout début du vieillissement, l'âge des participants est plus jeune (m=75 ans vs. m=53 ans). Un déficit

parvocellulaire est donc attendu. Un déficit magnocellulaire, s'il est observé, devrait être moins important que le déficit parvocellulaire.

Méthode

Participants

Dix adultes avancés en âge de 54 à 65 ans ont été recrutés (m=58,4 et σ=3,57). Les participants avaient une vision normale ou corrigée à la normale. Les participants ont été exclus s'ils avaient des antécédents d'accident vasculaire cérébral, de traumatisme crânien, des troubles neurologiques, maladies cardio-vasculaires, l'alcoolisme chronique, toxicomanie, troubles psychiatriques ou troubles cognitifs (MMSE : scores en dessous de 26). Tous les patients avec des troubles visuels (cataracte, glaucome, ...) ont été exclus de l'étude. Les 12 participants jeunes adultes de l'expérience psychophysique ont été utilisés en tant que groupe contrôle.

Matériel, stimuli et procédure

Le matériel, les stimuli et la procédure sont les mêmes que ceux utilisés dans l'expérience chez le groupe jeunes (voir page 74).

Résultats

Une A.N.O.V.A a été réalisée sur les seuils de détection en prenant la condition et le contraste des piédestaux comme variables intra-sujet et le groupe en variable inter-sujets. Les résultats ont révélé un effet du groupe, $F(1,20)=90,6$; $p<.001$. Les participants âgés avaient des seuils (3,3%) plus élevés que les participants jeunes (1,4%). L'effet de la condition était significatif, $F(1,20)=398,5$; $p<.001$. Les participants avaient des seuils plus faibles en condition continu (1,2%) qu'en condition flashé (3,1%). Le contraste des distracteurs avait aussi un effet significatif sur les seuils, $F(1,40)=126,8$; $p<.001$. Les seuils étaient plus faibles

pour le contraste le plus faible (1,5%) que pour le contraste intermédiaire (2,3%), eux-mêmes plus faibles que pour le contraste le plus élevé (2,7%).

Les analyses indiquaient une interaction significative entre le groupe et la condition, $F(1,20)=115,2$; $p<.001$. Les contrastes ont montré que le groupe de participants âgés avait des seuils plus élevés dans la condition flashé (jeunes : 1,9% ; âgés : 4,5%) mais pas dans la condition continu (jeunes : 1% ; âgés : 1,4%). Une interaction significative entre le contraste et le groupe ressortait également de l'analyse, $F(1,40)=30,8$; $p<.001$. Chez le groupe de jeunes adultes, le test de Bonferonni a montré que les participants avaient un seuil inférieur pour le contraste le plus faible (1,1%) que pour celui du contraste intermédiaire (1,5%) et pour celui du plus élevé (1,7%). Chez le groupe de participants âgés, les seuils étaient plus bas pour le contraste le plus faible (2%) que ceux pour le contraste intermédiaire (3,3%), eux-mêmes inférieurs que pour le contraste le plus élevé (3,6%). L'interaction entre la condition et le contraste était significative, $F(1,40)=19,3$; $p<.001$. Dans la condition continu, seuls les seuils pour le contraste le plus faible (0,9%) et le plus élevé (1,4%) différaient significativement alors que dans la condition flashé, les seuils pour le contraste le plus faible (2,2%) différaient significativement de ceux pour le contraste intermédiaire (3,3%) et pour le plus élevé (3,7%).

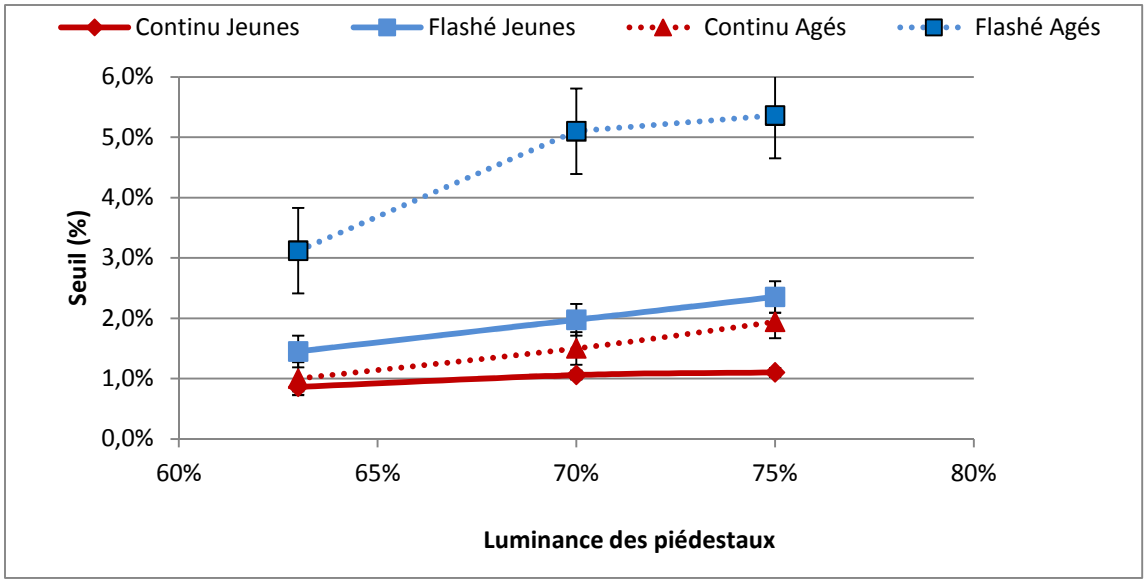


Figure 48. Seuils en fonction du groupe, du contraste des piédestaux et de la condition

L’interaction entre le groupe, la condition et le contraste des piédestaux était significative, $F(1,40)=5,3$; $p<.01$. Chez les groupe de jeunes adultes, les seuils étaient identiques en condition continu (63% : 0,8% ; 70% :1% ; 73% :1,1%) alors qu’en condition flashé, les seuils pour le contraste le plus faible (1,4%) et pour le plus élevé (2,3%) différaient significativement. Chez le groupe de personnes âgées, les seuils pour le contraste le plus faible (1%) et le plus élevé (1,9%) différaient significativement en condition continu. En condition flashé, les seuils pour le contraste le plus faible (3,1%) différaient significativement des seuils pour le contraste intermédiaire (5,1%) et le plus élevé (5,3%), qui ne différaient pas entre eux. En résumé, comme le montre la figure 48, l'augmentation du contraste des piédestaux est plus importante pour les âgés que pour les jeunes, quelle que soit la condition.

Discussion

L’objectif de cette expérience était d‘étudier le vieillissement des systèmes parvocellulaire et magnocellulaire à un stade précoce. L’adaptation de l’expérience de Pokorny et Smith (1997) mise en place précédemment avait été réalisée pour cela.

Les résultats ont montré une augmentation importante des seuils dans la condition flashé (mettant en jeu plus particulièrement le système parvocellulaire) avec l'avancée en âge. Les résultats montrent aussi une augmentation de la pente de la condition continu (système magnocellulaire) chez les personnes âgées comparées aux jeunes adultes. Ce résultat est en accord avec ceux trouvés par Elliott & Werner (2010). Selon les auteurs, ce déficit peut avoir deux origines. La première concerne les restructurations de la rétine (Curcio & al., 2003). La diminution de cellules ganglionnaires (Salvi et al., 2006) au niveau de la fovéa pourrait être responsable du déficit observé. Une autre explication est liée aux capacités temporelles des cellules rétiniennes qui se détérioreraient avec l’âge (Wright & Drasdo, 1985 ; Elliott & Werner, 1990). Les personnes âgées sont ainsi moins aptes à traiter des stimuli présentés aussi

brièvement. Cependant, ces interprétations n'expliquent pas pourquoi le système parvocellulaire est plus atteint que le système magnocellulaire, les résultats correspondants n'ayant pas exploré la dissociation des deux systèmes concernant la rétine et les capacités spatio-temporelles des personnes âgées.

Cette expérience révèle un déficit parvocellulaire quelle que soit le contraste des piédestaux, en accord avec l'hypothèse d'un déficit parvocellulaire dès les étapes les plus précoces du traitement. Les résultats concernant la condition continu suggèrent, quant à eux, l'apparition d'un déficit magnocellulaire. L'âge peu avancé du groupe de participants de cette expérience pourrait expliquer que ce déficit ne soit pas plus massif comme il peut être observé dans certaines expériences (Tregear & al., 2006; McKendrick & al., 2007). Un déficit parvocellulaire serait alors d'abord observé avec l'avancée en âge, suivi d'un déficit magnocellulaire plus tardif et/ou moins important. Ce résultat corrobore le travail de Corbe et al. (2003) qui, avec les fréquences spatiales, observaient un déficit parvocellulaire dès 40 ans alors que le système magnocellulaire n'est que modérément altéré au cours du vieillissement.

2. Les traitements de stimuli complexes

A. La différenciation par la fréquence spatiale

Dans la première partie de cette thèse, différentes expériences, dont la tâche exigeait un traitement profond de la cible, ont été présentées. Bien qu'apportant des éléments à certaines problématiques, leurs procédures d'amorçage dans la partie précédente étaient moins adaptées à l'étude du vieillissement pathologique. Elles ne permettaient pas de dissocier traitements parvocellulaires et magnocellulaires. L'expérience de présentation simple a alors été préférée pour étudier l'évolution du traitement des fréquences spatiales dans le vieillissement.

La littérature sur le vieillissement normal montre une diminution de la sensibilité aux fréquences spatiales élevées, puis des fréquences spatiales moyennes dans le vieillissement

normal (Owsley, Sekuler & Siemsen, 1983 ; Zanlonghi, Charlier et Chevalier, 1992 ; Corbe et al. 1993). Cependant, les études utilisent des réseaux sinusoïdaux comme stimuli, c'est à dire des primitives élémentaires. Notre but était d'évaluer ce déficit sur les fréquences spatiales élevées pour le traitement d'images complexes dans la catégorisation. Il est possible qu'avec des stimuli complexes, le déficit initial pour les fréquences spatiales élevées soit compensé par des interactions de haut niveau. Dans le cas contraire, les performances de précision et de temps de réponse devraient être dégradées spécifiquement pour les images passe-bande et non-filtrée. Concernant les fréquences spatiales basses, la littérature ne montre pas de déficit dans une population aussi peu âgée que celle recrutée dans ces expériences. Cependant, les résultats de l'expérience précédente laissent supposer un déficit qui pourrait entrainer ici une détérioration des images passe-bas, mais moins prononcé que celle des images passe-bande.

Méthode

Participants

23 adultes avancés en âge de 47 à 59 ans ont été recrutés (m=53,4 et σ=3,5). Les participants avaient une vue normale ou corrigée à la normale. Les critères d'exclusion étaient les mêmes que pour l'expérience psychophysique. Les 30 participants jeunes adultes de l'expérience de présentation simple des objets ont été utilisés en tant que groupe contrôle.

Matériel, stimuli et procédure

Le matériel, les stimuli et la procédure étaient les mêmes que ceux de l'expérience de présentation simple des objets (voir page 79).

Résultats

Analyse de la précision

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur la précision en prenant le type de filtrage comme variable intra-sujet et le groupe comme variable inter-sujets. Un effet du groupe a été

observé, $F(1,51)=20,2$; $p<.001$. Les participants âgés (84%) étaient moins précis que les jeunes adultes (90%). Il y avait aussi un effet du type de filtrage, $F(1,102)=124,6$; $p<.001$. Les images non-filtrées (95%) étaient catégorisées plus efficacement que les images passe-bande (86%), elles-mêmes catégorisées plus facilement que les images passe-bas (79%).

Un effet d'interaction significatif a été observé, $F(1,102)=7,65$; $p<.001$. Chez les jeunes adultes, les images non-filtrées (95%) étaient catégorisées plus efficacement que les images passe-bande (89%), elles-mêmes catégorisées plus facilement que les images passe-bas (75%). Chez le groupe de personnes âgées, les participants catégorisaient les images non-filtrées (92%) plus précisément que les images filtrées, quel que soit le type de filtrage (passe-bande : 76%, passe-bas : 72%). Les comparaisons par contraste ont, en outre, montré que le groupe de personnes âgées avait des performances plus faibles que les jeunes quel que soit le type de filtrage. Comme le montre l'interaction présentée dans la figure 49, la chute de la performance avec l'âge est plus prononcée dans la condition passe-bande.

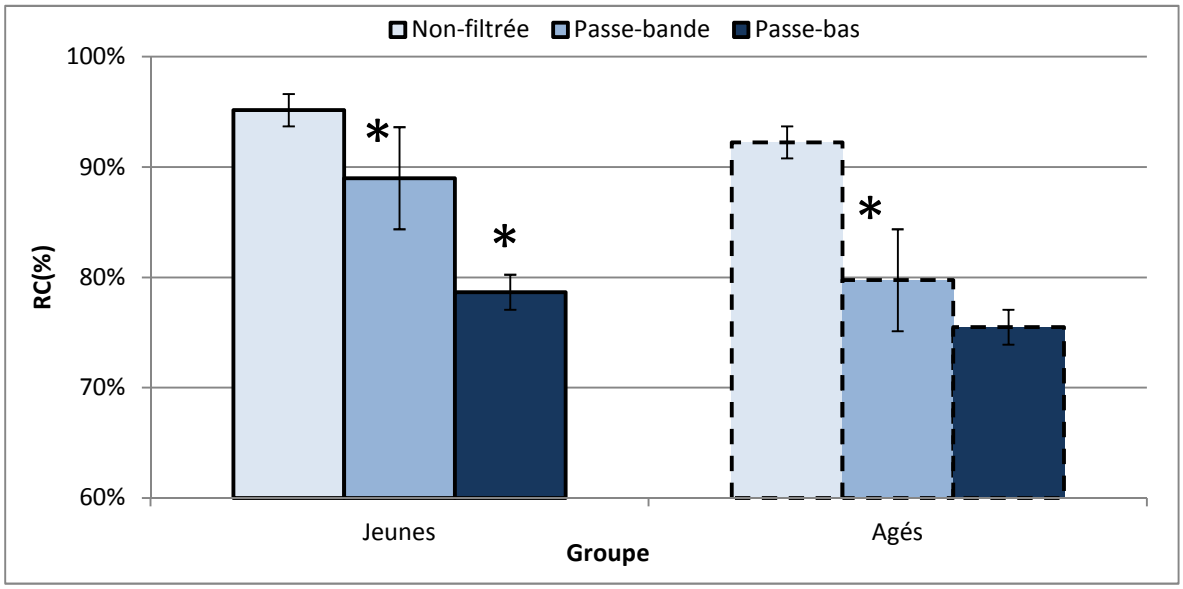


Figure 49. Précision (%) en fonction du groupe et du type de filtrage

Analyse des temps de réponse

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur les temps de réponse en prenant le type de filtrage comme variable intra-sujet et le groupe comme variable inter-sujets. Le type de filtrage avait

une influence sur les temps de réponse, $F(2,51)=35,6$; $p<.001$. Les images non filtrées (629 ms) étaient catégorisées plus rapidement que les images filtrées (passe-bande :689 ms; passe-bas : 712 ms). Le temps de réponse ne variaient pas significativement en fonction du groupe, $F(1,51)=1,6$; n.s.

Comme le montre la Figure 50, l'interaction entre le groupe et le type de filtrage était significative, $F(1,102)= 3,18$; $p<.05$. Chez le groupe de personnes âgées, les images non filtrées (653 ms) étaient catégorisées plus rapidement que les images filtrées (passe-bande :726 ms; passe-bas : 721 ms). Pour le groupe de jeunes adultes, les images non filtrées (605 ms) étaient catégorisées plus efficacement que les images passe-bande (655 ms), elles-mêmes catégorisées plus facilement que les images passe-bas (697 ms). Les contrastes ne montraient pas de différence significative entre les temps de réponses du groupe jeune ou âgé, quel que soit le filtrage.

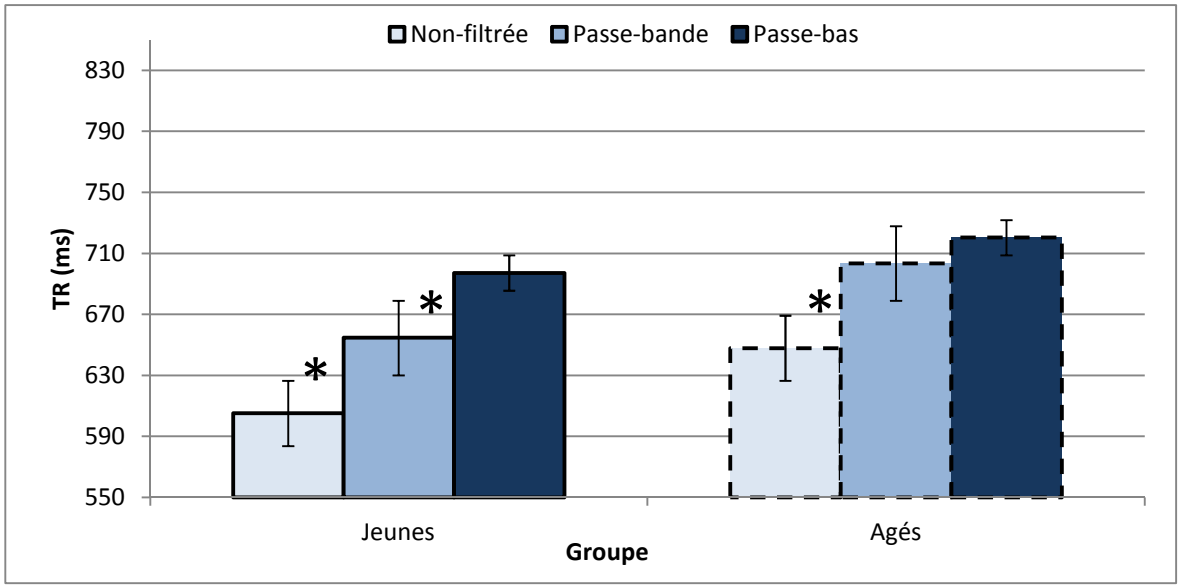


Figure 50. Temps de réponse (ms) en fonction du groupe et du type de filtrage

Discussion

Les résultats montrent que le groupe de personnes âgées souffre d'un déficit du traitement des fréquences spatiales intermédiaires au niveau de la précision mais aussi des temps de réponse. L'avantage des fréquences spatiales élevées sur les fréquences spatiales

basses dans ce type de tâche, mis en évidence chez les jeunes, est perdu chez les personnes âgées. Il est à noter que les participants âgés ne souffrent pas en moyenne d'un ralentissement global. Ceci est sans doute dû à leur âge relativement peu avancé. Les analyses individuelles montrent que 15 des 23 participants ont les temps de réponse pour les images passe-bande égaux à ceux pour les images passe-bas. A elle seule, cette expérience ne permet pas de conclure sur le niveau précoce ou tardif de la dégradation parvocellulaire avec l'âge. Toutefois, la comparaison avec la précédente montre que le déficit parvocellulaire perdure dans les niveaux tardifs. Le déficit magnocellulaire, par contre, semble être compensé dans des traitements plus tardifs.

B. La différenciation par l'excentricité

L'expérience précédente a démontré un déficit parvocellulaire dans le traitement des fréquences spatiales élevées chez la personne âgée. Cependant, cette expérience n'avait pas permis d'isoler le système magnocellulaire aussi bien que le système parvocellulaire puisque la présentation était centrale et la tâche était une catégorisation. En présentant les objets en vision périphérique, l'expérience chez les jeunes adultes a permis d'obtenir des résultats compatibles avec les propriétés du système magnocellulaire. Cette procédure a donc été reprise pour l'étude du vieillissement normal afin de tester l'intégrité du système magnocellulaire.

La littérature montre un déficit visuel de la vision périphérique dès 1° d'excentricité (Drance et al., 1967 ; Jaffe, Alvarado & Juster, 1986). Ces études n'avaient pas pour objectif d'étudier la dissociation entre les systèmes magnocellulaire et parvocellulaire. Leurs résultats sont donc interprétés comme un déficit visuel global quand l'excentricité augmente. L'objectif de cette expérience est plus particulièrement de dissocier les systèmes magnocellulaire et parvocellulaire en modifiant le contenu spectral des stimuli en plus de leur excentricité. Si la

chute de performance avec l'excentricité concerne seulement le système magnocellulaire, alors la dégradation des performances avec l'âge devrait être plus importante pour les images filtrées passe-bas et non filtrées que pour les images passe-bande en présentation excentrée. Si la dégradation des performances avec l'âge est observée aussi sur les images filtrées passe-bande, alors la présence d'un déficit global (magnocellulaire comme parvocellulaire) sera identifiée.

Méthode

Participants

14 adultes avancés en âge de 51 à 62 ans ont été recrutés (m=55,8 et σ=4,3). Les participants avaient une vision normale ou corrigée à la normale. Les 36 participants jeunes adultes de l'expérience ont été utilisés en tant que groupe contrôle.

Matériel, stimuli et procédure

Le matériel, les stimuli et la procédure étaient les mêmes que ceux utilisés dans l'expérience de manipulation de l'excentricité (voir page 93).

Résultats

Analyse de la précision

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur la précision en prenant l'excentricité et le type de filtrage en tant que variables intra-sujet et le groupe en tant que variable inter-sujets. Les résultats montraient un effet du groupe, $F(1,48)=14,4$; $p<.001$. Le groupe de jeunes adultes (86%) était plus précis que le groupe de personnes âgées (77%). Un effet de l'excentricité était aussi observé, $F(1,48)=67,4$; $<.001$. Les images en périphérie étaient significativement catégorisées plus difficilement (77%) que les images présentées au centre (86%). Enfin, le type de filtrage avait un effet significatif sur la précision, $F(2,96)=52,8$; $p<.001$. Le test de Bonferonni a montré que les images non filtrées (90%) étaient catégorisées plus précisément que les images filtrées (passe-bande :77% ; passe-bas : 77%).

L'interaction entre l'excentricité et le groupe était significative (2,96)=52,2 ; p<.001. Le test de Bonferonni montrait que la différence entre présentation centrale (90%) et présentation périphérique (84%) chez le groupe des jeunes adultes est plus faible que la différence entre présentation centrale (83%) et présentation périphérique (70%) chez le groupe des personnes âgées (Voir Figure 51). Les résultats montraient que le groupe de personnes âgées avait une précision plus faible que le groupe de jeunes adultes seulement dans la condition de présentation périphérique. L'interaction entre le type de filtrage et le type de présentation, F(2,96)=2,3 ; n.s, ainsi que l'interaction entre le type de filtrage et le groupe, F(2,96)=2,1 ; n.s, n'étaient pas significatives. L'effet de l'excentricité ne variait donc pas significativement selon le filtrage ou le groupe.

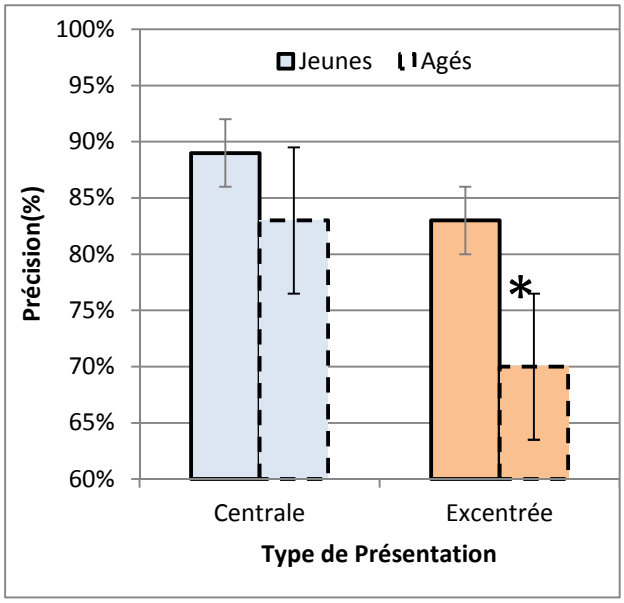


Figure 51. Précision (%) en fonction du type de présentation et du groupe

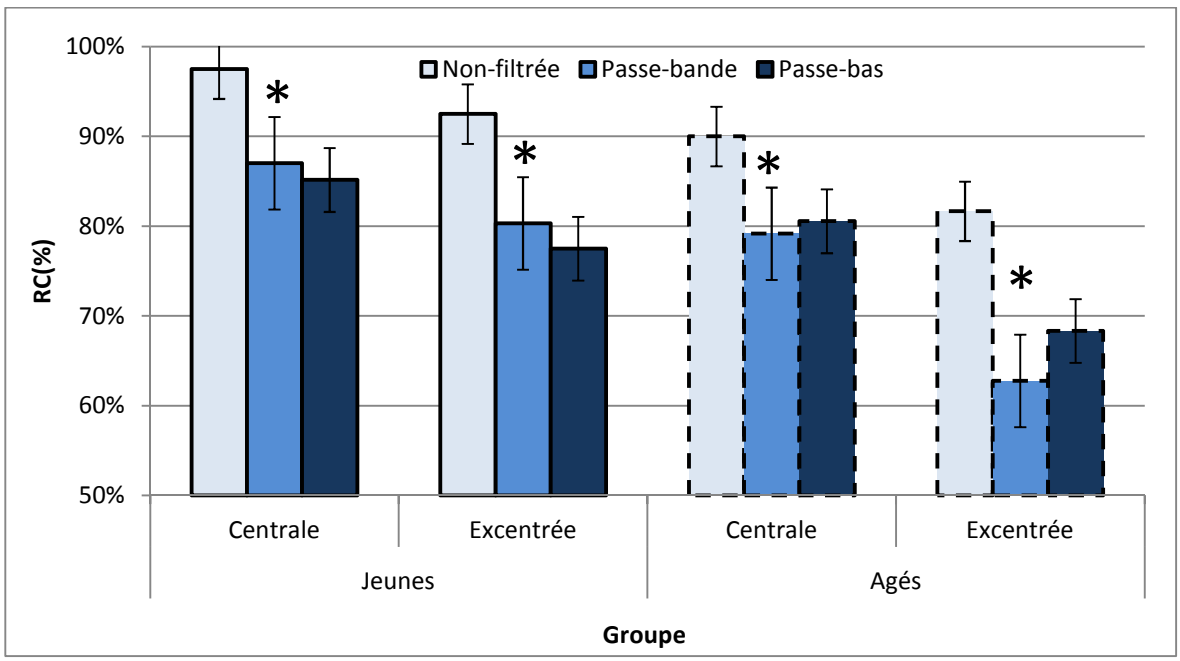


Figure 52. Précision (%) en fonction du groupe, du type de filtrage et du type de présentation

Comme le montre la Figure 52, l'interaction entre l'excentricité, le type de filtrage et le groupe ne ressortait pas significativement, $F(2,96)=1,1$; n.s.

