

Université de Montréal

Étude fonctionnelle des voies visuelles magnocellulaire et parvocellulaire
chez l'amblyope par strabisme et l'amblyope par anisométrie.

Par

Valérie Tremblay

Département de psychologie

Faculté des arts & sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Maître ès sciences (M.Sc.)
en psychologie
option: psychologie générale

Octobre 1999

© Valérie Tremblay, 1999



8m. 21. 2

BF

22

U54

2000

V.014



Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé:

Étude fonctionnelle des voies visuelles magnocellulaire et parvocellulaire
chez l'amblyope par strabisme et l'amblyope par anisométrie.

présenté par:

Valérie Tremblay

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes:

Dr. Jean-Paul Guillemot	Président du jury
Dr. Franco Lepore	Directeur de recherche
Dr. Pierre Lachapelle	Codirecteur de recherche
Dr. Stéphane Molotchnikoff	Membre du jury

Mémoire accepté le: 16 février 2000

À Uriel & Adam
Que chaque obstacle, vous soit un défi.

Sommaire

L'étude présentée se consacre à l'impact de l'amblyopie fonctionnelle unilatérale sur le développement des voies visuelles. De façon plus précise, ces travaux tentent d'identifier la présence de déficits de la voie magnocellulaire (M) et de la voie parvocellulaire (P) chez des amblyopes fonctionnels par l'intermédiaire du potentiel évoqué visuel (PEV), du temps de réaction moteur (TR) et de conditions favorables à l'émergence de réponses de type-M et de type-P.

L'amblyopie fonctionnelle unilatérale est une pathologie visuelle caractérisée par une diminution importante de l'acuité visuelle dans un oeil. Les causes prédisposant au développement d'une amblyopie fonctionnelle sont un strabisme et/ou une anisométrie. Comme il a été démontré chez l'animal (Ikeda & Wright, 1976; Wiesel & Hubel, 1963; von Noorden *et al*, 1970), ces privations monoculaires entraînent non seulement une perte d'acuité visuelle, mais également des modifications anatomiques et physiologiques importantes du système visuel. Chez l'humain, les méthodes d'enregistrement non-invasives pour évaluer l'intégrité des voies visuelles ont permis d'identifier des différences entre les réponses des amblyopes et celles des sujets normaux et, entre les types d'amblyopie. Le but de cette étude consiste donc à tenter de déterminer à partir des réponses monoculaires obtenues au PEV et au TR, l'impact de l'amblyopie sur le développement des voies visuelles M et P et, de faire ressortir des différences fonctionnelles entre les types d'amblyopie. *Basée principalement sur des études au temps de réaction, l'hypothèse soulevée est que le développement de la voie P est le plus affecté pour tous les types d'amblyopie fonctionnelle, alors que celui de la voie M est également affecté chez les amblyopes par anisométrie.*

L'étude consiste à enregistrer de manière simultanée le PEV et le TR de 12 amblyopes fonctionnels, dont 7 amblyopes par anisométrie (AA), 3 amblyopes par strabisme (AS) et 2 amblyopes par anisométrie et par strabisme (AA & AS). Avant le début de l'expérience, un formulaire de consentement décrivant la procédure et les méthodes d'enregistrement utilisées est présenté au sujet. Après avoir obtenu l'accord du sujet, l'expérimentateur procède à la pose des électrodes non-invasives. Le sujet a pour consigne de fixer un point au centre de l'écran et d'appuyer le plus rapidement possible à chaque inversion du damier noir et blanc. Au total, trois fréquences spatiales (0,4, 2 et 8 c./deg.) et deux contrastes (3% et 93%) furent présentés à l'intérieur de six conditions de présentation visuelle différentes. Les résultats furent enregistrés et analysés par l'intermédiaire de logiciels spécialisés.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence des déficits fonctionnels des voies visuelles, chez les amblyopes fonctionnels. Ces déficits montrent notamment, que l'oeil amblyope produit un temps de culmination de l'onde P₁₀₀ du PEV et un temps de réaction significativement plus lents que chez les sujets normaux, mais uniquement à la condition de type-P. De plus, on remarque que, dépendamment du type d'amblyopie, les résultats ne sont pas identiques. En effet, les AA produisent des réponses significativement plus longues que les sujets normaux, aux deux conditions de type M et P. Tandis que les AS et les AS & AA produisent des réponses anormalement longues, à la condition de type-P. Cette étude indique donc que tous les amblyopes fonctionnels ont un déficit de la voie P, et que, par surcroît, les AA ont également un déficit fonctionnel au niveau de la voie M.

TABLES DES MATIÈRES

Sommaire	i
Table des matières	iii
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vii
Listes des abréviations	x
1.INTRODUCTION	1
1.1 Objectifs de l'étude.....	2
1.2 Amblyopie fonctionnelle unilatérale.....	2
1.3 Bases physiologiques.....	3
1.3.1 Observations chez le chat et le singe.....	3
1.3.2 Période critique du développement du système visuel.....	4
1.3.2.1 Observations chez l'animal.....	4
1.3.2.2 Observations chez l'humain.....	4
1.4 Deux théories antagonistes du syndrome des AA et des AS.....	5
1.4.1 Théorie d'un syndrome homogène.....	5
1.4.2 Théorie d'un syndrome hétérogène.....	7
1.4.2.1 Chez l'animal.....	7
1.4.2.2 Chez l'humain.....	8
1.5 Les voies visuelles.....	10
1.6 De la rétine aux aires visuelles tertiaires.....	12
1.6.1 Les photorécepteurs.....	12
1.6.2 Les cellules ganglionnaires.....	13
1.6.3 Les différents types de cellules ganglionnaires.....	13
1.6.4 La réponse électrophysiologique des cellules.....	14
1.6.5 Les cellules X.....	14
1.6.6 Les cellules Y.....	15
1.6.7 Les cellules W.....	16
1.6.8 Interconnexions entre les systèmes.....	17
1.7 Le potentiel évoqué visuel.....	17
1.7.1 Facteurs de modulation des composantes de l'onde.....	18
1.7.1.1 Chez le sujet normal.....	18
1.7.2.1 Chez l'amblyope fonctionnel unilatéral.....	20

1.8 Temps de réaction moteur.....	22
1.8.1 Chez le sujet normal.....	22
1.8.2 Chez l'amblyope fonctionnel unilatéral.....	23
1.9 HYPOTHESES.....	24
1.9.1 Les amblyopes fonctionnels unilatéraux.....	25
1.9.2 Les différents types d'amblyopie fonctionnelle unilatérale.....	27
2. MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	30
2.1 Présentation des sujets.....	31
2.2 Formulaire de consentement.....	35
2.3 Consignes aux sujets.....	35
2.4 Présentation des conditions de stimulation.....	35
2.5 Présentation des stimulations visuelles.....	36
2.6 Procédure d'enregistrement.....	37
2.7 Analyse des composantes de l'onde.....	38
2.8 Analyse statistique.....	39
3. RÉSULTATS.....	40
3.1. Comparaison entre l'oeil non-amblyope et l'oeil préféré.....	41
3.2 Courbes de réponses chez les sujets normaux.....	41
3.3 Courbes de réponses chez les amblyopes fonctionnels.....	47
3.4 Les conditions de type-M et de type-P.....	52
3.4.1 Comparaison oeil amblyope-oeil préféré.....	52
3.4.2 La différence interoculaire.....	52
3.4.3 Comparaison entre la condition de type-M et de type-P.....	59
3.5 Différences entre les types d'amblyopie fonctionnelle.....	59
3.5.1 Temps de culmination de l'onde P ₁₀₀	61
3.5.2 Amplitude de l'onde P ₁₀₀	63
3.5.3 Temps de réaction.....	67
3.5.4 Écart-type des temps de réaction.....	67

4. DISCUSSION	72
4.1 Observations générales.....	73
4.2 Comparaison entre les courbes de réponses au PEV et au TR.....	75
4.2.1 Chez les sujets normaux.....	75
4.2.2. Chez les amblyopes fonctionnels.....	77
4.3 Les conditions de type-M et de type-P.....	78
4.3.1 L'oeil amblyope.....	78
4.4 Relation entre les propriétés des cellules X et Y et les histogrammes au TR.....	79
4.4.1 La théorie de Barlow & Levick et la population amblyope.....	80
4.5 L'analyse de la différence interoculaire.....	81
4.6 Les différents types d'amblyopie fonctionnelle.....	83
4.7 Conclusion.....	87
5. RÉFÉRENCES	89
6. ANNEXE	100
7. REMERCIEMENTS	102

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Informations cliniques sur les sujets normaux.....	32
Tableau 2: Informations cliniques sur les amblyopes fonctionnels unilatéraux.....	33
Tableau 3: Âge et acuité visuelle des sujets normaux (SN) et des amblyopes fonctionnels unilatéraux (AF).....	34

