

Université de Montréal

Mesure du potentiel évoqué visuel(PEV) et du temps de réaction  
(TR) en corrélation avec les différentes ségrégations de textures :  
À savoir les stimuli de premiers et de seconds ordres

Par

A. Hadi Chakor Djelthia

Département de génie biomédical  
Faculté de médecine

Mémoire présenté à la faculté des études supérieures  
En vue de l'obtention du grade de  
Maître en sciences biomédicales (M.Sc.)  
Option : électrophysiologie visuelle

Septembre, 2003

© A. Hadi Chakor Djelthia



W  
4  
U58  
2002  
V.022

## AVIS

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

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

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

## NOTICE

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

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

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

Université de Montréal

Mesure du potentiel évoqué visuel(PEV) et du temps de réaction  
(TR) en corrélation avec les différentes ségrégations de textures :  
À savoir les stimuli de premiers et de seconds ordres

Par

A. Hadi Chakor Djelthia

Le jury est composé des personnes suivantes.

Dr Vasil, Diaconu	Président du jury
Dr Jocelyn, Faubert	Directeur de recherche
Dr Pierre, Lachapelle	Codirecteur
Dr Marie Sylvie Roy	Membre du jury

Mémoire accepter-le : 02 septembre 2003

## **Sommaire**

L'objectif du présent ouvrage est d'apporter une meilleure compréhension des mécanismes d'analyse et de traitement qui entourent la perception visuelle du mouvement.

Dans cette étude nous comparons deux sortes de mouvement, le mouvement de premier ordre peut être défini comme étant simple qui résulte d'une translation de luminance et le mouvement complexe (ou de deuxième ordre) produit par une translation de texture.

Le but de notre recherche est d'examiner si ces deux formes de mouvement évoquent la même activité cérébrale telle que mesurée à l'aide du potentiel évoqué visuel (PEV) et du temps de réaction (TR).

Les PEV en mouvement ont été enregistré à partir de sujets normaux selon un protocole standard : électrodes occipitales à O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub> et O<sub>z</sub>; fréquence spatiale du stimulus à 0.5 cycle par degré; luminance de l'écran à 25 cd.m<sup>-2</sup> ; niveau de contraste variant de 2% à 100% et fréquence temporelle de la stimulation à 5Hz.

Pour ce qui est de la mesure du TR, le sujet devait signaler à l'aide d'une clé chaque inversion du stimulus. Pour toutes les conditions testées, le PEV et le TR furent enregistrées simultanément.

Les PEV et TR analysés représentent la moyenne des réponses au mouvement pris à l'intérieur d'un bloc de 25 stimulations pour chaque condition de contraste.

Les résultats démontrent que l'analyse d'un stimulus en mouvement de type complexe provoque un allongement significatif ( $P < .05$ ) des temps de réponse comparés à un stimulus en mouvement de type

simple. Cette différence est beaucoup plus marquée pour des stimuli à faible contraste.

Nos résultats suggèrent que l'intégration de l'information de même que le traitement cortical nécessaires à la reconnaissance d'un mouvement de deuxième ordre sont beaucoup plus complexes que ceux nécessaires à la résolution d'un mouvement de premier ordre et requièrent un niveau d'analyse neuronale plus élaboré.

<b>1.INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1.1 Les cellules ganglionnaires .....	3
1.2 La voie parvocellulaire.....	4
1.3 La voie magnocellulaire.....	5
1.4 Le corps géniculé latéral (CGL).....	6
1.5 Le cortex visuel.....	7
1.5.1 L'aire V1 ou aire 17.....	7
1.5.2 L'aire V2 ou aire 18.....	8
1.5.3 L'aire V3 .....	8
1.5.4 L'aire V4 .....	8
1.5.5 L'aire V5 ou MT :.....	9
1.6 Le Potentiel évoqué visuel (PEV ).....	11
1.6.1 Historique .....	11
1.6.2 Définition.....	12
1.7 Le temps de réaction (TR).....	16
1.8 Les Types de stimuli.....	17
1.8.1 Pattern par inversion de damier.....	17
1.8.2 Les stimuli en mouvement de premier-ordre.....	17
luminance modulation depth = $(L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$ .....	18
1.8.3 Les stimuli de deuxième-ordre.....	18
contrast modulation depth = $(C_{\max} - C_{\min}) / (C_{\max} + C_{\min})$ .....	19
<b>2. ARTICLE.....</b>	<b>22</b>
2.1 Introduction.....	26
2.2 Methods.....	29
2.2.1 Materials and Methods .....	29
2.2.2 Data analysis .....	31
3.2 Results .....	32
2.4 Discussion .....	36
2.5 Acknowledgements .....	39
2.6 References .....	40
2.7 Figure articles.....	45

<b>3. DISCUSSION .....</b>	<b>52</b>
<b>4.CONCLUSION .....</b>	<b>59</b>
<b>5. REFERENCES .....</b>	<b>61</b>
<b>6. Remerciements.....</b>	<b>69</b>
<b>7. Annexe .....</b>	<b>73</b>



## TABLE DES FIGURES

Fig.1 Montre la distinction fonctionnelle entre les deux voies visuelles M et P.....	5
Fig. 2 Distribution des connexions entre les cellules ganglionnaires de la rétine, le CGL et l'air V 1.....	6
Fig. 3 Montre la Technique d'enregistrement des PEV avec l'emplacement des électrodes sur le scalpe. ....	13
Fig.4 Exemple d'un potentiel évoqué visuel (PEV) par inversion de damier enregistré à Oz chez un sujet normal. ....	15
Fig. 5 Exemple d'un potentiel évoqué visuel (PEV) au mouvement, enregistré à Oz chez un sujet normal. ....	15
Fig.6 Montre les différents stimuli en mouvement utilisé ( check, FO, SO ). ....	17
Fig. 7 Montre la voie du mouvement de premier et de second ordre, selon les indications de (Smith et Henning, 1998).....	20
Figure 1: Examples of the first-order (left) and second-order (right) motion stimuli used in this study.....	45
Figure 2: Representative tracings of VEPs recorded from one subject in response to the reversal of a checkerboard stimulus (Check) as well as first- (FO) and second-order (SO) motion. Responses were recorded at the three electrode positions (O <sub>Z</sub> ; O <sub>1</sub> ; O <sub>2</sub> ). The stimulus appeared at the onset of tracing. The waves are identified as described in the text. Calibration : Horizontal; 100 msec; Vertical; 10 μvolts.....	46
Figure 3: Representative tracings of VEPs recorded from one subject in response to the reversal of a checkerboard stimulus (Check) as well to first- (FO) and second-order (SO) motion reversals. For each condition, the contrast varied from 3-100%, as indicated at the right of	

condition, the contrast varied from 3-100%, as indicated at the right of each tracing. Responses were recorded at the  $O_1$  electrode position. The stimulus appeared at the onset of tracing. The waves are identified as described in the text. Calibration: Horizontal; 100 msec; Vertical; 10  $\mu$ volts.....47

Figure 4: Comparing the effect of contrast level (3-100%) on the timing of VEP waves evoked to first- (FO: black tracings) and second-order (SO: gray tracings) motion stimuli. As the contrast level increases, the FO and SO  $P_{100}$  waves gradually become almost identical in timing.

The stimulus appeared at the onset of tracing as shown with the arrow for the 100% contrast level tracing. Waves are identified as described in the text. Calibration: Horizontal; 100 msec; Vertical; 10  $\mu$ volts.....48

Figure 5: Group data showing the effect of contrast (abscissa in %) and electrode position ( $O_z$ ,  $O_L$ ) on the peak time (ordinate in msec.) of the  $P_{100}$  (top) and  $N_2$  (bottom) waves of VEPs evoked from first- (FO) or second-order (SO) motions and pattern reversal (Check) stimuli. Stars identify statistical significance at  $P < 0.007$  (with Beferroni correction).

.....49

Figure 6: Group data showing the effect of contrast (abscissa in %) on the reaction time (ordinate in msec.) evoked from first-order (RT-FO), second-order motion (RT-SO) and pattern reversal (RT-Check) stimuli.

Stars identify statistical significance at  $P < 0.007$  (with Beferroni correction). .....50

**Liste des abréviations :**

- CGL : Corps genouillé latéral  
M : Magnocellulaire  
FO : Mouvement du premier ordre  
Msec : Millisecondes  
MT : Medio temporelle cortex extra-strié  
P : Parvocellulaire  
PEV : Potentiel évoqué visuel  
SO : Mouvement du second ordre  
TR : Temps de réaction  
V1 : Cortex visuel primaire  
 $\gamma v$  : microvolt

## **1.INTRODUCTION**

L'image que notre vision nous donne du monde résulte des traitements effectués dans le cerveau, à partir du cortex visuel par une trentaine d'aires visuelles distinctes, spécialisées dans l'analyse d'un aspect ou d'un trait particulier comme la forme, le mouvement, la couleur etc. Chez le primate, le cortex cérébral joue un rôle fondamental dans les fonctions d'orientation spatiale et d'organisation du mouvement. Par conséquent, la perception du mouvement implique un échantillonnage à la fois spatiale et temporelle de l'image rétinienne. Le processus nerveux permettant la détection et la discrimination du mouvement a été étudié de manière extensive en utilisant une variété de techniques anatomiques, physiologiques et comportementales (Smith & Snowden, 1994). Ces études ont démontré que des neurones de structures variées du système visuel répondent sélectivement au mouvement (soit à la vitesse, soit à la direction). De plus, ces structures forment un réseau intriqué interconnecté et semi-autonome. Le processus nerveux permettant la détection et la discrimination du mouvement a été étudié de manière extensive en utilisant des techniques anatomiques, électrophysiologiques et psychophysique (Lamme & Spekreijse, 1994; Johnson & Marshall, 1998). Ces études ont démontré que des neurones de structures variées du système visuel répondent sélectivement au mouvement (soit à la vitesse, soit à la direction).

En effet, l'image oculaire est échantillonnée par plus de 120 millions de cellules photoreceptrices et tout son contenu en information, doit être traité et mise dans un format neuralemement adéquat pour pouvoir activer un peu plus d'un million de cellules ganglionnaires.

## 1.1 Les cellules ganglionnaires

Les cellules ganglionnaires répondent aux variations de luminance ou de contraste par une forte augmentation de la fréquence de décharge des potentiels d'action pendant les cent premières millisecondes qui suivent le changement des attributs spatio-temporels (Yarbus et al, 1967). L'étude des morphologies et fonction des cellules ganglionnaires de la rétine distingue trois types (Rodiek & Watanabe, 1993) :

- les cellules alpha.
- les cellules bêta.
- les cellules gamma.

Les cellules bêta appelées cellules naines possèdent un petit corps cellulaire ainsi qu' un petit champ récepteur responsable de la vision de fovéal.

Ces cellules bêta qui constituent 80-90% de la population des cellules ganglionnaires, codent la composition chromatique du stimulus et leurs positions fournissent des détails fins (la voie de l'acuité et vision des détails). Les cellules alpha (ou parasol) qui représentent 8 à 10% des cellules ganglionnaires, ont des champs récepteurs de grande taille et ne codent pas les contrastes de couleur. Cependant elles sont très sensibles à des faibles niveaux de contrastes de luminance. Enfin les cellules gamma qui représentent 2 à 10% de la population des cellules ganglionnaires ont des morphologies et des propriétés variées. Elles jouent un rôle spécialisé dans le codage de la direction des mouvements d'image sur la rétine.

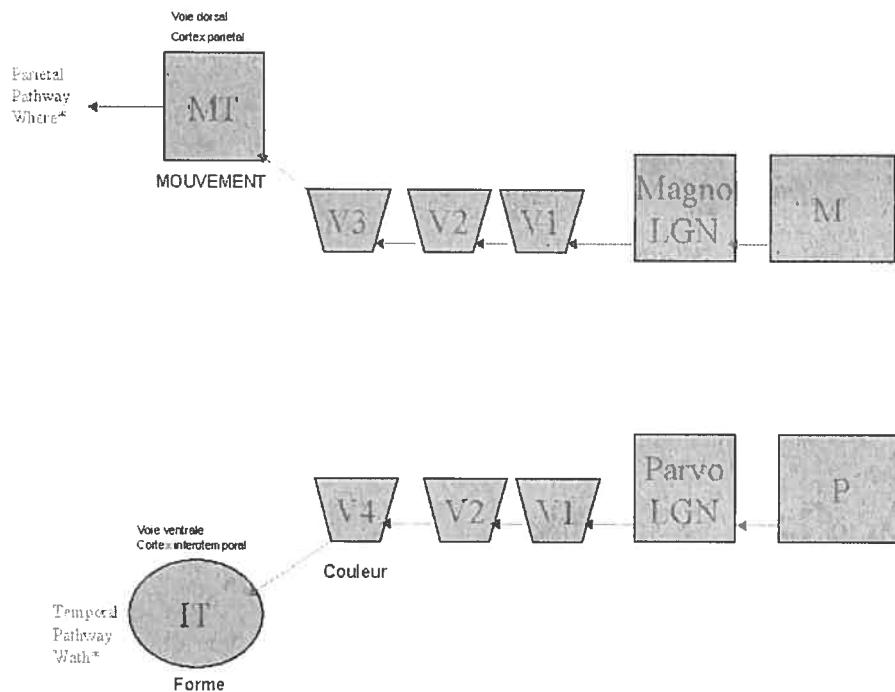
Les cellules de types alpha forment la voie M qui relaient dans les couches magnocellulaires du CGL et se projettent essentiellement sur la partie médiane de la couche 4 de l'aire V1. Les cellules de type bêta forment la voie P qui relaient dans les couches parvocellulaires du CGL et se projettent surtout sur la partie inférieure de la couche 4. Les cellules gamma forment la voie K ou koniocellulaire qui relaient dans les couches inter laminaires du CGL. Ces fonctions sont méconnues.