Analyse des temps de réponse

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur les temps de réponses filtrés en prenant en compte l'excentricité et le type de filtrage en tant que variables intra-sujet et le groupe en tant que variable inter-sujets. Le groupe avait un effet significatif sur les temps de réponse $F(1,48)=7,2$; $p<.001$. Les participants âgés (865 ms) étaient plus longs à répondre que les participants jeunes (752 ms). L'excentricité avait un effet significatif sur les temps de réponse, $F(1,48)=33,4$; $p<.001$. En position centrale (745 ms), les images étaient catégorisées plus rapidement qu'en position périphérique (872 ms). Les résultats montraient une influence du type de filtrage, $F(2,96)=30,8$; $p<.001$. Les images non filtrées (665 ms) étaient catégorisées plus rapidement que les images passe-bas (821ms) et passe-bande (787 ms).

L'interaction entre l'excentricité et le groupe était significative, $F(1,48)=8,9$; $p<.01$. Pour le groupe de jeunes adultes, il n'y avait pas de différence significative entre présentation centrale (713 ms) et présentation périphérique (776 ms), alors que les personnes âgées étaient plus longues à répondre aux cibles périphériques (962 ms) qu'aux cibles centrales (768 ms). L'interaction entre le type de filtrage et le groupe était aussi significative, $F(2,96)=5,8$; $p<.05$. Chez le groupe de jeunes adultes, les images non filtrées (665 ms) étaient catégorisées plus rapidement que les images filtrées (passe-bande : 768 ms ; passe-bas : 799 ms). Pour les personnes âgées, les images non filtrées (719 ms) étaient catégorisées plus rapidement que les images filtrées (passe-bande : 987 ms ; passe-bas : 891 ms), seuls les temps de réponse pour les images passe-bande (986 ms) étaient significativement plus élevés que pour les jeunes adultes. Enfin, l'interaction entre l'excentricité et le type de filtrage ressortait significativement, $F(2,96)=7,4$; $p<.001$. La présentation en périphérie avait un effet

ralentisseur sur les temps de réponse des images passe-bande (centrale : 760 ms ; périphérie : 942 ms) et non filtrées (centrale : 640 ms ; Périphérique : 737 ms) alors qu'il n'y avait pas d'effet significatif de l'excentricité pour les images passe-bas (centrale : 813 ms ; périphérie : 861 ms).

Enfin, la double interaction était significative, $F(2,96)=6,5$; $p<.01$. Les comparaisons de moyenne par contraste ont montré que, pour les images centrales, les temps de réponse du groupe de personnes âgées ne différaient pas de ceux des jeunes adultes dans la condition non filtrée (âgées : 650 ms ; jeunes : 630 ms) et passe-bas (âgées : 847 ms ; jeunes : 783 ms). En condition passe-bande, au contraire, les personnes âgées avaient tendance (.07) à avoir des temps de réponse plus longs (810 ms) que les jeunes adultes (724 ms). Dans la condition position périphérique, les personnes âgées différaient significativement des jeunes adultes dans les conditions passe-bas (âgées : 935 ; jeunes : 815 ms) et passe-bande (âgés : 1164 ms; jeunes : 812 ms) mais avaient des temps de réponse qui ne différaient pas significativement entre eux dans la condition non filtrée (âgées : 788 ms ; jeunes : 701 ms. Voir Figure 53).

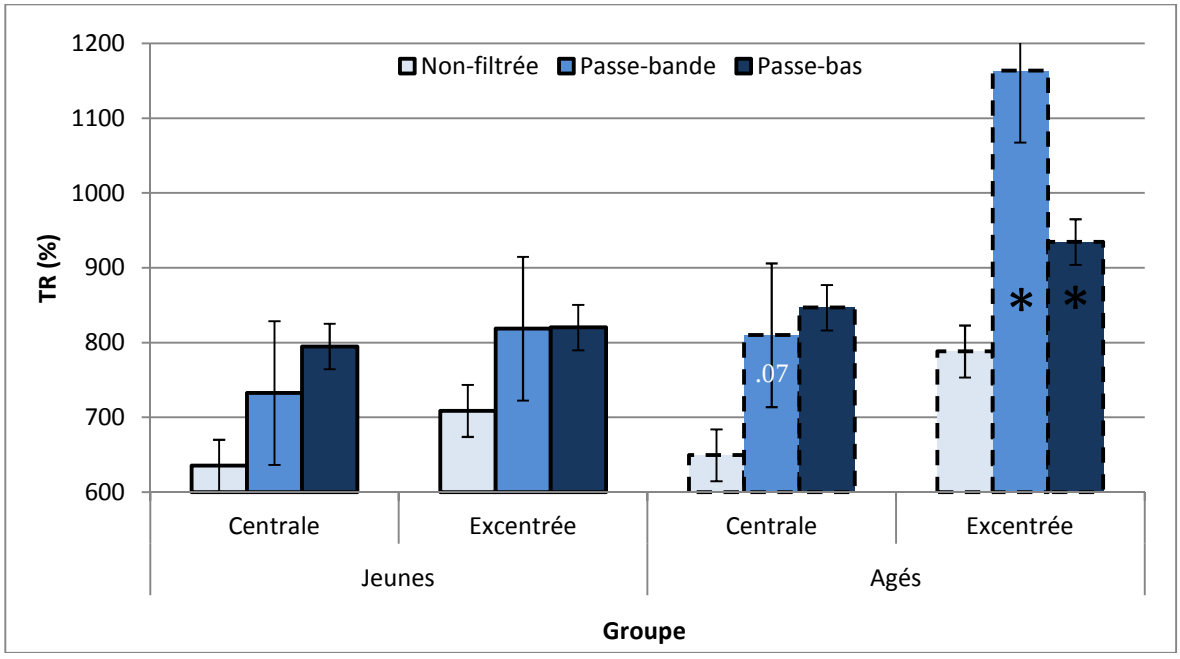


Figure 53. Temps de réponse (ms) en fonction du groupe, de l'excentricité et du type de filtrage

Discussion

L’objectif de cette expérience était d'investiguer plus encore un déficit magnocellulaire éventuel dans le vieillissement normal en variant l’excentricité en plus de la fréquence spatiale des stimuli. Un déficit lié à l’âge dans les conditions passe-bande était attendu au centre et un déficit magnocellulaire en périphérie. Le déficit passe-bande serait, en outre, accentué en présentation périphérique puisque le nombre de cellules parvocellulaires est inférieur à son nombre en rétine centrale.

Les personnes âgées avaient une augmentation tendancielle des temps de réponse pour la condition passe-bande en présentation centrale, reproduisant ainsi les résultats de l’expérience précédente. Concernant la condition périphérique, les jeunes adultes ont des temps de réponse égaux pour les conditions passe-bande et passe-bas. Les personnes âgées ont des temps de réponse significativement plus longs pour les images passe-bande que pour les images passe-bas en condition excentrée par rapport à la position centrale. Ce résultat est compatible avec l’atteinte sélective pour les fréquences spatiales élevées avec l’avancée en âge. Ce déficit est encore plus massif en présentation périphérique puisque les canaux correspondants sont encore plus rares.

Les résultats montrent aussi une augmentation des temps chez les personnes âgées pour la condition passe-bas en présentation périphérique, qui ne s’observait pas chez les jeunes, alors qu’en présentation centrale, aucun déficit de ce type ne s’observait, comme dans l’expérience précédente. Ce résultat peut avoir deux interprétations possibles. Premièrement, le déficit magnocellulaire présent dans le vieillissement normal peut ne se manifester qu’en présentation périphérique. Celui-ci souffrirait de la diminution des capacités perceptives en périphérie (Drance et al., 1967 ; Jaffe, Alvarado & Juster, 1986). Il est aussi possible que le déficit magnocellulaire ne s’observe que dans des conditions isolant strictement ce système.

Le filtrage passe-bas n'est peut-être pas assez strict en laissant passer des fréquences spatiales traitées par le système parvocellulaire, ne permettant pas d'isoler complètement ce système.

C. La différenciation par le mouvement

L'expérience précédente a mis en évidence un déficit parvocellulaire en plus d'un déficit magnocellulaire plus subtil. Pour confirmer ces résultats, une expérience manipulant le mouvement a été proposée. Si les effets de la fréquence spatiale des images sont reproduits lorsque l'image est présentée en mouvement pour les personnes âgées, un déficit magnocellulaire serait confirmé. Un déficit dans la CFF (critical fusion frequency, voir page 22) du système visuel normal a déjà été observé avec l'avancée en âge (Coppinger, 1955 ; in Brandies & Yehuda, 2008). Cependant, encore une fois, l'objectif de ces auteurs n'était pas d'étudier la dissociation parvocellulaire/magnocellulaire et leur procédure ne permettait pas d'étudier l'interaction entre le mouvement et les deux systèmes, comme nous le faisons ici.

Méthode

Participants

13 adultes avancés en âge de 48 à 62 ans ont été recrutés (m=55,5 et σ=4,7). Les participants avaient une vision normale ou corrigée à la normale. Les 26 participants jeunes adultes de l'expérience précédente ont été utilisés en tant que groupe contrôle.

Matériel, stimuli et procédure

Le matériel, les stimuli et la procédure sont les mêmes que ceux utilisés pour l'expérience de manipulation du mouvement (voir page 99).

Résultats

Analyse de la précision

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur la précision en prenant en compte la présence ou l'absence du mouvement et le type de filtrage en tant que variables intra-sujet et le groupe en

variable inter-sujets. Les résultats ont montré un effet significatif du groupe, $F(1,38)=7,9$; $p<.01$. Les participants âgés (79%) catégorisaient les objets moins précisément que les participants jeunes adultes (86%). Le type de filtrage avait aussi un effet significatif sur la précision, $F(2,76)=70,6$; $p<.001$. Celle-ci était plus élevée pour les images non filtrées (93%) que pour les images passe-bande (81%), et les images passe-bande étaient catégorisées plus facilement que les images passe-bas (76%). L'absence ou la présence de mouvement n'avait pas d'influence sur la précision, $F(1,38)=0,4$; n.s.

L'interaction entre absence/présence de mouvement et le type de filtrage ressortait significativement, $F(2,76)=8,2$; $p<.001$. Dans la condition absence de mouvement, la précision était plus élevée pour les images non filtrées (93%) que pour les images passe-bande (82%). Les images passe-bande étaient catégorisées plus facilement que les images passe-bas (73%). Dans la condition présence de mouvement, les images non filtrées étaient catégorisées (93%) plus précisément que les images filtrées passe-bande (79%) et passe bas (78%) qui ne différaient pas entre elles. L'interaction entre le mouvement et le groupe, $F(1,38)=2,8$; n.s, ainsi que l'interaction entre le filtrage et le groupe, $F(2,76)=0,9$; n.s n'étaient pas significatives.

L'interaction double entre présence/absence du mouvement, type de filtrage et groupe n'était pas significative, $F(2,76)<1$.

Analyse des temps de réponse

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur les temps de réponse filtrés en prenant en compte la présence ou absence du mouvement et le type de filtrage en tant que variables intra-sujet et le groupe en variable inter-sujets. Un effet significatif du groupe sur les temps de réponse a été observé, $F(1,38)=4,9$; $p<.05$. Les personnes âgées étaient globalement plus lentes (678 ms) à catégoriser les cibles que les jeunes adultes (498 ms). Les résultats montraient aussi un effet du mouvement, $F(1,38)=17,5$; $p<.001$. Les cibles en mouvement (608 ms) étaient

catégorisées moins rapidement que les cibles fixes (567 ms). Un effet du type de filtrage a été obtenu, $F(2,76)=16,2$; $p<.001$. Les images non filtrées (475 ms) étaient catégorisées plus rapidement que les images passe-bas (598 ms) et passe-bande (590 ms).

L'interaction entre le type de filtrage et le groupe était significative, $F(2,76)=4,3$; $p<.05$. Chez le groupe de jeunes adultes, les temps de réponse étaient plus courts pour les images non filtrées (421 ms) que pour les images passe-bas (560 ms) ; et les images passe-bande (509 ms) avaient tendance à différer des images passe-bas (.056) mais pas des images non filtrées. Les contrastes montraient que les personnes âgées avaient des temps significativement plus longs pour les images passe-bande (Voir Figure 54) que pour les autres images. L'interaction entre le mouvement et le groupe, $F(1,38)=2,3$; n.s, n'était pas significative, comme l'interaction entre le mouvement et le type de filtrage, $F(2,76)<1$.

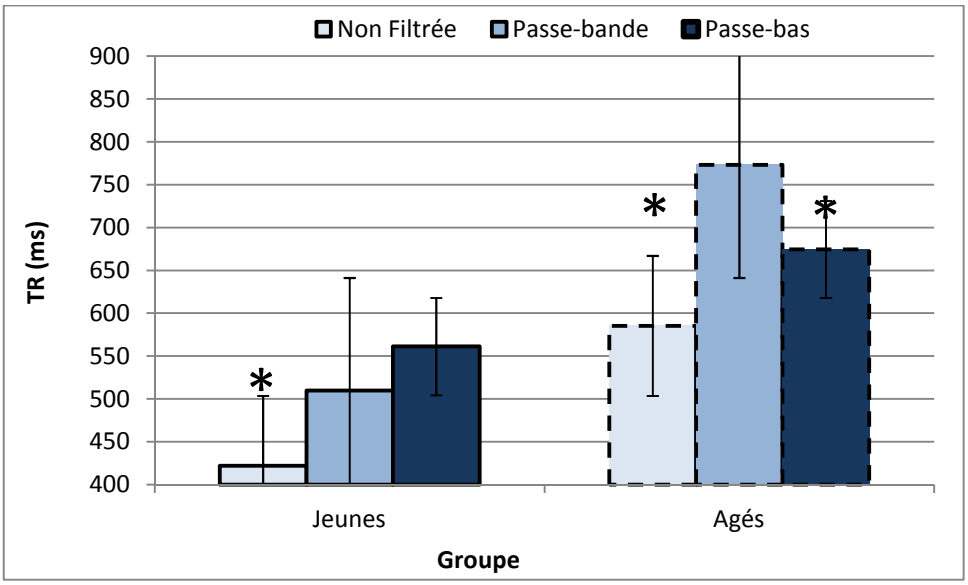


Figure 54. Temps de réponse (ms) en fonction du groupe et du type de filtrage

L'interaction double entre présence/absence du mouvement, le type de filtrage et le groupe n'était pas significative, $F(2,76)=0,2$; n.s.

Discussion

Cette expérience a confirmé le déficit parvocellulaire observé dans les expériences de catégorisation mais aucun déficit magnocellulaire n'a été obtenu.

Premièrement, l'interaction entre le type de filtrage et le groupe sur les temps de réponse a montré que les personnes âgées étaient plus longues à traiter les fréquences spatiales élevées que les jeunes adultes. Par contre, aucune interaction entre le mouvement et les autres facteurs n'est ressortie significativement. Les résultats chez le groupe de jeunes avaient pourtant montré que cette procédure permettait d'induire un traitement magnocellulaire et l'expérience sur l'excentricité avait permis d'observer un déficit magnocellulaire lié à l'âge. Le déficit magnocellulaire précoce de l'expérience psychophysique a pu ici être compensé à plus haut niveau par des interactions avec le système parvocellulaire. La diminution de la population de cellules parvocellulaires en excentricité ne permettait peut être pas la mise en place de ces processus palliatifs au déficit magnocellulaire.

D. Effets des attentes liées à la tâche

Les expériences précédentes avaient permis de tester l'évolution du système visuel à un niveau précoce et ventral. Dans l'expérience de localisation, il a été observé, chez les jeunes que la localisation d'un objet se faisait indépendamment de la gamme de fréquences spatiales. Cette tâche était censée impliquer la voie dorsale, plutôt magnocellulaire. Un privilège des fréquences spatiales basses n'avait pas été observé. Si les personnes âgées ont un ralentissement du traitement pour les images passe-bande à un niveau précoce, leur temps de réponse devrait être supérieur dans les conditions passe-bande, même dans une tâche dorsale telle que celle-ci.

a) Localisation d'un objet naturel

Méthode

Participants

Les participants de l'expérience étaient les mêmes que ceux de l'expérience de présentation simple (voir page 141).

Matériel, Stimuli et procédure

Le matériel, les stimuli et la procédure étaient les mêmes que ceux utilisés pour l'expérience de localisation (voir page 103).

Résultats

Analyse des temps de réponse

La précision avait atteint le niveau plafond (m=97%; l'A.N.O.V.A ne révélait aucun effet significatif des facteurs sur le taux de réponses correctes). Une A.N.O.V.A a été effectuée sur les temps de réponse filtrés en prenant en compte le type de filtrage en tant que variable intra-sujet et le groupe comme variable inter-sujets.

Les résultats ont montré un effet significatif du groupe, $F(1,51)=13,7$; $p<.001$. Les participants âgés (482 ms) avaient un temps de réponse supérieur à celui des jeunes adultes (381 ms). Le type de filtrage avait aussi un effet significatif sur les temps de réponse, $F(2,102)=16,9$; $p<.001$. Les images passe-bande (451 ms) étaient catégorisées moins rapidement que les images non filtrées (411 ms) et les images passe-bas (414 ms).

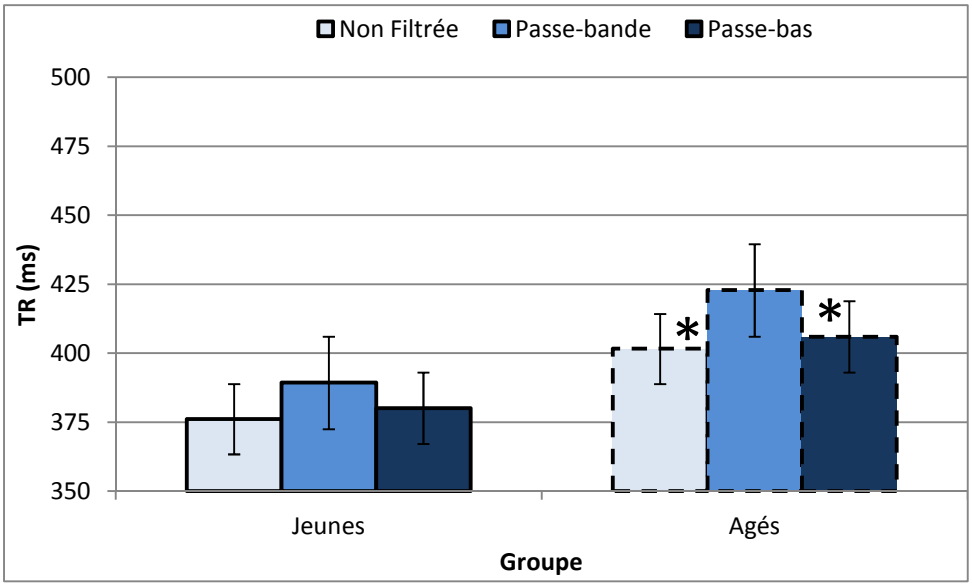


Figure 55. Temps de réponse (ms) en fonction du type de filtrage et du groupe

L'interaction entre le type de filtrage et le groupe était significative, $F(2,102)=9,1$; $p<.001$. Chez le groupe de jeunes adultes, les temps de réponse étaient les mêmes quel que

soit le type de filtrage (non-filtré : 376 ms ; passe-bande : 389 ms ; passe-bas : 380 ms). Dans le groupe de personnes âgées, le temps de réponse des images passe-bande était rallongé (423 ms) par rapport aux images non filtrées (401 ms) et aux images passe-bas (406 ms. Voir Figure 55).

Discussion

L'objectif de cette expérience était de déterminer quelles étaient les répercussions des déficits parvocellulaire et magnocellulaire précoces sur les traitements plus tardifs de type « dorsaux ». Les résultats de l'expérience psychophysique ont montré un déficit parvocellulaire et un déficit magnocellulaire moindre. Dans une tâche « ventrale », un déficit massif parvocellulaire a été mis en évidence, ainsi qu'un déficit magnocellulaire sous certaines conditions.

Les résultats de l'expérience présente ont montré une élévation des temps de réponse pour la condition passe-bande chez le groupe de personnes âgées dans une tâche de localisation. Ces résultats confirment le déficit parvocellulaire et montrent que cette atteinte n'est pas exclusivement liée à l'identification des objets mais semble être un déficit global du traitement des fréquences spatiales dans le vieillissement normal. L'atteinte précoce pourrait être responsable des déficits tardifs mis en évidence dans ces expériences L'expérience suivante permettra de confirmer ou non ce résultat grâce à une autre tâche « dorsale » : la discrimination d'orientation.

b) Comparaison d'identité et d'orientation

Une procédure visant à différencier les traitements ventraux (prolongement parvocellulaire) et les traitements dorsaux (prolongement magnocellulaire) a été utilisée. Cette expérience avait pour but de tester la dissociation trouvée par Valyear et al. (2006) au niveau comportemental. Chez les jeunes, les résultats montraient que toutes les gammes de

fréquences spatiales étaient utilisées de façon équivalente quelle que soit la tâche. Au vu des résultats précédents sur l'évolution du système visuel, un ralentissement du temps de traitement des fréquences spatiales moyennes devrait être observé avec l'avancée en âge aussi bien lors de la tâche de changement d'orientation que lors de la tâche de changement d'identité.

Méthode

Participants

10 adultes avancés en âge de 51 à 59 ans ont été recrutés (m=54,4 et σ=2,8). Les participants avaient une vision normale ou corrigée à la normale. Les 23 participants jeunes adultes de l'expérience ont été utilisés en tant que groupe contrôle.

Matériel, stimuli et procédure

Le matériel, les stimuli et la procédure sont les mêmes que ceux utilisés pour l'expérience précédente (Voir page 115).

Résultats

Analyse sur les temps de réponse

L' A.N.O.V.A sur la précision ne révélait pas d'effet d'interaction signicative. Cette analyse ne sera donc décrite. Une A.N.O.V.A a été effectuée sur les temps de réponse en prenant en compte la tâche et le type de filtrage en variables intra-sujet et le groupe comme variable inter-sujets. Les résultats ont montré un effet de la tâche, $F(1,31)=5,8$; $p<.01$. Les participants étaient plus lents à répondre lors de la tâche d'identité (574 ms) que lors de la tâche d'orientation (511 ms). Il y avait aussi un effet du type de filtrage, $F(2,62)=15,4$; $p<.01$. Les temps de réponse pour les images non filtrées (513 ms) étaient plus longs que pour les images filtrées passe-bas (567 ms) et passe-bande (548 ms). Il n'y avait aucun effet du groupe sur les temps de réponse, $F(1,31)=3,1$; n.s.

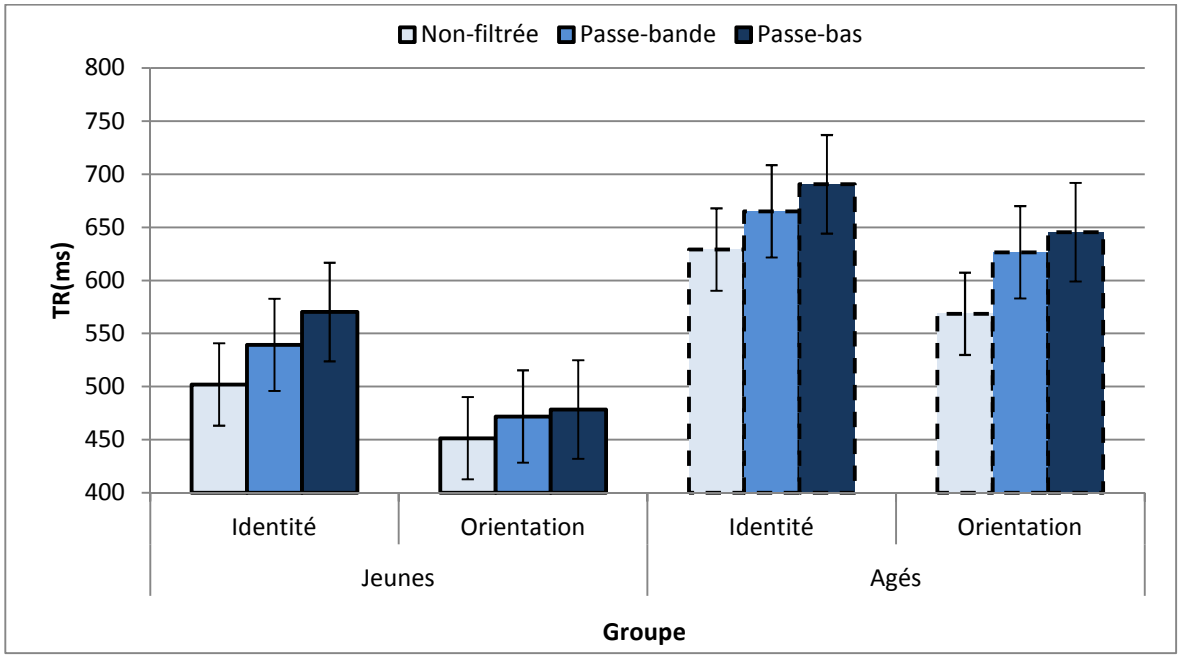


Figure 56. Temps de réponse (ms) en fonction du groupe du type de filtrage et de tâche

Comme le montre la figure 56, aucune interaction ne ressortait significativement (tâche/groupe : $F(1,31)=0,2$; n.s ; tâche/image : $F(2,62)=0,6$; n.s ; image/groupe : $F(2,62)=0,5$; n.s ; double interaction : $F(2,62)=2,1$; n.s).