LISTES DES FIGURES

Figure 1: Exemple de potentiel évoqué visuel chez un sujet normal.....	18
Figure 2: Histogramme de l'amplitude et du temps de culmination de l'onde P ₁₀₀ évoquée de l'oeil préféré et de l'oeil non-amblyope à la condition de type-M.....	42
Figure 3: Histogramme de l'amplitude et du temps de culmination de l'onde P ₁₀₀ évoquée de l'oeil préféré et de l'oeil non-amblyope à la condition de type-P.....	42
Figure 4: Histogramme du temps de réaction évoqué de l'oeil préféré et de l'oeil non-amblyope aux conditions de types M et P.....	43
Figure 5: Exemple de réponses à 3% de contraste au potentiel évoqué visuel et de temps de réaction chez les sujets normaux.....	45
Figure 6: Exemple de réponses à 93% de contraste au potentiel évoqué visuel et de temps de réaction chez les sujets normaux.....	45
Figure 7: Corrélation entre le temps de culmination du P ₁₀₀ et la fréquence spatiale du stimulus chez les sujets normaux.....	46
Figure 8: Corrélation entre le temps de réaction et la fréquence spatiale du stimulus chez les sujets normaux.....	48
Figure 9: Exemple de potentiel évoqué visuel et de temps de réaction évoqué chez les amblyopes fonctionnels à 3% de contraste.....	49
Figure 10: Exemple de potentiel évoqué visuel et de temps de réaction chez les amblyopes fonctionnels à 93% de contraste.....	49
Figure 11: Corrélation entre le temps de culmination du P ₁₀₀ et la fréquence spatiale du stimulus chez les amblyopes fonctionnels.....	51
Figure 12: Corrélation entre le temps de réaction et la fréquence spatiale du stimulus chez les amblyopes fonctionnels.....	51
Figure 13: Histogramme du temps de culmination de l'onde P ₁₀₀ évoqué de l'oeil préféré et de l'oeil amblyope.....	53
Figure 14: Histogramme de l'amplitude de l'onde P ₁₀₀ évoqué de l'oeil préféré et de l'oeil amblyope.....	53

Figure 15: Histogramme du temps de réaction évoqué de l'oeil préféré et de l'oeil amblyope.....	54
Figure 16: Histogramme de l'écart-type du temps de réaction évoqué de l'oeil préféré et de l'oeil amblyope.....	54
Figure 17: Exemple de potentiel évoqué visuel montrant la différence interoculaire à 3% de contraste chez les sujets normaux.....	55
Figure 18: Exemple de potentiel évoqué visuel montrant la différence interoculaire à 93% de contraste chez les sujets normaux.....	55
Figure 19 Exemple de potentiel évoqué visuel montrant la différence interoculaire à 3% de contraste chez les amblyopes fonctionnels.....	57
Figure 20: Exemple de potentiel évoqué visuel montrant la différence interoculaire à 93% de contraste chez les amblyopes fonctionnels.....	57
Figure 21: Histogramme de la différence interoculaire du temps de culmination de l'onde P ₁₀₀ chez les sujets normaux et les amblyopes fonctionnels.....	58
Figure 22: Histogramme de la différence interoculaire de l'amplitude de l'onde P ₁₀₀ chez les sujets normaux et les amblyopes fonctionnels.....	58
Figure 23: Histogramme de la différence interoculaire au temps de réaction à 3% et à 93% de contraste chez les sujets normaux et les amblyopes fonctionnels.....	60
Figure 24: Cotes-Z du temps de culmination de l'onde P ₁₀₀ à la condition de type-M pour chacun des amblyopes selon leur type d'amblyopie fonctionnelle.....	62
Figure 25: Cotes-Z du temps de culmination de l'onde P ₁₀₀ à la condition de type-P pour chacun des amblyopes selon leur type d'amblyopie fonctionnelle.....	62
Figure 26: Cotes-Z de l'amplitude de l'onde P ₁₀₀ à la condition de type-M pour chacun des amblyopes selon leur type d'amblyopie fonctionnelle.....	64
Figure 27: Exemple de potentiel évoqué visuel chez un amblyope fonctionnel (AA _{no} 14).....	64
Figure 28: Cotes-Z de l'amplitude de l'onde P ₁₀₀ à la condition de type-P pour chacun des amblyopes selon leur type d'amblyopie fonctionnelle.....	65
Figure 29: Cotes-Z du temps de réaction à la condition de type-M pour chacun des amblyopes selon leur type d'amblyopie fonctionnelle.....	66
Figure 30: Cotes-Z du temps de réaction à la condition de type-P pour chacun des amblyopes selon leur type d'amblyopie fonctionnelle.....	68

- Figure 31:** Cotes-Z de l'écart-type du temps de réaction à la condition de type-M pour chacun des amblyopes selon leur type d'amblyopie fonctionnelle.....69
- Figure 32:** Cotes-Z de l'écart-type du temps de réaction à la condition de type-P pour chacun des amblyopes selon leur type d'amblyopie fonctionnelle.....70

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AA: Amblyope par anisométrie

AA & AS: Amblyope par anisométrie et par strabisme

AS: Amblyope par strabisme

c./deg.: Cycle par degré

CGL: Corps genouillé latéral

FS: Fréquence spatiale

M: Magnocellulaire

ms: Milliseconde

P: Parvocellulaire

PEV: Potentiel évoqué visuel

P₁₀₀: Onde positive majeure du potentiel évoqué visuel à environ 100 ms

SN: Sujet normal

TR: Temps de réaction moteur

μV: Microvolt

1. INTRODUCTION

1.1 Objectifs de l'étude

Le but de cette étude est de tenter de déterminer l'impact de l'amblyopie fonctionnelle unilatérale, sur le développement de la voie visuelle magnocellulaire et la voie visuelle parvocellulaire. Puisque l'amblyopie fonctionnelle englobe plusieurs types d'amblyopie, nous tenterons également de faire ressortir des divergences fonctionnelles, entre l'amblyopie par anisométrie, l'amblyopie par strabisme et, l'amblyopie par anisométrie et par strabisme.

1.2 Amblyopie fonctionnelle unilatérale

Affectant entre 1% et 3% de la population en générale, l'amblyopie fonctionnelle unilatérale est la forme la plus commune de perte d'acuité visuelle causée par une privation visuelle (von Noorden, 1985; Odom, 1991). Lors d'un examen ophtalmologique complet, aucun trouble organique de l'oeil amblyope n'a pu être détecté (Barbeito *et al.*, 1987; Regan, 1989). Selon la nomenclature de Regan (1989), les causes pouvant provoquer une diminution de l'acuité visuelle (d'au moins deux lignes à l'échelle de Snellen) chez les amblyopes sont un strabisme unilatéral de type ésoptique ou exoptique (amblyopie par strabisme) ou une anisométrie unilatérale, c'est-à-dire, une différence de réfraction entre les yeux de plus de 1 ou 2 dioptries (amblyopie par anisométrie). Une amblyopie provoquée à la fois par une anisométrie et un strabisme (AA & AS) est également une forme très répandue.

Les mécanismes visuels sous-jacents à l'émergence d'une amblyopie par strabisme (AS) sont principalement reliés au fait que l'image normalement projetée sur la fovéa de la rétine se retrouve déplacée sur la région parafovéale. Ce déplacement de l'image a pour conséquence de provoquer une importante perte de la capacité de fusion des deux images en vision binoculaire. Pour l'amblyopie par anisométrie (AA), le phénomène visuel expliquant cette anomalie est le résultat d'une défocalisation de l'image sur la rétine. En effet, l'image normalement projetée sur la rétine, se retrouve soit à l'avant (myopie) ou à l'arrière de la rétine (hypermétrie) (von Noorden, 1974). On peut donc comparer la vision d'un AS pur, à celle de la vision périphérique d'un oeil normal (Hess *et al.*, 1980), alors que celle d'un AA pur, ressemble davantage à une vision brouillée (Levi & Klein, 1985).

1.3 Bases physiologiques

1.3.1 Observations chez le chat et le singe

D'après des études sur le développement normal et pathologique du système visuel chez le chat et le primate, il a été démontré, qu'une occlusion monoculaire ou une induction d'une ésoptrie unilatérale (déviation nasale du point de fixation de l'oeil) entraîne non seulement une réduction de l'acuité visuelle de l'oeil affecté (von Noorden, Dowling & Ferguson, 1970), mais également des modifications au niveau des structures anatomiques ainsi que des réponses électrophysiologiques des cellules du corps genouillé latéral (CGL) et du cortex visuel primaire (Wiesel & Hubel, 1963; Ikeda & Wright, 1976; Ikeda, Plant & Tremain, 1977; Spear, Langsetmo & Smith, 1980; LeVay, Wiesel & Hubel, 1980; Movshon

et al., 1987; Blakemore & Vital-Durand, 1992; von Noorden & Crawford, 1992). Les composantes anatomiques et physiologiques du système visuel se modulent donc en fonction des stimulations visuelles reçues (Hubel & Wiesel, 1963; Wiesel, 1982).

1.3.2 Période critique du développement du système visuel

1.3.2.1 Observations chez l'animal

Bien qu'il y ait plasticité des voies visuelles, celle-ci est malgré tout confrontée à certaines limites temporelles. En effet, cette souplesse ou plasticité neuronale est directement reliée à une période critique du développement du système visuel. Variant selon les espèces, cette période s'étend de la naissance à la 12^{ième} ou 15^{ième} semaine de vie, chez le chat (Hubel & Wiesel, 1970). Alors que chez le macaque, la période de sensibilité se situe de la 1^{ère} à la 6^{ième} semaine post-natale, en diminuant progressivement jusqu'à l'âge de 1 1/2 à 2 ans (Crawford *et al.*, 1975; Hubel, Wiesel & LeVay, 1977). De plus, il a été démontré que suite à une privation monoculaire, il existe différentes périodes critiques associées aux deux grandes projections neuronales de la voie visuelle. La limite temporelle de plasticité pour la projection occipitopariétale est aux environs de la 3^{ième} semaine, alors que pour la projection occipitotemporale, cette limite se situe près de la 6^{ième} semaine post-natale (Wiesel, 1982).