## 1.2 La voie parvocellulaire

Le système P est constitué par les cellules bêta (naines). Cette voie est sensible à:

- de haut contraste,
- à la couleur,
- aux hautes fréquences spatiales,
- aux basses fréquences temporelle,
- aux textures et à la vision des détails.

C'est la voie de la couleur, de la reconnaissance des objets et de l'acuité visuelle voir (Fig. 1).



**Fig.1** Montre la distinction fonctionnelle entre les deux voies visuelles M et P  
Selon les indications de (Sharpley, Kaplan et Soodak, 1981).

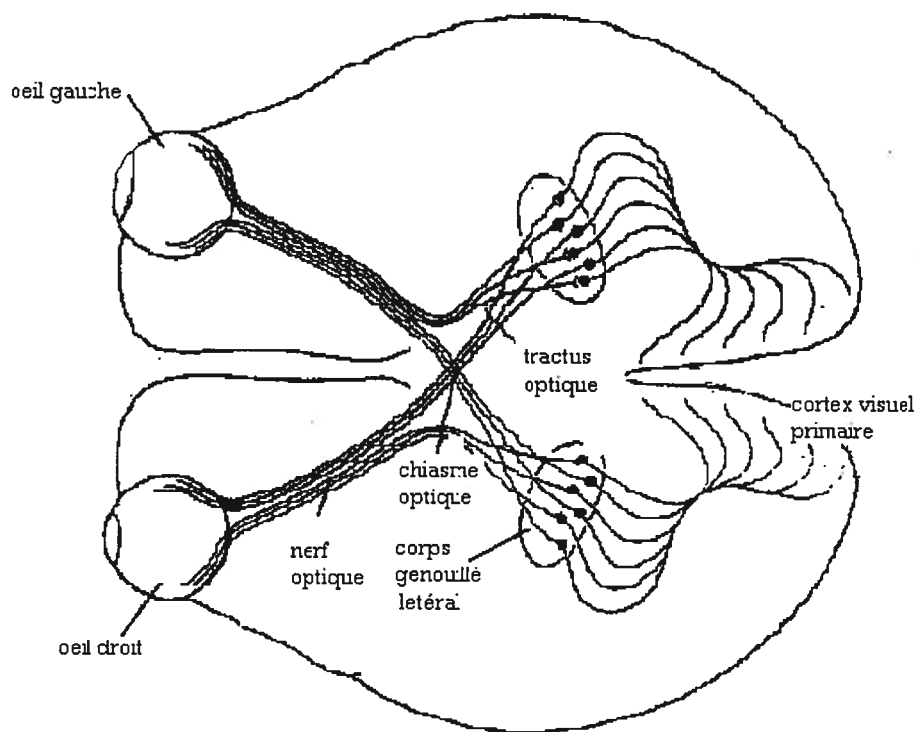
### 1.3 La voie magnocellulaire

Le système M est constitué par les cellules alpha (parasol). Cette voie est sensible à des faibles contrastes achromatiques, responsable de la perception du mouvement et de l'analyse globale de la forme (voir Fig. 1). La voie magnocellulaire possède un grand champ récepteur avec une conduction élevée, une haute résolution temporelle et une sélectivité chromatique minimale ou absente.



## 1.4 Le corps géniculé latéral (CGL)

Ce noyau thalamique constitue le principal relais des voies visuelles entre la rétine et le cortex cérébral (voir Fig.2) puisqu'il reçoit 90% des fibres du nerf optique de types alpha, bêta et gamma et se projette à son tour sur l'air cortical V1. Une des fonctions essentielle du CGL est d'assurer la ségrégation des neurones innervés par les cellules rétinienne de types alpha, bêta et gamma ( Bullier et Barone, 1997).



**Fig. 2** Distribution des connexions entre les cellules ganglionnaires de la rétine, le CGL et l'air V 1 selon les indication( Larmande et larmande, 1989).

## **1.5 Le cortex visuel**

La surface dépliée du cortex cérébral de l'homme mesure environ 900cm. pour une épaisseur de 2mm. La partie dévolue à la vision occupe 15% de la surface totale de l'écorce cérébrale chez l'homme. C'est cette région qui effectue la part la plus importante du traitement de l'information transmise par les deux nerfs optiques. Le traitement cortical de l'information visuelle est distribué dans une trentaine d'aires définies par une présentation plus ou moins complète de l'hémichamp visuel controlatéral. Toutes travaillent de manière complémentaire pour élaborer une image unique et nette. Un certain nombre d'aires fonctionnelles viennent d'être mises en évidence dans le cortex de l'homme par l'imagerie fonctionnelle en utilisant la résonance magnétique nucléaire ou IRMf (Serono & Reppas, 1995; Tootell & Hadjikhani, 1998). Mais seul le rôle de quelques-unes est bien compris à l'heure actuelle. On note l'existence d'aires corticales spécifique dédiées à analyser chaque attribut ou propriété de l'image visuelle comme l'orientation, la forme, la couleur, le mouvement et la texture.

### **1.5.1 L'aire V1 ou aire 17**

V1 est l'aire visuelle primaire (voir Fig.2). Les informations en provenance directe de la rétine arrivent directement sur elle. Dans cette aire, les neurones sont groupés au minimum selon 6 paramètres pour réaliser un échantillonnage fin et complet de l'image rétinienne (Bullier&Girard; 1994). La sélectivité à l'orientation, la dominance oculaire, la sélectivité aux fréquences spatiales, la représentation du champ visuel et la cible de projection. Les paramètres de chromacité

et de sensibilité au mouvement ne sont pas comprise dans cette aire (Murre & Sturdy; 1995).

### **1.5.2 L'aire V2 ou aire 18**

L'aire V2 entoure l'aire V1 avec qui elle est fortement interconnectée. Les connections entre V1 et V2 suivent plusieurs canaux qui traitent différents types d'information en parallèle.

V2 qui reçoit beaucoup d'informations de V1, les trie de façon encore plus fine. Cette aire traite à la fois :

- les contours (cercle, carré, ovale, etc.),
- l'orientation (horizontale, verticale),
- les textures (lisse, rugueux, etc.)

Cette aire joue un rôle important dans la perception des bordures séparant les surfaces de couleurs ou les bordures de textures différentes.

### **1.5.3 L'aire V3**

V3 analyse les formes en mouvement et apprécie les distances ( Zeki, 1993).

### **1.5.4 L'aire V4**

La majorité des neurones de l'aire V4 répond à la forme ou à la couleur des stimuli mais reste insensible à la direction ( Zeki, 1993).

### **1.5.5 L'aire V5 ou MT :**

Cette aire est spécialisée dans le codage du mouvement (Maunsell & Van Essen, 1987). Elle possède une autre fonction importante qui est la sélectivité pour la direction (Zeki, 1993).

A ce niveau l'information visuelle se sépare en 2 :

- Une partie emprunte une voie ventrale et se dirige vers le lobe temporal. Elle concerne l'identification des formes (contours et couleurs), donc en pratique elle permet de reconnaître les objets et les personnes.

- L'autre partie emprunte une voie dorsale et se dirige vers le lobe pariétal. Elle concerne la localisation spatiale des objets et la coordination entre la vision et la motricité (déplacement, position et mouvement).

### **1.5.6 L'analyse du mouvement.**

La contribution des deux physiologistes américains, Hubel et Wiesel (1968), constitue une des découvertes les plus importantes de ces dernières années. Ils ont enregistré l'activité unicellulaire de l'aire striée du cerveau du chat durant la présentation de formes visuelles simples. Les stimuli se présentaient sous forme de barres lumineuses projetées au moyen d'un projecteur de diapositive sur un écran placé devant le chat. Hubel et Wiesel montrèrent qu'au premier stade du travail au niveau de l'aire V1, certaines cellules étaient activées uniquement lorsque le stimulus est présenté dans une certaine orientation, pour les autres angles la cellule n'était pas activée. Les

cellules situées profondément dans le cerveau répondaient à des caractéristiques plus générales et cela quelque soit la région de la rétine stimulée. D'autres cellules répondaient seulement au mouvement et d'autres uniquement dans une seule direction.

Ces résultats sont de la plus grande importance, ils démontrent que l'organisation du cortex strié s'ordonne non seulement dans les couches bien visibles, parallèle à sa surface, mais également en blocs fonctionnels s'étendant à travers les couches profondes. Les cellules qui répondent à la même orientation sont constituées en bloc appelé colonne. Il apparaît de plus en plus clair que le cerveau traite les caractéristiques visuelles dans des modules spécialisés avec des canaux différents pour la forme, le mouvement, la profondeur et la couleur ( Zeki, 1993).

Les récentes études sur le mouvement apparent, se définissant comme une suite d'images statiques décalées, ont montré que l'analyse de mouvements visuels ne résulte pas de l'analyse de déplacements successifs de l'image mais bien de l'extraction de certaines de ses caractéristiques élémentaires propres ou trait particulier telles que l'aspect, la texture, la direction, la couleur etc.. . Ces conclusions basées sur des expériences de psychophysique ont été confortées et élargies avec les développements des techniques d'enregistrements électrophysiologies et de marquage anatomique, surtout avec les techniques d'explorations par balayage TEP et RMN ( Smith et Henning, 1998).

Ces méthodes ont révolutionné la recherche sur le cerveau. On peut alors isoler des neurones sélectifs à certaines caractéristiques du

mouvement et localiser les structures anatomiques auxquelles ils appartiennent.

Notre étude rapporte des informations pertinentes concernant le temps de conduction retinocortical et l'évaluation de la latence du système visuel à traiter l'information au cours d'une stimulation visuelle en mouvement simple et complexe. Notre choix s'est porté sur l'utilisation de deux méthodes non invasives, l'une électrophysiologique, le potentiel évoqué visuel (PEV), la seconde est le temps de réaction (TR), c'est une mesure psychophysique. L'approche expérimentale de cette étude était de déterminer des différenciations dans le temps de culmination de nos ondes PEV ainsi que notre TR (sensoriomoteur) lors d'une présentation de plusieurs stimuli en mouvement à complexité graduelle. Basés sur des principes psychophysiques et neurophysiologiques, les stimuli définis par différents attributs visuels requièrent des niveaux de traitements neuronaux différents pour être adéquatement perçu. La mesure du potentiel évoqué visuel (PEV) et du temps de réaction (TR) en corrélation avec les différents stimuli seront utilisés pour déterminer les mécanismes neuronaux impliqués dans le traitement de ces images ainsi que les délais nécessaires au traitement de chaque type de mouvement.

## **1.6 . Le Potentiel évoqué visuel (PEV )**

### **1.6.1. Historique**

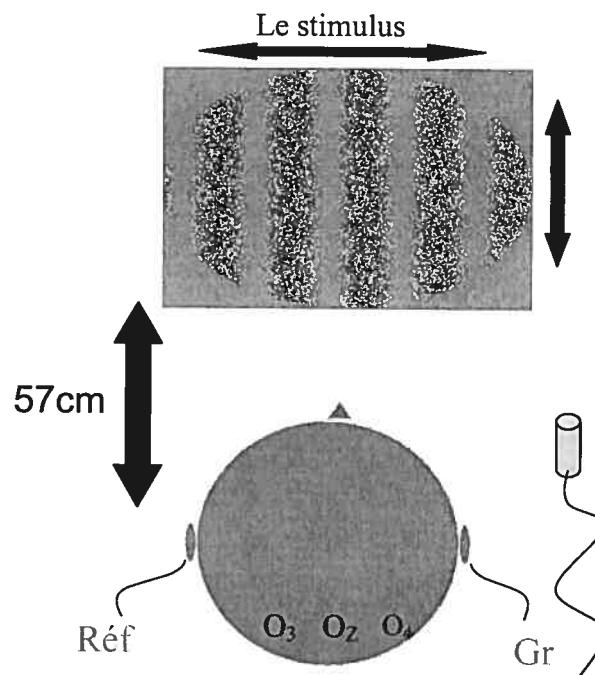
Monnier, est le premier à analyser la réponse du cortex visuel à des éclairs lumineux (stimulation flash) et à calculer le temps rétino-cortical. Par la suite, Harding a été le premier à décrire l'onde positive P<sub>100</sub> en utilisant une chaîne bipolaire d'électrodes sur le lobe temporal avec

stimulations flash. En 1969 Earley a essayé d'identifier les localisations à la surface du scalp en utilisant une batterie d'électrodes. Grâce aux travaux de Sokol en 1976 qui décrit la composante P1 du PEV comme reflétant initialement l'activité neuronale générée par la partie centrale de la rétine. Ragot et Remond en 1978, développent une méthode plus élaborée pour mesurer le PEV à travers 48 positions au niveau du scalp.

### **1.6.2 Définition**

Le PEV est une méthode électrophysiologique non invasive fréquemment utilisée chez l'humain pour évaluer l'intégrité des voies visuelles de la rétine jusqu'au cortex visuel (Chiappa, 1990; Reagan 1989). Cette technique consiste à enregistrer, sur le cuir chevelu au niveau du cortex visuel l'activité électrique qui résulte d'une stimulation visuelle appropriée (Bodis-Wollner et al., 1986; Chiappa, 1990).

Le potentiel évoqué visuel est la réponse du cortex visuel à une stimulation. Il est enregistré au moyen d'électrodes placées en regard du cortex occipital (voir Fig. 3). Deux types principaux de stimulation sont utilisés habituellement : les PEV par éclair ou flash et les PEV par réseau ou « *pattern* ». Les potentiels évoqués visuels par flash sont peu utilisés chez l'adulte, mais sont intéressants chez le nourrisson, ils sont faciles à réaliser car ils ne nécessitent pas l'attention de l'enfant, ils permettent d'évaluer la maturation des voies optiques et d'affirmer, lorsqu'ils sont anormaux (Lamande, 1989), la nature organique d'une amblyopie par exemple.