Discussion

L'objectif de cette expérience était de déterminer l'effet de l'âge sur la dissociation magnocellulaire/parvocellulaire pour une étude adapté à l'IRM. Bien que les résultats chez les jeunes adultes n'aient pas permis de différencier les deux types de traitement sur la base des fréquences spatiales, un déficit sur le traitement des fréquences spatiales moyennes aurait dû être observé pour le groupe plus âgé dans les tâches de comparaison d'orientation ou d'identité.

Il n'y avait pas d'effet du groupe et les interactions entre le groupe et les autres facteurs ne sont pas significatives. Les plus âgés se comportent comme les jeunes contrairement à ce qu'on observait précédemment : c'est-à-dire une augmentation des temps de réponse pour les fréquences spatiales moyennes. Les temps de présentation très élevés dans

cette expérience peuvent être une explication. Il est probable qu'en laissant aux personnes âgées plus de temps pour traiter la cible comme dans cette expérience, le déficit disparaisse.

E. L'objet dans la scène

L'étude de la reconnaissance de l'objet dans la scène chez les jeunes a montré une facilitation du traitement de l'objet par la scène sémantiquement reliée, aussi présente quand les informations magnocellulaires étaient isolées. Cette expérience permettra donc de tester le système magnocellulaire avec l'avancée en âge. Si le déficit magnocellulaire est bien présent, alors l'effet facilitateur de la scène, au moins pour les scènes filtrées passe-bas, devrait diminuer chez le groupe de personnes âgées. Cette expérience permettra, en outre, d'obtenir une population contrôle pour l'étude de ce phénomène dans le vieillissement pathologique.

Méthode

Participants

17 adultes avancés en âge de 49 à 60 ans ont été recrutés (m=55,2 et σ=2,5). Les participants avaient une vision normale ou corrigée à la normale. Les 27 participants jeunes adultes de l'expérience ont été utilisés en tant que groupe contrôle.

Matériel, stimuli et procédure

Le matériel, les stimuli et la procédure sont les mêmes que ceux utilisés dans l'expérience d'amorçage par la scène avec réponse de type go/no go (voir page 119).

Résultats

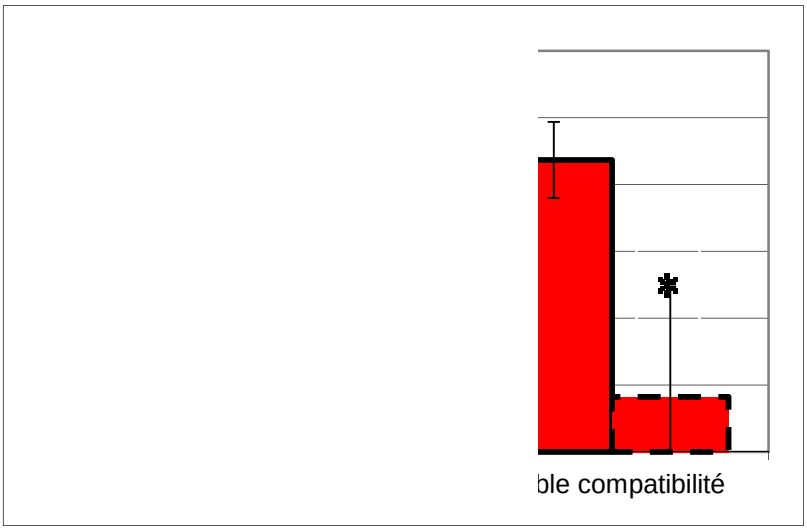
Analyse de la précision

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur la précision en prenant en compte la compatibilité et le type de scène en tant que variables intra-sujet et le groupe en variable inter-sujets.

Le type de scène avait un effet significatif sur la précision, $F(2,84)=13,1$; $p<.001$. Il y avait un effet facilitateur des scènes non-filtrées (89%) et des scènes filtrées (94%) par rapport

aux scènes contrôles (83%) sur le traitement des cibles. Les analyses ont montré un effet significatif du groupe, $F(1,42)=13,9$; $p<.001$. Le groupe de jeunes adultes (94%) était plus performant que le groupe de personnes âgées (81%). L'effet de la compatibilité était significatif, $F(1,42)=25,6$; $p<.001$: les cibles associées à des scènes fortement compatibles (93%) étaient catégorisées plus efficacement que les cibles associées à des scènes faiblement compatibles (84%).

L'effet d'interaction entre la compatibilité et le groupe était significatif, $F(1,42)=8,6$; $p<.001$. Chez le groupe de jeunes adultes, les cibles associées à des scènes faiblement compatibles (92%) étaient aussi finement catégorisées que les cibles associées à des scènes fortement compatibles (96%). Dans le groupe de personnes âgées, les cibles associées à des scènes faiblement compatibles (74%) étaient catégorisées moins efficacement que les cibles associées à des scènes fortement compatibles (88%). Le test de Bonferonni montre que seule la condition « faiblement compatible » était significativement différente des trois autres conditions (Voir Figure 57). L'effet délétère de l'âge ne s'observait donc que dans la condition de plus faible compatibilité. L'interaction entre la congruence et le type de scène était tendancielle, $F(2,84)=2,9$; $p=.056$ (Voir figure 58). Seuls les objets associés aux scènes contrôles en compatibilité faible étaient catégorisés moins précisément que les autres. L'interaction entre le type de scène et le groupe n'était pas significative, $F(2,84)<1$.



patibilité et du groupe

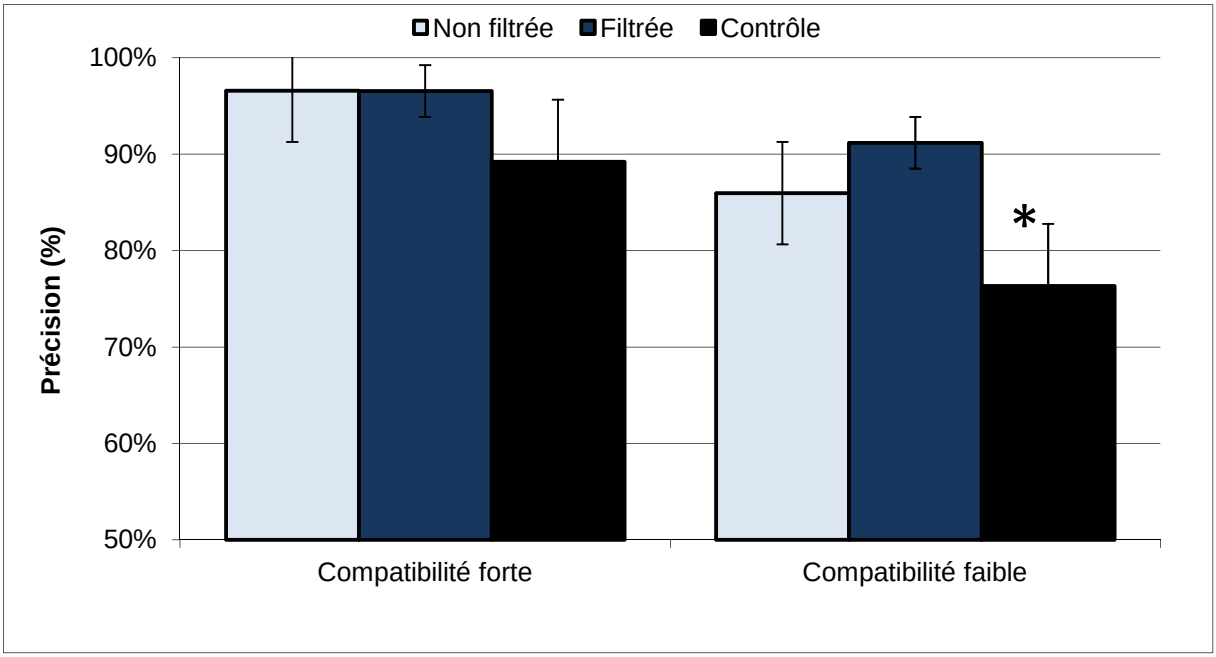


Figure 58. Précision (%) en fonction de la scène et de la compatibilité

Analyse des temps de réponse

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur les temps de réponses filtrés en prenant en compte la compatibilité et le type de scène en tant que variables intra-sujet et le groupe en variable inter-sujets. Les résultats ont montré un effet du type de scène sur les temps de réponse, $F(1,84)=12,2$; $p<.001$. Le test de Bonferonni a montré que les objets associés à des scènes contrôle étaient catégorisés plus rapidement (416 ms) que les objets associés à des scènes filtrées (465 ms) et des scènes non filtrées (478 ms). Les analyses ne révélaient pas d'effet du groupe, $F(1,48)=1,9$; n.s, ou de la compatibilité, $F(1,48)<1$.

L'interaction entre la compatibilité et le groupe était significative, $F(1,42)=14,1$; $p<.001$. Chez le groupe de personnes âgées, les cibles associées à des scènes faiblement compatibles (450 ms) étaient catégorisées aussi rapidement que les cibles associées à des scènes fortement compatibles (497 ms). Chez le groupe de jeunes adultes, les cibles associées à des scènes faiblement compatibles (469 ms) étaient catégorisées moins rapidement que les cibles associées à des scènes fortement compatibles (421 ms). Les résultats montraient que l'interaction entre le type de scène et le groupe était significative, $F(2,84)=5,5$; $p<.01$. Chez

les jeunes adultes, les temps de réponse des trois conditions étaient équivalents (non filtrées : 452 ms ; filtrées : 440 ms ; contrôle : 426 ms). Chez les personnes âgées, les cibles associées à des scènes contrôles (402 ms) étaient catégorisées plus rapidement que les cibles associées à des scènes non-filtrées (517 ms) et filtrées (500 ms. Voir Figure 59). L'interaction entre la congruence et le type de scène n'était pas significative, $F(2,84)=0,1$; n.s.

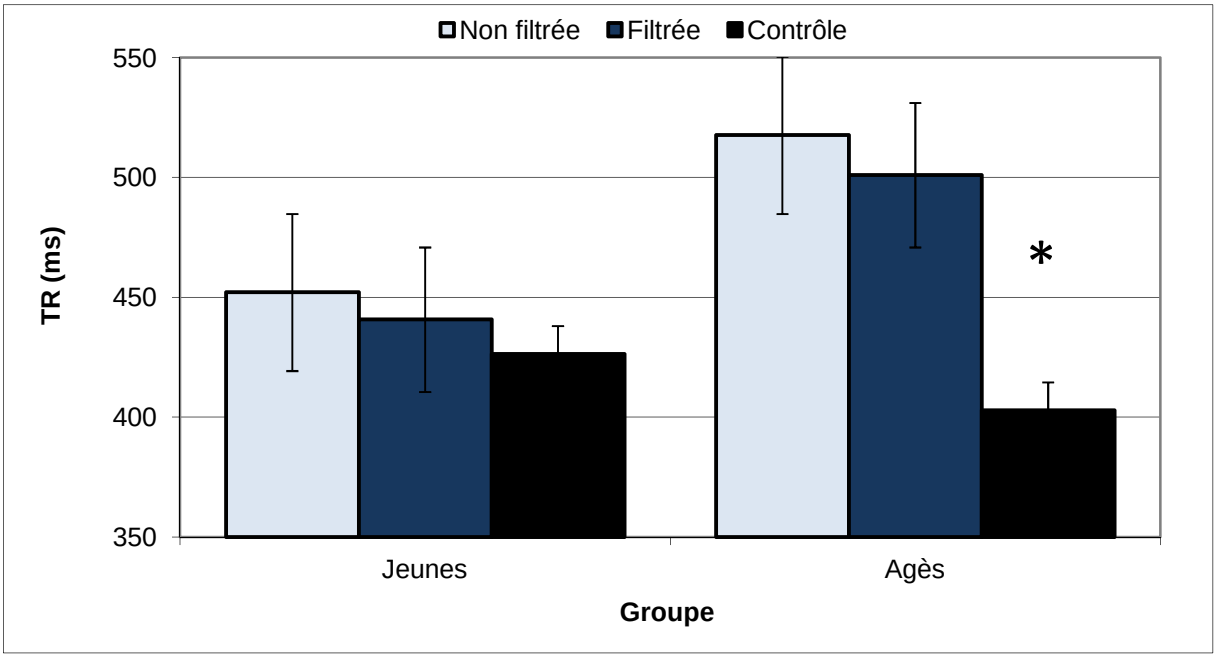


Figure 59. Temps de réponse (ms) en fonction du groupe et du type de scène

L'interaction double n'était pas significative, $F(2,84)=1,3$; n.s.

Discussion

Les résultats ont montré un effet facilitateur des scènes filtrées et non filtrées sur la précision quel que soit l'âge des participants. Ce résultat n'est pas observé sur la rapidité où les temps de réponse pour la condition contrôle étaient moins élevés qu'avec les autres types de scènes. On peut suspecter un échange rapidité/précision. Les personnes âgées pourraient spontanément répondre plus rapidement à l'objet associé à une scène contrôle mais faire plus d'erreurs.

Un résultat intéressant vient des performances (précision et temps de réponse) du groupe âgé qui diminuaient lors de la présentation d'une scène faiblement compatible avec l'objet par rapport à une scène fortement compatible. Ce résultat peut être expliqué par les

problèmes d'inhibition observé chez les personnes âgées (Zacks et Hasher, 1997), probablement dus à un déficit du lobe frontal. Les informations non compatibles avec l'objet ne vont pas être inhibées. Dès lors, elles vont venir interférer avec le traitement de la cible. Ce déficit pourrait aussi venir de l'atrophie du cortex périrhinal observée chez la personne âgée (Insausti, Insausti, Sobreviela, Salinas & Martinez-Puella, 1998). Celui-ci est généralement associé aux performances mnésiques mais Buckley et Gaffan (1998) ont conclut que celui-ci pourrait être impliqué dans l'identification d'objets familiers dans un contexte non familier. Son atrophie pourrait alors avoir comme conséquence une baisse de l'identification d'un objet dans un contexte incongruent. Les résultats ne révèlent pas, par contre, de déficit magnocellulaire avec l'avancée en âge puisqu'il n'y avait pas d'interaction entre le groupe et le type de scène.

3. Discussion

L'objectif de cette partie était de déterminer si un déficit sélectif des traitements parvocellulaires et/ou magnocellulaires apparaissait au cours du vieillissement. Les procédures mises en place dans la deuxième partie de cette thèse ont permis de faire émerger plusieurs éléments de compréhension du vieillissement du système visuel.

Un déficit précoce

Tout d'abord, les résultats de l'expérience psychophysique ont fait ressortir un déficit parvocellulaire chez les personnes âgées, ainsi qu'un déficit magnocellulaire moindre. Les personnes âgées avaient des seuils plus élevés dans la condition Flashé (parvocellulaire). Ces résultats confirment ceux trouvés dans la littérature du vieillissement normal (Elliott & Werner, 2010). Deux explications sont généralement avancées. La première concerne l'opacité du cristallin. Celle-ci va venir modifier le traitement parvocellulaire, les cellules parvocellulaires recevant un signal de moins bonne qualité. Cependant, les études ayant

montré un déficit parvocellulaire dans le vieillissement disposaient d'examens ophtalmologiques écartant cette explication (McKendrick et al., 2007 ; Elliott et Werner, 2010). De plus, cela n'explique pas le déficit magnocellulaire généralement observé. La deuxième interprétation repose sur la modification de la structure rétinienne au niveau de la fovéa. Panda-jonas, Jonas et Jakobczyk-Zmija (1995) ont montré que la densité des photorécepteurs diminuait avec l'âge (58 ans en moyenne dans leur étude) aussi bien en excentricité que dans la fovéa. Cette modification entraîne certainement des changements fonctionnels mais ceux-ci sont mal définis et, de plus, n'expliquent pas la différence entre les déficits magnocellulaire et parvocellulaire. En effet, Panda-Jonas et al. (1995) observent une plus forte diminution des bâtonnets (liés aux cellules magnocellulaires) que des cônes. Une inversion des effets trouvés dans les expériences psychophysiques devrait alors être observée avec un déficit magnocellulaire plus prononcé que le déficit parvocellulaire. Cette interprétation n'est donc pas suffisante. Une investigation plus poussée des conséquences fonctionnelles de ces bouleversements rétiniens permettrait une meilleure compréhension de ces déficits.

Un déficit tardif

Après l'observation d'un déficit dans les traitements visuels précoces, la question était de savoir si celui-ci aurait des répercussions à plus haut niveau ou serait compensé au fur et à mesure des traitements. Les expériences de catégorisation et de localisation ont montré que le déficit parvocellulaire perdurait. Ces résultats sont aussi en accord avec ceux trouvés dans la littérature. Un ralentissement des temps de réponse pour les fréquences spatiales moyennes est constamment observé dans ces expériences. Le fait qu'un déficit parvocellulaire soit mis en évidence dans le traitement des fréquences spatiales, mais aussi dans le traitement du contraste, laisse supposer un déficit global du système parvocellulaire et pas d'une seule de ses composantes. Par exemple, le traitement des fréquences spatiales pourrait être affecté par le vieillissement sans que les capacités temporelles des cellules ne soient atteintes. Ce n'est

pas le cas ici. L'observation d'un déficit parvocellulaire à un niveau précoce mais aussi dans une tâche ventrale et une tâche dorsale laisse supposer que ce déficit n'aurait pas une origine tardive dans les traitements (précédant la séparation ventral/dorsal). Cependant, les résultats actuels ne permettent pas de déterminer si le déficit observé dans l'expérience psychophysique est responsable du déficit observé dans les tâches de plus haut niveau ou si ces résultats mettent en évidence deux déficits indépendants. Il est donc difficile de s'avancer sur le niveau de l'atteinte de ces déficits.

De moins grande ampleur que le déficit parvocellulaire, un déficit magnocellulaire a quand même été mis en évidence dans l'expérience psychophysique. Dans l'expérience sur l'excentricité, les résultats semblent aussi montrer un déficit magnocellulaire. Cependant, l'absence de déficit du traitement de l'objet en mouvement interroge sur la généralité de ce déficit. L'absence de détérioration dans cette dernière expérience peut être expliquée. Tout d'abord, une compensation des traitements magnocellulaires par les traitements parvocellulaires en vision centrale peut avoir lieu. Le déficit magnocellulaire ne serait pas présent, dû à l'importance des traitements parvocellulaires dans ce type de vision. Ensuite, Panda-jonas et al. (1995) ont montré que la diminution des photorécepteurs était plus importante en périphérie qu'au centre. Le déficit magnocellulaire débutant en vision centrale serait majoré en présentation périphérique, assez pour être mis en évidence comportementalement.

Pour conclure, un déficit parvocellulaire massif a été mis en évidence, ainsi qu'un déficit magnocellulaire présent sous certaines conditions.

III. Dopamine et système visuel

Comme expliqué dans l'introduction théorique, l'étude des patients souffrant d'une maladie à syndromes extrapyramidaux permet d'appréhender les problématiques liées à la dopamine et leurs liens avec le système visuel. Un déficit magnocellulaire était attendu chez ses patients puisque la littérature montre que les troubles visuels concernent plutôt les compétences visuospatiales que les compétences d'identification d'objets (Lee et Harris, 1999; Rampello et al., 2004; Mowry et al., 2007 ; Amstrong, 2008). Toutefois, dans ces travaux, les résultats sont rarement interprétés dans le cadre de la dissociation parvocellulaire/magnocellulaire, sauf une exception qui montre que le déficit est plus magnocellulaire que parvocellulaire pour une pathologie à syndrome extrapyramidal (la maladie de Parkinson. Silva et al., 2005). L'inspection de la littérature permet donc de poser l'hypothèse que le système magnocellulaire, plus que le système parvocellulaire, doit être sous-tendu par l'action dopaminergique. La première étude visait à déterminer si les traitements de bas niveau étaient affectés dans cette pathologie.

1. Les traitements de bas niveau

S'il y a un lien entre la dopamine et le système visuel, il doit concerner plutôt le système magnocellulaire que parvocellulaire. Bien que la littérature ne mette pas en avant le rôle du système dopaminergique central (atteint dans les pathologies à syndromes extrapyramidaux) dans les processus visuels de bas niveau, leur intégrité a été évaluée afin d'avoir la vision la plus globale des déficits présents dans ce type de pathologie.

Méthode

Participants

Six patients atteints de syndromes extrapyramidaux (m = 56,5 ans; α = 8,5, 4 hommes, 2 femmes) ont été recrutés dans le service de médecine nucléaire de l'Hôpital Pellegrin à Bordeaux dans le cadre d'un examen d'imagerie de leur système dopaminergique. Le consentement éclairé de tous les participants a été obtenu. L'étude a été menée en conformité avec les règles locales du comité d'éthique. Tous les patients avaient un syndrome extrapyramidal. Les patients ont été exclus s'ils avaient des antécédents d'accident vasculaire cérébral, de traumatisme crânien, des troubles neurologiques (autres que les symptômes extrapyramidaux), maladies cardio-vasculaires, l'alcoolisme chronique, ou de toxicomanie, des troubles psychiatriques ou troubles cognitifs (MMSE : scores en dessous de 26). Tous les patients ayant des troubles visuels (cataracte, glaucome, ...) ont été exclus de l'étude.

Six participants âgés en bonne santé et volontaires, appariés en âge et en genre (m = 56,3 ans; α = 8,6; 4 hommes, 2 femmes), ont participé à l'étude. Les critères d'exclusion des patients ont aussi été appliqués sur le groupe de contrôle. Aucun des participants du groupe témoin n'avait de symptômes extrapyramidaux. Un test d'acuité visuelle (test d'acuité Freiburg; Bach, 1996) a été réalisé en début d'expérience pour assurer que la vision était normale ou corrigée à la normale (un score inférieur à 8 / 10 a été un critère d'exclusion) pour les deux groupes.

Matériel, stimuli et procédure

Le matériel et les stimuli sont les mêmes que ceux utilisés dans l'expérience psychophysique. Une modification de la procédure de l'expérience a été effectuée pour la raccourcir: seules les valeurs de contraste des piédestaux 63% et 75% ont été conservées.

Résultats

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur les seuils en prenant le contraste des piédestaux et la condition en tant que variables intra-sujet et le groupe en tant que variable inter-sujets. L'analyse a fait ressortir un effet de la condition, $F(1,10)=22,8$; $p<.001$. Les seuils étaient plus élevés en condition flashé (5%) qu'en condition continu (1,8%). Le contraste des piédestaux avait aussi un effet significatif. Pour le contraste le plus faible (2,9%), les seuils étaient plus bas que pour le contraste le plus élevé (3,9%). Les seuils ne variaient pas significativement selon le groupe, $F(1,10)=1,9$; n.s.

L'interaction entre le contraste des piédestaux et le groupe ressortait significativement, $F(1,10)=11,1$; $p<.01$. Comme le montre la figure 60, pour le groupe contrôle, les seuils étaient plus bas pour le contraste faible (2,1%) que pour le contraste élevé (3,8%). Aucune différence entre les deux seuils observés pour les conditions de contraste des piédestaux n'était observée chez le groupe de patients (63% : 3,7% ; 75% : 4,1%). Un effet d'interaction entre la condition et le contraste a également été observé, $F(1,10)=5,2$; $p<.05$. Dans la condition continu, aucune différence de seuils n'est observée entre les deux contrastes (63% : 1,5% ; 75% :2,1%) alors qu'en condition flashé, les seuils étaient plus élevés pour le contraste le plus élevé (5,8%) que pour le contraste le plus faible (4,3%). Aucun effet d'interaction ne ressortait entre le groupe et la condition, $F(1,10)=2$; n.s.

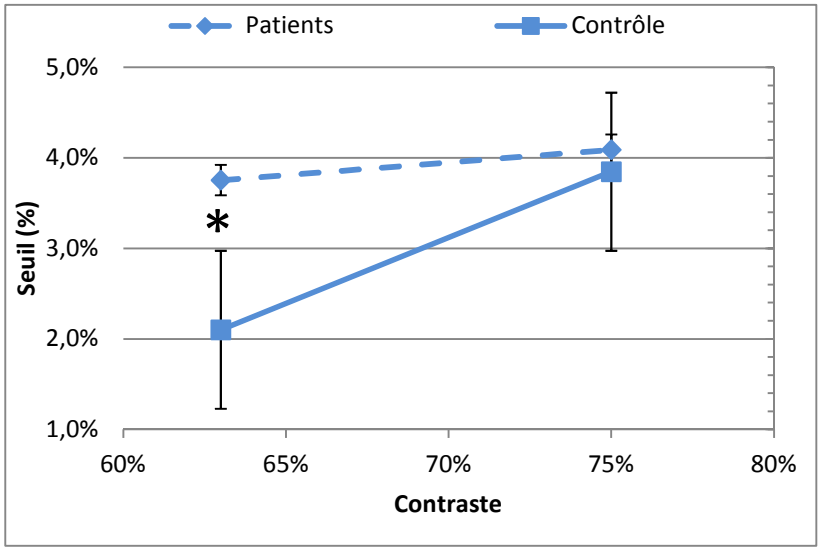


Figure 60. Seuil (%) en fonction du groupe et du contraste des piédestaux

L'interaction entre le groupe, la condition et la contraste ne se révélait pas significative, $F(1,10)=2,1$; n.s.