1.3.2.2 Observations chez l'humain

Chez l'humain, la période critique associée à une privation visuelle est beaucoup plus longue que celle observée chez le chat et le singe (von Noorden, 1973; Vaegan & Taylor, 1979). En effet, les observations cliniques démontrent que de la naissance à l'âge

de deux ou trois ans, le système visuel est très sensible à toutes formes de privation monoculaire. Après cette période, il y a diminution progressive de cette sensibilité neuronale, pour atteindre vers l'âge de six ou sept ans, une perte de plasticité quasi-complète des voies rétino-corticales et du cortex visuel (von Noorden, 1985; Rubin & Nelson, 1993). Durant cette période critique d'immaturité fonctionnelle, il est possible, grâce à une thérapie par occlusion, de suspendre le développement visuel du bon oeil durant quelques temps, afin de ramener l'acuité visuelle de l'oeil amblyope dans les limites de la normale. Par conséquent, plus la pathologie est diagnostiquée rapidement dans l'enfance et plus les chances de succès du traitement sont élevées. Advenant que le traitement soit appliqué tardivement, le sujet pourrait subir tout au long de sa vie, les effets d'une vision appauvrie dans cet oeil (Rubin & Nelson, 1993).

1.4 Deux théories antagonistes du syndrome des AA et des AS

1.4.1 Théorie d'un syndrome homogène

Selon des recherches animales (von Noorden, 1973; von Noorden & Middleditch, 1976; Ikeda & Wright, 1976; Ikeda & Tremain, 1978) et des études histologiques chez l'humain (von Noorden & Crawford, 1978; von Noorden, Crawford & Levacy, 1983), les deux types d'amblyopie fonctionnelle furent longtemps considérés comme étant un syndrome homogène, résultant d'une privation visuelle causant une perte d'acuité visuelle et un déséquilibre des interactions binoculaires au niveau du CGL et du cortex visuel.

Par des études neurophysiologiques chez le chaton, Ikeda et ses collaborateurs (1976, 1978) ne trouvent pas de différences entre leurs deux modèles animaux d'AA et d'AS. Dans les deux cas, les cellules des couches parvocellulaires du CGL de l'oeil amblyope démontrent une très pauvre résolution spatiale, comparativement aux cellules des couches parvocellulaires de l'oeil sain. De plus, aucune différence significative entre les yeux n'est retrouvée pour les cellules des couches magnocellulaires du CGL. Ils observent également que les réponses des cellules du champ visuel central de l'oeil amblyope ont un délai considérablement long et une réponse instable à l'apparition du stimulus. Cette déficience fonctionnelle des cellules du CGL, sensibles aux hautes fréquences spatiales, a donc permis d'inférer l'existence de bases neuronales communes, pour les deux types d'amblyopie.

Les résultats histologiques de von Noorden et de ses collègues effectués chez le primate et l'humain (1973, 1983, 1992), suggèrent eux aussi, l'existence d'un syndrome homogène, entre les AS et les AA. Une réduction significative de la grosseur des cellules des couches du CGL recevant les afférences provenant de l'oeil amblyope, leur appaurent comme étant le principal élément déficitaire pour l'amblyopie fonctionnelle.

Malgré que ces recherches ont été la référence durant de nombreuses années dans les milieux cliniques, il n'en demeure pas moins que de nombreuses autres expériences provenant de divers secteurs de recherche, permettent d'inférer l'existence de différentes anomalies visuelles entre les AA et AS.

1.4.2 Théorie d'un syndrome hétérogène

1.4.2.1 Chez l'animal

Chez le chat et le singe chez qui nous avons induit une anisométrie unilatérale par chirurgie, les études électrophysiologiques révèlent que la proportion de réponses des neurones corticaux de l'oeil amblyope est beaucoup plus réduite que celle des neurones de l'oeil non-affecté (Wiesel & Hubel, 1963; Eggers & Blakemore; 1978). De plus, cette minorité de cellules encore actives tendent à avoir un champ récepteur diffus, ainsi qu'une faible résolution spatiale et une perte de sensibilité aux contrastes (Eggers & Blakemore; 1978; Movshon *et al.*, 1987). La forte diminution des cellules binoculaires corticales causée par une privation monoculaire est en grande partie responsable de la pauvre qualité de la vision binoculaire des AA.

Pour les animaux à qui nous avons induits un strabisme unilatéral par chirurgie, les études montrent une détérioration des colonnes de dominance oculaire dans le cortex visuel primaire ainsi qu'une faible réponse des cellules reliées à l'oeil dévié (Crawford & von Noorden, 1979; Sireteanu *et al.*, 1993). Les expériences de Crewther *et al.* (1990) et Kiorpes *et al.* (1993) rapportent également, une légère réduction du nombre de neurones au cortex visuel où se situe la grande majorité des cellules qui déterminent l'acuité visuelle. Toutefois, la plupart des études constatent qu'il n'y a pas de différence entre les deux yeux. Le nombre de cellules visuelles contenues dans le cortex visuel, ainsi que la réponse des deux yeux aux tests de résolution spatiale et de sensibilité aux contrastes sont quasi-normaux (Blakemore & Eggers, 1978; Blakemore & Vital-Durand, 1992). Le principal facteur responsable du déficit en vision binoculaire chez les AS est la perte de

synchronisation des neurones contenus dans les colonnes de dominance oculaire de l'aire visuelle primaire. Puisque la synchronisation neuronale est déterminante dans l'analyse des hautes fréquences spatiales (Sengpiel & Blakemore, 1996), ceci pourrait partiellement expliquer la perte d'acuité visuelle observée chez les AS.

1.4.2.2 Chez l'humain

Chez l'humain, il est également possible de faire une distinction entre les deux types d'amblyopie fonctionnelle. Au point de vue du comportement oculomoteur, l'oeil amblyope des SA démontre évidemment, un angle d'eccentricité à la fixation beaucoup plus important que chez les AA (Kandel *et al.*, 1977). Par ailleurs, lors de la passation de tests évaluant l'acuité visuelle, l'oeil amblyope des AS obtient des résultats beaucoup plus faibles aux tests d'acuité de performance à la position et à la direction (test de vernier) (Bedell & Flom, 1983; Campos *et al.*, 1984; Barbeito *et al.*, 1988) que pour le test de sensibilité aux contrastes, et cela, même lors d'une présentation en vision centrale (Katz *et al.*, 1984). De plus, l'oeil non-amblyope des AS a lui aussi, une piètre performance au test de vernier, contrairement aux yeux des sujets normaux et à l'oeil non-amblyope des AA (Levi & Klein, 1985). Par contre, pour les AA, l'oeil amblyope répond de manière similaire au test de vernier et de sensibilité aux contrastes (Levi & Klein, 1982, 1985).

Sur la base des performances à ces tests d'acuité visuelle, l'oeil amblyope des AS ne détecte pas les stimuli visuels comme celui des AA. Appuyée par la théorie de Flom & Bedell (1985), cette divergence de performances reflète pour les AS, un trouble au niveau de l'analyse de l'information positionnelle et directionnelle, alors que chez les AA, ce

trouble est lié à la résolution spatiale.

Lors de l'évaluation de l'acuité visuelle en fonction du degré de luminance, on observe qu'une diminution de la luminance provoque une perte d'acuité plus importante pour l'oeil amblyope des AA que pour celui des AS (Hess *et al.*, 1980; France, 1984; Barbeito *et al.*, 1987). De plus, par la présentation d'un test comportant des lettres ou des chiffres de fréquences spatiales décroissantes à faible luminance, on constate que les AS ont une perte d'acuité équivalente ou légèrement inférieure à celle des sujets normaux (von Noorden & Burian, 1976).

Des différences ont également été remarquées, lors de variations de la luminosité ambiante. Contrairement à une condition photopique, les AS n'ont pas de perte d'acuité visuelle importante en condition scotopique. Par contre, que ce soit en condition photopique ou scotopique, les pertes visuelles sont toujours présentes chez les AA (von Noorden, 1958).

Cette dépendance à la luminance chez les AS est une autre preuve de l'existence d'un déficit concernant uniquement les cellules liées à la vision centrale, alors que chez les AA, cette constante détérioration de l'acuité visuelle aux différents changements de luminance est le reflet d'une altération plus complète du champ visuel (Hess & Howell, 1978; Hess, 1980). Ce postulat de détérioration sélective à chacun des types d'amblyopie, provient d'une des expériences de Hess (1979). Par la présentation de différentes fréquences spatiales en vision centrale (5°) et en vision périphérique (20°), il fait la

démonstration de l'existence d'un déficit unique en vision centrale chez les AS et d'un trouble représentant tout le champ visuel (central et périphérique) pour les AA .

Cette hypothèse de Hess (1980) sur le champ visuel central et périphérique est d'ailleurs appuyée par de nombreuses études qui notent que sur une large bande de fréquences spatiales, les AS ont une perte de sensibilité uniquement pour les hautes fréquences spatiales, alors que pour les AA, cette diminution de sensibilité s'observe pour l'ensemble des fréquences présentées (Hess *et al.*, 1978; Hess, 1981; Sjöstrand, 1981; Bradley & Freeman, 1981; Campos *et al.*, 1984; Hess & Pointer, 1985).