**Fig. 3** Montre la Technique d'enregistrement des PEV avec l'emplacement des électrodes sur le scalpe.

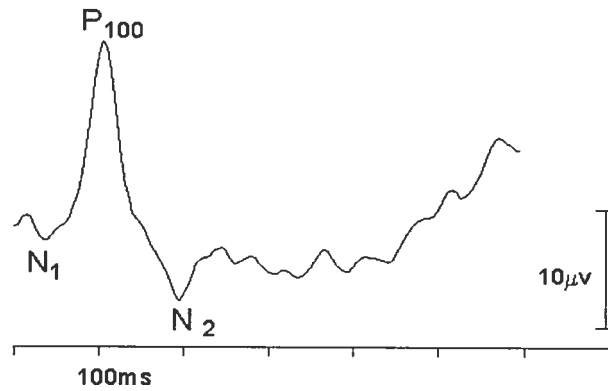
Les PEVs par pattern permettent d'apprécier la vision centrale. Chez l'enfant, ils réalisent une approche de la mesure de l'acuité visuelle. Le damier par inversion de contraste et les reseaux en mouvements constituent les stimuli les plus utilisés. Le PEV est composé d'une onde majeure de polarité positive identifiée  $P_1$  ou  $P_{100}$  qui culmine à 100-130msec après le début de la stimulation, le PEV comporte également deux ondes négatives ( $N_1$  et  $N_2$ ) qui culminent respectivement à 70 et 175ms après le début de la stimulation (Sokol, 1976; Bodis-Wollner et al, 1986). Des études antérieures ont démontré que notre réponse PEV est modulée par les changements de



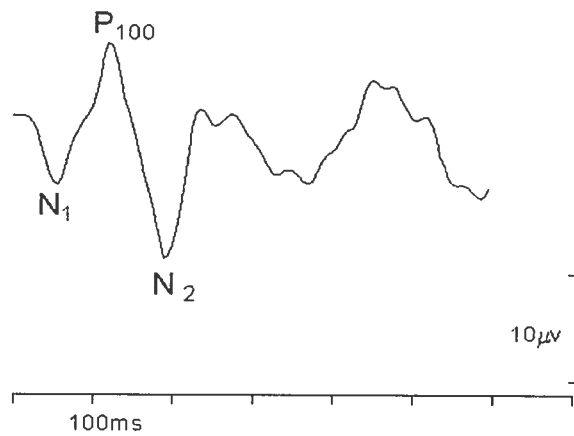
luminance et des attributs spatio-temporels du stimulus. L'onde  $P_{100}$  est considérée comme étant la présentation majeure de l'activité

fovéale (Sokol, 1980; Kubova et al, 1996) et fortement dépendante du niveau de contraste (Kubova et al, 1995; McKerral, 1997).

On distingue aussi une différenciation dans la morphologie de l'onde PEV entre des stimuli en mouvement et des stimuli par inversion de damier. La Figure 4 nous montre la morphologie de l'onde PEV lors d'une stimulation au damier par inversion ou (pattern reversal) dominé par l'onde positive  $P_{100}$ , cette onde est souvent associée au traitement cortical des attributs de tout le pattern (Kubova et al., 1995; Hoffman, Dorn & Bach, 1999). Inversement lors d'une stimulation en mouvement comme illustré à la Figure 5, on note un changement de la morphologie de notre onde PEV qui se traduit par une nette prédominance de l'onde négative  $N_2$  lors d'une stimulation en mouvement, selon les études réalisées par (Müller & Göpfert, 1988; Kubova, Kuba, Hubacek & Vit, 1990; Schlykova, van Dijk & Ehrenstein, 1993; Probs, Plendl, Paulus, Wist & Scherg, 1993; Bach & Ullrich, 1997). Ils ont démontré que l'onde  $N_2$  est spécifique au traitement du mouvement par notre système visuel.



**Fig.4** Exemple d'un potentiel évoqué visuel (PEV) par inversion de damier enregistré à Oz chez un sujet normal.



**Fig. 5** Exemple d'un potentiel évoqué visuel (PEV) au mouvement, enregistré à Oz chez un sujet normal.

## 1.7 Le temps de réaction (TR)

C'est une méthode psychophysique pour évaluer la conduction rétino-corticale qui consiste à enregistrer le temps de réaction en appuyant sur une touche (au clavier) à chaque fois que le stimulus change de direction.

Le TR est un indicateur précieux et fiable du traitement rétino-cortical. (Mc Kerral et al., 1992), le temps de réaction comprend une composante sensorielle et motrice selon (Welford, 1980). Le temps de réaction (TR) est considéré comme une méthode alternative et juste pour mesurer la latence du traitement rétino-cortical. Les études précédentes ont prouvé que le TR est modulé par le contraste (Felipe et autres, 1993) et par les caractéristiques spatiales et temporelles du stimulus (Hartwell & Cowan, 1993; Baedeker & Wolf, 1987; Musselwhite & Jeffreys, 1985). Ces résultats suggèrent que le TR peut être employé pour évaluer le temps de traitement rétino-cortical en réponse à divers types de stimuli. Le TR est modulé en fonction des paramètres de présentations. D'autres études ont démontré des variations significatives du TR au changement des caractéristiques d'un stimulus comme (Burr, Fiorentini et Morrone, 1998):

- la profondeur.
- la texture.
- l'orientation.
- la couleur .

Plusieurs études supposent que le postulat du TR, indépendamment des paramètres de stimulations spatio-temporelles, est le reflet de l'activité des neurones des deux principales voies visuelles (Kulikowski & Tolhurst, 1973; Legge, 1977 ; Harwerth et al., 1979; Bowen, 1981;

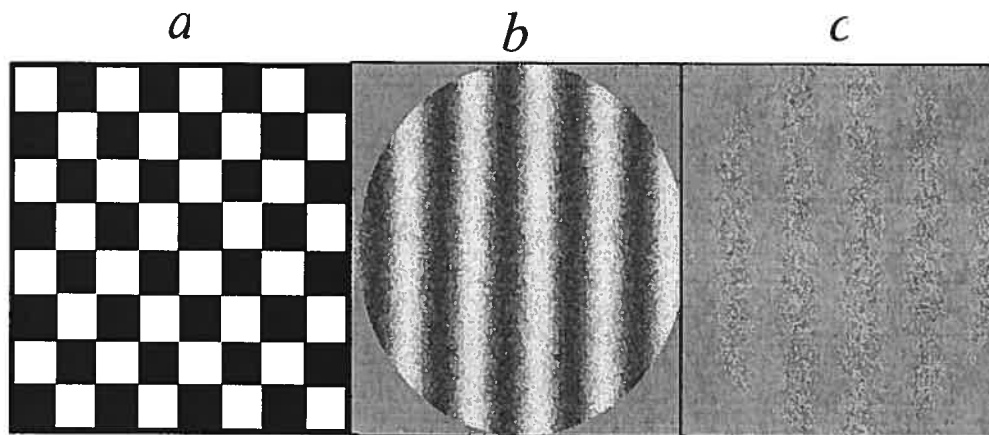
McKerral, 1997). Le TR est un indicateur précis du traitement rétino-cortical lors des variations spatio-temporelles d'un stimulus.

## 1.8 Les Types de stimuli

### 1.8.1 Pattern par inversion de damier

Ce dernier correspond à un stimulus en damier avec des changements brusques de luminance qui varie entre les carreaux blanc et noir qui donne l'impression d'un mouvement global multidirectionnel (voir Fig. 6a).

### 1.8.2 Les stimuli en mouvement de premier-order



**Fig.6** Montre les différents stimuli en mouvement utilisé (Damier(Checkerboard), premier-order (FO) et deuxième-order (SO) ).

Ces derniers sont définis par une translation spatio-temporelle de luminance. C'est un stimulus simple et linéaire qui est présenté sous forme de réseau formé d'une alternance de bandes claires et bandes plus au moins sombres selon une différence de potentiel de luminance (voir Fig. 6b). Ce réseau est modulé par la luminance après avoir ajouté du bruit statique sur les sinus orientés verticalement, selon les indications de (i.e., Ledgeway & Smith, 1994; Bertone et al., 2003). Le bruit consistait en des points randomisés de 1 pixel x 1 pixel, mesurant approximativement 2.235 min d'arc. Le contraste de luminance du premier ordre varie de 0 à 0.5 défini selon la fonction suivante :

$$\text{luminance modulation de profondeur} = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$$

### **1.8.3. Les stimuli de deuxième ordre**

Ces derniers sont définis par une translation spatio-temporelle des attributs autres que la luminance (le contraste, la disparité, la texture, etc.). C'est un stimulus complexe et non linéaire. Présenté sous forme de réseau formé d'une alternance de bandes claires et plus au moins sombres selon une différence de potentiel de contraste et de texture (voir Fig. 6c).

Le pattern de deuxième ordre est modulé par la texture après avoir multiplié du bruit à celle-ci selon une échelle de couleur grise, pour obtenir cette somme de sinus verticale sur des points de bruit (i.e.,

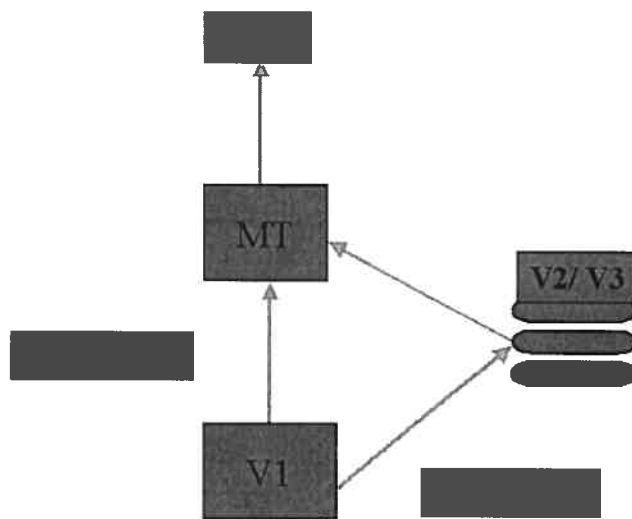
Ledgeway & Smith, 1994; Bertone et al., 2003; Bertone & Faubert, in press).

Le contraste de texture qui varie de 0 à 1 se définit par la fonction suivante :

$$\text{contrast modulation de profondeur} = (C_{\max} - C_{\min}) / (C_{\max} + C_{\min})$$

ou  $C_{\max}$  et  $C_{\min}$  représentent le contraste local du pattern.

Wilson, et al., (1992), Smith (1994) ainsi que Mareschal & Baker (1999, 2001) ont démontré l'existence de deux mécanismes fonctionnellement différents dans le traitement du stimulus de premier et de deuxième ordre. Les récentes études sur le traitement cortical d'un mouvement de premier et de deuxième ordre en se servant fMRI par (Smith & Henning, 1998) ont identifié la voie du premier ordre et du deuxième ordre (voir Fig.7). Cette étape supplémentaire nécessaire pour extraire toute l'information contenue lors d'une présentation d'un mouvement de deuxième ordre, a été observée lors d'enregistrements unicellulaires de chat (Zhou & Baker, 1993; Baker & Mareschal, 1998; 1999). Plus encore, d'autres études (Chubb & Sperling, 1998; Wilson, Ferrera & Yo, 1992) soutiendraient que cette étape supplémentaire au mouvement de deuxième ordre n'est pas seulement une phase de rectification et de filtrage, mais également un niveau de traitement additionnel indispensable à la perception du mouvement de deuxième ordre.



**Fig. 7** Montre la voie du mouvement de premier et de deuxième ordre, selon les indications de (Smith et Henning, 1998)

Récemment Elleberg et al., (2003) ont publié une étude où ils comparaient le temps de traitement retinocortical du mouvement de premier et deuxième ordre. Les résultats montraient que le temps de culmination des l'ondes  $P_{100}$  et  $N_2$  au mouvement du deuxième ordre était respectivement de 44 msec et 53 msec en retard par rapport au mouvement du premier ordre.

Similairement le TR du mouvement du deuxième ordre était prolongé de 76 msec comparé à celui du premier ordre. Les auteurs interprétaient ces résultats comme une évidence d'un traitement

additionnel du deuxième ordre nécessaire à sa perception. Cette différence dans les latences ne semblait pas être modulée par le niveau contraste, bien que plusieurs études antérieures ont prouvé le contraire. Le contraste joue un rôle important dans le temps de traitement retinocortical, les études de ( Kubova, Kuba, Sperkrijse & Blakemore, 1995) ont montré clairement que le temps de culmination du PEV est modulé en fonction du niveau contraste.

Notre étude soutiendrait l'hypothèse qu'un accroissement graduel de la complexité d'un stimulus en mouvement exigerait forcément plus de temps à notre système visuel afin d'intégrer et de traiter l'information. Dans la présente étude, nous mesurons le PEV et le TR simultanément à l'inversion du mouvement à huit niveaux de contraste allant de (3% à 100%) pour chaque type de stimulus en mouvement.

Partant de l'hypothèse que deux mécanismes corticaux séparés sont à la base du traitement initial des stimuli de premier ordre et du deuxième ordre, cette dichotomie opérée au niveau de notre système visuel a intégré l'information lors d'une présentation d'un mouvement simple ou d'un mouvement complexe, devrait se traduire forcément par une différenciation de notre temps de culmination au PEV et de notre temps sensorimoteur représenté par le TR. Cette différence est modulée par les différents niveaux de contraste.