Analyse individuelle

Le nombre de participants de cette étude est très faible. Ce faible nombre peut fortement influer sur les résultats de l'A.N.O.V.A. Une analyse cas par cas a donc été effectuée. Les moyennes des dix participants âgés ont été reprises et des intervalles de confiance on été construits (voir Figure 61).

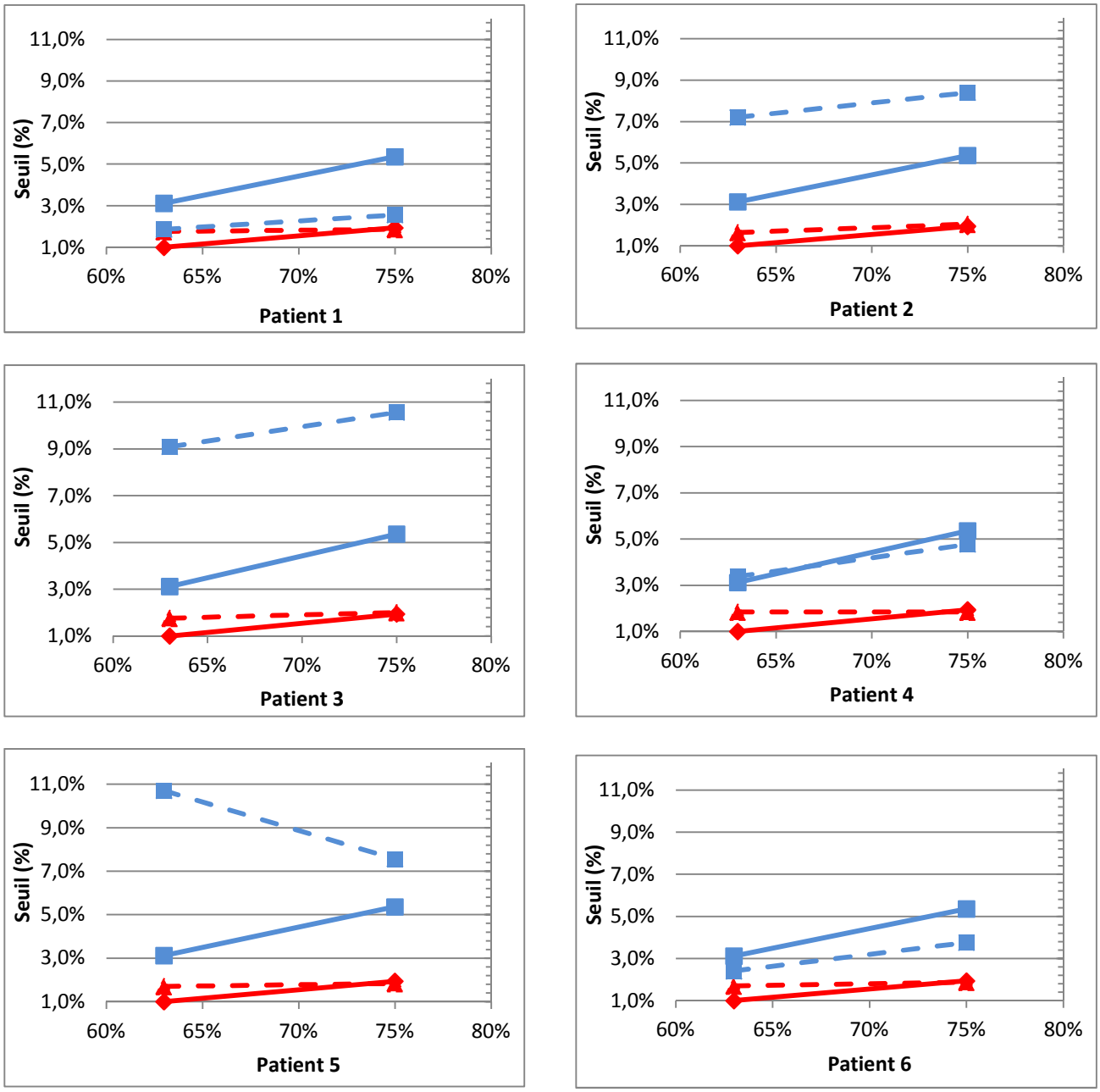


Figure 61. Seuil en fonction du contraste des piédestaux et de la condition pour les six patients. (Rouge: Steady. Bleu: Pulse; Pointillé: Patients. Plein: Contrôles)

L’analyse cas par cas montre que tous les patients avaient une augmentation des seuils pour le contraste de piédestal le plus faible dans la condition continu. Tous les patients avaient des résultats homogènes avec une élévation des seuils pour le contraste des piédestaux le plus faible mais pas de différence significative avec les contrôles pour le contraste des piédestaux le plus élevé. Dans la condition flashé, les résultats étaient plus hétérogènes, trois patients avaient des seuils très élevées et deux patients avaient des seuils plus faibles que les contrôles. (Voir annexe 4 pour un tableau récapitulatif)

Discussion

L’objectif de cette expérience était d’étudier un éventuel déficit visuel, à un niveau précoce, dans les pathologies à syndromes extrapyramidaux. Un déficit magnocellulaire était attendu.

Les résultats montrent une augmentation des seuils des patients pour le contraste de piédestaux le plus faible. Les patients montrent un déficit magnocellulaire dès les traitements les plus précoces. Ce résultat est compatible avec celui de Silva et al. (2005) qui mettaient en évidence un déficit magnocellulaire précoce. Néanmoins, leurs résultats concernent seulement la maladie de Parkinson. Les six patients de l’expérience n’ont, néanmoins, pas été diagnostiqués et ont pour seul point commun un syndrome extrapyramidal. Ceci peut expliquer l'effet plus variable obtenu sur le système parvocellulaire. Les patient présentent donc un déficit magnocellulaire systématique et un déficit parvocellulaire plus important pour certains d'entre eux.

2. Les traitements de stimuli complexes

Les expériences concernant la catégorisation d’objets dissocient les traitements parvocellulaires et magnocellulaires et ont, ainsi, permis de mettre en évidence des déficits

liés à l'avancée en âge. Un déficit du traitement des fréquences spatiales basses devrait être observé chez les patients à syndromes extrapyramidaux

A. La différenciation par la fréquence spatiale

Méthode

Participants

Vingt-cinq patients atteints de syndromes extrapyramidaux (m = 62,5 ans; α = 13,3, 11 hommes, 14 femmes) ont été recrutés dans le service de médecine nucléaire de l'Hôpital Pellegrin à Bordeaux dans le cadre d'un examen d'imagerie de leur système dopaminergique. Les critères d'exclusion étaient les mêmes que ceux de l'expérience précédente. Trois des patients ont abandonné au cours de l'expérience, les analyses d'imagerie de deux autres n'ont pu être obtenues. Les données de 20 patients ont donc été utilisées (m= 59,7 ans; α = 12,8, 10 hommes, 10 femmes).

Vingt participants en bonne santé âgés et volontaires appariés en sexe et en âge (m = 58,2 ans; α = 12,6; 10 hommes, 10 femmes) ont participé à l'étude. Les critères d'exclusion des patients ont été appliqués sur le groupe contrôle.

Matériel, Stimuli et Procédure

Le matériel, les stimuli et la procédure sont les mêmes que ceux utilisés dans l'expérience de présentation simple (voir page 80).

Résultats

Analyse de la précision

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur la précision en prenant le type de filtrage en variable intra-sujet et le groupe en variable inter-sujets. Les résultats ont montré un effet du type de filtrage, $F(2,76)= 59,7$; $p<.001$. Les images non filtrées (87%) étaient catégorisées plus précisément que les images passe-bande (78%), elles-mêmes catégorisées plus

précisément que les images passe-bas (72%). Le groupe n'avait pas d'effet sur la précision, $F(1,38)=3,5$; n.s.

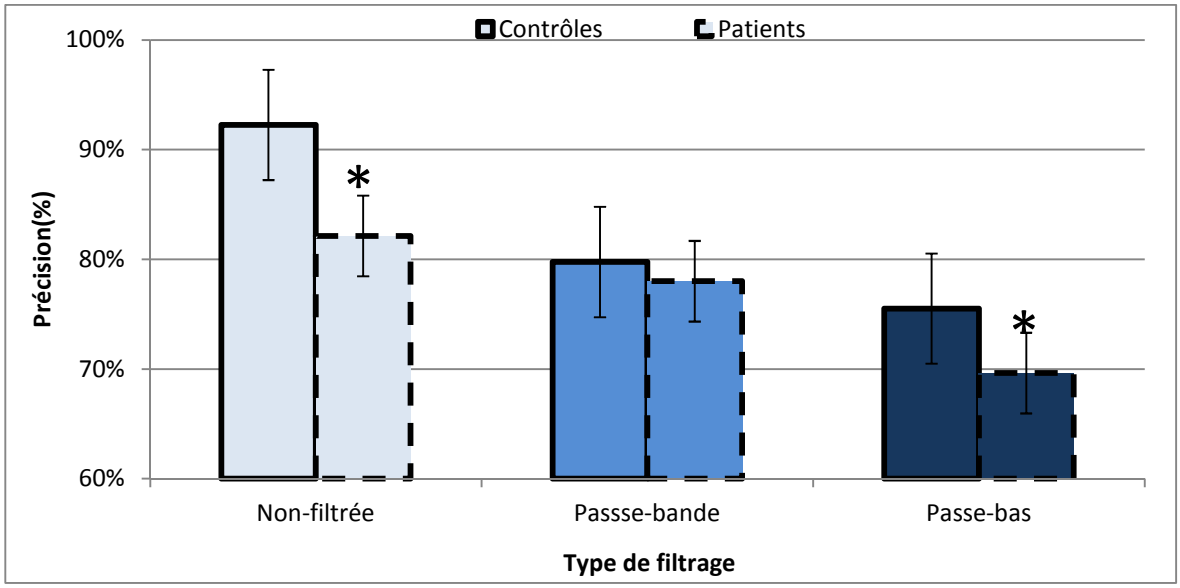


Figure 62. Précision (%) en fonction du groupe et du type de filtrage

L'interaction entre le type de filtrage et le groupe était significative, $F(2,76)=4,8$; $p<.05$. Pour le groupe contrôle, les images non filtrées (92%) étaient mieux catégorisées que les images passe-bande (79%) et passe-bas (75%). Dans le groupe de patients, les images passe-bas (70%) étaient catégorisées moins précisément que les images passe-bande (78%) et non filtrées (82%), qui ne différaient pas entre elles. Comme le montre la figure 62, la précision des patients différait de celle du groupe contrôle seulement dans les conditions passe-bas et non-filtrée.

Analyse du temps de réponse

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur les temps de réponse filtrés en prenant le type de filtrage en variable intra-sujet et le groupe en variable inter-sujets. Les résultats ont montré un effet du type de filtrage, $F(2,76)= 36,2$; $p<.001$. Les images non filtrées (767 ms) étaient catégorisées plus rapidement que les images passe-bande (847 ms), elle-même catégorisées plus rapidement que les images passe-bas (885 ms). Le groupe avait un effet sur les TR,

$F(1,38)=23,7$; $p<.001$. Les patients (976 ms) étaient plus longs à répondre que le groupe contrôle (690 ms).

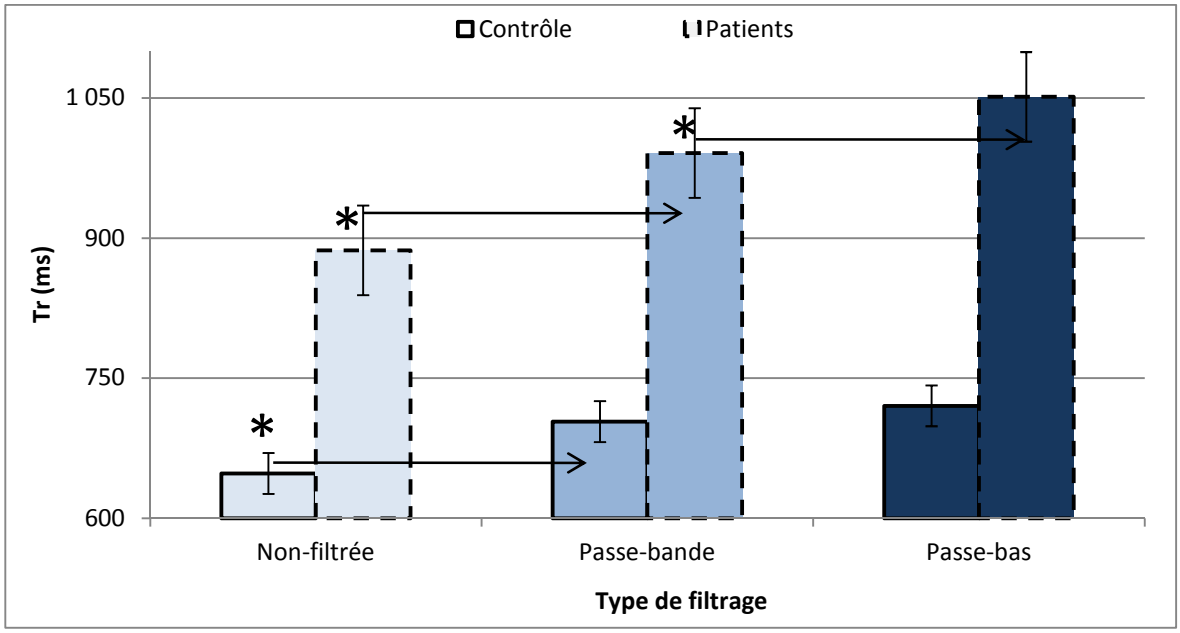


Figure 63. Temps de réponse (ms) en fonction du groupe et du type de filtrage

L'interaction entre le type de filtrage et le groupe était significative, $F(2,76)=5,27$; $p<.01$. Pour le groupe contrôle, les temps de réponse pour les images passe-bande (703 ms) et passe-bas (720 ms), tout deux supérieurs aux temps de réponse pour les images non-filtrées (655ms) ne différaient pas significativement alors que dans le groupe de patients, les images passe-bas (1051 ms) étaient plus longues à être traitées que les images passe-bande (1003 ms). Les temps de réponse des images filtrées étaient plus élevés que ceux pour les images non filtrées (887ms. Voir figure 63).

Discussion

L'objectif de cette expérience était d'étudier un éventuel déficit visuel, à un niveau tardif, dans les pathologies à syndromes extrapyramidaux. Si le déficit magnocellulaire précoce n'est pas compensé par des interactions de haut niveau pouvant se réaliser dans cette tâche de catégorisation, un déficit spécifique pour les images passe-bas devrait être observée.

L'analyse de l'interaction entre le groupe et le type de filtrage montre un déficit pour toutes les images, mais plus important encore pour les images passe-bas. Pour le groupe

contrôle, les images passe-bas et passe-bande étaient catégorisées aussi rapidement et précisément l'une que l'autre, ce qui reproduit le déficit parvocellulaire lié à l'âge dans cette tâche. Chez les patients, les images passe-bas étaient plus difficiles à catégoriser que les images passe-bande. Il y a donc bien un déficit de la catégorisation chez les patients souffrant de syndromes extrapyramidaux, observable aussi bien sur les temps de réponse que sur la précision. Un déficit des traitements magnocellulaires est donc observé à un niveau tardif dans les maladies à symptômes extrapyramidaux.

B. La différenciation par l'excentricité

Afin d'approfondir les résultats observés dans l'expérience précédente, l'excentricité a été manipulée. Seulement deux patients ont pu être inclus. Les résultats préliminaires sont néanmoins présentés comme des pistes à explorer.

Méthode

Participants

Deux patients ont été recrutés (Patient A : 62 ans, Homme ; Patient B : 55 ans ; Femme). Les critères d'exclusion étaient les mêmes que ceux de l'expérience précédente. Les participants âgés de l'expérience manipulant l'excentricité chez des personnes âgées ont servi de groupe contrôle pour l'analyse statistique.

Matériel, Stimuli et Procédure

Le matériel utilisé est le même que l'expérience de présentation simple des objets dans le vieillissement normal, les stimuli et la procédure sont les mêmes que ceux utilisés dans l'expérience manipulant l'excentricité (voir page 94).

Résultats

Les résultats ont été analysés en comparant les performances individuelles aux données moyennes du groupe contrôle pour déterminer si elles s'inséraient dans l'intervalle de confiance du groupe contrôle.

Dans la condition de présentation central, la patient A avait des performances égales sinon supérieures au groupe contrôle pour les conditions passe-bande et non filtrées. Une chute de ses performances était observée dans la condition passe-bas. Le patient B montrait une précision plus faible pour les images passe-bas et non filtrées mais avait des performances égales au groupe contrôle pour les images passe-bande (Voir Figure 64).

Dans la condition de présentation en périphérie, le patient A avait des performances détériorées par rapport au groupe contrôle pour les images passe-bande et non filtrées mais pas pour les images passe-bas. Le patient B montrait des performances inférieures pour les

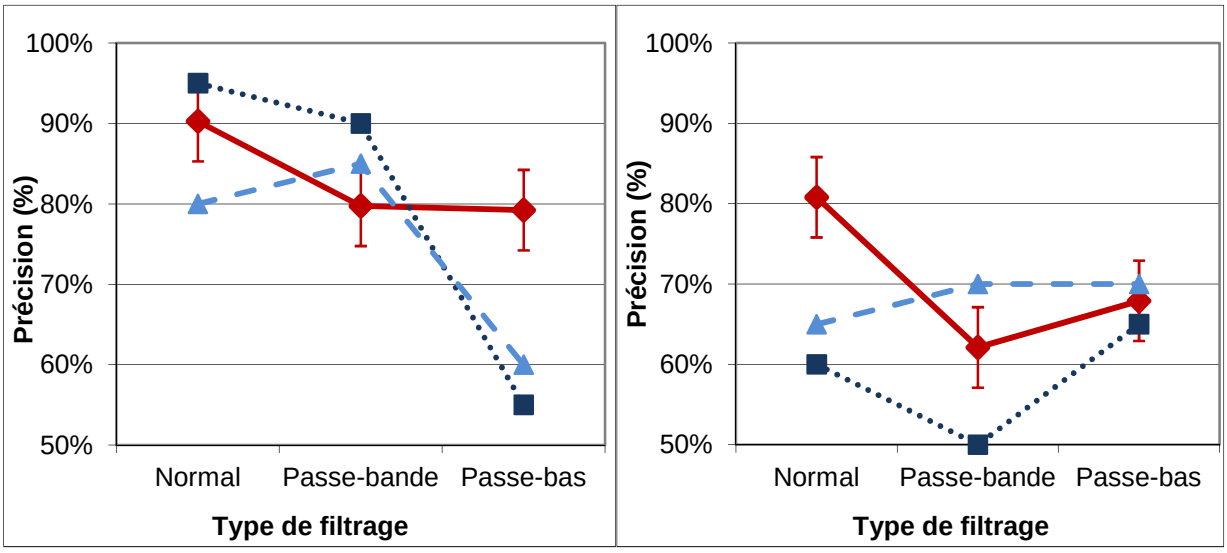


Figure 61. Précision (%) en fonction du type de filtrage et du groupe en présentation centrale (Rouge: Contrôle. Bleu foncé: Patient A. Bleu clair: Patient B)

Figure 65. Précision (%) en fonction du type de filtrage et du groupe en excentricité (Rouge: Contrôle. Bleu foncé: Patient A. Bleu clair: Patient B)

images non filtrées, supérieures pour les images passe-bande et égales pour les images passe-bas (Voir Figure 65).

Discussion

L'objectif de cette étude était d'utiliser l'opposition centre/périphérie pour étudier plus en profondeur le déficit magnocellulaire observé dans l'expérience précédente.

Sur le plan descriptif, les résultats des deux patients sont globalement cohérents avec un déficit magnocellulaire et confirment, ainsi, les résultats de l'expérience de présentation simple des objets. Les patients ont des résultats cohérents entre eux, ce qui est un argument supplémentaire puisque les patients souffrant de syndromes extrapyramidaux ont, en général, une variabilité interindividuelle très importante. Les deux patients montrent un déficit du traitement des fréquences spatiales basses en présentation centrale reproduisant les résultats de l'expérience précédente. En condition de présentation périphérique, les effets sont plus spéculatifs, les patients ne sont pas plus déficitaires que le groupe contrôle dans la condition passe-bas : on peut penser que pour les deux groupes, à ce niveau d'excentricité, ce type de stimuli produit une dégradation maximale des performances. La précision n'est pas au niveau du hasard, toutefois, la performance résiduelle peut s'expliquer par la prise en charge des traitements par le système parvocellulaire, le filtre passe-bas utilisé n'étant pas excessivement strict (0>3.8 cpd). La performance est en outre dégradée pour les deux patients pour les images non filtrées et pour un patient sur deux pour les images passe-bande. Cette baisse des performances pour les images non filtrées peut être due au traitement déficitaire de leur composante de fréquence spatiale basse comme élevée.

C. La différenciation par le mouvement

A l'instar de l'expérience précédente, la manipulation du mouvement permettra d'étudier le déficit magnocellulaire présent dans les pathologies à syndrome extrapyramidaux.

Ce déficit ne s'observait pas chez les personnes âgées, possiblement grâce à une compensation du système parvocellulaire. Chez les patients, cependant, le déficit devrait être assez prononcé pour être observé.

Méthode

Participants

Deux patients ont été recrutés (Patient C : 56 ans, Homme ; Patient D : 67 ans ; Femme). Les critères d'exclusion étaient les mêmes que ceux de l'expérience précédente. Les participants de l'expérience de manipulation du mouvement dans le vieillissement normal serviront donc de groupe contrôle.

Matériel, Stimuli et Procédure

Le matériel, les stimuli et la procédure sont les mêmes que ceux utilisés dans l'expérience précédente (voir page 97).

Résultats

Pour la condition de présentation fixe, le patients D avaient des performances égales au groupe contrôle. Le patient C avait une précision supérieure au groupe contrôle (Voir figure 66). Pour la condition en mouvement, les patients avaient une précision égale pour les images non filtrées, supérieures pour les images passe-bande et inférieures aux contrôles pour les images passe-bas (Voir figure 67).

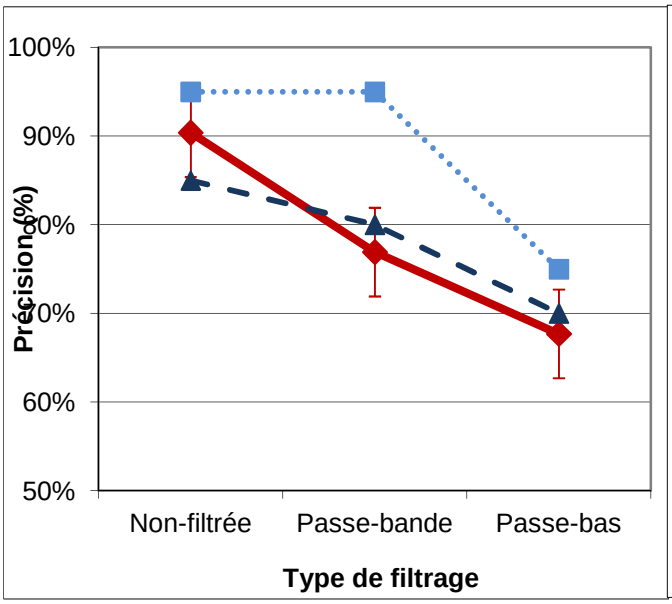


Figure 66. Précision (%) en fonction du groupe et du type de filtrage en position fixe (Rouge: Contrôle. Bleu foncé: Patient D. Bleu clair: Patient C)

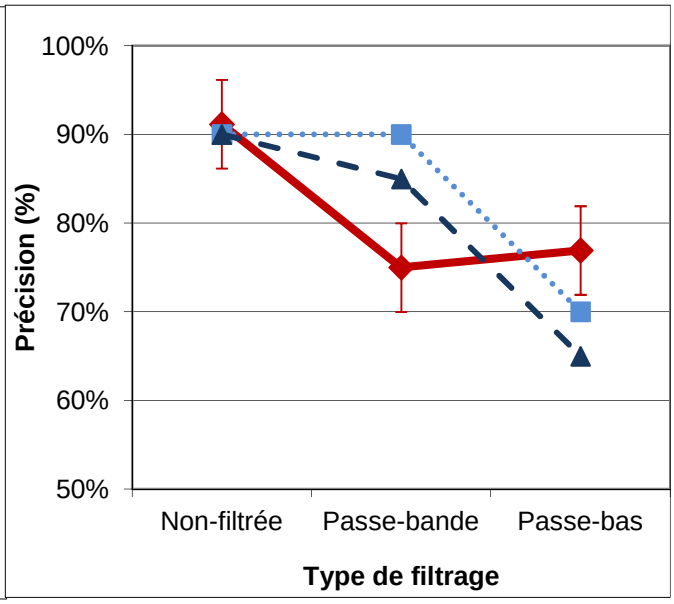


Figure 67. Précision (%)en fonction du groupe et du type de filtrage en mouvement(Rouge: Contrôle. Bleu foncé: Patient D. Bleu clair: Patient C)

Discussion

L'objectif de cette étude était d'utiliser le mouvement pour étudier plus en profondeur le déficit magnocellulaire observé dans l'expérience précédente.