Au point de vue psychophysique, l'hypothèse d'une différence entre les amblyopes et les sujets normaux, et plus particulièrement entre les différents types d'amblyopie fonctionnelle, semble devenir un constat d'évidence. Néanmoins, la théorie de Hess et de ses collaborateurs (1978, 1979, 1980, 1985), sur les altérations possibles en vision centrale chez les AS, ainsi qu'en vision périphérique chez les AA, soulève une question fondamentale. Ces différences observées, ne pourraient-elles pas être le reflet d'un développement anormal de l'une ou l'autre des voies visuelles majeures ?

1.5 Les voies visuelles

Les travaux de Schneider (1969), sur la dissociation des mécanismes de localisation et de discrimination visuelle, suite à une lésion tectale ou corticale chez le hamster, ou encore ceux de Trevarthen (1968), sur l'existence d'un système ambiant (voie tectofuge) et

d'un système focal (voie géniculostriée) chez le singe callosotomisé, sont les précurseurs d'une pensée ségrégationniste des voies visuelles.

Depuis ce temps, de nombreuses études anatomiques, électrophysiologiques et comportementales (Ungerleider & Mishkin, 1982; Mishkin, Ungerleider & Macko, 1983) sont venues confirmer la présence d'une dissociation corticale du système visuel chez le primate. La voie ventrale, ou occipitotemporale est spécialisée dans la perception de l'objet (identification de l'objet), et la voie dorsale, ou occipitopariétale est plutôt impliquée dans la perception de l'espace (localisation de l'objet) et de l'activité visuomotrice (Desimone *et al.*, 1985).

Au point de vue comportemental, une lésion dans la région occipitotemporale chez l'humain, entraîne une incapacité à reconnaître ou à décrire des visages, des objets communs, des images ou encore des dessins abstraits, alors que la capacité de se déplacer et d'interagir dans l'environnement demeure intacte (Riddoch & Humphreys, 1987; Farah, 1990; Goodale *et al.*, 1991). Par ailleurs, une lésion unilatérale ou bilatérale dans la région postéropariétale provoque une incapacité de préhension d'un objet ciblé, sans aucun trouble de reconnaissance (Ratcliff & Davies-Jones, 1972; Perenin & Vighetto, 1988; Jeannerod, 1994). Plus récemment, par la technique de tomographie par émission de positrons, l'équipe de Kohler *et al.*, (1995) apporte un autre élément, appuyant la théorie de Ungerleider & Mishkin (1982), en identifiant une augmentation du flot sanguin dans l'aire inféropariétale et l'aire occipitotemporale lors de tâches d'associations spatiales et d'identification de l'objet.

1.6 *De la rétine aux aires visuelles tertiaires*

1.6.1 *Les photorécepteurs*

Cette spécialisation des aires visuelles tertiaires est en fait, la résultante d'une multitude de projections et d'interconnexions entre les structures visuelles sous-jacentes. En effet, ce sont les cellules photoréceptrices (cônes et bâtonnets) de la rétine qui sont les premières à recevoir et à traiter l'information visuelle perçue. Situés en grande majorité dans la partie centrale de la rétine (ou parafovéa), les cônes sont responsables de la résolution de l'image ou en d'autres termes de l'acuité visuelle. Cette plus grande précision dans l'analyse des détails de l'image, résulte principalement du ratio de 1:1 des cônes à la fovéa, par rapport aux fibres nerveuses du nerf optique. Les cônes ont également la propriété d'être très sensibles aux hautes luminances ainsi qu'aux différentes longueurs d'ondes. Situés en grande partie dans la région périphérique, les bâtonnets sont reconnus comme étant très sensibles aux faibles intensités lumineuses et insensibles aux couleurs (Regan, 1989; Kandel *et al.*, 1991).

La transmission de l'influx nerveux entre les photorécepteurs et les cellules ganglionnaires implique trois types de cellules soit: les cellules horizontales, les cellules bipolaires et les cellules amacrines (Adler, 1987; Dowling, 1987). Dès qu'il y a capture de photons au niveau du segment externe des cellules photoréceptrices, le potentiel de réception se propage jusqu'au bulbe terminal de la cellule et déclenche la libération d'un neurotransmetteur. Puis, les cellules bipolaires captent ce signal et transmettent aux cellules ganglionnaires, des signaux excitateurs. Disposées latéralement comme les cellules

horizontales, les cellules amacrines sont stimulées par les cellules bipolaires et transmettent des signaux directs et de courte durée vers les cellules ganglionnaires (Adler, 1987; Dowling, 1987).

1.6.2 Les cellules ganglionnaires

Véhiculant l'influx nerveux provenant des photorécepteurs, les fibres nerveuses des cellules ganglionnaires de la rétine répondent à un stimulus visuel par la décharge d'un courant bioélectrique appelé potentiel d'action. La fréquence de ces décharges varie en fonction de l'intensité du stimulus, du type de cellules ganglionnaires, de la nature et de la position du stimulus dans le champ récepteur de la cellule (Enroth-Cugell & Robson, 1966; DeMonasterio & Gouras, 1975; Sherman, 1985; Pigassou-Alboury, 1995).

1.6.3 Les différents types de cellules ganglionnaires

Il existe trois types de cellules ganglionnaires (α , γ et β) qui projettent massivement (80%) vers les cellules des couches magnocellulaires (M), parvocellulaires (P) et dans la zone intralaminaire du CGL. Un plus faible pourcentage de ces cellules (20%) se dirigent plutôt vers les collicules supérieurs.

Selon les critères morphologiques de Boycott & Wassle (1984), les cellules de type α possèdent un large corps cellulaire, une arborisation dendritique expansive et un large axone. À l'autre extrême, les cellules de type γ ont un petit soma, un petit axone et de longues dendrites peu ramifiées. Finalement, les cellules de type β ont un corps cellulaire

moyen ayant une petite, mais dense arborisation, et un axone de grosseur moyenne.

1.6.4 *La réponse électrophysiologique des cellules*

En relation avec la morphologie cellulaire (Boycott & Wassle, 1974; Stanford & Sherman, 1984), la réponse physiologique des neurones de la voie rétino-géniculée et géniculocorticale peut être de deux ordres: tonique ou phasique.

1.6.5 *Les cellules X*

Chez le chat, les cellules X provenant de la région fovéale de la rétine (cellules β) se projettent majoritairement dans les couches parvocellulaires du CGL, puis dans la couche IVc β du cortex visuel primaire. Elles répondent de manière tonique ou soutenue durant toute la durée du stimulus et elles possèdent une vitesse de conduction moyenne (Enroth-Cugell & Robson, 1966). Répondant à de hauts contrastes, les cellules X sont également sensibles aux stimuli de moyennes et de hautes fréquences spatiales, ainsi qu'à de basses fréquences temporelles (DeMonasterio & Gouras, 1975; Schiller & Malpeli, 1978; Ungerleider & Mishkin, 1982; Kaplan & Shapley, 1986; DeYoe & Van Essen, 1988). Au niveau du CGL, celles-ci démontrent un type de réponse curvilinéaire, c'est-à-dire, une plus grande sensibilité aux contrastes pour les fréquences spatiales moyennes (1-2 c./deg.) suivi d'une sensibilité décroissante pour les fréquences spatiales basses et élevées (Lehmkühle *et al.*, 1980). De plus, chez le primate, ces cellules sont sensibles à toutes les longueurs d'ondes du spectre lumineux (DeMonasterio & Gouras, 1975). Grâce à ces propriétés, cette voie visuelle communément appelée parvocellulaire chez le primate, est responsable de la

vision des formes, des couleurs et de la reconnaissance des objets.

1.6.6 Les cellules Y

Les cellules ganglionnaires α de la région périphérique de la rétine correspondent aux cellules Y chez le chat. Ces cellules se projettent vers les couches magnocellulaires du CGL et vers la couche IV α de l'aire striée. Contrairement aux cellules X, les cellules Y déchargent de manière phasique, ou transitoire à l'apparition du stimulus et ont également une vitesse de conduction neuronale très rapide (Enroth-Cugell & Robson, 1966). Ces cellules possèdent une grande sensibilité aux contrastes achromatiques et leur seuil de détection des basses fréquences spatiales et des hautes fréquences temporelles est très bas (DeMonasterio & Gouras, 1975; Schiller & Malpeli, 1978; Ungerleider & Mishkin, 1982; Kaplan & Shapley, 1986; DeYoe & Van Essen, 1988). Cette voie visuelle, dite magnocellulaire chez le primate est impliquée dans la perception de la profondeur, du mouvement et de l'analyse globale de la forme.

Les études de Merigan & Maunsell (1990) et Merigan *et al.* (1991) chez le macaque démontrent l'existence de différences fonctionnelles dans le CGL. Suite à l'ablation de la couche magnocellulaire 1, les résultats démontrent que le système M est responsable de la sensibilité aux contrastes à basses fréquences spatiales, et possiblement à hautes fréquences temporelles. Par contre, une lésion des couches parvocellulaires 4 et 6 indique, que le système P est le principal médiateur de la perception à basses fréquences temporelles, des hautes fréquences spatiales, des stimuli chromatiques et de la luminance. N'observant pas

de perte d'acuité visuelle lors d'une atteinte du système M, Merigan et ses collègues (1990, 1991) concluent également que l'acuité visuelle dépend uniquement du système P et non pas d'une interaction des systèmes M et P.