**2. ARTICLE**

**Submitted 23 July 2003**

**To Vision Research**

**Visual evoked potentials and reaction time measurements to  
luminance- and texture-defined motion stimuli**

Hadi Chakor-Djelthia, M.D. <sup>1,2</sup>, Armando Bertone, M.A., M.Ps. <sup>1</sup>,  
Michelle McKerral, Ph.D. <sup>3</sup>,  
Jocelyn Faubert, Ph.D. <sup>1</sup> and Pierre Lachapelle, Ph.D. <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Visual Psychophysics and Perception Laboratory, Ecole d'optométrie,  
Université de Montréal

<sup>2</sup>Department of Ophthalmology, McGill University- Montréal Children's  
Hospital Research Institute,

<sup>3</sup>Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation-Site centre de  
réadaptation Lucie-Bruneau

Montréal, Québec, Canada.

Key words : VEP, reaction time, motion, human, normal.

Address for correspondence :

Pierre Lachapelle, Ph.D.

Department of Ophthalmology (D-164)

McGill University – Montréal Children's Hospital Research Institute

2300 Tupper Street

Montréal, Québec, Canada, H3H 1P3

TEL : (514) 412-4400 ext. 23890

FAX : (514) 412-4331

Email : [pierre.lachapelle@mcgill.ca](mailto:pierre.lachapelle@mcgill.ca)

VERSION: July 23, 2003

## **Abstract**

We examined, with VEPs and motor reaction times (RTs) obtained to first- (FO) and second- (SO) order motion stimuli and pattern reversal checkerboard stimuli (contrast range: 3% to 100%), if the analysis of more complex stimuli yields a measurable increase in the cortical processing time. Pattern reversal responses were fastest especially at high contrast. Similarly, at minimal contrast, the SO-FO timing differences is approximately 100 msec ( RT) or 20 msec. (VEP). For contrasts  $\geq 15$  –20% (VEP) or  $\geq 50\%$  (RT), the SO-FO difference is no longer significant, suggesting either that the brain can no longer distinguish SO from FO stimuli or that in spite of the added complexity of SO stimuli the brain takes equal time to process both.

## 2.1 Introduction

Evidence recently collected using psychophysical (Chubb et al., 2001), electrophysiological (Baker & Mareschal, 2001) and imaging (Smith et al., 1998) techniques provide support for the claim that two separate cortical mechanisms underlie the initial processing of first-order and second-order motion stimuli. This concept of two separate motion detection pathways had previously been incorporated into computational models (Chubb & Sperling, 1988; Wilson, Ferrera, & Yo, 1992) which assumed that compared to first-order stimuli, the perception of second-order motion implied an additional step in cortical processing. In support of the latter claim, studies have demonstrated a reduced sensitivity to second-order motion for populations believed to have less efficient neural mechanisms operating at a visuoperceptual level (i.e., Habak & Faubert, 2000; Bertone et al., 2003).

In human subjects, visual evoked potentials (VEPs) are used to assess the neuronal processing underlying the perception of motion (Bach and Meigen, 1992; Lamme, Van Dijk and Spekreijse, 1992; Lamme, Van Dijk and Spekreijse, 1993; Bach & Meigen, 1997; Caputo, Casco and Greico, 1999; Bach & Meigen, 1999). Typical motion VEP responses consist of an initial positive wave,  $P_1$  or  $P_{100}$ , that peaks at approximately 100 -130 msec followed at 150-200 msec by the negative wave  $N_2$  (Chiappa, 1990). Previous studies that examined stimulus characteristics such as motion velocity (Markwardt, Göpfert and Müller, 1988) and contrast dependence (Kubová et al., 1995) have further identified the  $N_2$  wave as being motion specific, whereas the  $P_1$  wave is more likely to be associated with pattern processing (Müller &

Göpfert, 1988; Kubova et al., 1990; Schlykova, van Dijk & Ehrenstein, 1993; Probs et al., 1993; Bach & Ullrich, 1997).

Eye hand motor reaction time (RT) measurements are viewed as a valid alternative method of determining the retino-cortical processing time. For example, previous studies have shown that contrast, luminance, wavelength or size modifications of the stimulus (Baedeker & Wolf, 1987; Burr, Fiorentini & Morrone, 1998; Felipe, Buades & Artigas, 1993; Hartwell & Cowan, 1993; McKerral, Lachapelle & Benoit, 1991; McKerral, Polomeno, Lepore & Lachapelle 1999; Mihaylova, Stomonyakov & Vassilev, 1999; Musselwhite & Jeffreys, 1985) can yield significant increases in the retino-cortical processing time as measured with RTs. These results suggest that RT measurements can be used to estimate the time taken to process different aspects of a stimulus.

Recently, ElleMBERG et al., (2003) published a study where the retino-cortical processing times of first- and second-order motion patterns equated for perceptual visibility were compared. Results of their study revealed that the  $P_1$  and  $N_2$  components of VEPs evoked to second-order stimuli were significantly delayed (average: 44 and 53 msec, respectively) compared to those generated in response to first order stimuli. Similarly, RTs to second-order motion stimuli were also significantly prolonged (average: 76 msec) when compared to those evoked to first-order motion stimuli. The authors interpreted their findings as evidence for additional cortical analysis necessary to perceive second-order motion stimuli. Surprisingly, although contrast is an important trigger feature of the magnocellular pathway where motion detection is suggested to take

place, the increase in processing time reported by Elleberg et al. (2003) did not appear to be modulated by the contrast level of the stimuli. In light of the above discrepancy, the purpose of this study was therefore to re-examine if: 1- the processing of more complex stimuli yields a measurable increase in the retino-cortical timing as measured by simultaneous recording of VEP and RT to simple (luminance-defined) and complex (texture-defined) motion stimuli and, 2- the measured differences are contrast dependent. Our results suggest that this is the case.

## 2.2 Methods

### 2.2.1 Materials and Methods

VEPs and RT measurements were obtained for 10 normal subjects (4 females and 6 males) aged between 18 and 35 years old (average age: 27 years). A signed informed consent was obtained from all subjects after the nature of the study had been fully explained. Binocular full-field VEPs and eye-hand reaction times (RTs) were obtained to the reversal of a checkerboard stimulus ( $0.5^\circ$  checks, reversal rate: 5 Hz.) as well as to the change in direction of luminance- (first-order motion) and texture-defined (second-order motion) 0.5 cpd gratings that drifted either to the left or to the right at 5Hz. All stimuli were presented within a circular region of 20 degrees in diameter at the center of the display. The stimuli were all generated by the VPixx© software using a Power Macintosh 6100 / 66AV and displayed on a View Sonic high-resolution 20 inch color monitor that the subjects viewed at a distance of 57 cm. The monitor had a refresh rate of 75 Hz and a resolution of 640 x 480 pixels and was gamma-corrected using a color look-up table. The average luminance of the monitor was kept at  $25 \text{ cd/m}^2$ .

Motion stimuli were generated as previously reported (i.e., Ledgeway & Smith, 1994; Bertone et al., 2003; Bertone & Faubert, 2003). Briefly, the first-order motion (FO) stimuli (Figure 1, left) consisted of luminance-modulated noise patterns that were generated by adding a static grey-scale noise (i.e, noise made of aggregation of pixels, each measuring approximately 2.235 min. of arc) to a vertically oriented sine



wave. Eight levels of luminance modulation were used (3%, 5%, 8%, 15%, 20%, 50%, 75% and 100%). The second-order (SO) stimuli (Figure 1, right) consisted of texture-modulated noise patterns produced by multiplying rather than summing the same modulating sine wave to the greyscale noise. Again, eight levels of contrast modulation were presented (3%, 5%, 8%, 15%, 20%, 50%, 75% and 100%). Thus, all the motion stimuli used in the present study had the same spatio-temporal and contrast characteristics, the only difference between the two types of motion being the attribute defining the motion : luminance for the first-order stimuli and texture for the second-order stimuli.

VEPs were recorded with the Biopac MP100 system analysis (BIOPAC Systems, Inc., system software Version 3.5.4.). The scalp electrodes were fixed at O<sub>2</sub>-O<sub>1</sub>-O<sub>2</sub> position (International 10/20 system) using Grass silver cup electrodes with the reference on the forehead and ground electrode clipped to the earlobe. Electrode impedance was monitored and kept below 5k $\Omega$ . The VEP signals were amplified 50 000 times between a 1-100Hz bandwidth (Grass P-511 amplifiers), digitized at 600 samples/sec and the time of analysis was set at 600 msec.

Subjects were seated in a comfortable chair with chin rest to reduce head movements and muscle artifacts. They were instructed to fixate a small red dot placed in the center of the screen and the experimenter verified ocular stability visually throughout the experiment. A total of 25 sweeps were recorded for each motion type at each level of contrast. Therefore, a testing session consisted of a series of 16 experimental sequences (2 types of motion x 8 levels of contrast). Reaction times were measured by asking the observers to press a key as soon as they

perceived a change in the direction of the motion (for either first- and second-order motion conditions), or at each reversal (for checkerboard stimuli). Motion or checkerboard reversals varied randomly between

1.5 to 3.0 seconds. This regime was selected to minimize adaptation as well as anticipation and also keep the sessions at a tolerable length (i.e., approximately 75 minutes) in order to minimize fatigue. VEP responses and RT were recorded simultaneously.

### **2.2.2 Data analysis**

VEP responses are normally composed of an  $N_1$ ,  $P_{100}$  and  $N_2$  components. For all stimuli, peak time and amplitude measurements of the  $P_{100}$  and  $N_2$  components were calculated from responses obtained at the three electrode locations ( $O_z$ ,  $O_1$  and  $O_2$ ). It is well known that motion VEPs differ in amplitude between the two sides of the brain, being clearly larger over the right hemisphere in most cases (Kuba and Kubova, 1992). Consequently, the lateral lead (either  $O_1$  or  $O_2$ ) having the largest amplitude was used to calculate the  $P_1$  and  $N_2$  peaks and was referred to as  $O_L$ . Finally in order to eliminate responses that could have resulted from anticipation or contaminated by the fatigue of the subject, RTs faster than 140 msec or slower than 800 msec were not included in the analysis (McKerral et al., 1991). Less than 10% of all RT measurements were rejected from the final analysis.

### 3.2. Results

Representative VEP tracings recorded from one normal subject are shown in Figure 2. The responses were recorded at the three electrode positions ( $O_z$ ,  $O_1$  &  $O_2$ ) and evoked to motion (i.e., first- and second-order) and pattern-reversal (checkerboard) 20% contrast stimuli.

Comparing the timing of the different VEP responses, one notices that the  $P_{100}$  peak becomes progressively delayed as we switch from the checkerboard to the FO and SO stimuli. Morphological differences are also noted. The pattern reversal VEP response is mostly dominated by the positive  $P_{100}$  peak, whereas motion VEP waveforms are biphasic with well demarcated positive ( $P_{100}$ ) and negative ( $N_2$ ) peaks. These morphological differences are noted at all three electrode positions ( $O_z$ ,  $O_1$  &  $O_2$ ). Figure 3 compares, for the same subject, the effect of a gradual increase in the level of contrast (from 3% to 100%) on the morphology of VEPs evoked to the reversal of a checkerboard pattern stimulus (top), to the change in direction of a first-order (middle) and second-order (bottom) motion stimulus. Again, irrespective of the contrast level, the most prominent component of the VEP evoked to the reversal of a checkerboard stimulus is the  $P_{100}$ . The latter component does demonstrate a gradual increase in amplitude with contrast. There is also some suggestion of a slight enhancement of the  $N_2$  trough in responses obtained with the highest levels of contrast (e.g. 75% and 100%). However, this contrast-dependent enhancement of  $N_2$  is much more obvious in VEPs evoked to the motion stimuli, where a clearly demarcated  $N_2$  is first observed in response to the 3% and 8% contrast levels for the SO and FO motion stimuli respectively. In both cases the  $N_2$  trough appears to be enhanced with higher

contrast, the latter being most obvious in responses evoked to the FO stimulus.

The waveforms illustrated in Figure 3 also suggest that there is a shortening of the peak times as the contrast level increases. This is best evidenced in Figure 4 where representative FO and SO waveforms evoked to different contrast levels and recorded from the same subject are superimposed. It is clear that for contrast levels  $\leq 20\%$ , the FO  $P_{100}$  and  $N_2$  peak times are markedly faster than those of the SO responses. However, for contrast levels  $\geq 20\%$  the timing of FO and SO VEP waves are almost identical.

The above observation is confirmed with the results shown in Figure 5 which illustrates how the peak times of the  $P_{100}$  (top) and  $N_2$  (bottom) waves are modulated as the contrast level of FO, SO and pattern reversal (check) stimuli increases. Responses obtained with the central ( $O_z$ ) and lateral ( $O_L$ ) electrodes are compared. The average peak time of the  $P_{100}$  ( $F(7,63) = 3.036$ ,  $p = .0081$ ) and  $N_2$  ( $F(7,63) = 5.740$ ,  $p = .0001$ ) waves evoked to FO stimuli increases significantly with contrast,  $N_2$  increasing at a much faster rate than  $P_{100}$ . Neither  $N_2$  ( $F(1,9) = 2.541$ ,  $p = .1454$ ) nor  $P_{100}$  ( $F(1,9) = 1.830$ ,  $p = .2091$ ) showed a laterality effect. In comparison, the peak time of the  $P_{100}$  waves evoked to SO motion stimuli decreases significantly with contrast ( $F(7,63) = 14.597$ ,  $p = .0001$ ). Again there is no evidence of a laterality effect ( $F(1,9) = 3.065$ ,  $p = .1139$ ) since both recording electrodes ( $O_z, O_L$ ) exhibit the same contrast dependency. Interestingly, increasing the contrast of the stimuli had no significant impact on the timing of the SO  $N_2$  ( $F(7,63) = 1.647$ ,  $p = .1389$ ). The timing of the SO  $N_2$  wave did however demonstrate an effect of laterality since irrespective of

contrast,  $O_L$  latencies were always significantly prolonged ( $F(1,9) = 12.511, p = .0063$ ) compared to  $O_z$  latencies.