Ici encore, les résultats pour les images filtrées passe-bas sont déficitaires chez ces deux nouveaux patient. Le résultat ne s'observe pas en condition fixe chez ces deux patients, on ne reproduit pas la détérioration spécifique passe-bas pour les images fixes, mais on l'observe chez les deux patients pour les images en mouvements. Il est possible que ces deux patients ne soient pas encore très détériorés et donc que leur déficit ne s'observe que dans les conditions isolant strictement le système magnocellulaire.

D. Effets des attentes liées à la tâche

La littérature sur les pathologies syndromes extrapyramidaux montre régulièrement à un déficit visuospatial dans ces pathologies (Lee et Harris, 1999; Rampello et al., 2004; Mowry et al., 2007 ; Amstrong, 2008). La tâche de localisation a donc été utilisée. Un déficit

est attendu chez les patients avec des performances globalement amoindries, et qui devrait être accentué dans la condition filtrée passe-bas.

a) Localisation d'un objet naturel

Méthode

Participants

Les vingt patients et le groupe contrôle de l'expérience de présentation simple des objets ont été recrutés pour cette expérience (voir page 167).

Matériel, stimuli et procédure

Le matériel, les stimuli et la procédure sont les mêmes que ceux utilisés dans l'expérience de localisation (voir page 104).

Résultats

Analyse de la précision

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur la précision en prenant le type de filtrage en variable intra-sujet et le groupe en variable inter-sujets. Un effet significatif du groupe a été mis en évidence, $F(1,38)=14,5$; $p<.001$. Les patients (83%) avaient plus de mal à localiser la cible que le groupe contrôle (96%. Voir figure 68). Le type de filtrage n'avait pas d'effet significatif sur la précision, $F(2,76)<1$.

Il n'y avait pas d'interaction entre le type de filtrage et le groupe, $F(2,76)=1,7$; n.s.

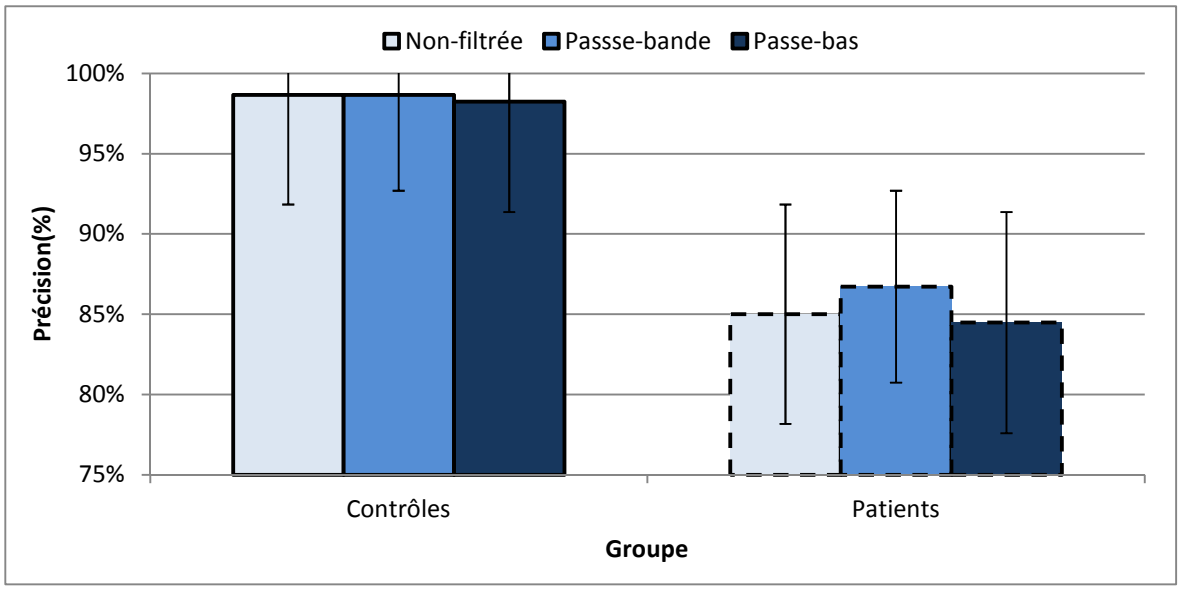


Figure 68. Précision (%) en fonction du groupe de du type de filtrage

Analyse des temps de réponse

Une A.N.O.V.A a été effectuée sur les temps de réponse filtrés en prenant le type de filtrage en variable intra-sujet et le groupe en variable inter-sujets. Un effet significatif du groupe était observé. Les patients (839 ms) étaient plus longs à localiser les cibles (456 ms) que le groupe contrôle, $F(1,38)=23,7$; $p<.001$. Un effet significatif du type de filtrage a été obtenu, $F(2,76)=9,8$; $p<.001$. Les images passe-bande (675 ms) étaient catégorisées plus lentement que les images non filtrées (632 ms) et les images passe-bas (635 ms).

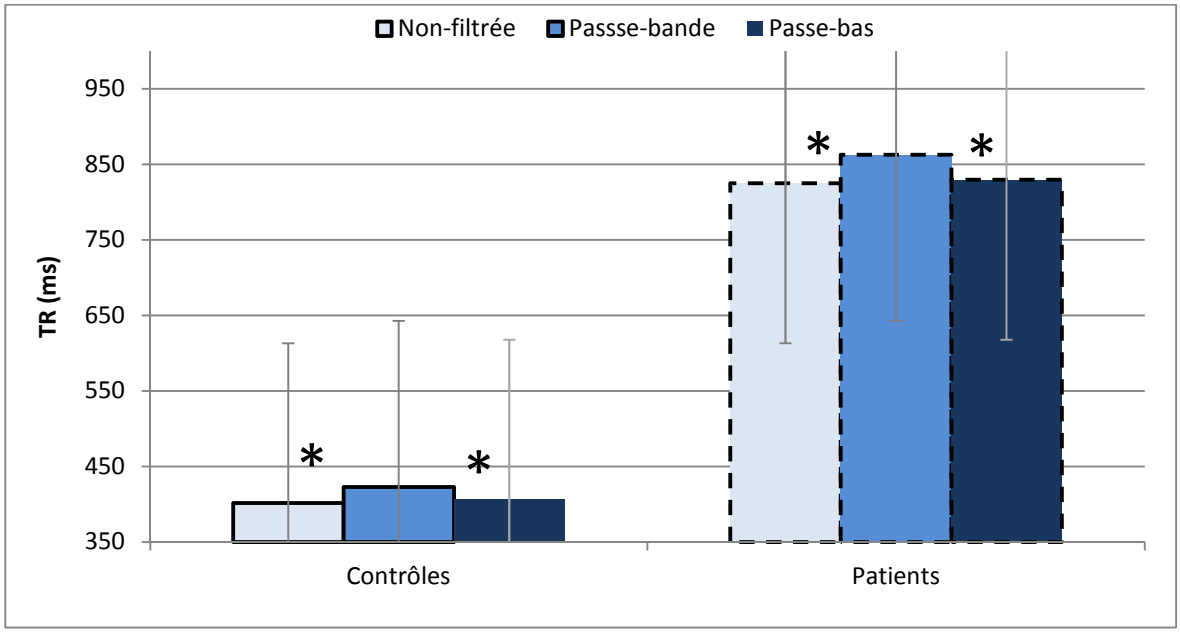


Figure 69. Temps de réponse (ms) en fonction du groupe et du type de filtrage

Comme le montre la Figure 69, l'interaction entre le groupe et le type de filtrage n'était pas significative, $F(2,76)<1$.

Discussion

Les résultats ont montré un déficit global des patients à la tâche de localisation quelle que soit la fréquence spatiale. Les résultats sont en accord avec la littérature qui montrent un déficit visuospatial dans ce type de pathologie (Lee et Harris, 1999; Rampello et al., 2004; Mowry et al., 2007 ; Amstrong, 2008). Chez les jeunes, les résultats indiquaient que la tâche de localisation s'effectuait indépendamment de la fréquence spatiale. Cependant, un déficit a été mis en évidence chez les personnes âgées dans cette thèse, un traitement déficitaire de la gamme de fréquence spatiale moyenne. Chez les patients, on attendait un déficit sélectif dans la condition passe-bas. Les résultats ne confirment pas cette hypothèse. Les patients reproduisent seulement le déficit parvocellulaire lié à l'avancée en âge. Le déficit magnocellulaire observé dans les expériences précédentes ne s'observe pas dans cette tâche supposée être dorsale.

E. Données dénervation dopaminergique

Une scintigraphie cérébrale permettant de mesurer le nombre de connexions dopaminergiques dans les ganglions de la base (système dopaminergique central) a été réalisée. Les patients des expériences de catégorisation simple et de localisation ont été soumis à cet examen dans le cadre d'un diagnostic différentiel. Evaluer la corrélation entre les valeurs dopaminergiques et les déficits comportementaux permet d'étudier l'existence d'un lien entre le fonctionnement dopaminergique et les traitements visuels. La question plus spécifique ici était donc de déterminer s'il existe un lien entre dopamine, voie ventrale/voie dorsale et fréquence spatiale. Si oui, une corrélation entre les données dénervation dopaminergique et les performances comportementales devrait s'observer, sélectivement dans les conditions isolant le fonctionnement magnocellulaire.

Méthode

Participants

Le groupe de vingt patients des expériences de présentation simple des objets et de localisation a été recruté (voir page 167).

Matériel

L'imagerie SPECT a été réalisée sur une machine à émission de photons tomodensitométrie SPECT-CT T2 SYMBIA (Siemens). Afin de minimiser l'absorption d'iode dans la glande thyroïde, quatre cents mg de perchlorate de potassium ont été administrés à chaque patient par voie orale, 30 minutes avant l'acquisition de données. Les images ont été acquises 3h après l'injection intraveineuse de 150-170 MBq de 123I-FP-CIT (DaTSCAN, GE Healthcare-).

Les projections ont été filtrées avec un filtre Butterworth (ordre 5; fréquence de coupure : 0,25 cycles / pixel) avant la reconstruction d'une matrice 64x64. Les résultats ont été analysés avec le logiciel PMOD. Les ROI (striatum, noyau caudé, putamen) ont été créées dans l'espace de l'INM sur la base AAL (Anatomic Automatic Labeling. Tzourio-Mazoyer et al., 2002).

Résultats

Une matrice de corrélation a été réalisée à l'aide d'une analyse de Spearman en prenant en compte les données de dénervation DA (striatum droit et gauche, noyau caudé droit et gauche et le putamen droit et gauche), des données comportementales (précision et temps de réponse dans la tâche de localisation et de catégorisation sémantique pour les images non-filtrée, passe-bande et passe-bas) et des données biographiques (âge et sexe).

Les résultats montraient une corrélation positive entre toutes les données de dénervation dopaminergique. La perte dans une des structures du système dopaminergique est corrélée avec une perte dans d'autres structures du système dopaminergique. Toutes les lésions étaient bilatérales. Le déficit du système dopaminergique était général, non spécifique à l'une des structures. Il n'y avait pas de corrélation significative entre l'âge, le sexe et les données de dénervation dopaminergique. Quant à la corrélation avec les données comportementales et le déficit dopaminergique, les résultats montrent une corrélation entre les temps de réponse pour la catégorisation et le noyau caudé droit ($r= -0,44$; $p<.05$). Une corrélation spécifique aux temps de réponse pour l'image passe-bas et le striatum droit ($r = -0,456$, $p <.05$), le noyau caudé gauche ($r = -0,501$; $p <. 05$) et le droit ($r = -0,469$, $p <.05$) a aussi été trouvée (Voir tableau 3).

Tableau 3. Corrélations entre données comportementales et dénervation dopaminergique (Cat= catégorisation ; Loc=Localisation ; Dr=Droit ; GA=Gauche)

	Striatum Dr	Striatum Ga	Caudé Dr	Caudé Ga	Putamen Dr	Putamen Ga
Striatum Dr	1,000000					
Striatum Ga	0,954104	1,000000				
Caudé Dr	0,968455	0,905930	1,000000			
Caudé Ga	0,971969	0,936715	0,962727	1,000000		
Putamen Dr	0,981638	0,952510	0,905748	0,937811	1,000000	
Putamen Ga	0,954549	0,941074	0,900551	0,930665	0,956324	1,000000
Tr Non-Filtrée Cat	-0,411271	-0,315662	-0,428619	-0,394682	-0,355672	-0,324443
Tr Passe-bande Cat	-0,364499	-0,276489	-0,368121	-0,356568	-0,312851	-0,308329
Tr Passe-bas Cat	-0,456430	-0,345855	-0,501807	-0,469755	-0,386087	-0,339015
Rc Non-Filtrée Cat	0,202089	0,202648	0,113660	0,194235	0,231711	0,226183
Rc Passe-bande Cat	0,047775	0,094777	0,018164	0,115882	0,043489	0,090910
Rc Passe-bas Cat	0,118351	0,063962	0,103636	0,185539	0,091338	0,068355
Tr Non-Filtrée Loc	-0,072036	0,059359	-0,107171	-0,047325	-0,041039	0,054742
Tr Passe-bande Loc	-0,111184	0,002709	-0,146983	-0,107164	-0,078237	0,012301
Tr Passe-bas Loc	-0,117986	0,009357	-0,152120	-0,094728	-0,088232	0,021027
Rc Non-Filtrée Loc	0,244824	0,202983	0,250874	0,320907	0,216822	0,202941
Rc Passe-bande Loc	0,315942	0,271506	0,330792	0,361289	0,270596	0,238023
Rc Passe-bas Loc	0,332766	0,263744	0,343190	0,363342	0,294146	0,246836
Non-filtrée	-0,231045	-0,102662	-0,261696	-0,207523	-0,185964	-0,109600
Passe-bande	-0,246805	-0,130487	-0,271867	-0,240392	-0,200630	-0,139466
Passe-bas	-0,287371	-0,154826	-0,330216	-0,278747	-0,235710	-0,144210
TR Catégorisation	-0,425821	-0,323979	-0,449326	-0,422957	-0,364169	-0,335527
TR Localisation	-0,102822	0,022535	-0,138211	-0,085481	-0,071261	0,028614

3. Discussion

L’un des objectifs de cette thèse était d’évaluer le rôle de la dopamine dans les systèmes visuels. Les procédures comportementales utilisés précédemment ont montré leur pertinence dans la recherche de dissociation des traitements parvocellulaire et magnocellulaires. Elles ont été adaptées à l’étude de patients souffrant de ralentissement et de fatigabilité. Les résultats démontrent l'existence d’un déficit magnocellulaire lié au déficit dopaminergique, chez les patients extrapyramidaux.

Un réseau cérébral spécifique peut rendre compte du lien entre l'appauvrissement dopaminergique et le déficit magnocellulaire. Bar, en 2003, a proposé un modèle de reconnaissance d'objets selon lequel les informations magnocellulaires sont relayées de V1 par la voie dorsale vers le cortex préfrontal dorsolatéral où, comme expliqué dans la partie théorique, elles activent les représentations possibles de l'objet. Or, on sait que le cortex préfrontal dorsolatéral partage des connexions avec le striatum (Selemon & Goldman-Rakic, 1988). Cette connexion peut expliquer pourquoi l'appauvrissement dopaminergique est corrélé avec un déficit spécifique du traitement des fréquences spatiales basses dans la catégorisation. Les projections magnocellulaires dans le cortex préfrontal jouent donc un rôle dans la reconnaissance d’objet. Le déficit dopaminergique du striatum vient perturber l’envoi des informations dans le cortex préfrontal et ainsi diminuer les performances de catégorisation. Ce lien pourrait aussi expliquer pourquoi les données de l'imagerie dopaminergique ne sont corrélées qu’avec des temps de réponses et non pas avec la précision. Les informations magnocellulaires agissent comme une amorce pour la reconnaissance d'objets. Sans cette amorce, la reconnaissance visuelle n'est pas compromise, mais ralentie. La connexion entre le striatum et le cortex préfrontal dorsolatéral semble donc être un lien entre le système dopaminergique central et la vision, un lien médiatisé par les fréquences spatiales basses.

Un résultat inattendu était l’absence de corrélation dopaminergique et les performances à la tâche de localisation. Le striatum est connu pour contribuer à l'attention visuospatiale (Tomasi et al., 2009) et l'intégration des informations sensorielles pour la préparation de l'action (Boussaoud & Kermadi, 1997). Si le lien entre déficit dopaminergique et déficit visuel se situe au niveau du cortex préfrontal dorsolatéral, cette absence de corrélation est évidente. De plus, les résultats chez les jeunes montrent que cette tâche ne permet pas d'isoler les traitements tardifs dorsaux comme la tâche de catégorisation.

3° Partie : Conclusion

Cette thèse avait pour but de mettre en place des outils aptes à dissocier les systèmes parvocellulaire et magnocellulaire. Les caractéristiques des deux systèmes ont été utilisées afin d'évaluer leurs différences au niveau comportemental. Ces outils ont aussi été adaptés à l'étude des dysfonctionnements visuels.

Le système visuel normal

Les expériences chez le groupe jeune ont permis de mettre en évidence une dissociation du fonctionnement des systèmes parvocellulaire et magnocellulaire à un niveau comportemental. La reproduction des résultats de Pokorny et Smith (1997), le privilège accordé aux fréquences spatiales moyennes dans la reconnaissance d'objets, la diminution de celui-ci en vision périphérique ou lors de la présentation d'un objet en mouvement, la modification de l'influence du filtrage selon la tâche et la facilitation du traitement de l'objet par les fréquences spatiales basses de la scène sont tout autant d'éléments rendant compte de la dissociation des deux systèmes. Ainsi, malgré la remise en cause d'une dissociation complète à un niveau physiologique, le nombre important d'interactions tardives, nos résultats démontrent qu'elle est effective tout au long du traitements. Il reste de nombreuses caractéristiques des deux systèmes à explorer au niveau comportemental, notamment sur le traitement des couleurs. Les études physiologiques ont aussi apporté de nombreuses données sur les différences intra-système. A un niveau comportemental, ces données sont quasiment inexistantes ; pourtant elles permettraient une compréhension plus fine des systèmes.

Les expériences d'amorçage et sur la scène apportent des éléments de compréhension bien que ne différenciant pas les traitements parvocellulaires et magnocellulaires. Les expériences d'amorçage, par exemple, ont permis d'approfondir les connaissances concernant le traitement « Coarse » et « Fine ». En montrant une prédominance des informations « Fine » dans les traitements les plus précoces et dans l'étape de structuration de la forme, ces

expériences présentent un argument supplémentaire pour la théorie « Fine to Coarse ». Les expériences sur la scène ont d'une part confirmé l'effet facilitateur que peut avoir la scène sur le traitement de l'objet et d'autre part, informe de l'importance du paradigme dans les processus étudiés. Il semblerait qu'une procédure go/no go modifie le bénéfice observé dans une expérience à choix forcé. Les attentes des participants ont donc bien une influence sur le traitement du stimulus allant même jusqu'à modifier l'effet facilitateur d'une amorce. L'expérience sur les stimuli silhouette a révélé un effet inhibiteur de la scène incongruente sur la catégorisation de la cible. Cette procédure ouvre le champ à de nouvelles expérimentations qui permettront de préciser le niveau d'action du traitement de la scène sur l'objet.

Evolution du système visuel avec l'avancée en âge

Concernant le vieillissement normal, la littérature sur les troubles visuels au niveau ophtalmologique est exhaustive. Notre approche a complété ces données à un niveau cognitif. Les résultats obtenus vont dans les sens d'un déficit parvocellulaire massif qui apparaît précocement avec l'avancée en âge, ainsi que d'un déficit magnocellulaire observable sous certaines conditions. L'expérience psychophysique a révélé un déficit dans la condition flashé et continu. Les expériences de catégorisation et de localisation ont montré une diminution de la capacité de traitement des fréquences spatiales élevées. Ces résultats semblent indiquer un déficit du système parvocellulaire dès les traitements précoces qui ne se compense pas dans les tâches les plus tardives. Il est à noter que le déficit de traitement des fréquences spatiales élevées disparaît quand plus de temps est accordé aux traitements des stimuli. Le déficit magnocellulaire n'est observé que dans l'expérience psychophysique et dans la manipulation de l'excentricité. Des analyses complémentaires sont nécessaires afin de déterminer si seules certaines des capacités du système magnocellulaire sont affectées avec l'avancée en âge ou si ce déficit n'a pu être observé chez des participants aussi peu âgés que nos groupes. L'élargissement des groupes d'âge sera intéressante dans une perspective développementale

D’autre part, Les origines de ce déficit étant mal définies, un compréhension des modifications structurelles du système visuel et leurs répercussion au niveau cognitif serait nécéssaire

Dopamine et système visuel

Le rôle de la dopamine a été interrogé grâce à l'étude de patients à syndromes extrapyramidaux. Les résultats vont dans le sens d’un déficit magnocellulaire chez les patients. En effet, l’expérience de catégorisation a montré une baisse des performances pour les fréquences spatiales basses dans la tâche de catégorisation (résultats qui semblent se confirmer dans les résultats pilotes sur l’excentricité et le mouvement) et l’expérience de localisation a montré un déficit global dans la tâche de localisation. Une dénervation dopaminergique étant la cause d’un syndrome extrapyramidal, l’hypothèse selon laquelle les déficits visuels sont liès à la dénervation dopaminergique a été posée. Les résultats vont dans le sens de cette hypothèse. Les résulltats sont compatibles avec l'idée que le lien entre dopamine et déficit visuel dans les pathologies à syndromes extrapyramidaux se situe dans la connexion qu’entretient le striatum avec le cortex préfrontal.

Les structures du striatum jouent un rôle dans la planification d’action (Monchi, Petrides, Strafella, Worsley & Doyon, 2006 ; Grahn, Parkinson & Owen, 2008). L’utilisation de tâches visuospatiales nécessitant l’utilisation de telles structures permettrait d’approfondir la connaissance des répercussions du déficit dopaminergique et de pouvoir analyser l’implication des deux systèmes dans ces tâches. Les pathologies à syndromes extrapyramidaux offrent la possibilité d’investiguer plus profondément le rôle des informations magnocellulaires.

Bibliographie

Adlington, R. L., Laws, K. R., & Gale, T. M. (2009). Visual processing in Alzheimer's disease: surface detail and colour fail to aid object identification. *Neuropsychologia*, 47(12), 2574-2583.

Aedo-Jury, F. & Pins, D. (2010) Time compression increases with eccentricity: a magnocellular property. *Neuroreport*, 21(2), 84-89

Ala, T., Hughes, L. F., Kyrouac, G. A., Ghobrial, M. W., & Elble, R. J. (2004). Use of MMSE to differentiate Alzheimer's disease from dementia with Lewy bodies--response to Larner. *Int J Geriatr Psychiatry*, 19(12), 1209; author reply 1209-1210.

Alexander, K. R., Barnes, C. S., Fishman, G. A., Pokorny, J., & Smith, V. C. (2004). Contrast sensitivity deficits in inferred magnocellular and parvocellular pathways in retinitis pigmentosa. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 45(12), 4510-4519.

Alexander, K. R., Pokorny, J., Smith, V. C., Fishman, G. A., & Barnes, C. S. (2001). Contrast discrimination deficits in retinitis pigmentosa are greater for stimuli that favor the magnocellular pathway. *Vision Res*, 41(5), 671-683.

Amick, M. M., Cronin-Golomb, A., & Gilmore, G. C. (2003). Visual processing of rapidly presented stimuli is normalized in Parkinson's disease when proximal stimulus strength is enhanced. *Vision Res*, 43(26), 2827-2835.

Anderson, R. S., & O'Brien, C. (1997). Psychophysical evidence for a selective loss of M ganglion cells in glaucoma. *Vision Res*, 37(8), 1079-1083.

Armstrong, R. A. (2008). Visual signs and symptoms of Parkinson's disease. *Clin Exp Optom*, 91(2), 129-138.

Avidan, G., Harel, M., Hendler, T., Ben-Bashat, D., Zohary, E., & Malach, R. (2002). Contrast sensitivity in human visual areas and its relationship to object recognition. *J Neurophysiol*, 87(6), 3102-3116.

Awatramani, G. B., & Slaughter, M. M. (2000). Origin of transient and sustained responses in ganglion cells of the retina. *J Neurosci*, 20(18), 7087-7095.

Azzopardi, P., Jones, K. E., & Cowey, A. (1999). Uneven mapping of magnocellular and parvocellular projections from the lateral geniculate nucleus to the striate cortex in the macaque monkey. *Vision Res*, 39(13), 2179-2189.

Bagot. (1996). Information, sensation et perception. Paris: Colin.

Ball, K., & Sekuler, R. (1986). Improving visual perception in older observers. *J Gerontol*, 41(2), 176-182.

Ballard, C., Walker, M., O'Brien, J., Rowan, E., & McKeith, I. (2001). The characterisation and impact of 'fluctuating' cognition in dementia with Lewy bodies and Alzheimer's disease. *Int J Geriatr Psychiatry*, 16(5), 494-498.

Bar, M. (2003). A cortical mechanism for triggering top-down facilitation in visual object recognition. *J Cogn Neurosci*, 15(4), 600-609.

Bar, M. (2004). Visual objects in context. *Nat Rev Neurosci*, 5(8), 617-629.

Bar, M., & Ullman, S. (1996). Spatial context in recognition. *Perception*, 25(3), 343-352.

Benardete, E. A., & Kaplan, E. (1997). The receptive field of the primate P retinal ganglion cell, I: Linear dynamics. *Vis Neurosci*, 14(1), 169-185.