1.6.7 *Les cellules W*

Finalement, les cellules W chez le chat sont associées à la classe des cellules ganglionnaires de type γ . Moins bien connues, ces cellules à grand champ récepteur sont prédominantes dans la région centrale de la rétine. Elles projettent à la fois, vers la région tectale du tronc cérébral et dans la zone intralaminaire du CGL, pour ensuite se terminer dans les couches III et I de l'aire visuelle primaire (Livingstone & Hubel, 1982). Les cellules W répondent de manière tonique ou phasique à une stimulation. Ces réponses sont caractérisées par une sommation linéaire ou non-linéaire, et elles ont une conduction neuronale très lente. Possiblement insensibles à la couleur et aux faibles contrastes, ces cellules ont également une très pauvre capacité de résolution spatiale et temporelle. Selon Sherman (1985), ces cellules ne jouent pas un rôle significatif dans la vision de la forme. De par leurs projections tectales, elles sont plutôt impliquées dans le contrôle des mouvements lents de poursuite et dans le maintien de la fixation. Cette voie visuelle corticale se nomme chez le primate, la voie koniocellulaire. (Dreher *et al.*, 1976; Sherman *et al.*, 1976; Schiller & Malpeli, 1978; Lennie, 1980; Ikeda & Wright, 1975; Sherman, 1985; Casagrande, 1994). Étant donné l'apport négligeable de ce système dans la perception de la forme, l'impact du système koniocellulaire sur la vision des amblyopes ne sera pas évalué dans cette étude.

1.6.8 Interconnections entre les systèmes

Bien que la preuve soit établie que les voies visuelles sont à la fois hiérarchiques et parallèles, il n'en demeure pas moins qu'il existe de nombreuses interconnections entre les deux systèmes M et P (Maunsell & Newsome, 1987; Zeki & Shipp, 1988; Felleman & Van Essen, 1991). Ces multiples projections croisées facilitent les interactions entre les différentes aires spécialisées, d'abord pour la production d'une perception cohérente de l'information visuelle, puis ensuite pour la réalisation de comportements complexes (Zeki & Shipp, 1988).

1.7 Le potentiel évoqué visuel

Le potentiel évoqué visuel (PEV) est une technique électrophysiologique non-invasive, permettant d'évaluer l'intégrité des voies visuelles chez l'humain. Le signal électrique de masse, capté lors de l'enregistrement à la surface du scalp, est généré par l'activité électrique des dendrites apicales afférentes du cortex occipital primaire (Maier *et al.*, 1987). Parce que les fibres provenant des couches parvocellulaires du CGL sont principalement projetées à l'apex du cortex visuel et que celles des couches magnocellulaires sont projetées beaucoup plus profondément dans la fissure calcarine, le signal obtenu reflèterait fortement l'activité du champ visuel central (6°-12°) (Sokol, 1980; Kubova *et al.*, 1996-1997). De plus, la qualité du signal obtenue au PEV étant hautement dépendante du contraste du stimulus, une électrode positionnée à l'apex du cortex représente majoritairement l'activité des cellules de la couche IVc β (Kubova *et al.*, 1995). Le signal électrique, une fois capté, amplifié et moyenné, produit une courbe typique dont

le temps de culmination et l'amplitude des composantes principales (N_{75} , P_{100} et N_{145}) se modulent en fonction des facteurs du stimulus (Sokol, 1976; Bodis-Wollner *et al.*, 1986) (Figure 1).

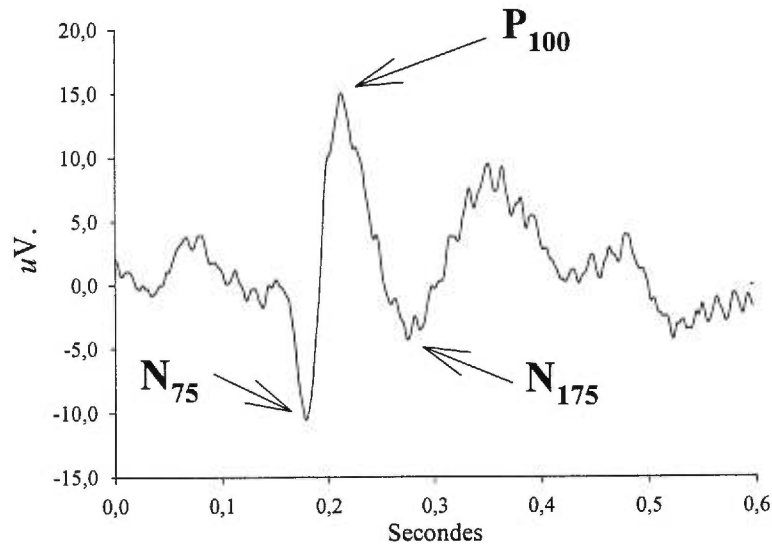


Figure 1. Exemple d'un potentiel évoqué visuel (PEV) enregistré à Oz chez un sujet ayant une vision normale.

1.7.1 Facteurs de modulation des composantes de l'onde

1.7.1.1 Chez le sujet normal

Chez le sujet ayant une acuité visuelle normale, (20/20 au test de Snellen pour les deux yeux), le temps de culmination et l'amplitude de la composante positive majeure du PEV (au environ de 100 ms (P_{100})) dépendent entre autres, du niveau de contraste, des

fréquences spatiales et du degré de luminance du stimulus visuel (Jones & Keck, 1978; Parker *et al.*, 1982; Kubova *et al.*, 1995).

Pour le contraste, plus celui-ci est élevé, plus le temps de culmination de l'onde P₁₀₀ est court. Par exemple, le temps de culmination de l'onde P₁₀₀ à 2 c./deg. peut augmenter de 40 ms entre un contraste de 10% et un contraste de 85% (Tobimatsu *et al.*, 1993). Pour ce qui est de l'amplitude à la même fréquence spatiale, il est possible de constater une diminution du voltage de 50%, entre 90% et 2% de contraste (Hammarrenger *et al.*, 1999). Ces exemples démontrent bien l'existence de fluctuations de l'onde en fonction du contraste utilisé.

Le PEV est également modulé par les fréquences spatiales. En effet, certaines études ont montré qu'avec l'augmentation des fréquences spatiales, le temps de culmination augmente de manière linéaire (Vassilev *et al.*, 1983; Vaughan *et al.*, 1966; Hartwell & Cowen, 1993). Par contre, la plupart des recherches démontrent plutôt une courbe de sélectivité spatiale de type curvilinéaire; c'est-à-dire, un temps de culmination plus rapide au environ de 2 c./deg., et plus lent à basses et hautes fréquences spatiales, et cela, indépendamment du contraste (Hartwerth & Levi, 1978; Srebro, 1984; Rimmer *et al.*, 1989; Kurita-Tashima *et al.*, 1991; Jakobsson & Johansson, 1992; Török *et al.*, 1992; McKerral, 1997). À titre d'exemple, les temps de culmination peuvent diminuer de 2 ms entre 0,6 et 2 c./deg., et de 5 ms entre les fréquences spatiales de 2 et de 6 c./deg pour un contraste de 90% (Kurita-Tashima *et al.*, 1991). Cette sélectivité spatiale au environ de 2 c./deg. est également observée lors de l'analyse de l'amplitude de l'onde P₁₀₀. En effet, en présence

d'une fréquence intermédiaire, l'amplitude de l'onde P_{100} est beaucoup plus grande que l'amplitude produite par les autres fréquences spatiales (Török *et al.*, 1992; McKerral, 1997).

Pour la variable de luminance, lorsque la luminosité du stimulus diminue, le temps de culmination de l'onde P_{100} augmente (Halliday *et al.*, 1973; Sokol, 1980; McKerral *et al.*, 1992). En fait, une diminution d'une unité logarithmique produit une augmentation des temps de culmination de 15 ms et une réduction de l'amplitude d'environ 20% (Halliday *et al.*, 1973).

Lorsque l'on compare les temps de culmination des deux yeux chez un sujet normal, il est généralement admis que la différence interoculaire est faible. En moyenne, ces différences sont de l'ordre de 2 ms (McKerral, 1997). Selon les paramètres présentés, l'écart peut varier et même atteindre jusqu'à 8 ms ou 9 ms (Wanger & Nilsson, 1978; Halliday, 1982; Mauguière & Brudon, 1984; Oken *et al.*, 1987). Les différences interoculaires sont donc très variables selon les fréquences spatiales et les contrastes présentés. Pour l'amplitude, une différence interoculaire d'environ 10% est considérée comme normale (Sokol, 1980).

1.7.2.1 Chez l'amblyope fonctionnel unilatéral

Chez une population amblyope, les résultats obtenus par l'oeil amblyope au PEV, sont souvent associés à un temps de culmination prolongé, une faible amplitude ainsi qu'à une plus grande différence interoculaire lorsque comparés aux réponses des sujets normaux. Ces constatations sont plus particulièrement évidentes aux hautes fréquences spatiales

(Arden *et al.*, 1974; Wanger & Nilsson, 1978; Levy & Manny, 1982; Sokol, 1983; Kubova & Kuba, 1992; Kubova *et al.*, 1996-1997; McKerral *et al.*, 1999). Tout comme chez les sujets normaux, on retrouve chez les amblyopes, une sensibilité plus grande pour les fréquences intermédiaires (Levi & Harwerth, 1978).