The data illustrated in Figure 5 also reveals that for contrast levels lower than 20%, the peak time of the second-order  $P_{100}$  wave is significantly (paired Student t-test;  $p < 0.007$  with Bonferroni correction) delayed compared to that evoked to first-order motion stimuli, the latter displaying a contrast dependency similar to that of the  $P_{100}$  wave evoked to the reversal of the checkerboard stimulus. At contrast levels above 20%, the FO and SO  $P_{100}$  peak times are not significantly different from each other despite the fact that first-order motion stimuli are reported by subjects as subjectively more visible. Similarly, compared to FO  $N_2$ , SO  $N_2$  are significantly (paired Student t-test;  $p < 0.007$  with Bonferroni correction) delayed at lower contrasts ( $\leq 15\%$ ) while at contrast levels above 15%, the two measures are not significantly different from each other despite the fact that again FO stimuli are subjectively more visible. As noted above, the timing of the  $N_2$  wave evoked to FO and checkerboard stimuli demonstrate a similar contrast dependency.

Figure 6 illustrates how the RTs evoked to the different visual stimuli used (FO, SO and checkerboard) varied as a function of the contrast level. Again an overall effect of contrast is found ( $F(7, 63) = 16.066, p = 0.0001$ ) where all the measurements tend to be faster as the contrast level increases. Similarly to what was observed with the VEP, SO RTs are significantly ( $F(1,9) = 22.23, p = 0.0011$ ) slower than FO RTs, the latter being almost identical to those observed with the checkerboard stimulus, irrespective of contrast. Interestingly, the SO-FO timing difference decreases significantly as the contrast increases ( $F(7, 63) = 2.941, p = .0099$ ) and paired comparisons reveal that for

contrasts over 50 %, SO and FO RTs are not significantly different from each other (paired Student t-test;  $p > 0.00625$ , with Bonferroni correction).

The results presented above clearly suggest that, as the contrast level decreases, SO stimuli take progressively more cortical time than FO stimuli to be processed. This concept is graphically represented in Figure 7 where the timing difference (SO-FO: ordinate) obtained from VEP ( $P_{100}$  and  $N_2$ ) and RT measurements is plotted against the contrast level (abscissa). Regression analysis reveals that all three slopes decrease progressively as the contrast increase, the slope being steepest with the RT measures, especially at high contrast. However, for contrast differences above 50%, the VEP timing differences are not significantly different from 0 while they still remain significant for the RT measurements.

## 2.4 Discussion

The purpose of this study was to examine if more complex visual stimuli required more time to be processed and whether this increase in processing time was contrast dependent. In order to do this, we compared the retino-cortical processing time, as estimated with VEP ( $P_{100}$  and  $N_2$  waves) and the eye-hand reaction time (RTs) measurements, needed to perceive checkerboard reversals and motion reversal to first- or second-order motion stimuli. For each type of stimuli, the contrast level varied from 3%-100%. As expected, our results confirm that the time taken to perceive a visual stimulus is contrast dependent. However, contrast will differentially affect the retino-cortical timing depending on the stimulus type, the cortical area sampled (e.g. electrode position), the method used to measure cortical processing time (i.e., VEP or RTs) or the VEP wave considered ( $P_{100}$  or  $N_2$  waves).

Regarding the VEP signal, there is a clear relationship between contrast level and the time taken to process the stimulus. This relationship remains irrespective of wave ( $P_{100}$  or  $N_2$ ) or electrode position ( $O_z$  or  $O_L$ ). However the stimulus type will determine the sign of this contrast-timing relationship. While the processing time of FO stimuli increases as contrast increases, that of SO stimuli shortens. The latter observation is made at the two electrode positions and for the two VEP waves considered. This inverted SO-FO contrast-dependent relationship results in a significant retino-cortical timing difference (between SO and FO) for contrast levels that are either  $\leq 20\%$  if the timing difference is estimated with the VEP  $P_{100}$  wave, or  $\leq 15\%$  when estimated with the VEP  $N_2$  component, the alleged VEP

motion-related wave (Müller & Göpfert, 1988). In this respect, it is interesting to note that  $N_2$  was the only VEP component to demonstrate a laterality effect. This was observed only in responses evoked to SO stimuli, where irrespective of contrast,  $O_L$  latencies were always significantly prolonged (by approximately 1-2 msec) compared to  $O_Z$  latencies. For all other conditions, there were no significant differences in the timing of VEP waves whether recorded from  $O_L$  or  $O_Z$  electrodes. We interpret this result as evidence that the more complex SO stimuli requires the participation of the extra-striate visual areas (under the  $O_L$  electrode), possibly reflecting the implication of the human visual areas V2/V3 or MT (medial temporal) in its analysis, as previously suggested (Bach & Ullrich, 1995; Probs et al., 1993; Smith et al., 1998). Furthermore, we suggest that the extra 1-2 msec synaptic delay may be the consequence of the additional rectification stage occurring during SO motion processing, as proposed by filter-rectify-filter models (i.e., Wilson et al., 1992). This estimate of a synaptic delay (1-2 synapses) is compatible with that previously reported elsewhere (Roy et al., 1994).

In their study, Elleberg et al., (2003) reported that FO  $P_{100}$  and  $N_2$  waves were respectively 44 and 53 msec. faster than their SO counterparts. Similarly they showed that FO RTs were 76 msec. faster than SO RTs. Interestingly, the SO-FO differences did not appear to be modulated by the contrast level, at least there is no mention in the text that it does. In a previous study we examined how the timing of simultaneously recorded VEPs and RTs evoked to the reversal of a checkerboard stimulus varied as a function of the contrast and spatial frequency of the checks (McKerral, Lepore and Lachapelle, 2001). Our results showed that compared to a low contrast stimulus, the timing of



the retino-cortical response (VEP  $P_{100}$  or RT) evoked to a high contrast level was always significantly faster and that irrespective of the spatial frequency. As shown with the results in figures 5 and 6, the timing of the FO and SO VEP and RTs are also contrast modulated. As a result, the SO-FO timing differences also demonstrate a contrast dependency as shown in figure 7, where regression analysis reveals that the largest SO-FO difference is approximately 100 msec (Y-intercept as estimated with the RT measure) or 20 msec. (Y-intercept as estimated with the VEP  $P_{100}$  or  $N_2$  measure). As the contrast level increases, there is a gradual reduction in the SO-FO difference such that, for contrast levels  $\geq 15 - 20\%$  ( $P_{100}$  and  $N_2$  respectively) or  $\geq 50\%$  (RT), the SO-FO difference in processing time is no longer significantly different from 0; a finding that complement that originally reported by ElleMBERG et al., 2003. In fact, regression analysis (Figure 7) predicts that SO – FO will equal 0 msec. for contrast levels  $> 50\%$  with the VEP timing ( $P_{100}$  or  $N_2$ ) and  $> 100\%$  with the RT measurements. The latter thus suggest either that the brain can no longer distinguish SO from FO stimuli or that in spite of the added complexity of SO stimuli the brain takes equal time to process both. Given the above, our results would support the concept of initial separate analysis of FO and SO stimuli (i.e., Chubb et al., 2001) that are differently modulated by the contrast level. This would explain why significant SO-FO differences are measured at low contrast and also why despite the lack of measurable SO-FO VEP differences at higher contrast, the brain is still capable of differentiating SO from FO stimuli as exemplified with the RT responses. The latter results also confirm, as previously reported, that in spite of a larger variability, the RT measure represents a valid method to estimate retino-cortical processing time. Furthermore, since VEPs and RTs appear to be differently modulated by specific features of the stimulus (e.g. luminance, contrast, etc.), a comparison of the two methods

should help us get a better grasp at how the brain processes visual motion stimuli. It would appear from our results that RT measurements are capable of distinguishing the full spectrum of motion processing while the VEP can only characterize the initial stages.

Our data show two different signatures concerning FO versus SO motion processing and confirm previous electrophysiological studies (i.e., Bach & Meigen, 1999; Elleberg et al., 2003) claiming that additional cortical analysis is involved in SO motion perception, characterized by different VEPs and RT response patterns. Texture-defined motion appears to activate a different subset of extra-striate visual areas, compared to those activated by first order motion (area V1). Our general finding is therefore compatible with recent applied psychophysical studies demonstrating selective second-order motion processing impairments in patient populations believed to be less capable of neuro-integrative visuo-perceptual processing (i.e., Habak & Faubert, 2000; Bertone et al., 2003). These results are also of considerable relevance in elucidating the nature of motion mechanisms underlying SO motion perception in normal human observers suggesting that the perception of SO motion requires more complex cortical analysis and a higher level of cortical integration (i.e., Chubb et al., 2001).

## **2.5 Acknowledgements**

Supported by the McGill University-Montréal Children's Hospital Research Institute, the Canadian Institutes of Health Research (CIHR) and the Réseau de Recherche en Santé de la Vision du Fonds de Recherche en Santé du Québec (FRSQ).

## 2.6 References

- Bach, M. & Meigen, T. (1992). Electrophysiological correlate of texture segregation in the human visual evoked potential. *Vision Research*, 32, 417-424
- Bach, M. & Meigen, T. (1997) Similar electrophysiological correlates of texture segregation induced by luminance, orientation, motion and stereo. *Vision Research*, 37:1409–1414
- Bach, M. & Meigen, T. (1999). Electrophysiological correlates of human texture segregation, an overview. *Documenta Ophthalmologica*, 95, 335-347.
- Bach, M. & Ullrich, D. (1997). Contrast dependency of motion onset and pattern reversal VEPs. *Vision Research*, 37, 1845-1849.
- Bach, M. & Hoffmann, M. B. (2000). Visual motion detection in man is governed by non-retinal mechanisms. *Vision Research*, 40, 2379-2385.
- Baedeker, C. & Wolf, W. (1987). Influence of saccades on manual reactions – a reaction time and VEP study. *Vision Research*, 27, 609-19.
- Baker, C. L. Jr. & Mareschal, I. (2001). Processing of second-order motion in the visual cortex. *Progress in Brain Research*, 134, 171-191.
- Bertone, A., Mottron, L., Jelenic, P. & Faubert, J. (2003). Motion perception in autism: a 'complex' issue. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 218-225.
- Bertone, A. & Faubert, J. How is complex second-order motion processed ? in press *Vision Research*.
- Burr, D. C., Fiorentini, A. & Morrone, C. (1998). Reaction time to motion onset of luminance and chromatic gratings is determined by perceived speed. *Vision Research*, 38, 3681-90.

Casco, C., Caputo, G. & Grieco, A. (1999). Discrimination of an orientation difference in dynamic textures. *Vision Research*, 41, 275-284.

Chiappa, K.H. (1990). Principles of evoked potentials. In : K.H. Chiappa. *Evoked potentials in clinical medicine*, 2<sup>nd</sup> ed. New York: Raven Press, pp.1-135

Chubb, C., Olzak, L. & Derrington, A. (2001). Second-order processes in vision; introduction. . *Journal of the Optical Society of America A*, 18, 2175-2178.

Chubb, C. & Sperling, G. (1988). Drift-balanced random stimuli: A general basis for studying non-Fourier motion perception. *Journal of the Optical Society of America A*, 5, 1986-2006.

Elleberg, D., Lavoie, K., Lewis, T. L., Maurer, D., Lepore, F. & Guillemot, J. -P. (2003). Longer VEP latencies and slower reaction times to the onset of second-order motion than to the onset of first-order motion. *Vision Research*, 43, 651-658.

Felipe, A., Buades, M. J. & Artigas, J. M. (1993). Influence of the contrast sensitivity function on the reaction time. *Vision Research*, 33, 2461-2466.

Göpfert, R. Müller and Hartwig, M. (1984). , Effects of movement adaption on movement-visual evoked potentials. *Documenta Ophthalmologica Proceedings Series 40* (1984), pp. 321-324.

Habak, C. & Faubert, J. (2000). Larger effect of aging on the perception of higher-order stimuli. *Vision Research*, 40, 943-950.

Hartwell, R. C. & Cowan, J. D. (1993). Evoked potentials and simple motor reaction times to localized visual patterns. *Vision Research*, 33, 1325-37.

Kubova, Z., Kuba, M., Hubacek, J. & Vit, F. (1990). Properties of visual evoked potentials to onset of movement on a television screen. *Documenta Ophthalmologica*. 75, 67-72.

Kuba, M. & Kubova, Z. (1992). The effect of spatial frequency and contrast on the latency in the visual evoked potential. *Documenta Ophthalmologica*, 79, 187-194.

Kubová, Z., Kuba, M., Spekreijse, H. & Blakemore, C. (1995). Contrast dependence on motion-onset and pattern-reversal evoked potentials. *Vision Research*, 35, 197-205.

Lamme, V. A. F., van Dijk, B. W. & Spekreijse, H. (1992). Texture segregation is processed by primary visual cortex in man and monkey. Evidence from VEP experiments. *Vision Research*, 32, 797-807.

Lamme, V. A., van Dijk, B.W. & Spekreijse, H. (1993). Contour from motion processing occurs in primary visual cortex. *Nature*, 363, 541-543.

Ledgeway, T. & Smith, A. T. (1994). Evidence for separate motion-detecting mechanisms for first and second order motion in human vision. *Vision Research*, 34, 2727-2740.

Markwardt, F. Göpfert, E and R. Müller, R. (1988). Influence of velocity, temporal frequency and initial phase position of grating patterns on motion VEP. *Biomedica Biochimica Acta* 47. 753-760.

McKerral, M., Lachapelle, P. & Benoit, J. (1991). Comparative effects of luminance and scatter on the pattern visual evoked potential and eye-hand reaction time. *Documenta Ophthalmologica*, 79,177-85.