Benardete, E. A., & Kaplan, E. (1997). The receptive field of the primate P retinal ganglion cell, II: Nonlinear dynamics. *Vis Neurosci*, 14(1), 187-205.

Benardete, E. A., & Kaplan, E. (1999). The dynamics of primate M retinal ganglion cells. *Vis Neurosci*, 16(2), 355-368.

Benitez del Rosario, M. A., Feria, M., & Monton Alvarez, F. I. (2002). Hallucinations in an elderly cancer patient: opioid neurotoxicity or dementia with Lewy bodies? *Palliat Med*, 16(1), 71-72.

Biederman, I., & Kalocsai, P. (1997). Neurocomputational bases of object and face recognition. Philos *Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 352(1358), 1203-1219.

Biederman, I., Mezzanotte, R. J., & Rabinowitz, J. C. (1982). Scene perception: detecting and judging objects undergoing relational violations. *Cogn Psychol*, 14(2), 143-177.

Biederman, I., Rabinowitz, J. C., Glass, A. L., & Stacy, E. W., Jr. (1974). On the information extracted from a glance at a scene. *J Exp Psychol*, 103(3), 597-600.

Blakemore, C., & Vital-Durand, F. (1986). Organization and post-natal development of the monkey's lateral geniculate nucleus. *J Physiol*, 380, 453-491.

Blasdel, G. G., & Lund, J. S. (1983). Termination of afferent axons in macaque striate cortex. *J Neurosci*, 3(7), 1389-1413.

Boucart, M. (1996). La reconnaissance des objets: Presse universitaire de grenoble.

Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spat Vis*, 10(4), 433-436.

Braje, W. L., Tjan, B. S., & Legge, G. E. (1995). Human efficiency for recognizing and detecting low-pass filtered objects. *Vision Res*, 35(21), 2955-2966.

Brandies, R., & Yehuda, S. (2008). The possible role of retinal dopaminergic system in visual performance. *Neurosci Biobehav Rev*, 32(4), 611-656.

Brown, L. E., Halpert, B. A., & Goodale, M. A. (2005). Peripheral vision for perception and action. *Exp Brain Res*, 165(1), 97-106.

Brown, L. E., Morrissey, B. F., & Goodale, M. A. (2009). Vision in the palm of your hand. *Neuropsychologia*, 47(6), 1621-1626.

Buchholz, J., & McKone, E. (2004). Adults with dyslexia show deficits on spatial frequency doubling and visual attention tasks. *Dyslexia*, 10(1), 24-43.

Buckley, M.J. & Gaffan, D. (1998) Perirhinal cortex ablation impairs visual object identification. *The journal of neurosciences*, 18(6), 2268-2275.

Bullier, J. (1998). Architecture fonctionnelle du système visuel. Vision : aspects perceptifs et cognitifs. Belin, C Marseille, Solal.

Bullier, J., & Nowak, L. G. (1995). Parallel versus serial processing: new vistas on the distributed organization of the visual system. *Curr Opin Neurobiol*, 5(4), 497-503.

Calderon, J., Perry, R. J., Erzinclioglu, S. W., Berrios, G. E., Dening, T. R., & Hodges, J. R. (2001). Perception, attention, and working memory are disproportionately impaired in dementia with Lewy bodies compared with Alzheimer's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 70(2), 157-164.

Calkins, D. J., Schein, S. J., Tsukamoto, Y., & Sterling, P. (1994). M and L cones in macaque fovea connect to midget ganglion cells by differnet numbers of excitatory synapses. *Nature*(371), 70-72.

Carey, D. P., Dijkerman, H. C., Murphy, K. J., Goodale, M. A., & Milner, A. D. (2006). Pointing to places and spaces in a patient with visual form agnosia. *Neuropsychologia*, 44(9), 1584-1594.

Cavina-Pratesi, C., Goodale, M. A., & Culham, J. C. (2007). FMRI reveals a dissociation between grasping and perceiving the size of real 3D objects. *PLoS One*, 2(5), e424.

Chang, S. H., Lin, C. Y., Fung, C. P., Hwang, J. R., & Doong, J. L. (2008). Driving performance assessment: effects of traffic accident location and alarm content. *Accid Anal Prev*, 40(5), 1637-1643.

Chapman, F. M., Dickinson, J., McKeith, I., & Ballard, C. (1999). Association among visual hallucinations, visual acuity, and specific eye pathologies in Alzheimer's disease: treatment implications. *Am J Psychiatry*, 156(12), 1983-1985.

Chaumet, G. (2009) Fatigue et somnolence, conséquences comportementales "aspects attentionnels, reconnaissance et prise de décision"

Chen, J., Myerson, J., & Hale, S. (2002). Age-related dedifferentiation of visuospatial abilities. *Neuropsychologia*, 40(12), 2050-2056.

Coppinger, N. W. (1955). The relationship between critical flicker frequency and chronologic age for varying levels of stimulus brightness. *J Gerontol*, 10(1), 48-52.

Corbe, C. (1993). [Refractive disorders. Clinical aspects and spontaneous course]. *Rev Prat*, 43(14), 1761-1764.

Croner, L. J., & Kaplan, E. (1995). Receptive fields of P and M ganglion cells across the primate retina. *Vision Res*, 35(1), 7-24.

Crook, J. M., Lange-Malecki, B., Lee, B. B., & Valberg, A. (1988). Visual resolution of macaque retinal ganglion cells. *J Physiol*, 396, 205-224.

Dacey, D. M. (2000). Parallel pathways for spectral coding in primate retina. *Annu Rev Neurosci*, 23, 743-775.

Dacey, D. M., & Petersen, M. R. (1992). Dendritic field size and morphology of midget and parasol ganglion cells of the human retina. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 89(20), 9666-9670.

Davidsdottir, S., Cronin-Golomb, A., & Lee, A. (2005). Visual and spatial symptoms in Parkinson's disease. *Vision Res*, 45(10), 1285-1296.

De Lau, L. M., & Breteler, M. M. (2006). Epidemiology of Parkinson's disease. *Lancet Neurol*, 5(6), 525-535.

De Valois, R. L., & De Valois, K. K. (1990). Spatial vision. Oxford: Oxford university press.

Delahunt, P. B., Hardy, J. L., Okajima, K., & Werner, J. S. (2005). Senescence of spatial chromatic contrast sensitivity.II. Matching under natural viewing conditions. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, 22(1), 60-67.

Delord, S. (1998). Which mask is the most efficient: A pattern or a noise? It depends on the task. *Visual cognition*, 5, 313-338.

Delord, S., Ducato, M. G., Pins, D., Devinck, F., Thomas, P., Boucart, M., et al. (2006). Psychophysical assessment of magno- and parvocellular function in schizophrenia. *Vis Neurosci*, 23(3-4), 645-650.

Djamgoz, M. B., Hankins, M. W., Hirano, J., & Archer, S. N. (1997). Neurobiology of retinal dopamine in relation to degenerative states of the tissue. *Vision Res*, 37(24), 3509-3529.

Duncan, G., Wormstone, I. M., & Davies, P. D. (1997). The aging human lens: structure, growth, and physiological behaviour. *Br J Ophthalmol*, 81(10), 818-823.

Eden, G. F., VanMeter, J. W., Rumsey, J. M., Maisog, J. M., Woods, R. P., & Zeffiro, T. A. (1996). Abnormal processing of visual motion in dyslexia revealed by functional brain imaging. *Nature*, 382(6586), 66-69.

Eden, G. F., VanMeter, J. W., Rumsey, J. M., & Zeffiro, T. A. (1996). The visual deficit theory of developmental dyslexia. *Neuroimage*, 4(3 Pt 3), S108-117.

Elliott, S. L., & Werner, J. S. (2010). Age-related changes in contrast gain related to the M and P pathways. *J Vis*, 10(4), 4 1-15.

Epstein, R., Graham, K. S., & Downing, P. E. (2003). Viewpoint-specific scene representations in human parahippocampal cortex. *Neuron*, 37(5), 865-876.

Faragher, R. G., Mulholland, B., Tuft, S. J., Sandeman, S., & Khaw, P. T. (1997). Aging and the cornea. *Br J Ophthalmol*, 81(10), 814-817.

Ferman, T. J., Smith, G. E., Boeve, B. F., Graff-Radford, N. R., Lucas, J. A., Knopman, D. S., et al. (2006). Neuropsychological differentiation of dementia with Lewy bodies from normal aging and Alzheimer's disease. *Clin Neuropsychol*, 20(4), 623-636.

Fize, D., Fabre-Thorpe, M., Richard, G., Doyon, B., & Thorpe, S. J. (2005). Rapid categorization of foveal and extrafoveal natural images: associated ERPs and effects of lateralization. *Brain Cogn*, 59(2), 145-158.

Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR; "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res*. 1975 Nov;12(3):189-98.

Freedman, D. J., Riesenhuber, M., Poggio, T., & Miller, E. K. (2001). Categorical representation of visual stimuli in the primate prefrontal cortex. *Science*, 291(5502), 312-316.

Freedman, D. J., Riesenhuber, M., Poggio, T., & Miller, E. K. (2002). Visual categorization and the primate prefrontal cortex: neurophysiology and behavior. *J Neurophysiol*, 88(2), 929-941.

Friedman, A. (1979). Framing pictures: the role of knowledge in automatized encoding and memory for gist. *J Exp Psychol Gen*, 108(3), 316-355.

Garofeanu, C., Kroliczak, G., Goodale, M. A., & Humphrey, G. K. (2004). Naming and grasping common objects: a priming study. *Exp Brain Res*, 159(1), 55-64.

Gastaud, P. (2003). The role of surgery in the treatment of age-related macular degeneration. *J Fr Ophtalmol*, 26(8), 872-875.

Gilbert, C. D., & Kelly, J. P. (1975). The projections of cells in different layers of the cat's visual cortex. *J Comp Neurol*, 163, 81-106.

Gilmore, G. C., Wenk, H. E., Naylor, L. A., & Stuve, T. A. (1992). Motion perception and aging. *Psychol Aging*, 7(4), 654-660.

Goodale, M. A., Milner, A. D., Jakobson, L. S., & Carey, D. P. (1991). A neurological dissociation between perceiving objects and grasping them. *Nature*, 349, 154-156.

Gordon, R. D. (2006). Selective attention during scene perception: evidence from negative priming. *Mem Cognit*, 34(7), 1484-1494.

Gouras, P., & Link, K. (1966). Rod and cone interaction in dark-adapted monkey ganglion cells. *J Physiol*, 184(2), 499-510.

Grahn, J.A, Parkinson, J.A. & Owen A.M. (2008) The cognitive functions of the caudate nucleus. *Prog Neurobiol*, 86(3), 141-155

Grunwald, J. E., Piltz, J., Patel, N., Bose, S., & Riva, C. E. (1993). Effect of aging on retinal macular microcirculation: a blue field simulation study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 34(13), 3609-3613.

Hamilton, J. M., Salmon, D. P., Galasko, D., Raman, R., Emond, J., Hansen, L. A., et al. (2008). Visuospatial deficits predict rate of cognitive decline in autopsy-verified dementia with Lewy bodies. *Neuropsychology*, 22(6), 729-737.

Hansen, T., Pracejus, L., & Gegenfurtner, K. R. (2009). Color perception in the intermediate periphery of the visual field. *J Vis*, 9(4), 26 21-12.

Hardy, J. L., Delahunt, P. B., Okajima, K., & Werner, J. S. (2005). Senescence of spatial chromatic contrast sensitivity. I. Detection under conditions controlling for optical factors. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, 22(1), 49-59.

Harmon, L. D., & Julesz, B. (1973). Masking in visual recognition: effects of two-dimensional filtered noise. *Science*, 180(91), 1194-1197.

Haug, B. A., Kolle, R. U., Trenkwalder, C., Oertel, W. H., & Paulus, W. (1995). Predominant affection of the blue cone pathway in Parkinson's disease. *Brain*, 118 (Pt 3), 771-778.

Heijl, A., Alm, A., Bengtsson, B., Calissendorf, B., Linden, C., & Eckerlund, I. (2010). Open-angle glaucoma: diagnosis, follow up and treatment. A systematic literature review from SBU. *Lakartidningen*, 107(19-20), 1311-1313.

Henderson, S., Gagnon, S., Belanger, A., Tabone, R., & Collin, C. (2010). Near peripheral motion detection threshold correlates with self-reported failures of attention in younger and older drivers. *Accid Anal Prev*, 42(4), 1189-1194.

Hicks, T. P., Lee, B. B., & Vidyasagar, T. R. (1983). The responses of cells in macaque lateral geniculate nucleus to sinusoidal gratings. *J Physiol*, 337, 183-200.

Hochstein, S., & Shapley, R. M. (1976). Linear and nonlinear spatial subunits in Y cat retinal ganglion cells. *J Physiol*, 262(2), 265-284.

Hochstein, S., & Shapley, R. M. (1976). Quantitative analysis of retinal ganglion cell classifications. *J Physiol*, 262(2), 237-264.

Hollingworth, A., & Henderson, J. M. (1999). Object identification is isolated from scene semantic constraint: evidence from object type and token discrimination. *Acta Psychol (Amst)*, 102(2-3), 319-343.

Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1977). Ferrier lecture. Functional architecture of macaque monkey visual cortex. *Proc R Soc Lond B Biol Sci*, 198(1130), 1-59.

Hummel, J. E., & Biederman, I. (1992). Dynamic binding in a neural network for shape recognition. *Psychol Rev*, 99(3), 480-517.

Hunt, L. A., Sadun, A. A., & Bassi, C. J. (1995). Review of the visual system in Parkinson's disease. *Optom Vis Sci*, 72(2), 92-99.

Insausti, R., Insausti, A.M., Sobreviela, M.T., Salinas, A. &Martinez-Puela J.M. (1998). Human medial temporal lobe in aging : anatomical basis of memory preservation. *Microsc Res Tech*, 43(1), 8-15

Jackson, G. R., & Barber, A. J. (2010). Visual dysfunction associated with diabetic retinopathy. *Curr Diab Rep*, 10(5), 380-384.

Jackson, G. R., & Owsley, C. (2003). Visual dysfunction, neurodegenerative diseases, and aging. *Neurol Clin*, 21(3), 709-728.

Jacob, B., Hache, J. C., & Pasquier, F. (2002). Dysfunction of the magnocellular pathway in Alzheimer's disease. *Rev Neurol* (Paris), 158(5 Pt 1), 555-564.

Jaffe, G. J., Alvarado, J. A., & Juster, R. P. (1986). Age-related changes of the normal visual field. *Arch Ophthalmol*, 104(7), 1021-1025.

James, T. W., Culham, J., Humphrey, G. K., Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2003). Ventral occipital lesions impair object recognition but not object-directed grasping: an fMRI study. *Brain*, 126(Pt 11), 2463-2475.

Kao, K. L., & Goodale, M. A. (2009). Enhanced detection of visual targets on the hand and familiar tools. *Neuropsychologia*, 47(12), 2454-2463.

Kaplan, E. (2003). The M, P and K pathways in the primate visual system. In editors (Ed.), The visual neuroscience encyclopedia (pp. 481-494): Chalupa, L.

Kaplan, E., & Benardete, E. (2001). The dynamics of primate retinal ganglion cells. *Prog Brain Res*, 134, 17-34.

Kaplan, E., & Shapley, R. M. (1982). X and Y cells in the lateral geniculate nucleus of macaque monkeys. *J Physiol*, 330, 125-143.

Kaplan, E., & Shapley, R. M. (1986). The primate retina contains two types of ganglion cells, with high and low contrast sensitivity. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 83(8), 2755-2757.

Keri, S., & Benedek, G. (2007). Visual contrast sensitivity alterations in inferred magnocellular pathways and anomalous perceptual experiences in people at high-risk for psychosis. *Vis Neurosci*, 24(2), 183-189.

Keri, S., Janka, Z., & Benedek, G. (2002). Early-stage vision and schizophrenia. *Am J Psychiatry*, 159(4), 678; author reply 678-679.

Keri, S., Kelemen, O., Benedek, G., & Janka, Z. (2004). Vernier threshold in patients with schizophrenia and in their unaffected siblings. *Neuropsychology*, 18(3), 537-542.

Kim, C. B., Tom, B. W., & Spear, P. D. (1996). Effects of aging on the densities, numbers, and sizes of retinal ganglion cells in rhesus monkey. *Neurobiol Aging*, 17(3), 431-438.

Kim, D., Wylie, G., Pasternak, R., Butler, P. D., & Javitt, D. C. (2006). Magnocellular contributions to impaired motion processing in schizophrenia. *Schizophr Res*, 82(1), 1-8.

Korn, H. (2002). Further evidence for a reversed crossing of foveal projections in schizophrenic vulnerability. *Med Hypotheses*, 58(4), 305-311.

Kroliczak, G., Heard, P., Goodale, M. A., & Gregory, R. L. (2006). Dissociation of perception and action unmasked by the hollow-face illusion. *Brain Res*, 1080(1), 9-16.

Kunde, W., Landgraf, F., Paelecke, M., & Kiesel, A. (2007). Dorsal and ventral processing under dual-task conditions. *Psychol Sc*i, 18(2), 100-104.

Laycock, R., Crewther, D. P., & Crewther, S. G. (2008). The advantage in being magnocellular: a few more remarks on attention and the magnocellular system. *Neurosci Biobehav Rev*, 32(8), 1409-1415.

Lee, A. C., Harris, J. P., & Calvert, J. E. (1998). Impairments of mental rotation in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 36(1), 109-114.

Leonova, A., Pokorny, J., & Smith, V. C. (2003). Spatial frequency processing in inferred PC- and MC-pathways. *Vision Res*, 43(20), 2133-2139.

Leventhal, A. G., Rodieck, R. W., & Dreher, B. (1981). Retinal ganglion cell classes in the Old World monkey: morphology and central projections. *Science*, 213(4512), 1139-1142.

Levi, D. M., McGraw, P. V., & Klein, S. A. (2000). Vernier and contrast discrimination in central and peripheral vision. *Vision Res*, 40(8), 973-988.

Livingstone, M., & Hubel, D. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, 240(4853), 740-749.

Loftus, G. R., & Harley, E. M. (2004). How different spatial-frequency components contribute to visual information acquisition. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 30(1), 104-118.

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

Mareschal, D., & Johnson, M. H. (2003). The "what" and "where" of object representations in infancy. *Cognition*, 88(3), 259-276.

Martinez, A., Hillyard, S. A., Dias, E. C., Hagler, D. J., Jr., Butler, P. D., Guilfoyle, D. N., et al. (2008). Magnocellular pathway impairment in schizophrenia: evidence from functional magnetic resonance imaging. *J Neurosci*, 28(30), 7492-7500.

Masson, G., Mestre, D., & Blin, O. (1993). Dopaminergic modulation of visual sensitivity in man. *Fundam Clin Pharmacol*, 7(8), 449-463.

McAnany, J. J., & Alexander, K. R. (2006). Contrast sensitivity for letter optotypes vs. gratings under conditions biased toward parvocellular and magnocellular pathways. *Vision Res*, 46(10), 1574-1584.

McAnany, J. J., & Alexander, K. R. (2008). Spatial frequencies used in Landolt C orientation judgments: relation to inferred magnocellular and parvocellular pathways. *Vision Res*, 48(26), 2615-2624.

McCotter, M., Gosselin, F., Sowden, P., & Schyns, P. (2005). The use of visual information in visual scenes. *Visual cognition*, 12, 938-953.

McKendrick, A. M., Badcock, D. R., & Morgan, W. H. (2004). Psychophysical measurement of neural adaptation abnormalities in magnocellular and parvocellular pathways in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 45(6), 1846-1853.

McKendrick, A. M., Sampson, G. P., Walland, M. J., & Badcock, D. R. (2007). Contrast sensitivity changes due to glaucoma and normal aging: low-spatial-frequency losses in both magnocellular and parvocellular pathways. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 48(5), 2115-2122.

Melun, J. P., Morin, L. M., Muise, J. G., & DesRosiers, M. (2001). Color vision deficiencies in Gilles de la Tourette syndrome. *J Neurol Sci*, 186(1-2), 107-110.

Merigan, W. H., Byrne, C. E., & Maunsell, J. H. (1991). Does primate motion perception depend on the magnocellular pathway*? J Neurosci*, 11(11), 3422-3429.

Merigan, W. H., & Maunsell, J. H. (1993). How parallel are the primate visual pathways*? Annu Rev Neurosci*, 16, 369-402.

Merigan, W. H., Nealey, T. A., & Maunsell, J. H. (1993). Visual effects of lesions of cortical area V2 in macaques. *J Neurosci*, 13(7), 3180-3191.

Metzger, R. L., & Antes, J. R. (1983). The nature of processing early in picture perception. *Psychol Res*, 45(3), 267-274.

Meulenbroek, O., Petersson, K. M., Voermans, N., Weber, B., & Fernandez, G. (2004). Age differences in neural correlates of route encoding and route recognition. *Neuroimage*, 22(4), 1503-1514.

Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1993). Visual pathways to perception and action. *Prog Brain Res*, 95, 317-337.

Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1995). The visual brain in action. Oxford: Oxford university press.

Mitov, D., & Totev, T. (2005). How many pathways determine the speed of grating detection? *Vision Res*, 45(7), 821-825.

Monchi, O., Petrides, M. Strafella, A.P., Worsley, K.J. & Doyon, J. (2006) Functional role of the basal ganglia in the planning and execution of actions. *Ann Neurol,* 59(2),257-264

Mondon, K., Gochard, A., Marque, A., Armand, A., Beauchamp, D., Prunier, C., et al. (2007). Visual recognition memory differentiates dementia with Lewy bodies and Parkinson's disease dementia. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 78(7), 738-741.

Mongeon, D., Blanchet, P., & Messier, J. (2009). Impact of Parkinson's disease and dopaminergic medication on proprioceptive processing. *Neuroscience*, 158(2), 426-440.

Mosimann, U. P., Mather, G., Wesnes, K. A., O'Brien, J. T., Burn, D. J., & McKeith, I. G. (2004). Visual perception in Parkinson disease dementia and dementia with Lewy bodies. *Neurology*, 63(11), 2091-2096.

Mowry, E. M., Balcer, L. J., & Galetta, S. L. (2007). Multiple sclerosis and the ophthalmologist. *Compr Ophthalmol Update*, 8(1), 39-49.

Moya, F. J., Brigatti, L., & Caprioli, J. (1999). Effect of aging on optic nerve appearance: a longitudinal study. *Br J Ophthalmol*, 83(5), 567-572.

Muckli, L., Kiess, S., Tonhausen, N., Singer, W., Goebel, R., & Sireteanu, R. (2006). Cerebral correlates of impaired grating perception in individual, psychophysically assessed human amblyopes. *Vision Res*, 46(4), 506-526.

Muller, T., Woitalla, D., Peters, S., Kohla, K., & Przuntek, H. (2002). Progress of visual dysfunction in Parkinson's disease. *Acta Neurol Scand*, 105(4), 256-260.

Nealey, T. A., & Maunsell, J. H. (1994). Magnocellular and parvocellular contributions to the responses of neurons in macaque striate cortex. *J Neurosci*, 14(4), 2069-2079.

Nelson, P. T., Jicha, G. A., Kryscio, R. J., Abner, E. L., Schmitt, F. A., Cooper, G., et al. (2010). Low sensitivity in clinical diagnoses of dementia with Lewy bodies. *J Neurol*, 257(3), 359-366.

New, B., Pallier, C., Ferrand, L., & Matos, R. (2001). Une base de données lexicales du français contemporain sur internet: LEXIQUE. *L'année psychologique*, 101, 447-462.

Nguyen, A., Chubb, C., & Huff, F. J. (2003). Visual identification and spatial localization in Alzheimer's disease. *Brain and cognition*, 55(2), 155-166.

Nguyen-Legros, J., Versaux-Botteri, C., & Savy, C. (1997). Dopaminergic and GABAergic retinal cell populations in mammals. *Microsc Res Tech*, 36(1), 26-42.

Ohzawa, I., Sclar, G., & Freeman, R. D. (1982). Contrast gain control in the cat visual cortex. *Nature*, 298(5871), 266-268.

Ohzawa, I., Sclar, G., & Freeman, R. D. (1985). Contrast gain control in the cat's visual system. *J Neurophysiol*, 54(3), 651-667.

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

Oliva, A., & Torralba, A. (2006). Building the gist of a scene: the role of global image features in recognition. *Prog Brain Res*, 155, 23-36.

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

Palmer, S. E. (1975). The effects of contextual scenes on the identification of objects. *Memory and cognition*, 3, 519-526.

Palmer, S. E. (1999). Vision science: Photons to phenomenology. Cambridge, London: The MIT Press.

Panda-Jonas, S., Jonas, J.B., Jakobczyk-Zmija, M. (1995) Retinal photoreceptor density decreases with age. Ophthalmology,102(12),1853-9.

Parker, A., Wilding, E., & Akerman, C. (1998). The Von Restorff effect in visual object recognition memory in humans and monkeys. The role of frontal/perirhinal interaction. *J Cogn Neurosci*, 10(6), 691-703.

Parker, D., & Costen, N. (2001). One extreme or the other, or perhaps the golden mean? Issues of spatial resolution in face processing. In N. brunswick (Ed.), validation in psychology: Research perspectives.

Parker, D. M., Lishman, J. R., & Hughes, J. (1992). Temporal integration of spatially filtered visual images. *Perception*, 21(2), 147-160.

Parker, D. M., Lishman, J. R., & Hughes, J. (1996). Role of coarse and fine spatial information in face and object processing. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 22(6), 1448-66

Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spat Vis*, 10, 437-442.