Comme pour le temps de culmination, l'amplitude de l'onde P₁₀₀ pour l'oeil amblyope est beaucoup plus réduite aux hautes fréquences spatiales, et cela, malgré que les stimulations et les conditions d'enregistrements soient différentes selon les études (Levi, 1975; Levi & Hartwerth, 1978). Par contre, aux basses fréquences spatiales, l'amplitude varie plutôt selon les individus (Levi & Harwerth, 1978). Pour la différence interoculaire, on remarque que la différence de temps entre les yeux est toujours plus grande aux hautes fréquences spatiales, alors qu'en basses fréquences spatiales, les différences peuvent varier d'un individu à l'autre (Levi & Manny, 1983).

Voulant observer les effets du traitement par occlusion sur la réponse monoculaire au PEV, Beneish *et al.*, (1990) constatent qu'il y a des différences dans le ratio de l'amplitude relié à la réponse de l'oeil amblyope et non-amblyope entre les deux types d'amblyopie. En effet, ils remarquent que le ratio de l'amplitude oeil normal/oeil amblyope chez les AA est significativement plus grand que chez les AS. La différence interoculaire de l'amplitude de l'onde P₁₀₀ offre donc la possibilité de différencier les deux types d'amblyopie avant le traitement par occlusion. Par contre, pour le temps de culmination de l'onde P₁₀₀, aucune différence significative ne peut être identifiée entre les AS et les AA (Beneish *et al.*, 1990; McKerral *et al.*, 1999).

1.8 Temps de réaction moteur

1.8.1 Chez le sujet normal

Le temps de réaction moteur (TR) est une mesure psychophysique de la latence perceptuelle. Tout comme le PEV, cette méthode permet de mesurer le temps de conduction rétino-cortical (McKerrall *et al.*, 1992). Une des règles régissant le TR est qu'avec l'augmentation des fréquences spatiales, le TR devient de plus en plus lent (Breithmeyer, 1975, Vassilev & Mitov, 1975; Lupp *et al.*, 1976; Harwerth & Levi, 1978). Une augmentation linéaire des réponses en fonction de l'augmentation des fréquences spatiales est caractéristique de la mesure du TR, et cela, peu importe le contraste présenté (Breithmeyer, 1975, Vassilev & Mitov, 1975; Lupp *et al.*, 1976; Harwerth & Levi, 1978).

Plusieurs études supportent le postulat que le TR, dépendamment des paramètres de stimulations spatio-temporelles, est le reflet de l'activité des neurones des deux principales voies visuelles (Kulikowski & Tolhurst, 1973; Tolhurst, 1975; Legge, 1977; Harwerth *et al.*, 1979; Bowen, 1981; Ueno *et al.*, 1985; McKerrall, 1997). Se référant à la sensibilité électrophysiologique spécifique des cellules Y et X chez le chat, la distribution du TR se module en fonction des paramètres de présentation. À basse fréquence spatiale, où le système Y (ou magnocellulaire chez le primate) est le plus sensible, le TR est plus rapide et les réponses sont de types transitoires; c'est-à-dire, regroupées dès la présentation ou la disparition du stimulus. Similaire à la réponse du système X (ou parvocellulaire chez le primate), la distribution des TR en hautes fréquences spatiales s'étend sur toute la durée de la stimulation (Breithmeyer, 1975, Lupp *et al.*, 1976; Vassilev & Mitov, 1976; Schwartz,

1992). La distribution du TR proposée ci-haut est en accord avec la théorie de Barlow & Levick (1969) proposant que, toute chose étant égale, les réponses de type Y produisent une plus courte latence que celles de type X, et que la variabilité de la distribution est beaucoup plus faible pour les cellules Y que pour les cellules X.

1.8.2 *Chez l'amblyope fonctionnel unilatéral*

Les études effectuées chez les amblyopes démontrent que le TR relié à la réponse de l'oeil amblyope est significativement plus lent que celui de l'oeil non-affecté (von Noorden, 1961; Hamasaki & Flynn, 1980), surtout aux hautes fréquences spatiales (Harwerth & Levi, 1978; Levi *et al.*, 1979). Conjugant à la fois, la méthode du PEV et du TR, l'expérience de McKerral *et al.*, (1999) démontre qu'avec la mesure du TR, il existe des différences entre les deux types d'amblyopie fonctionnelle. Utilisant une stimulation de type "apparition-disparition" d'un carré en position centrale, de 0,25° à 83% de contraste, l'oeil amblyope des AS produit des TR et des différences interoculaires significativement plus longs que ceux des AA et des sujets normaux. Toutefois, en comparant les résultats du temps de culmination de l'onde P₁₀₀ provoqués par l'inversion d'un damier noir et blanc à des fréquences spatiales de 0,5° et 0,25°, aucune différence significative n'est apparue entre les AS et les AA; les deux obtenant des temps de culmination significativement plus longs que ceux des sujets normaux. Basant leurs résultats sur le fait que l'onde P₁₀₀ au PEV reflète une activation du système parvocellulaire et que le TR est la représentation du système magnocellulaire (Kubova *et al.*, 1995), ils concluent que les AS sont plus sévèrement atteints aux deux systèmes, et que seul le système P est affecté chez les AA.

1.9 HYPOTHESES

Dans la littérature, aucune étude n'a encore tenté d'identifier, les répercussions de l'amblyopie fonctionnelle sur le développement des systèmes M et P à partir d'un enregistrement simultané du PEV et du TR, et en association à des conditions propices à l'émergence de réponses majoritairement M ou P.

Cette présente étude tentera donc, par l'enregistrement simultané du PEV et du TR, de distinguer les amblyopes fonctionnels, des sujets normaux. Pour cela, nous ferons l'analyse du temps de culmination et de l'amplitude de l'onde P_{100} , de la différence interoculaire et de la distribution des temps de réaction observés lors de la présentation de conditions de stimulation typiquement M et P. À partir de ces mêmes paramètres d'évaluation, nous observerons également le comportement de l'onde P_{100} et la distribution des TR pour chacun des amblyopes, en fonction de leur type d'amblyopie. Nous tenterons donc de dégager des différences fonctionnelles entre les trois groupes d'amblyopes fonctionnels unilatéraux.

Nous postulons donc que, grâce aux mesures acquises au PEV et au TR, les amblyopes pourront être différenciés des sujets normaux, par une évaluation fonctionnelle des deux voies rétino-géniculocorticales. Il sera également possible d'observer des comportements visuels différents pour chacun des groupes d'amblyopes fonctionnels.

Au PEV, l'onde P_{100} est considérée comme étant la représentation majeure de l'activité fovéale (Sokol, 1980; Kubova *et al.*, 1996-1997) et est fortement dépendante du niveau de contraste (Kubova *et al.*, 1995; McKerral, 1997). Pour ces raisons, certains suggèrent que l'onde P_{100} est le reflet de l'activation du système P (Kubova *et al.*, 1995; McKerral, 1997). Pour ce qui est du TR, la prise de conscience de l'inversion du stimulus doit être faite, pour qu'il y ait déclenchement d'un temps de réaction. Cette prise de conscience est l'élément-clé qui distingue le TR de la technique du PEV. Comme le mentionne McKerral (1997), plusieurs sujets normaux ont rapporté que le renversement de l'image leur donnait l'impression que le damier se déplaçait. Puisque les cellules du système M sont très sensibles à la détection du mouvement, le TR pourrait bien être représentatif de l'activité du système magnocellulaire. Appuyé par le fait que les courbes de réponses sont différentes au PEV et au TR (Hartwerth & Levi, 1978; Srebro, 1984; Rimmer *et al.*, 1989; Kurita-Tashima, 1991; Jakobsson & Johansson, 1992; Török *et al.*, 1992), ces deux méthodes pourraient être porteuses de différentes informations, sur les voies rétiniocorticales ou modulées par différents aspects du stimulus (McKerral, 1997).

1.9.1 Les amblyopes fonctionnels unilatéraux

Le déficit perceptuel observé à hautes fréquences spatiales, pour l'oeil amblyope est l'élément pathologique le plus constant dans la littérature (Arden *et al.*, 1974; Levy & Manny, 1982; Kubova & Kuba, 1992; Kubova *et al.*, 1996-97; McKerral *et al.*, 1999, Sokol, 1983; Wanger & Nilsson, 1978). Puisque les amblyopes possèdent un trouble en vision centrale (Hess, 1979), la voie parvocellulaire reliée à l'oeil amblyope pourrait s'être développée différemment de celle des sujets normaux.

Étant donné, que l'onde P₁₀₀ au PEV semble être la représentation de l'activité majeure de l'activité fovéale (Sokol, 1980; Kubova *et al*, 1996-1997), nous faisons l'hypothèse qu'avec des paramètres favorables à l'émergence de réponses de type-P; c'est-à-dire, avec une haute fréquence spatiale et un fort contraste, le temps de culmination de l'onde P₁₀₀ sera significativement plus long et l'amplitude sera significativement plus petite pour la réponse de l'oeil amblyope que pour la réponse des yeux des sujets normaux. La différence interoculaire devrait pour sa part, être significativement plus grande, à cette condition.