McKerral, M., Polomeno, R. C., Lepore, F. & Lachapelle, P. (1999). Can interocular pattern reversal visual evoked potential and motor reaction time differences distinguish anisometropic from strabismic amblyopia ? *Acta Ophthalmologica*, 77, 40-44.

McKerral, M., Lepore, F. & Lachapelle, P. (2001). Response characteristics of the normal retino-cortical pathways as determined with simultaneous recordings of pattern visual evoked potentials and simple motor reaction times. *Vision Research*, 41, 1085-1090.

Meigen, T. & Bach, M. (1993). Perceptual ranking vs. VEP for different local features in texture segregation. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 34, 3264–3270.

Mihaylova, M., Stomonyakov, V. & Vassilev, A. (1999). Peripheral and central delay in processing high spatial frequencies: reaction time and VEP studies. *Vision Research*, 39, 699–705.

Müller, R & Göpfert, E. (1988). The influence of grating contrast on the human cortical potential visually evoked by motion. *Acta Neurobiologica Experientia*, 48, 239–249.

Musselwhite, M.J. & Jeffreys, D.A. (1985). The influence of spatial frequency on the reaction times and evoked potentials recorded to grating pattern stimuli. *Vision Research*, 25, 1545–55.

Probs, T., Plendl, H., Paulus, W., Wist, E.R. & Scherg M. (1993). Identification of the visual motion area (area V5) in the human brain by dipole source analysis. *Experimental Brain Research*, 93, 345–51.

Roy, M.S., Lachapelle, P., Polomeno, R.C., Frigon, J.-Y, & Lepore.F. (1994). Human strabismus : evaluation of the inter-hemispheric transmission time and hemiretinal differences using a reaction time task. *Behaviour Brain Research*, 62, 63–70

Schlykova, L., van Dijk, B.W. & Ehrenstein, W. H. (1993). Motion-onset visual-evoked potentials as a function of retinal eccentricity in man. *Cognitive Brain Research*, 1, 169–174

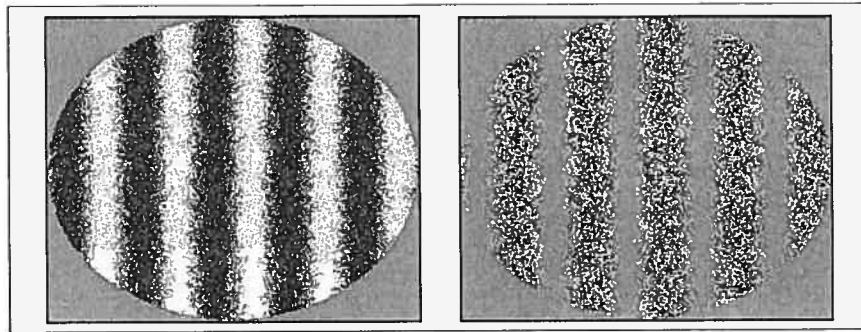
Smith, A. T., Greenlee, M. W., Singh, K. D., Kraemer, F. M. & Henning, J. (1998). The processing of first- and second-order motion in human visual cortex assessed by functional magnetic resonance imaging (fMRI). *The Journal of Neuroscience*, 18, 3816–3830.

Welford, A.T. (1988). Reaction time, speed of performance, and age. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 515, 1–17.

Wilson, H. R., Ferrera, V. P. & Yo, C. (1992). A psychophysically motivated model for two-dimensional motion perception. *Visual Neuroscience*, 9, 79-97.

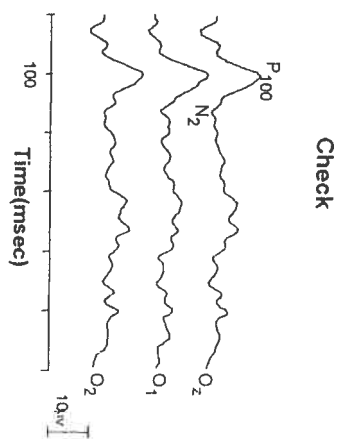
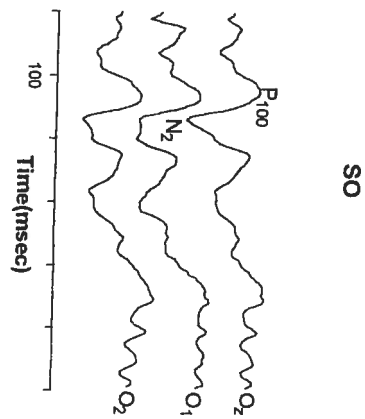
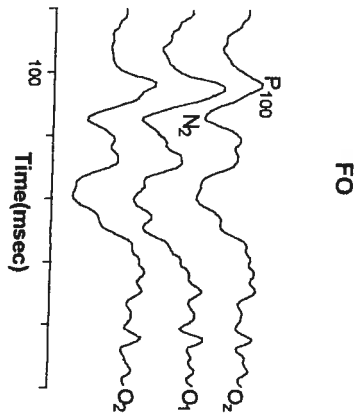
## 2.7 Figure articles

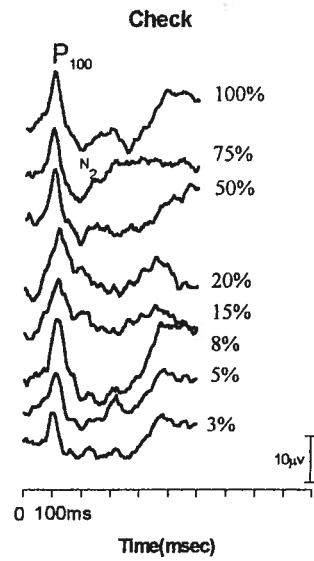
**Figure 1:** Examples of the first-order (left) and second-order (right) motion stimuli used in this study





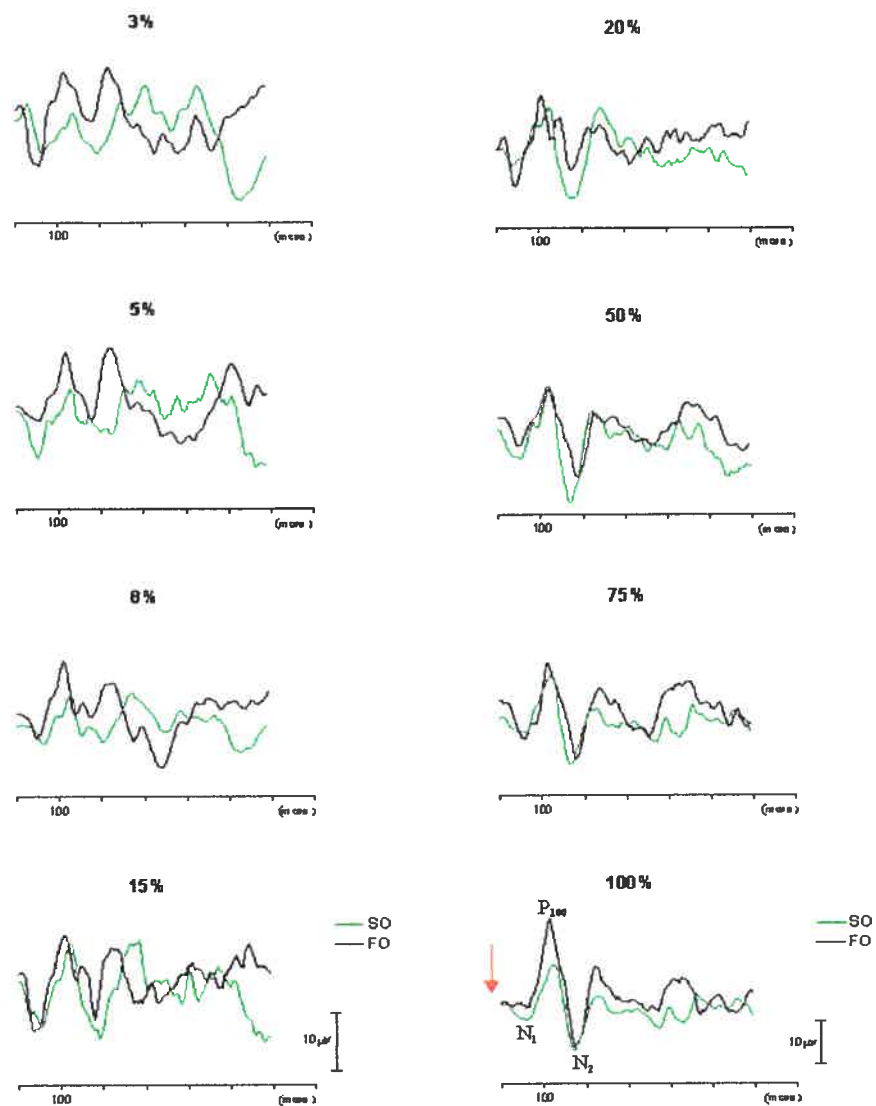
**Figure 2:** Representative tracings of 2VEPs recorded from one subject in response to the reversal of a checkerboard stimulus (Check) as well as first- (FO) and second-order (SO) motion. Responses were recorded at the three electrode positions ( $O_2$ ;  $O_1$ ;  $O_2$ ). The stimulus appeared at the onset of tracing. The waves are identified as described in the text. Calibration : Horizontal; 100 msec; Vertical; 10  $\mu$ volts.



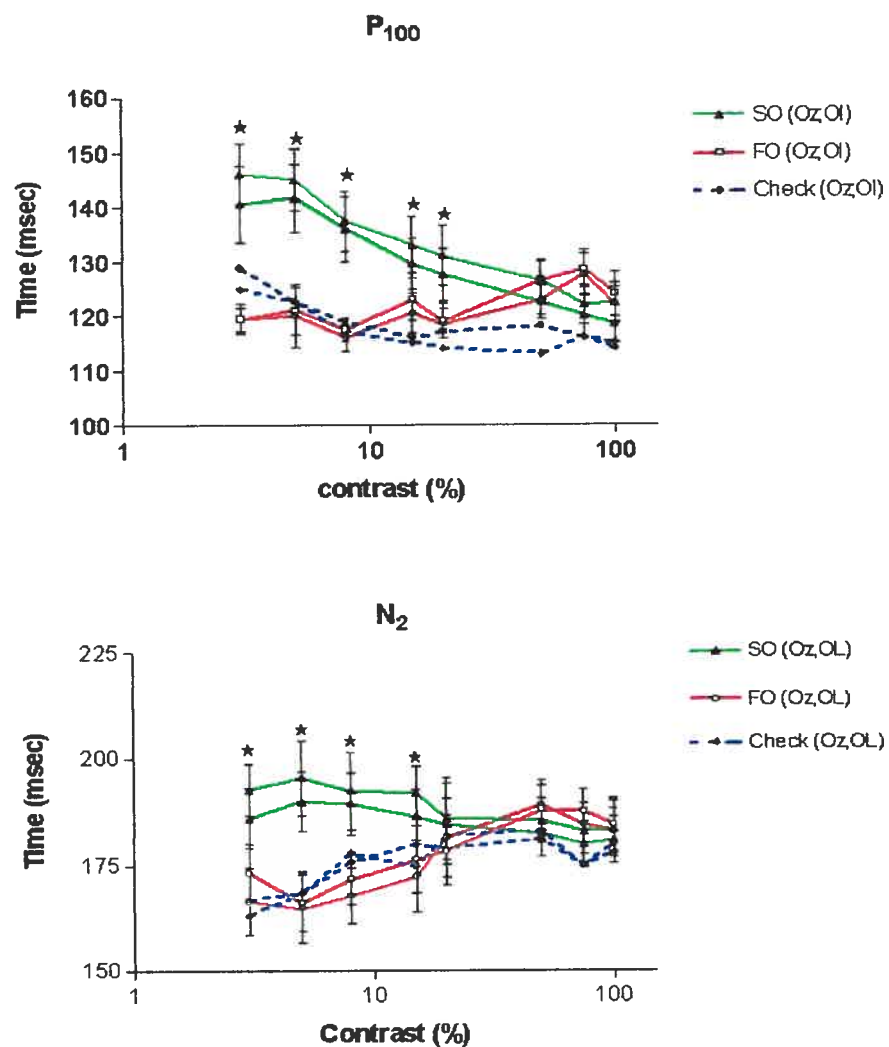


**Figure 3:** Representative tracings of VEPs recorded from one subject in response to the reversal of a checkerboard stimulus (Check) as well to first-order (FO) and second-order (SO) motion reversals. For each condition, the contrast varied from 3-100%, as indicated at the right of each tracing. Responses were recorded at the  $O_1$  electrode position. The stimulus appeared at the onset of tracing. The waves are identified as described in the text. Calibration: Horizontal; 100 msec; Vertical; 10  $\mu$ volts.

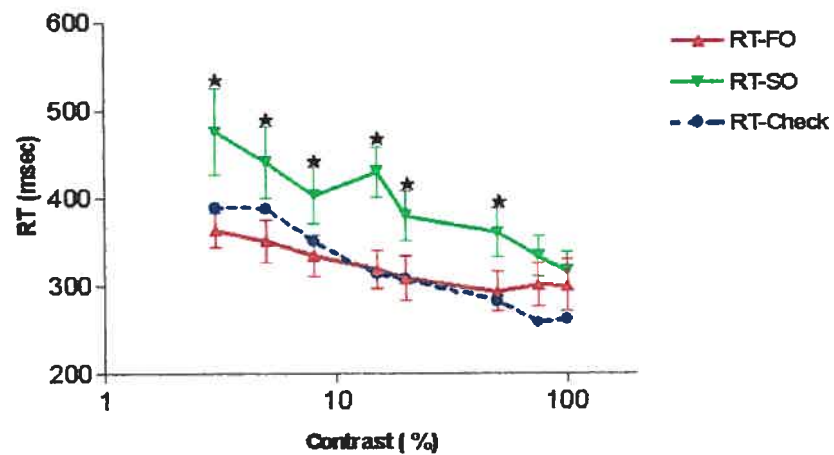
**Figure 4:** Comparing the effect of contrast level (3-100%) on the timing of VEP waves evoked to first- (FO: black tracings) and second-order (SO: gray tracings) motion stimuli. As the contrast level increases, the FO and SO P<sub>100</sub> waves gradually become almost identical in timing. The stimulus appeared at the onset of tracing as shown with the arrow for the 100% contrast level tracing. Waves are identified as described in the text. Calibration: Horizontal; 100 msec; Vertical; 10  $\mu$ volts.