Pellicano, E., & Gibson, L. Y. (2008). Investigating the functional integrity of the dorsal visual pathway in autism and dyslexia. *Neuropsychologia*, 46(10), 2593-2596.

Perry, V. H., Oehler, R., & Cowey, A. (1984). Retinal ganglion cells that project to the dorsal lateral geniculate nucleus in the macaque monkey. *Neuroscience*, 12(4), 1101-1123.

Plainis, S., & Murray, I. J. (2000). Neurophysiological interpretation of human visual reaction times: effect of contrast, spatial frequency and luminance. *Neuropsychologia*, 38(12), 1555-1564.

Pokorny, J., & Smith, V. C. (1997). Psychophysical signatures associated with magnocellular and parvocellular pathway contrast gain. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, 14(9), 2477-2486.

Polyak, S. L. (1941). The retina. Chicago: University of chicago press.

Potter, M. C. (1976). Short-term conceptual memory for pictures. *J Exp Psychol Hum Learn*, 2(5), 509-522.

Rampello, L., Cerasa, S., Alvano, A., Butta, V., Raffaele, R., Vecchio, I., et al. (2004). Dementia with Lewy bodies: a review. *Arch Gerontol Geriatr*, 39(1), 1-14.

Ray, N. J., Fowler, S., & Stein, J. F. (2005). Yellow filters can improve magnocellular function: motion sensitivity, convergence, accommodation, and reading. *Ann N Y Acad Sci*, 1039, 283-293.

Rempel-Clower, N. L., & Barbas, H. (2000). The laminar pattern of connections between prefrontal and anterior temporal cortices in the Rhesus monkey is related to cortical structure and function. *Cereb Cortex*, 10(9), 851-865.

Rodieck, R. W., & Watanabe, M. (1993). Survey of the morphology of macaque retinal ganglion cells that project to the pretectum, superior colliculus, and parvicellular laminae of the lateral geniculate nucleus. *J Comp Neurol*, 338(2), 289-303.

Rotshtein, P., Vuilleumier, P., Winston, J., Driver, J., & Dolan, R. (2007). Distinct and convergent visual processing of high and low spatial frequency information in faces. *Cereb Cortex*, 17(11), 2713-2724.

Rousselet, G. A., Husk, J. S., Pernet, C. R., Gaspar, C. M., Bennett, P. J., & Sekuler, A. B. (2009). Age-related delay in information accrual for faces: evidence from a parametric, single-trial EEG approach. *BMC Neurosci*, 10, 114.

Salvi, S. M., Akhtar, S., & Currie, Z. (2006). Ageing changes in the eye. *Postgrad Med J*, 82(971), 581-587.

Schechter, I., Butler, P. D., Silipo, G., Zemon, V., & Javitt, D. C. (2003). Magnocellular and parvocellular contributions to backward masking dysfunction in schizophrenia. *Schizophr Res*, 64(2-3), 91-101.

Schefrin, B. E., Tregear, S. J., Harvey, L. O., Jr., & Werner, J. S. (1999). Senescent changes in scotopic contrast sensitivity. *Vision Res*, 39(22), 3728-3736.

Schenk, T., Mai, N., Ditterich, J., & Zihl, J. (2000). Can a motion-blind patient reach for moving objects? *Eur J Neurosc*i, 12(9), 3351-3360.

Schwarzlose, R. F., Swisher, J. D., Dang, S., & Kanwisher, N. (2008). The distribution of category and location information across object-selective regions in human visual cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 105(11), 4447-4452.

Schyns, P., & Oliva, A. (1994). From blob to boundary edges: evidence for time- and spatial-scale-dependent scene recognition. *Psychological science*, 5, 195-200.

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

Sekuler, R., & Owsley, C. (1983). Visual manifestations of biological aging. *Exp Aging Res*, 9(4), 253-255.

Shapley, R. (1986). The importance of contrast for the activity of single neurons, the VEP and perception. *Vision Res*, 26(1), 45-61.

Silva, M. F., Faria, P., Regateiro, F. S., Forjaz, V., Januario, C., Freire, A., et al. (2005). Independent patterns of damage within magno-, parvo- and koniocellular pathways in Parkinson's disease. *Brain*, 128(Pt 10), 2260-2271.

Silveira, L. C., & Perry, V. H. (1991). The topography of magnocellular projecting ganglion cells (M-ganglion cells) in the primate retina. *Neuroscience*, 40(1), 217-237.

Skottun, B. C., & Skoyles, J. R. (2008). A few remarks on attention and magnocellular deficits in schizophrenia. *Neurosci Biobehav Rev*, 32(1), 118-122.

Smith, V. C., Pokorny, J., Lee, B. B., Martin, P. R., & Valberg, A. (1992). response of macaque ganglion cells to the relative phase of heterochromatically modulated. *The journal of physiology*, 458, 191-211.

Solomon, S. G., Lee, B. B., White, A. J., Ruttiger, L., & Martin, P. R. (2005). Chromatic organization of ganglion cell receptive fields in the peripheral retina. *J Neurosci*, 25(18), 4527-4539.

Solomon, S. G., Martin, P. R., White, A. J., Ruttiger, L., & Lee, B. B. (2002). Modulation sensitivity of ganglion cells in peripheral retina of macaque. *Vision Res*, 42(27), 2893-2898.

Spear, P. D. (1993). Neural bases of visual deficits during aging. *Vision Res*, 33(18), 2589-2609.

Spear, P. D., Moore, R. J., Kim, C. B., Xue, J. T., & Tumosa, N. (1994). Effects of aging on the primate visual system: spatial and temporal processing by lateral geniculate neurons in young adult and old rhesus monkeys. *J Neurophysiol*, 72(1), 402-420.

Stein, J. F. (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *dyslexia*, 7, 12-36.

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

Sun, H., Pokorny, J., & Smith, V. C. (2001). Rod-cone interactions assessed in inferred magnocellular and parvocellular postreceptoral pathways. *J Vis*, 1(1), 42-54.

Sutherland, A., & Crewther, D. P. (2010). Magnocellular visual evoked potential delay with high autism spectrum quotient yields a neural mechanism for altered perception. *Brain*, 133(Pt 7), 2089-2097.

Swanson, W. H., Pan, F., & Lee, B. B. (2008). Chromatic temporal integration and retinal eccentricity: psychophysics, neurometric analysis and cortical pooling. *Vision research*, 48(26), 20657-25662.

Tenback, D. E., van Harten, P. N., Sloof, C. J., & van Os, J. (2006). Evidence that early extrapyramidal symptoms predict later tardive dyskinesia: a prospective analysis of 10.000 patients in the european schizophrenia outpatient health outcomes. *Am J Psychiatry*, 163, 1438-1440.

Tieger, T., & Ganz, L. (1979). Recognition of faces in the presence of two-dimesional sinusoidal masks. *Percept. Psychophys.*, 26, 163-167.

Tolosa, E., Wenning, G., & Poewe, W. (2006). The diagnosis of Parkinson's disease. *Lancet Neurol*, 5(1), 75-86.

Tomasi, D., Volkow, N. D., Wang, R., Telang, F., Wang, G. J., Chang, L., et al. (2009). Dopamine transporters in striatum correlate with deactivation in the default mode network during visuospatial attention. *PLoS One*, 4(6), e6102.

Turnbull, O. H. (1997). A double dissociation between knowledge of object identity and object orientation. *Neuropsychologia*, 35(4), 567-570.

Tzourio-Mazoyer, N., Landeau, B., Papathanassiou, D., Crivello, F., Etard, O., Delcroix, N., Mazoyer, B. & Joliot, M. (2002) Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain. *Neuroimage*, 15(2), 273-279.

Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1994). 'What' and 'where' in the human brain. *Curr Opin Neurobiol*, 4(2), 157-165.

Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems.

Valberg, A., Lee, B. B., Kaiser, P. K., & Kremers, J. (1992). Responses of macaque ganglion cells to movement of chromatic borders. *J Physiol*, 458, 579-602.

Valyear, K. F., Culham, J. C., Sharif, N., Westwood, D., & Goodale, M. A. (2006). A double dissociation between sensitivity to changes in object identity and object orientation in the ventral and dorsal visual streams: a human fMRI study. *Neuropsychologia*, 44(2), 218-228.

Vanni, S., Henriksson, L., Viikari, M., & James, A. C. (2006). Retinotopic distribution of chromatic responses in human primary visual cortex. *Eur J Neurosci*, 24(6), 1821-1831.

Vannucci, M., Viggiano, M. P., & Argenti, F. (2001). Identification of spatially filtered stimuli as function of the semantic category. *Brain Res Cogn Brain Res*, 12(3), 475-478.

Verriest, G. (1971). Influence of age on visual functions in humans. *Bull Acad R Med Belg*, 11(8), 527-578.

Viggiano, M. P., Righi, S., & Galli, G. (2006). Category-specific visual recognition as affected by aging and expertise. *Arch Gerontol Geriatr*, 42(3), 329-338.

Wassle, H., & Boycott, B. B. (1991). Functional architecture of the mammalian retina. *Physiol Rev*, 71(2), 447-480.

Whiteley, L., Spence, C., & Haggard, P. (2008). Visual processing and the bodily self. *Acta Psychol* (Amst), 127(1), 129-136.

Williamson, S. J., & Cummins, H. Z. (1983). Light and color in nature and art. New york: John wiley and sons.

Wright, C. E., & Drasdo, N. (1985). The influence of age on the spatial and temporal contrast sensitivity function. *Doc Ophthalmol*, 59(4), 385-395.

Yamamoto, R., Iseki, E., Murayama, N., Minegishi, M., Marui, W., Togo, T., et al. (2006). Investigation of Lewy pathology in the visual pathway of brains of dementia with Lewy bodies. *J Neurol Sci*, 246(1-2), 95-101.

Yang, Y., Liang, Z., Li, G., Wang, Y., Zhou, Y., & Leventhal, A. G. (2008). Aging affects contrast response functions and adaptation of middle temporal visual area neurons in rhesus monkeys. *Neuroscience*, 156(3), 748-757.

Zacks, R., & Hasher, L. (1997). Cognitive gerontology and attentional inhibition: a reply t burke and mcdowd. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, 52(6), 254-264.

Zanlonghi, X., Charlier, J., & Chevalier, N. (1992). Sensibilité au contraste spatiale et âge. *Bull. Soc. Ophtal*. France, 10(921-929).

Zhou, G., Zhou, N., Hu, S., Zhao, L., Zhang, C., & Qi, Y. (2010). A missense mutation in CRYBA4 associated with congenital cataract and microcornea. *Mol Vis*, 16, 1019-1024.

ANNEXE 1

Les valeurs minimum et maximum de la luminance de l'écran dépendent des caractéristiques de l'ordinateur et plus particulièrement des caractéristiques de la carte graphique. Habituellement, la luminance est mesurée avec un photomètre.

Pour mesurer la luminance avec un photomètre, il faut faire varier les valeurs de RGB (Red, Green, Blue) de 0 à 255. Il y a donc 256 niveaux de luminance. Pour obtenir du gris, il faut donner la même valeur à R, à G et à B. Pour avoir du noir, il faut donner « 0 » comme valeur. Pour obtenir du blanc, c'est la valeur « 255 » qu'il faut donner. Pour avoir du gris, il faut donner une valeur se situant entre « 0 » et « 255 ». En faisant varier la valeur de R, G et B, une fonction gamma peut être construite.

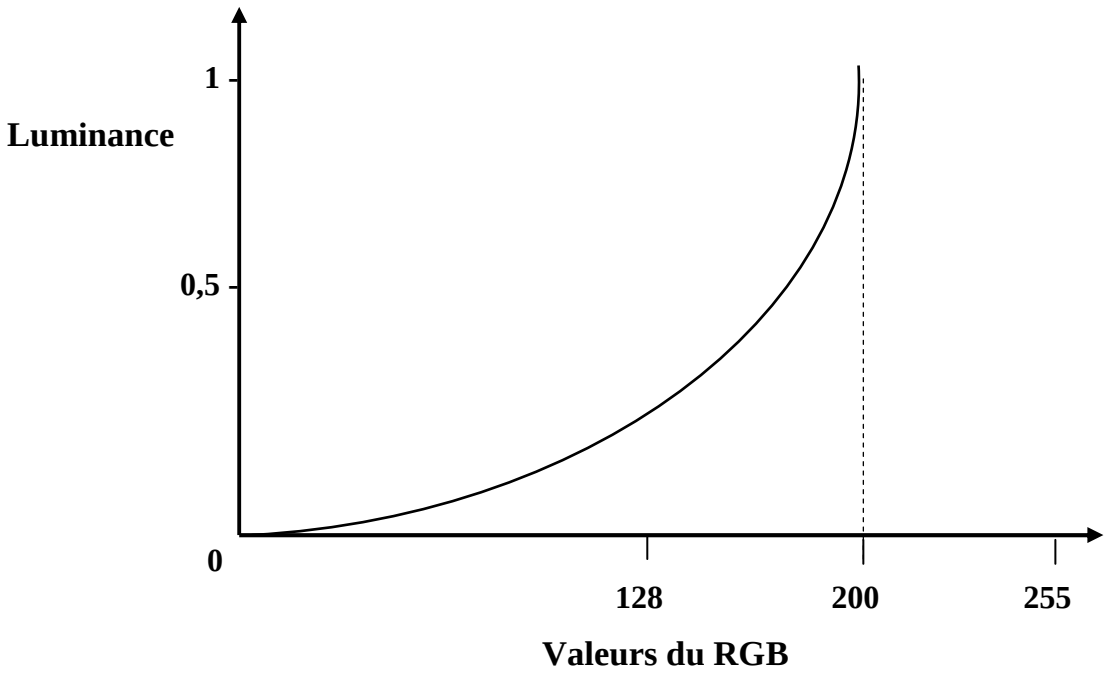


Schéma de la fonction gamma

Une LUT (Look Up Table) est créée pour avoir une fonction gamma linéaire (voir figure 21). Le tableau de la LUT ne garde qu'une partie des niveaux de luminance possibles. En effet, il n'en garde qu'une centaine. A partir des cent niveaux de luminance que garde la LUT, la plus importante différence entre deux niveaux de luminance adjacents est prise, puis les niveaux inférieurs qui sont espacés avec le même pas sont recherchés. Au final, c'est une échelle qui a moins de niveaux de luminance mais qui est linéaire.

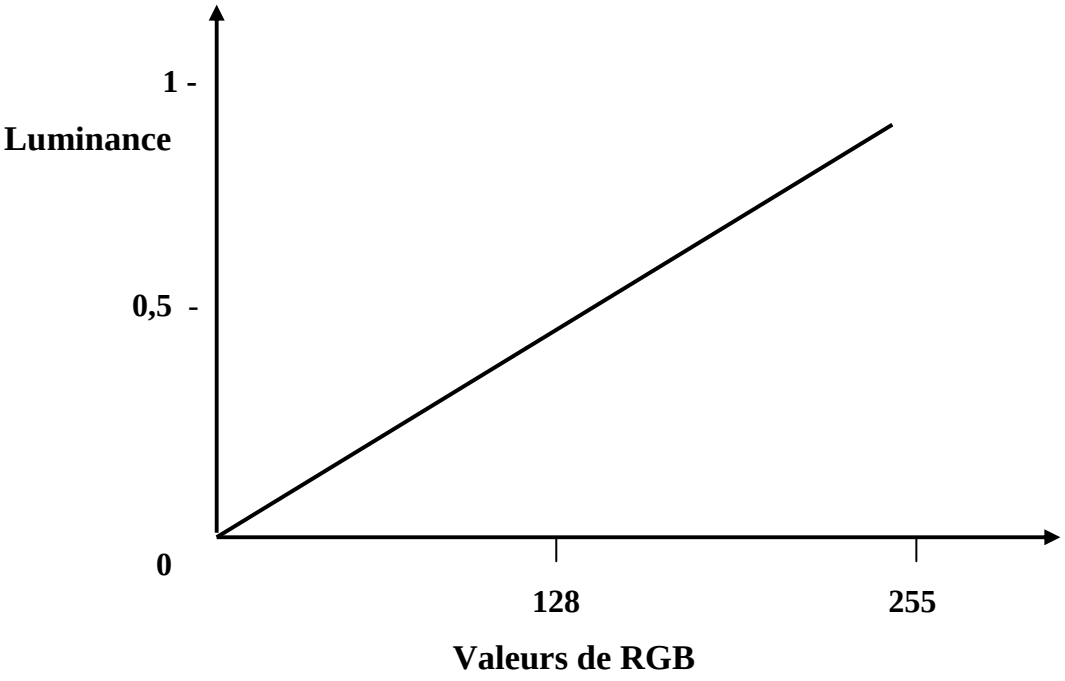


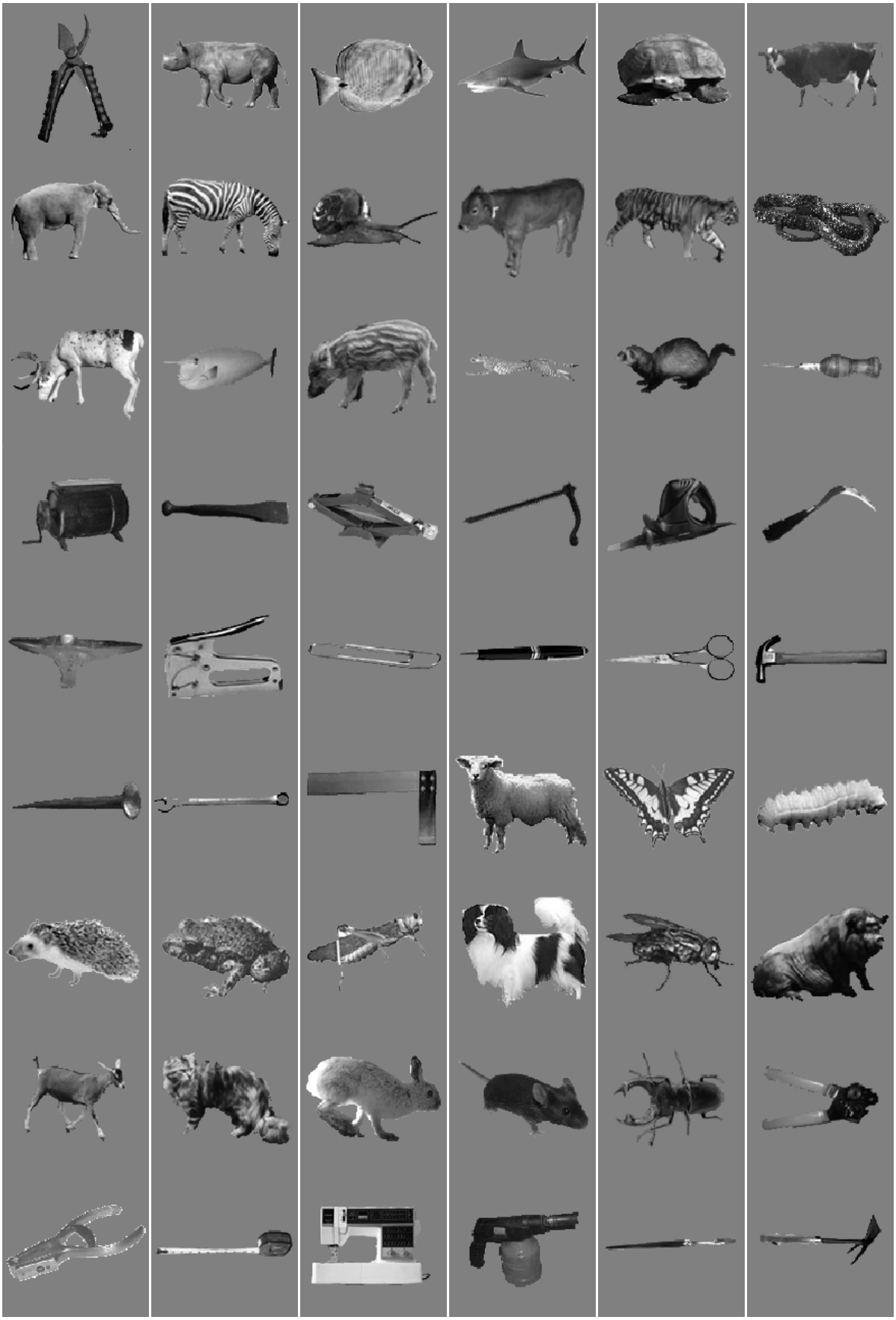
Schéma de la fonction « gamma » linéaire obtenue grâce à la LUT

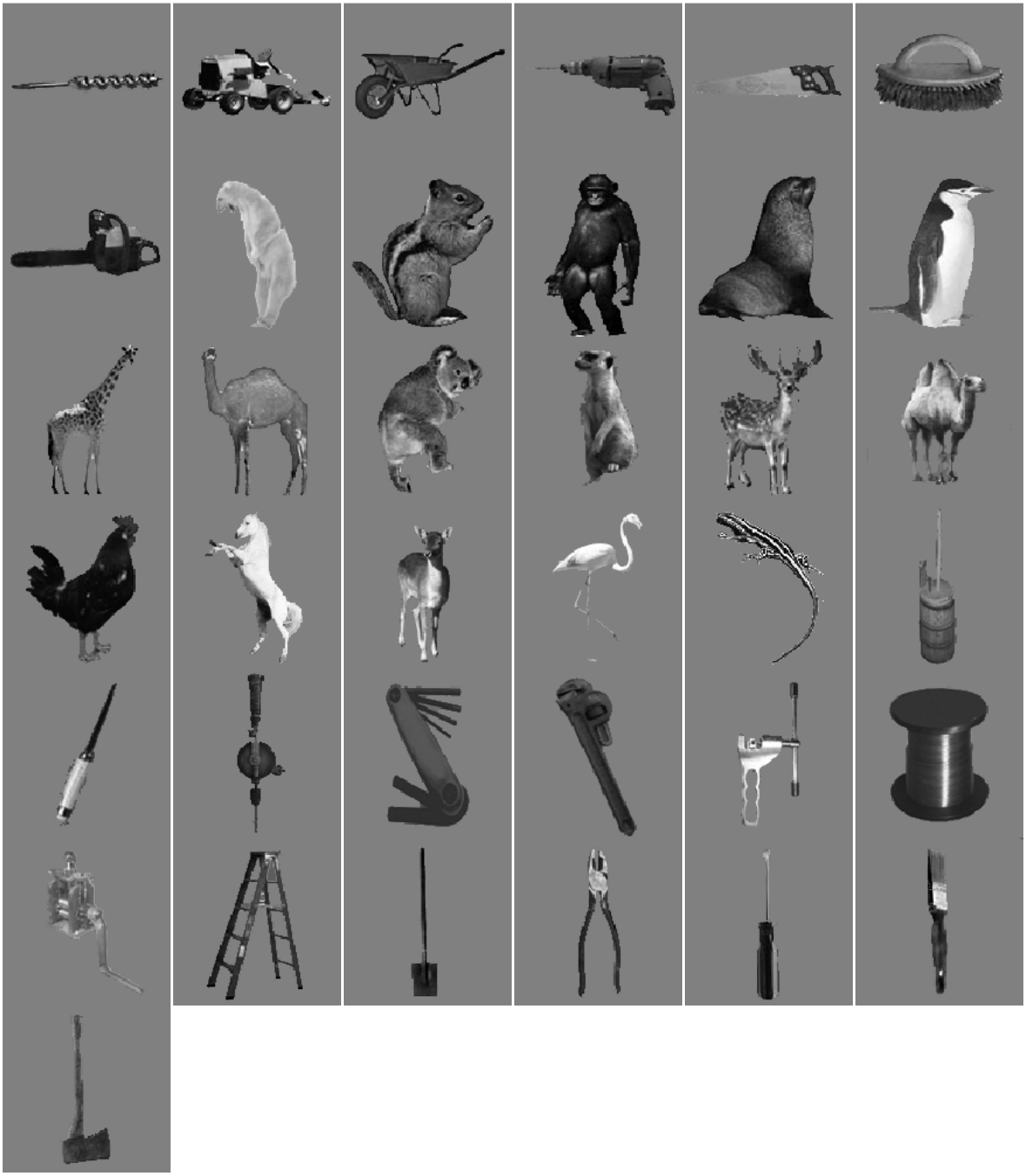
ANNEXE 2

Localisation	Item	Categorisation
78%	Ampoule	60%
61%	Ananas	58%
84%	Arbre	59%
81%	Cafetière	70%
79%	Clé à molette	23%
84%	Cloche	60%
89%	Femme	46%
89%	Guitare	72%
77%	Hippocampe	66%
72%	Lait	64%
79%	Lampe	63%
88%	Main	59%
83%	Maison	86%
84%	Ombrelle	77%
64%	Poire	24%
33%	Pomme	34%
74%	Sapin	72%
76%	Vache	62%
20%	Verre de vin	69%
94%	Visage	67%