Par une étude électrophysiologique chez le chat, Barlow & Levick (1969) affirment que, puisque les cellules Y répondent de manière transitoire et beaucoup plus rapidement que les cellules X, les réponses produites par le système homologue chez le primate (système M) doivent évidemment être de courte latence et d'une très petite variance, comparativement à celles du système P. Cette hypothèse fut d'ailleurs confirmée par plusieurs études psychophysiques (Breithmeyer, 1975, Lupp *et al.*, 1976; Vassilev & Mitov, 1976; Schwartz, 1992) et l'étude de McKerral (1997). Cette étude démontre que par la comparaison des réponses obtenues à la condition de type-M et de type-P, il est possible d'observer une distribution de réponses similaires à celles proposées par Barlow & Levick (1969). Par la présentation de la condition de type-M, l'histogramme du TR est beaucoup plus rapide et beaucoup plus regroupé au début de la stimulation que pour la condition de type-P. Le choix des paramètres de stimulation utilisés dans leur expérience permet donc, la mise en évidence d'un histogramme de TR typiquement représentatif de l'activité sélective des voies M et P.

Pour les amblyopes fonctionnels, nous postulons qu'à la condition de type-P, la moyenne des réponses au TR pour l'oeil amblyope sera significativement plus lente et plus étendue que celle obtenue à la condition de type-M. Nous prévoyons également retrouver, un temps de réaction significativement plus long et un écart-type significativement plus grand, chez les amblyopes lorsque comparé aux réponses des sujets normaux. Ces différences seront observées aux deux conditions de présentation.

1.9.2 Les différents types d'amblyopie fonctionnelle unilatérale

Ce qui porte à croire que les voies rétino-géniculocorticales ne se développent pas de manière similaire entre les types d'amblyopie fonctionnelle est que l'image sur la fovéa de l'oeil strabique n'est pas supprimée aux mêmes conditions visuelles que celles de l'oeil anisométrique. Chez l'amblyope par strabisme, la suppression fovéale n'est observée que pour la condition binoculaire. Par contre, chez les amblyopes par anisométrie, l'image défocalisée de l'oeil anisométrique est présente autant en condition binoculaire qu'en condition monoculaire (von Noorden, 1985). Les cellules ainsi que leurs connections étant sensibles à toutes expériences visuelles (Hubel & Wiesel, 1963; Wiesel, 1982), ces deux types de mécanismes entraîneraient une restructuration neuronale différente entre les amblyopes par strabisme et les amblyopes par anisométrie.

Appuyés par les études électrophysiologiques chez le chat et le primate induits amblyope (Eggers & Blakemore, 1978; Movshon *et al*, 1987; Blakemore & Vital-Durand, 1992), les différents effets neuronaux d'un strabisme ou d'une anisométrie sur la vision, laissent prétendre que durant la période critique de développement des voies visuelles, les

cellules de la région centrale et de la région périphérique de l'oeil amblyope ainsi que leurs projections, se réorganisent ou se développent différemment de ceux des sujets normaux. Puisque l'oeil amblyope des AS a plus de chance d'être activé en région centrale et périphérique, nous prétendons que les AA seront plus sévèrement affectés que les AS, au niveau des voies rétino-géniculocorticales.

Pour ce qui est de l'analyse du temps de culmination de l'onde P_{100} , les études antérieures n'ont pas permis de constater des différences significatives entre les types d'amblyopie (Beneish *et al.*, 1990; McKerral *et al.*, 1999). Nous postulons donc qu'il ne sera pas possible de différencier les types d'amblyopes par l'intermédiaire du temps de culmination de l'onde P_{100} . Pour l'amplitude, comme l'a démontré Beneish *et al.*, (1990), nous prévoyons retrouver des amplitudes beaucoup plus réduites pour les AA que pour les AS et les sujets normaux .

Pour la mesure du TR, nous prévoyons retrouver des différences significatives entre les groupes d'amblyopes. Sur la base des observations voulant que les AA aient un trouble sur tout le spectre des fréquences spatiales, et uniquement des hautes fréquences pour les AS (Hess, Howell & Kitchin, 1978; Hess, 1981; Sjöstrand, 1981; Bradley & Freeman, 1981; Campos *et al.*, 1984; Hess & Pointer, 1985), nous postulons que les AA obtiendront un TR plus lent et un écart-type plus grand que les AS et les sujets normaux, à la condition à basse fréquence spatiale et bas contraste (condition de type-M). Suivant la logique des résultats psychophysiques, nous n'obtiendrons pas de différences entre les performances des AA et des AS pour la condition de type-P, étant donné que les deux types d'amblyopie

démontrent une anomalie similaire en hautes fréquences spatiales. Pour la troisième catégorie d'amblyopes possédant les deux types d'amblyopie de manière simultanée (AS & AA), l'absence d'informations dans la littérature, suggéra de faire une analyse à posteriori des résultats obtenus.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 *Présentation des sujets*

L'enregistrement simultané des réponses monoculaires au PEV et au TR moteur a été effectué chez deux populations distinctes. Un groupe contrôle, constitué de neuf sujets normaux, ayant des acuités visuelles corrigées ou non de 20/20 ou mieux (Tableau 1), et ne présentant aucun trouble moteur apparent. Un second groupe formé de douze amblyopes fonctionnels unilatéraux, dont sept amblyopes par anisométrie (AA), trois amblyopes par strabisme (AS) et deux amblyopes affectés par de l'anisométrie et du strabisme. Les amblyopes fonctionnels unilatéraux furent sélectionnés, par un ophtalmologiste de l'Hôpital de Montréal pour Enfants. Le critère d'acceptation des amblyopes pour cette étude fut celui d'obtenir une différence d'acuité visuelle d'au moins deux lignes entre les deux yeux au test de Snellen. Pour le choix des AA, une différence de réfraction de deux dioptries ou plus entre les yeux fut exigée. Tandis que pour la sélection des AS, la présence d'un strabisme éso trope ou exo trope dans un oeil fut le critère d'acceptation (Tableau 2). Aucun amblyope n'a subi de traitements par occlusion concluants. Donc, la thérapie n'a pas réussi à ramener l'acuité visuelle de l'oeil amblyope dans les limites de la normale.

Tous les sujets normaux choisis pour participer à cette expérience étaient droitiers. Tout comme au niveau manuel, il existe une préférence au niveau oculaire (Rigal, 1987). Par une épreuve de visée, la dominance oculaire a donc été déterminée pour chacun des sujets. Il se révéla que l'oeil préféré fut l'oeil droit pour tous les sujets normaux de cette expérience. Comme le démontre le tableau 3, l'âge moyen est similaire et l'acuité visuelle de l'oeil non-amblyope et l'oeil préféré est normale entre les groupes, c'est-à-dire de 20/20.

Tableau 1
Informations cliniques sur les sujets normaux

Sujets #	Âge (ans)	Main préféré	Oeil préféré	Sexe	Acuité visuelle	Réfraction
5	16	D	D	F	OD 20/20 OS 20/20	-1,5 -1
7	20	D	D	M	"	Plano
9	25	D	D	M	"	Plano
					"	"
17	24	D	D	F	"	"
					"	"
19	20	D	D	F	"	"
					"	"
20	22	D	D	F	"	"
					"	"
21	25	D	D	F	"	"
					"	"
22	11	D	D	F	"	"
					"	"
26	23	D	D	F	"	"

OD = oeil droit; OS = oeil gauche,
D = droitier,
F = féminin; M= masculin.

Tableau 2

Informations cliniques sur les amblyopes fonctionnels unilatéraux

Patients #	Âge (ans)	Main préféré	Sexe	Acuité visuelle	Réfraction	Types d'amblyopie fonctionnelle
4	17	D	F	OD 20/20 OS 20/30*	+2 +3.25	AA
6	20	D	F	OD 20/60* OS 20/20	-1.25+3.00x95o +1.50+0.50x90o	AA
10	48	D	F	OD 20/20 OS 20/50*	+1.25 +2.25	AA
11	8	D	F	OD 20/50* OS 20/30	-8.25+1.00x100o -1.78	AA
14	9	D	F	OD 20/20 OS 20/100*	+1.25 -1.00+1.50x90o	AA
15	9	D	M	OD 20/25 OS 20/40*	+4.00+1.50x90o +5.00+1.78x90o	AA
18	23	D	F	OD 20/200* OS 20/20	+4.50+2.50x150o +2.50+1.00x100o	AA
12	21	D	F	OD 20/20 OS 20/60*	+1.50 ET4,+2.00	AS
27	39	D	F	OD 20/30* OS 20/20	ET 6, 0 0	AS
28	16	D	M	OD 20/200* OS 20/20	ET7 +0.75+1.25x90o +0.50+1.50x90o	AS
13	16	D	F	OD 20/20 OS 20/40*	Plano XT25 -8.50+50x90o	AA & AS
24	13	D	F	OD 20/20 OS 20/60*	5-7, -1.75 XT 25, -6.1	AA & AS

OD = oeil droit; OS = oeil gauche; * = oeil amblyope,

D = droitier,

F = féminin; M=masculin.

AA=amblyope par anisométrie; AS amblyope par strabisme; AA & AS= amblyope par anisométrie et par strabisme

ET= éso trope; XT= exo trope

Tableau 3

Âge et acuité visuelle moyens des sujets normaux (SN) et des amblyopes fonctionnels (AF).