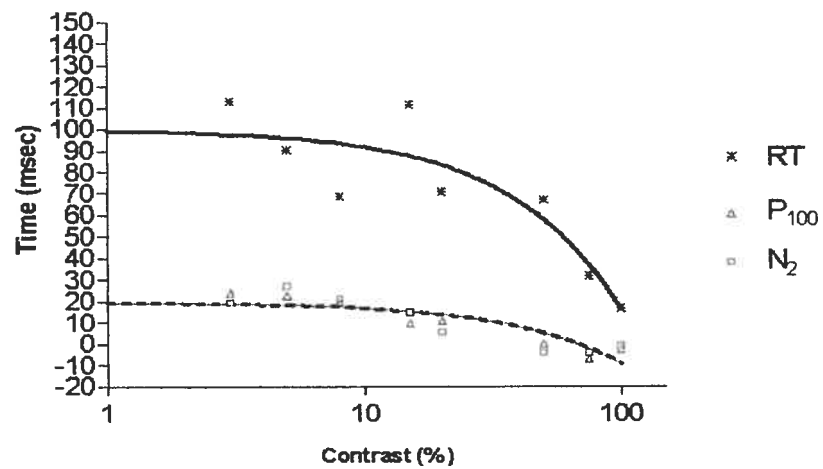
**Figure 5:** Group data showing the effect of contrast (abscissa in %) and electrode position (Oz, OL) on the peak time (ordinate in msec.) of the P<sub>100</sub> (top) and N<sub>2</sub> (bottom) waves of VEPs evoked from first- (FO) or second-order (SO) motions and pattern reversal (Check) stimuli. Stars identify statistical significance at  $P < 0.007$  (with Beperroni correction).



**Figure 6:** Group data showing the effect of contrast (abscissa in %) on the reaction time (ordinate in msec.) evoked from first-order (RT-FO), second-order motion (RT-SO) and pattern reversal (RT-Check) stimuli. Stars identify statistical significance at  $P < 0.007$  (with Beferroni correction).



**Figure 7:** Regression analysis between the SO-FO time difference (ordinate in msec.) obtained with  $P_{100}$ ,  $N_2$  and RT measures and the contrast level (abscissa in %). Note that the  $P_{100}$  and  $N_2$  regression curves are almost identical.



### **3. DISCUSSION**

### 3. Discussion

Le but de cette étude était de mettre en évidence les différenciations fonctionnelles existant au niveau du traitement rétino-cortical de l'information lors d'une présentation de stimuli visuels en mouvement à complexité graduelle modulée en fonction du contraste.

Nous avons comparé le temps de traitement rétino-cortical à l'aide de deux mesures :

- la première mesure estimée avec le PEV (au niveau de l'onde P<sub>100</sub> et N<sub>2</sub>)
- la seconde mesure estimée par temps de réaction sensori-moteur (TR).

Nous avons utilisé 3 types de stimuli en mouvement :

- le damier par inversion de contraste
- le stimulus en mouvement de premier ordre
- le stimulus en mouvement de deuxième ordre.

Pour chaque type de stimuli le niveau de contraste variait de 3% à 100%.

Les résultats obtenus durant cette étude indiquent bien que lorsqu'on augmente la complexité d'un stimulus en mouvement, notre système visuel prend plus de temps à traiter l'information. Cette complexité est mesurable par le PEV et le TR. Nos résultats indiquent clairement que les latences au PEV et au TR sont plus longues pour le mouvement du deuxième ordre. La première constatation que nous avons faite est que le temps de traitement rétino-cortical varie en fonction de l'intensité de contraste indépendamment des positions de l'électrode (O<sub>Z</sub>, O<sub>L</sub>) ou de l'onde mesurée (P<sub>100</sub> ou N<sub>2</sub>).



En observant les résultats obtenus, nous avons constaté une solide corrélation entre:

- la nature du stimulus
- le niveau de contraste
- et le temps de traitement cortical.

Dans le cas d'un stimulus de premier ordre, le temps de traitement cortical augmente avec l'accroissement du contraste; inversement avec le stimulus de deuxième ordre notre temps diminue. Cette observation a été constatée au niveau des 2 électrodes d'enregistrement de nos ondes PEV, le temps de culmination mesuré au niveau de notre onde P<sub>100</sub> et N<sub>2</sub> pour des niveaux de contraste  $\leq$  à 15% et 20% respectivement. Cette relation, modulée en fonction du contraste, d'une façon antagoniste lors d'une présentation d'un mouvement simple ou complexe, est attribuable à deux mécanismes parallèles qui jouent un rôle primordial dans la perception visuelle. Nous pouvons suggérer à travers cette expérience que le mouvement de premier ordre, constitué par des attributs spatio-temporels de luminance, est traité par la voie magnocellulaire. Cette voie magnocellulaire qui est sensible à de bas contraste  $\leq$  20% et qui décode essentiellement la luminance et le mouvement ( Derrington & Lennie, 1984; Livingstone & Hubel, 1988; Kaplan et al., 1990).

Cependant le mouvement de deuxième ordre, constitué par des attributs spatio-temporels de contraste, de texture et de profondeur, semble être traité par la deuxième voie visuelle qui est la voie parvocellulaire. Cette dernière, sensible à des hauts contrastes de luminance, décode essentiellement :

- la texture,
- la forme,
- les détails,
- la couleur

Nous la désignons comme la voie de l'acuité visuelle (Derrington and Lennie, 1984; Livingstone & Hubel, 1988; Kaplan et al., 1990) .

Durant notre expérience nous avons également observé cette morphologie biphasique de l'onde PEV avec une prééminence de l'onde N<sub>2</sub>, typique du PEV au mouvement (Müller & Göpfert, 1988). On note l'existence d'un effet de latéralité lors des réponses PEV au mouvement du second ordre, marqué par une différence significative du temps de culmination de l'onde N<sub>2</sub> au niveau de l'électrode centrale et latérale. Cette différence significative entre le temps de culmination de l'électrode central (O<sub>Z</sub>) et latérale (O<sub>L</sub>) lors d'une présentation d'un mouvement de second ordre, se comporte comme une fonction indépendante du contraste qui se traduit par un allongement de la latence (1- 2 msec) au niveau de l'électrode O<sub>L</sub> comparativement à O<sub>Z</sub>. Cet effet de latéralité met en évidence que le mouvement de second ordre nécessite un traitement supérieur au niveau des régions visuelles extra striées impliquant une participation des aires visuelles V2/V3 ou MT(medio temporal) dans l'analyse du mouvement du second ordre. Cette constatation corrobore les suggestions antérieures de Bach & Ullrich, 1995; Probs et al. , 1993; Smith et al. , 1998.

En outre, nous suggérons que les 1-2 msec de délai correspondent bien à un traitement et une analyse additionnelle nécessaire dans les étapes du traitement du second ordre. Comme déjà proposé dans le modèle de filtre- rectification- filtre (i.e., Wilson et

al., 1992), Ce délai adéquat a (1-2 synapses) est compatible avec d'autres études antérieures reportées par (Roy et al., 1994). Les études antérieures menées par Elleberg et al; (2003), ont prouvé que le temps de culmination au P<sub>100</sub> et au N<sub>2</sub> est respectivement plus rapide de 44 et 53msec au mouvement du premier ordre versus mouvement du deuxième ordre. Similairement cette étude a démontré que le TR du FO est plus rapide de 76msec que SO. Cette différence de latence au niveau du PEV et du TR ne semble pas être modulée par le contraste. D'autre part, d'autres études antérieures ont démontré une variation de la latence lors d'enregistrements simultanés du PEV et du TR (McKerral, Lepore & Lachapelle, 2001). Cette latence semblait être modulée par les variations spatio-temporelles des stimuli ( contraste, fréquence spatiale etc...).

Nos résultats ont prouvé qu'il existait une relation entre le niveau de contraste et le traitement cortical, lorsque le contraste augmente notre temps de traitement cortical mesuré à l'aide du PEV et TR varie indépendamment des changements de notre fréquence spatiale ou des autres attributs. Comme l'exprime si bien les figures 5 et 6, la latence du PEV et du TR est modulée par les différents niveaux de contraste.

Les résultats indiqués par la Figure 7 montre clairement cette association entre le niveau de contraste et le temps retinocortical. L'analyse de notre régression démontre que la différence (SO-FO) mesurée avec le TR est approximativement de 100ms tandis que pour le PEV cette différence est de 20ms pour des contrastes de bas niveau. Selon les prévisions de notre régression, cette différence a tendance à diminuer progressivement lorsque le niveau de contraste augmente. Elle s'annule pour le PEV à des contrastes  $\geq 50\%$  tandis

avec la mesure du TR cette différence SO-FO reste perceptible et ne s'annule que pour des contrastes de  $\geq 100\%$ .

Nos résultats confirment les travaux antérieurs menés par Chubb & Sperling (1988), Victor & Conté (1991) et Smith, et al. (1994) que le mouvement de deuxième -ordre est analysé différemment par notre système visuel, après avoir abouti au niveau de V1 au même endroit que le mouvement de premier ordre. Le mouvement de deuxième -ordre va suivre d'autres étapes supplémentaires de traitement et de rectification nécessaire à l'analyse de ce dernier. Cette étape supplémentaire indispensable à l'analyse du mouvement complexe a été estimée par notre méthode psychophysique et électrophysiologique.

Le temps de réaction (TR) est un indicateur ainsi qu'une mesure très précise et fiable permettant d'évaluer le temps de traitement rétino-cortical lors des variations spatio-temporelles d'un stimulus.

Ultérieurement, nous avons constaté une différence significative au PEV pour des contrastes  $\leq 20\%$ . Le TR nous indiquait toujours des différences significatives dans les latences entre le mouvement de premier et de deuxième ordre pour des contrastes élevés. Cette étude nous démontre clairement que nous pouvons suivre toutes les étapes de traitement du mouvement par le TR .

Le TR constitué d'une composante sensori-motrice, entraîne une contribution plus large de populations neuronales que le PEV. Pour cette raison, nous pouvons continuer à discerner des différences au TR, qui reflète une analyse du mouvement du deuxième ordre au niveau des étages corticales supérieures.

Nos résultats ont démontré deux signatures différentes en réponse à un mouvement simple et complexe qui confirme les études menées antérieurement par Bach & Meigen (1999) et Elleberg et al., (2003). Elles suggéraient un temps supplémentaire nécessaire à l'analyse et à la perception du mouvement complexe. Cette dissociation entre le mouvement de premier ordre et de deuxième ordre reflète les différences anatomiques dans les régions corticales utilisées dans le traitement des deux types de mouvement (Wilson et al, 1992 ; Ledgeway & Smith, 1994 ; Smith et al, 1998).

Le mouvement, défini par la texture, semble activer différents ensembles au niveau de la région extrastrié, tandis que le mouvement simple activerait l'aire 17 ou V1. Nos résultats sont en adéquation avec les récentes études psychophysiques qui démontraient une sélectivité dans le traitement du mouvement de deuxième ordre surtout chez les personnes âgées. Elles démontraient un affaiblissement et une diminution de sensibilité au mouvement de deuxième ordre par rapport au mouvement simple. Cette dissociation est due à un processus d'intégration et d'analyse plus lent mais nécessaire à la perception du mouvement de deuxième ordre (Habak & Faubert, 2000; Bertone et al., 2003).

Notre étude nous indique clairement que la complexité d'un stimulus requièrent un temps de traitement neuronale plus important qui peut être quantifié par la mesure du PEV et du TR.

## **4.CONCLUSION**

## 4. CONCLUSION

Cette étude nous éclaire suffisamment sur la perception du mouvement chez l'humain. Elle nous donne une indication sur le traitement d'un mouvement complexe nécessitant une analyse corticale plus complexe à un haut niveau d'intégration cortical (Chubb et al., 2001).

À la lumière de cette expérience nous pouvons affirmer l'existence d'un codage neuronal spécifique pour chaque type de mouvement dans les aires de projection visuelle du cerveau. Notre système visuel comporte différents mécanismes pour analyser les mouvements de nature très lents, rapides, simples, de texture ou complexe.

## **5. REFERENCES**



## References

- Bach, M. & Meigen, T. (1992). Electrophysiological correlate of texture segregation in the human visual evoked potential. *Vision Research*, 32, 417-424
- Bach, M. & Meigen, T. (1997) Similar electrophysiological correlates of texture segregation induced by luminance, orientation, motion and stereo. *Vision Research*, 37:1409–1414
- Bach, M. & Meigen, T. (1999). Electrophysiological correlates of human texture segregation, an overview. *Documenta Ophthalmologica*, 95, 335-347.
- Bach, M. & Ullrich, D. (1997). Contrast dependency of motion onset and pattern reversal VEPs. *Vision Research*, 37, 1845-1849.
- Bach, M. & Hoffmann, M. B. (2000). Visual motion detection in man is governed by non-retinal mechanisms. *Vision Research*, 40, 2379-2385.
- Baedeker, C. & Wolf, W. (1987). Influence of saccades on manual reactions – a reaction time and VEP study. *Vision Research*, 27, 609-19.
- Baker, C. L. Jr. & Mareschal, I. (2001). Processing of second-order motion in the visual cortex. *Progress in Brain Research*, 134, 171-191.
- Bertone, A., Mottron, L., Jelenic, P. & Faubert, J. (2003). Motion perception in autism: a 'complex' issue. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 218-225.
- Bertone, A. & Faubert, J. How is complex second-order motion processed ? in press *Vision Research*.