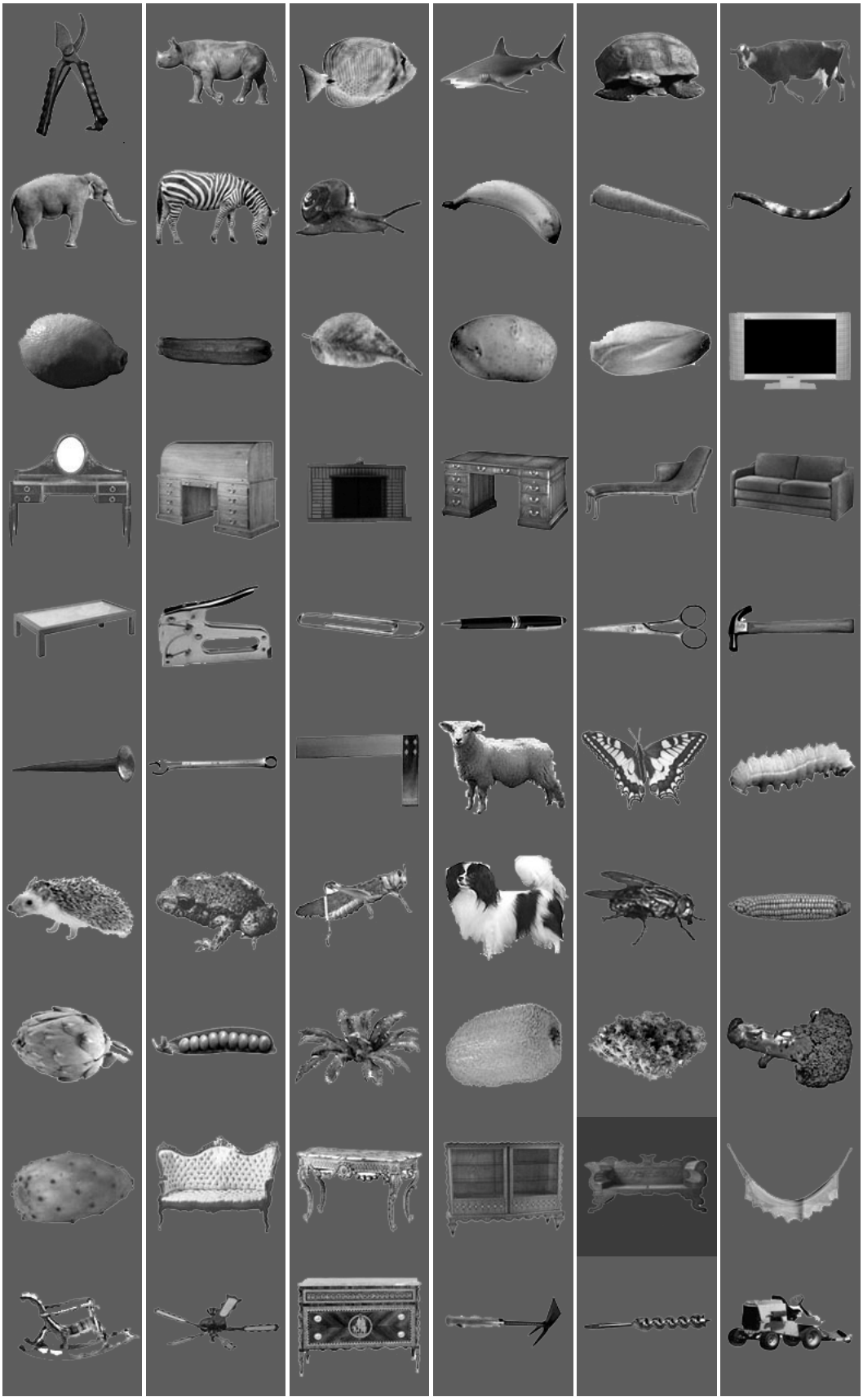
Moyenne	*75%*	*60%*
Ecart-type	*18%*	*16%*

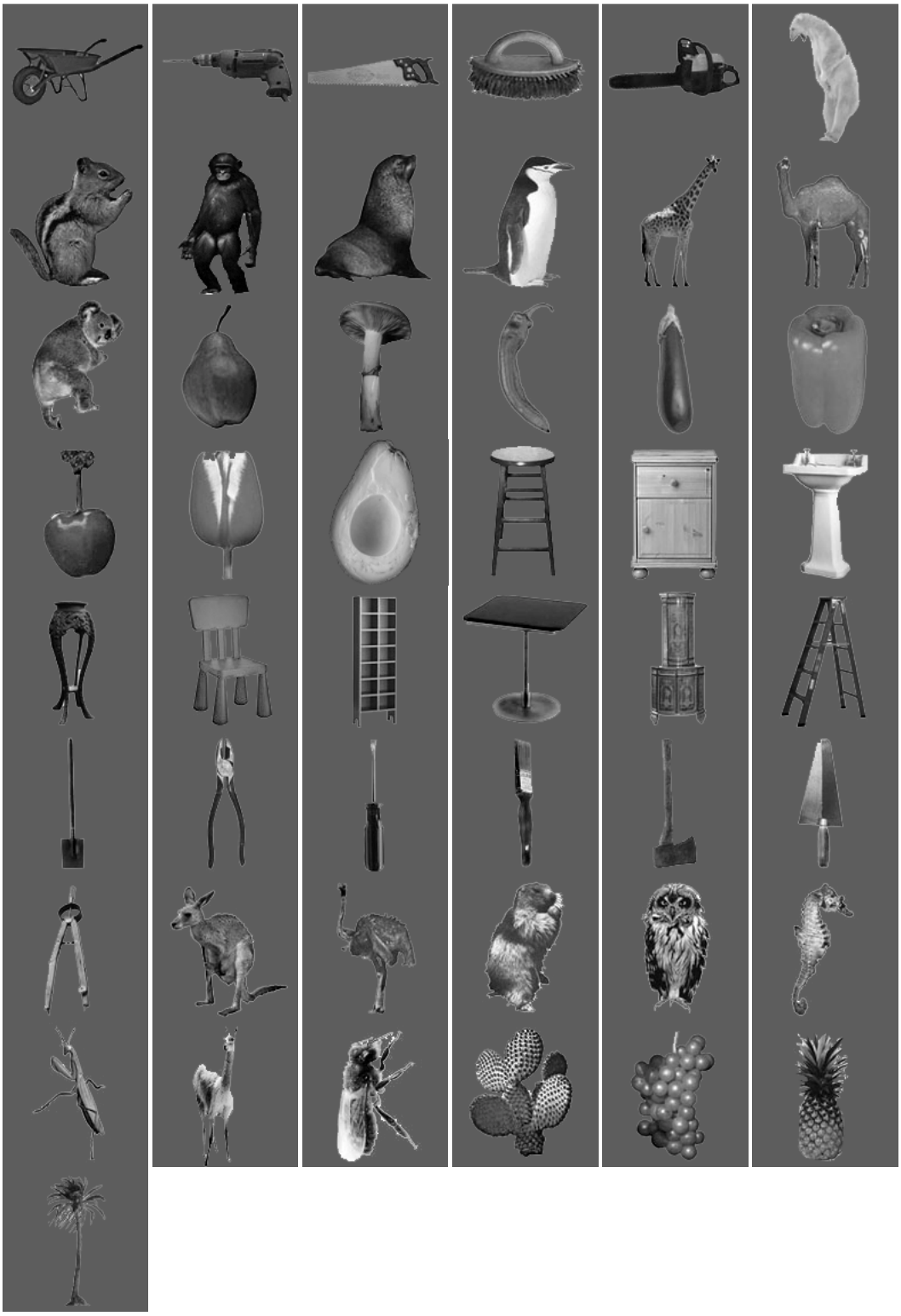
ANNEXE 3.1





ANNEXE 3.2

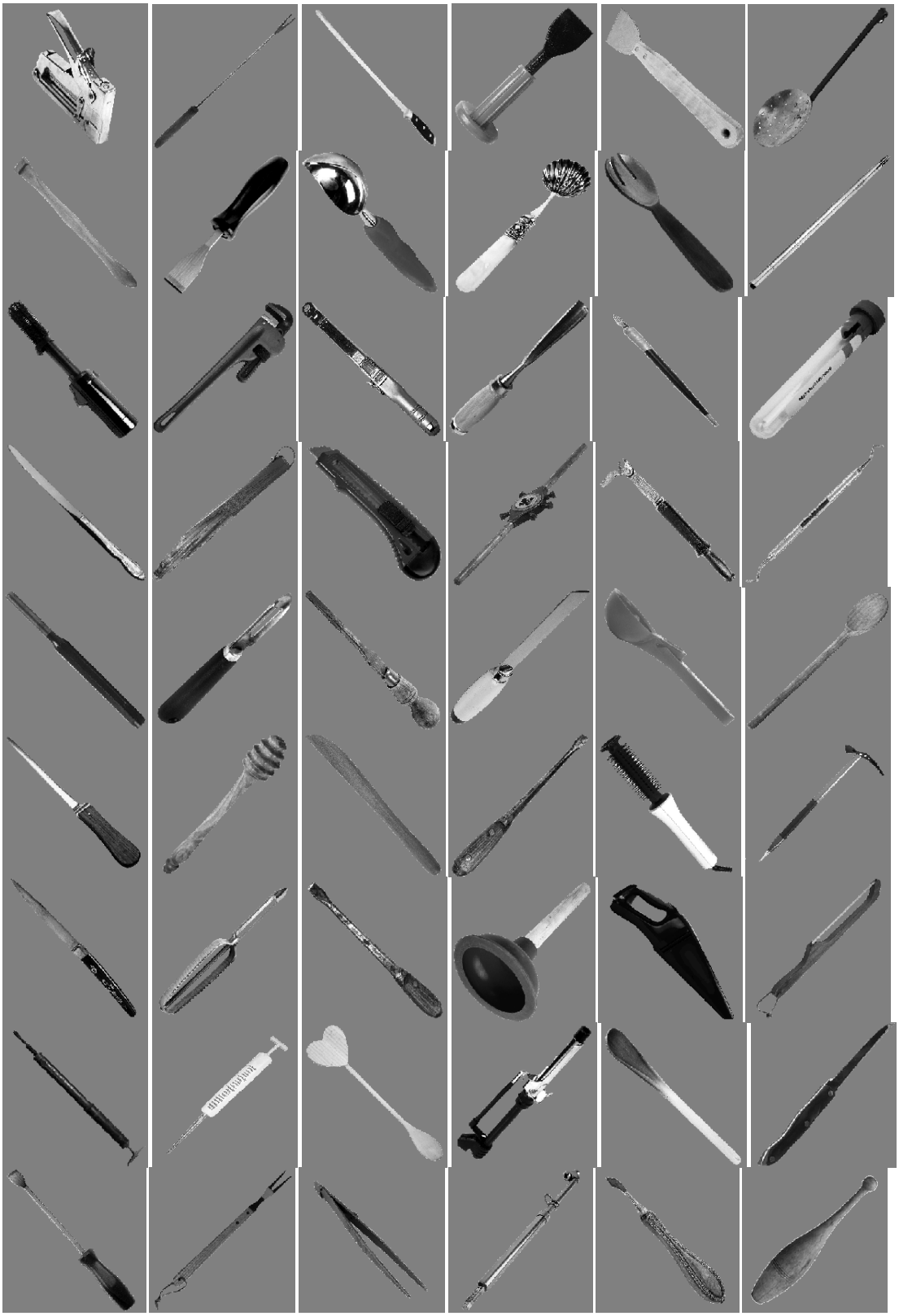


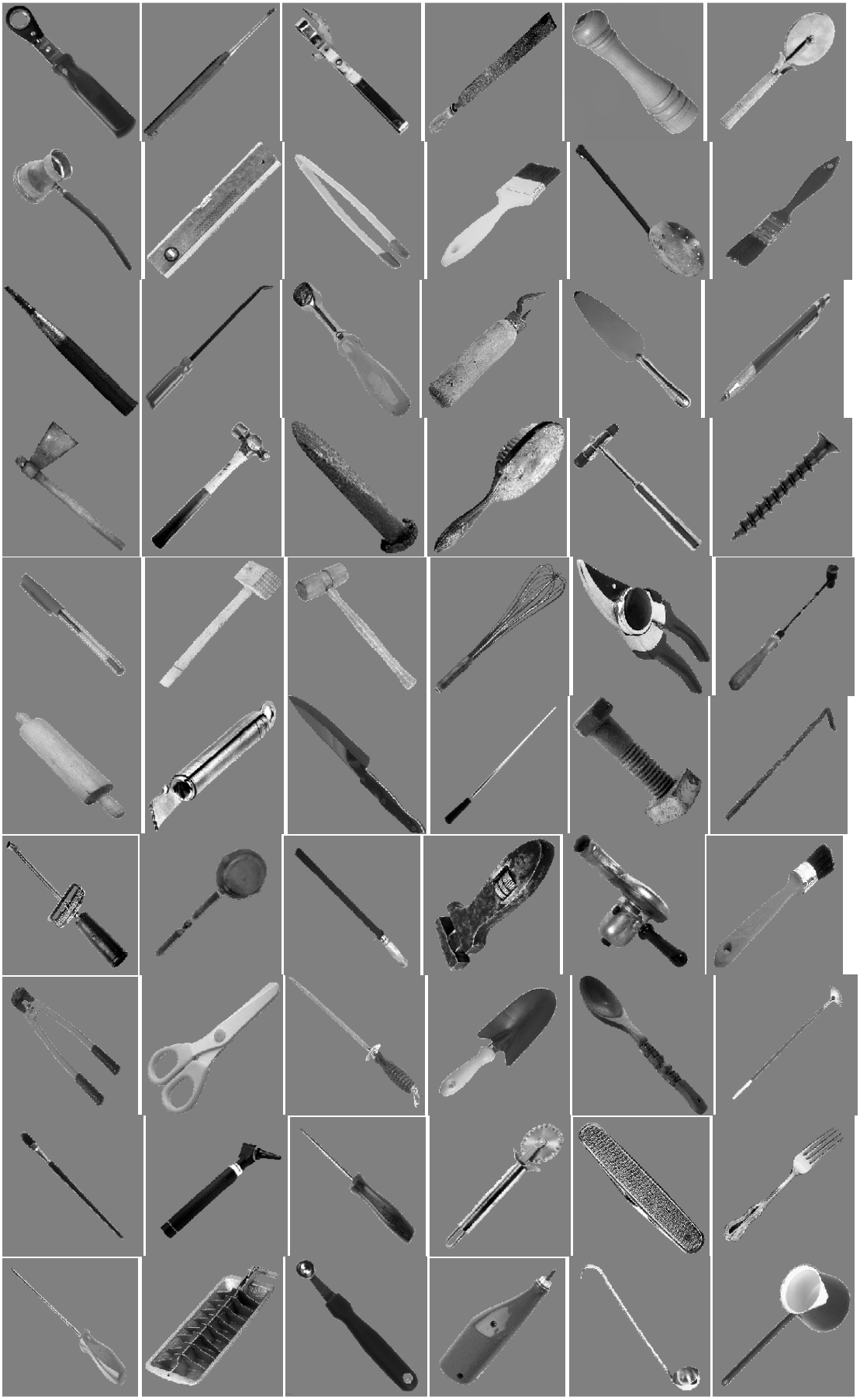


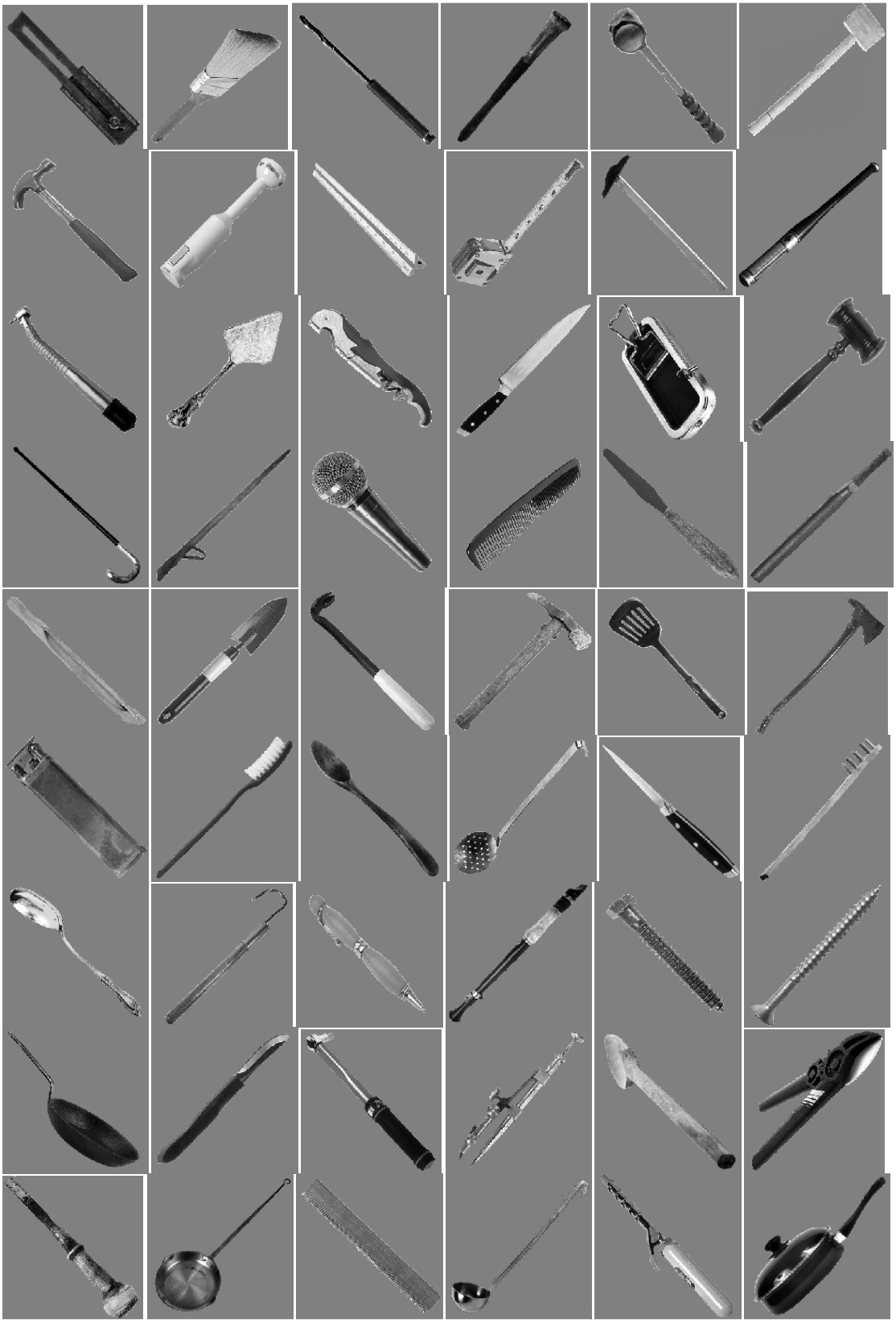
^

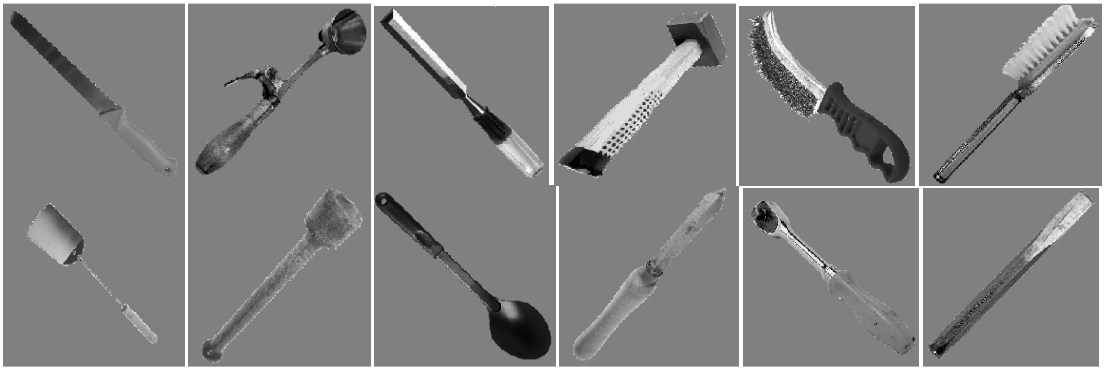
ANNEXE 3.3

ANNEXE 3.4

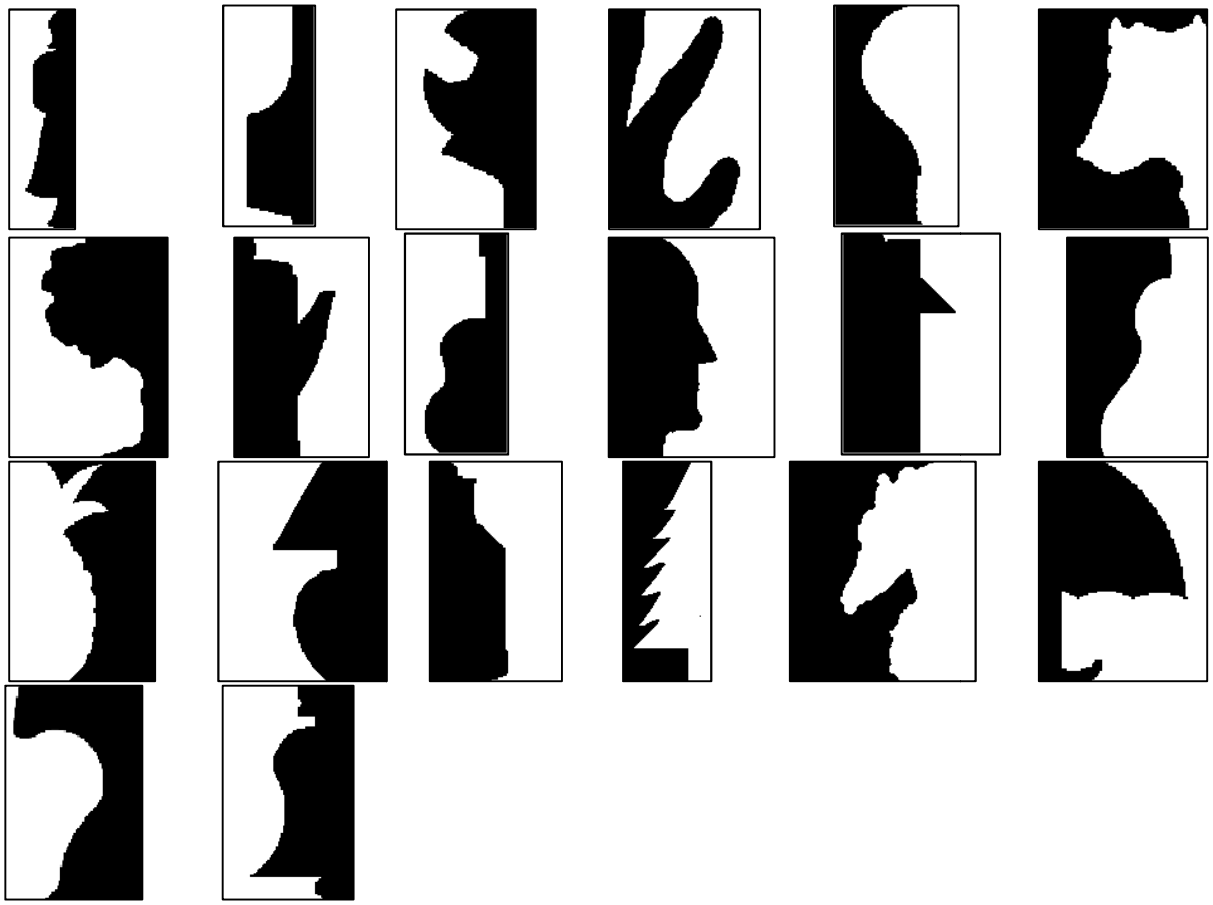




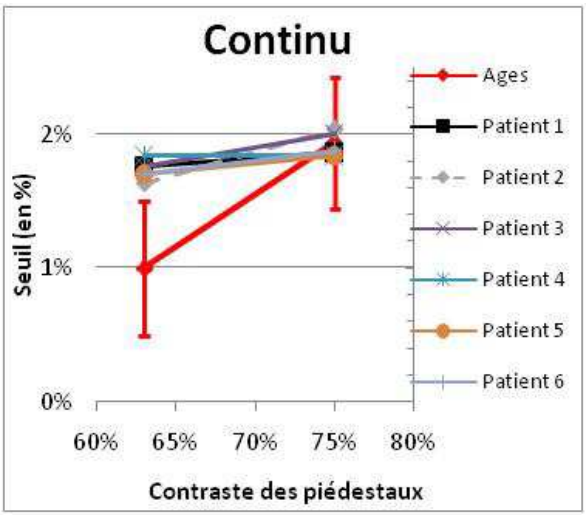


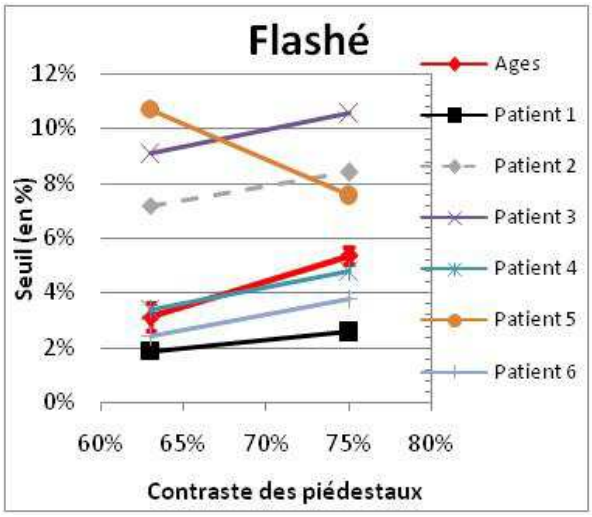


ANNEXE 3.5



ANNEXE 4


Continu
Seuil (en %)
2%
1%
0%
60%
65%
70%
75%
80%
Contraste des piédestaux
Ages
Patient 1
Patient 2
Patient 3
Patient 4
Patient 5
Patient 6


Flashé
Seuil (en %)
12%
10%
8%
6%
4%
2%
0%
60%
65%
70%
75%
80%
Contraste des piédestaux
Ages
Patient 1
Patient 2
Patient 3
Patient 4
Patient 5
Patient 6