Bodis-Wolner, I. (1977). Recovery from cerebral blindness: evoked potential and psychophysical measurements. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*; 42,178-184

Bowen, R. W. (1981). Latencies for chromatic and achromatic visual mechanisms. *Vision Research*, 21,1457-66

Burr, D. C., Fiorentini, A. & Morrone, C. (1998). Reaction time to motion onset of luminance and chromatic gratings is determined by perceived speed. *Vision Research*, 38, 3681-90.

Buller, J., Girard, P., Salin, P.A. (1994). The role of area 17 in the transfer of information to extrastriate visual cortex: *Primary visual cortex in primates. Plenum Pub. Corp, Vol. 10, 301-330*

Casco, C., Caputo, G. & Grieco, A. (1999). Discrimination of an orientation difference in dynamic textures. *Vision Research*, 41, 275-284.

Chiappa, K.H. (1990). Principles of evoked potentials. In : K.H. Chiappa. *Evoked potentials in clinical medicine*, 2<sup>nd</sup> ed. New York: Raven Press, pp.1-135

Chubb, C., Olzak, L. & Derrington, A. (2001). Second-order processes in vision; introduction. . *Journal of the Optical Society of America A*, 18, 2175-2178.

Chubb, C. & Sperling, G. (1988). Drift-balanced random stimuli: A general basis for studying non-Fourier motion perception. *Journal of the Optical Society of America A*, 5, 1986-2006.

Ellemberg, D., Lavoie, K., Lewis, T. L., Maurer, D., Lepore, F. & Guillemot, J. (2003). Longer VEP latencies and slower reaction times to the onset of second-order motion than to the onset of first-order motion. *Vision Research*, 43, 651-658.

Felipe, A., Buades, M. J. & Artigas, J. M. (1993). Influence of the contrast sensitivity function on the reaction time. *Vision Research*, 33, 2461-2466.

Göpfert, R. Müller and M. Hartwig (1984). , Effects of movement adaption on movement-visual evoked potentials. *Documenta Ophthalmologica Proceedings Series 40* (1984), pp. 321-324.

Habak, C. & Faubert, J. (2000). Larger effect of aging on the perception of higher-order stimuli. *Vision Research*, 40, 943-950.

Hartwell, R. C. & Cowan, J. D. (1993). Evoked potentials and simple motor reaction times to localized visual patterns. *Vision Research*, 33, 1325-37.

Hubel DH, Wiesel TN. (1965). Receptive fields, binoculaire interaction and functional architecture in cat's visual cortex. *Journal of physiology*, 160,106-154.

Hubel DH, Wiesel TN. (1965). Receptive fields and functional architecture in two non- striate visual areas (18-19) of the cat. *Journal of Neurophysiology*, 28,229-2289

Hubel. DH, Wiesel. TN. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex.. *J Physiologia* 195, 215-43

Hoffmann. M, Dorn T, Bach M (1999). Time course of motion adaptation: Motion onset visual evoked potentials and subjective estimates. *Vision research* 39:437-444

Kubova, Z., Kuba, M., Hubacek, J. & Vit, F. (1990). Properties of visual evoked potentials to onset of movement on a television screen. *Documenta Ophthalmologica*. 75, 67-72.

Kuba, M. & Kubova, Z. (1992). The effect of spatial frequency and contrast on the latency in the visual evoked potential. *Documenta Ophthalmologica*, 79, 187-194.

Kubová, Z., Kuba, M., Spekreijse, H. & Blakemore, C. (1995). Contrast dependence on motion-onset and pattern-reversal evoked potentials. *Vision Research*, 35, 197-205.

Kubova.Z, Kuba M, Hrochova. J, Sverak. J (1996). Motion-onset visual evoked potentials improve the diagnosis of glaucoma.

*Documenta Ophthalmologica*. 92, 211-21

Kulikowski. JJ, Tolhurst. Dj. (1973) Psychophysical evidence for sustained and transient detectors in human vision. *J Physiol*, Jul, 232,149-62

Lamme, V. A. F., van Dijk, B. W. & Spekreijse, H. (1992). Texture segregation is processed by primary visual cortex in man and monkey. Evidence from VEP experiments. *Vision Research*, 32, 797–807.

Lamme, V. A, Van Dijk, B.W. & Spekreijse, H. (1993). Contour from motion processing occurs in primary visual cortex. *Nature*, 363, 541–543.

Lamme, V. A, Van Dijk, B.W. & Spekreijse, H. (1994). Organization of contour from motion processing in primate visual cortex. *Vision Research*.34, 721-35.

Larmande. P, Larmande. A.(1989).Abrégé de neuro- ophtalmologie. *Masson*, p,259.

Legge. GE. (1977). Sustained and transient mechanisms in human vision: temporal and spatial properties. *Vision Research*, 18,69-81

Ledgeway, T. & Smith, A. T. (1994). Evidence for separate motion-detecting mechanisms for first and second order motion in human vision. *Vision Research*, 34, 2727-2740.

Markwardt. F, Göpfert. E and Müller, R. (1988). Influence of velocity, temporal frequency and initial phase position of grating patterns on motion VEP. *Biomedica Biochimica Acta* 47. 753-760.

Maunsell. JH, Van Essen. DC. (1987). Topographic organization of the middle temporal visual area in the macaque monkey: representational biases and the relationship to callosal connections and myeloarchitectonic boundaries. *J Comp Neurol*. 266, 535-55.

McKerral, M, Lachapelle, P. & Benoit, J. (1991). Comparative effects of luminance and scatter on the pattern visual evoked potential and eye-hand reaction time. *Documenta Ophthalmologica*, 79,177-85.

McKerral, M., Polomeno, R. C., Lepore, F. & Lachapelle, P. (1999). Can interocular pattern reversal visual evoked potential and motor reaction time differences distinguish anisometric from strabismic amblyopia ? *Acta Ophthalmologica*, 77, 40–44.

McKerral. M, Lepore. F. & La chapelle. P. (2001). Response characteristics of the normal retino-cortical pathways as determined with simultaneous recordings of pattern visual evoked potentials and simple motor reaction times. *Vision Research*, 41, 1085-1090.

Meigen. T. & Bach. M. (1993). Perceptual ranking vs. VEP for different local features in texture segregation. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 34, 3264–3270.

Mihaylova. M, Stomonyakov, V. & Vassilev, A. (1999). Peripheral and central delay in processing high spatial frequencies: reaction time and VEP studies. *Vision Research*, 39, 699–705.

Müller, R & Göpfert, E. (1988). The influence of grating contrast on the human cortical potential visually evoked by motion. *Acta Neurobiologica Experientia*, 48, 239-249.

Murre.J.M.J, Sturdy. D.P.F.(1995). The connectivity of the brain: multi-level quantitative analysis. *Biological Cybernetics*, 73:529--45.

Musselwhite, M.J. & Jeffreys, D.A. (1985). The influence of spatial frequency on the reaction times and evoked potentials recorded to grating pattern stimuli. *Vision Research*, 25, 1545-55.

Probs. T, Plendl. H, Paulus. W, Wist. E.R. & Scherg. M. (1993). Identification of the visual motion area (area V5) in the human brain by dipole source analysis. *Experimental Brain Research*, 93, 345-51.

Rodiek. R.W, Watanabe.M.(1993). Survey of the morphology of macaque retinal ganglion cells that project to the pretectum, superior

colliculus, and parvocellular laminae of the lateral geniculate nucleus.  
*Journal. Comp. Neurol*, 338,289-303

Ragot. RA, Remond. A. (1978) EEG field mapping.  
*Electroencephalogr Clin Neurophysiol. Sep;45*, 417-21.

Roy. M.S, Lachapelle. P, Polomeno. R.C, Frigon. J.Y, & Lepore.F.  
(1994). Human strabismus : evaluation of the inter-hemispheric  
transmission time and hemiretinal differences using a reaction time  
task. *Behaviour Brain Research*, 62, 63-70

Schlykowa. L, Van Dijk. B.W. & Ehrenstein. W. H. (1993). Motion-  
onset visual-evoked potentials as a function of retinal eccentricity in  
man. *Cognitive Brain Research*, 1, 169-174

Smith. AT, Snowden. RJ & Milne. A.B. (1994). Is global motion  
really based on spatial integration of local motion signals?  
*Vision research*, 34, 2425-30.

Smith, A. T., Greenlee, M. W., Singh, K. D. Kraemer, F. M. &  
Henning, J. (1998). The processing of first- and second-order motion  
in human visual cortex assessed by functional magnetic resonance  
imaging (fMRI). *The Journal of Neuroscience*, 18, 3816-3830.

Sokol. S (1976). Visual evoked potential: Theory, techniques and  
clinical applications. *Surv Ophthalmology, Jul-Aug*, 21, 1844.

Sokol. S (1978). Measurement of infant visual acuity from pattern  
reversal evoked potentials. *Vision Research* 18. 33-9.

Sereno.M.I, Dale.A.M, Reppas.J.B. (1995).Borders of multiple  
visual areas in humans revealed by functional magnetic-resonance  
imaging. *science*,268,889-893.

Tootell R.B.H, Hadjikhani N.K, Mendola JD. (1998) From retinotopy  
to recognition: fMRI in human visual cortex. *Trends in cognitive  
sciences*. 2,174-183.

Welford, A.T. (1988). Reaction time, speed of performance, and age. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 515, 1-17.

Wilson, H. R., Ferrera, V. P. & Yo, C. (1992). A psychophysically motivated model for two-dimensional motion perception. *Visual Neuroscience*, 9, 79-97.

Yarbus. AL. Eye movements and vision. (1967).*New York: Plenum Press, XIII,222p.*

Zeki. S (1993). A vision of the brain. *Blackwell Scientific, London, XI,336p.*

Zeki. S, McKeefry. D.J, Bartels. A. (1998). Has a new color area been discovered? *Nature Neuroscience,1, 335.*

Zhou.YX, Baker. CL .(1993). A processing stream in mammalian visual cortex neurons for non-Fourier responses. *Science. 261,98-101.*

## **6. Remerciements**



*Mes premiers remerciements et ma gratitude vont à la province du Québec pour m'avoir donné la chance de poursuivre mes études graduées.*

J'aimerais remercier mon directeur de recherche le **Dr Jocelyn Faubert**, pour la confiance qu'il a manifestée à mon égard dès le premier jour en acceptant de me superviser durant toute la durée de ma formation malgré sa charge de travail.

J'ai pu apprécier maintes fois la qualité de ses conseils et sa disponibilité à mon égard par ses précieuses recommandations et son total dévouement envers ses étudiants.

J'aimerais remercier également mon codirecteur de recherche le **Dr Pierre Lachapelle** *qui a dirigé ce travail en m'initiant avec beaucoup de patience et d'indulgence à l'électrophysiologie visuelle.*

Merci à toi Pierre pour tes disponibilités et dévouement, jamais pris, à défaut envers tes étudiants, Merci notamment de m'avoir accordé un support financier loin d'être négligeable.

Je te prie d'accepter l'expression de ma profonde gratitude.

Mes remerciements vont également au **Dr Vasil Diaconu** président du jury et au **Dr Marie Sylvie Roy** membres du jury, d'avoir accepté d'évaluer mon projet de recherche.

Je remercie mon collègue et ami **Armando Bertone** pour sa contribution permanente.

Merci Armando pour toutes ses fins de semaine que tu m'as consacrées pour calibrer le moniteur et à résoudre les problèmes techniques de configuration.

Je remercie respectueusement Monsieur **R. M. Gulrajani** directeur du département de génie biomédical, Monsieur **A.R..LeBlanc** professeur à l'Université de Montréal ainsi que toute l'équipe du génie biomédical

J 'adresse mes remerciements les plus sincères à **Julie Lachapelle**, pour m'avoir initié au PEV durant mes premiers jours de présence au laboratoire.

Je remercie **Marianne** pour ses conseils, **Julie Racine** pour son dévouement à la logiste du laboratoire, **Alison** pour l'organisation des évènements particuliers au laboratoire, **Sandrine** pour son amabilité et **Marie Lou** pour sa bonne humeur. Je remercie aussi **Sylvia** et **Narimene** d'avoir accepté d'être mes cobayes pour mes prochaines expérimentations.

Je remercie l'ensemble des étudiants que j'ai pu côtoyer au laboratoire de physiologie visuelle de l'institut de recherche de Mc Gill et au laboratoire de psychovision de l'école d'optométrie.

Ma reconnaissance et mes remerciements vont également à **Michelle Mckerral** pour ses conseils, à **Marc Hébert** pour sa proposition de projet à la ville de Québec.

Certain d'oublier certains anonymes qui ont contribué techniquement ou moralement à l'avancement de mes travaux, je les pris de trouver ici mes remerciements les plus sincères.

Je ne clôturerais pas cette liste de remerciements sans avoir une pensée affectueuse pour mes **parents**, mon frère **Kamel**, ma sœur **Djamila** et mon cousin **Yacine** (mon cobaye préféré) qui ont toujours cru en mes soifs et recherche du savoir.

Montréal le 1 septembre 2003

## **7. Annexe**

Montréal 09 septembre 2003

Par la présente j'autorise A.Hadi Chakor Djelthia à utiliser l'article intitulé « Visual evoked potentials and reaction time measurements to luminance – and texture-defined motion stimuli » dont je suis co-auteur pour présentation dans son mémoire de maîtrise et pour fin de microfilmage.

ARMANDO, BERTONE, M.A. 

JOCELYN FAUBERT , PH.D. 

MICHELLE, MCKERRAL, PH.D. 

PIERRE LACHAPELLE, PH.D. 