		Acuité visuelle	
	Âge (ans)	Oeil préféré/non-amblyope	Oeil non-préféré/amblyope
SN (n=9)	20,7 (11-25)	20/20	20/20
AF (n=12)	19,9 (8-48)	20/20	20/77 (30-200)

2.2 *Formulaire de consentement*

Tous les sujets ont accepté de participer à cette expérience en signant un formulaire de consentement détaillé. Par ce formulaire, ils ont dûment été informés de la problématique de la recherche, de la pose sécuritaire des électrodes non-invasives ainsi que de la procédure à suivre durant toute l'expérimentation. Advenant que le sujet était âgé de moins de 18 ans, la signature d'un parent ou de toute autre personne ayant la charge légale du mineur fut obligatoire, pour obtenir la permission de participation à cette expérience (voir le *formulaire de consentement* en annexe). De plus, à la fin de l'expérience, tous les sujets reçurent le même montant d'argent pour couvrir une partie des frais de déplacement encourus.

2.3 *Consignes aux sujets*

Assis sur une chaise, le sujet devait appuyer le menton sur une table à mentonnière ajustée pour que le regard du sujet soit au centre de l'écran. Il avait pour consigne de fixer tout au long de l'enregistrement, un point rouge au centre de l'écran et d'appuyer le plus rapidement possible sur le bouton-poussoir dès la perception de l'inversion du damier.

2.4 *Présentation des conditions de stimulation*

Les paramètres de stimulation de cette étude sont basés sur les caractéristiques des réponses électrophysiologiques, des deux voies visuelles chez l'animal (DeMonasterio & Gouras, 1975; DeYoe & Van Essen, 1988) et sur les résultats concluants de McKerral et al (1997). Une fréquence spatiale de 0,4 c./deg. associée à un contraste de 3% sont considérés comme étant des stimuli évoquant des réponses issues de l'activation majoritaire du

système M. Et à l'autre extrême, une fréquence spatiale de 8 c./deg. et un contraste de 93% fourniront des réponses principalement reliées au système P.

2.5 *Présentation des stimulations visuelles*

Les données recueillies au PEV et au TR moteur ont été obtenues, grâce à la présentation d'un damier noir et blanc en inversion (Grass model 10 Visual Pattern Generator), sur un écran de stimulation de 24° horizontal par 18° vertical, positionné à 2,28m du sujet. Les fréquences spatiales présentées sont de 0,4, 2 et 8 cycle(s) par degré (c./deg.), et sont associées à deux niveaux de contraste de 3% et 93%. La luminance moyenne de l'écran a été maintenue à 30 cd/m² pour toutes les conditions présentées. Au total, six conditions représentant des fréquences spatiales (0,4, 2 et 8 c./deg.) et des contrastes (3% et 93%) ont été présentées de manière aléatoire, aux 21 sujets normaux et amblyopes. Selon la technique de McKerral (1992), l'enregistrement des réponses monoculaires se fit dans une pièce adjacente à la salle d'expérimentation, et en condition mésopique. En raison d'une contrainte d'espace, un rideau opaque servait de cloison entre la section destinée à la projection des stimuli visuels et celle réservée à l'enregistrement des données. Ce rideau permit également le contrôle d'une luminosité ambiante constante entre les expérimentations ainsi qu'une libre communication entre l'expérimentateur et le sujet tout au long de l'expérience. Le temps d'expérimentation ainsi que la pose des électrodes furent d'une durée totale d'environ 90 minutes pour tous les sujets. Après 33% du temps de l'épreuve, les sujets ont eu droit à une période de repos de 15 minutes.

2.6 *Procédure d'enregistrement*

Pour l'enregistrement des données au PEV, les électrodes ont été posées selon les normes standards approuvées par l'ISCEV (1995). Une électrode active sur la région occipitale à Oz, une électrode de référence sur le lobe de l'oreille (A1) et une électrode servant de mise à terre appliquée sur le front à Fpz (Grass gold cup electrodes). Sur les régions ciblées, un exfoliant fut utilisé afin d'éliminer toutes matières corporelles susceptibles de faire diminuer la conductivité entre la peau et l'électrode. Par la suite, une crème conductrice, permettant d'améliorer la qualité du signal électrophysiologique fut apposée sur la zone. Cette crème aida également au maintien des électrodes sur le cuir chevelu et la peau. L'impédance de chacune des électrodes a été mesurée et acceptée sous le seuil de 5 kohms (Grass electrode impedance meter, model EZM5). Le signal électrophysiologique fut filtré dans une bande-passante de 1-100 Hz et amplifié 50 000 fois. L'échantillonnage des points de la courbe par le logiciel fut recueilli à toutes les 2,5 ms. La fenêtre d'enregistrement étendue sur une période de 600 ms, inclue un temps pré-stimulus de 100 ms, pour l'acquisition de l'activité de base. Pour trouver l'activité de base du PEV, nous avons fait la moyenne des voltages contenus dans la période de 100 ms précédant le déclenchement du stimulus. Une moyenne de 100 réponses au PEV fut recueillie pour chacune des conditions.

Pour le temps de réaction, les sujets devaient signaler l'inversion du damier, par la pression d'un bouton-poussoir. Par cette action, un signal de 5 volts était envoyé vers un ordinateur, contenant un logiciel spécialisé d'acquisition de données (Computerscope-Enhanced Graphics Acquisition and Analysis: EGAA, RC Electronics, Inc., Goleta, CA) à

partir de lequel, une distribution de fréquences était construite. Pour cette tâche, tous les sujets de cette étude sont droitiers et ont utilisé la main droite pour appuyer sur le bouton-poussoir. La fenêtre d'enregistrement du TR était reportée sur une période de 1108 ms, incluant un temps de 100 ms. Afin d'éliminer toute anticipation du sujet lors de cette tâche, une horloge fut conçue pour permettre une variation aléatoire du temps inter-stimulus (1-2 secs) (Roy et al. 1994; McKerral et al, 1997, 1999). Un maximum de 100 réponses au TR moteur furent enregistrées et représentées sous la forme d'un histogramme de distribution de fréquences en fonction du temps.

2.7 *Analyse des composantes de l'onde*

Le temps de culmination de l'onde P_{100} au PEV a été calculé dès l'inversion du damier (0 ms) jusqu'à l'apex de l'onde positive majeure apparaissant aux environs de 100 ms (P_{100}). Lors de l'apparition de deux pics d'amplitude égale, le point médian établit la valeur du temps de culmination de l'onde P_{100} . L'amplitude de l'onde P_{100} fut calculée à partir de la soustraction du voltage maximal de l'apex de l'onde P_{100} et de la moyenne des voltages du niveau de base. L'identification du point de culmination de l'onde P_{100} fut effectuée manuellement par l'expérimentateur.

Les données brutes du TR sont converties par un logiciel spécialisé (Quattro Pro for Windows, v.5 Borland International Inc.) permettant le calcul de la moyenne et de l'écart-type pour chacune des conditions présentées. Tous les temps de réaction résultant de l'anticipation (inférieurs à 140 ms) ont été éliminés manuellement par l'expérimentateur.

2.8 *Analyse statistique*

Une analyse de variance (ANOVA) pour des mesures répétées fut appliquée pour la comparaison des conditions à 3% (0,4, 2 et 8 c./deg.) et à 93% de contraste (0,4, 2 et 8 c./deg.). Ces six conditions furent comparées intragroupe et intergroupes. Le test *t* pairé de Student fut utilisé lors de l'analyse de la différence interoculaire aux conditions à 0,4c./deg., 3%C. et à 8c./deg., 93%C. pour chacun des sujets normaux et des amblyopes fonctionnels. Le test *F* fut significatif au seuil de 0,05 ($P < 0,05$). La cote-Z pour chacun des sujets aux conditions 0,4c./deg., 3%C. et 8c./deg., 93%C. fut calculée à partir de la moyenne et de l'écart-type des sujets normaux. Le seuil de signification fut considéré à 0,05 (2 écarts-type de la moyenne).

3. RÉSULTATS

Le but de cette expérience est de tenter de: 1- déterminer l'impact de l'amblyopie fonctionnelle sur le développement des voies visuelles M et P et de: 2- faire émerger des différences fonctionnelles entre les types d'amblyopie.

3.1. Comparaison entre l'oeil non-amblyope et l'oeil préféré.

Le premier élément considéré dans l'analyse des résultats est d'établir la similitude entre les réponses de l'oeil non-amblyope des amblyopes et ceux de l'oeil préféré des sujets normaux pour les deux conditions de type-M et de type-P à chacune des méthodes d'enregistrement. Au PEV, aucune différence significative ($P > 0,05$) est observée pour le temps de culmination et l'amplitude de l'onde P₁₀₀ (Figures 2 et 3), et au TR (Figure 4) entre la réponse de l'oeil non-amblyope et celle de l'oeil préféré. Cette similarité des réponses, confirme la normalité de l'oeil non-amblyope des amblyopes. Il est à noter, qu'aucune différence significative ($P > 0,05$) ne se retrouve entre l'oeil préféré et l'oeil non-préférentiel des sujets normaux aux deux conditions, pour le temps de culmination et l'amplitude de l'onde P₁₀₀, ainsi que pour le temps de réaction.

3.2 Courbes de réponses chez les sujets normaux

L'hypothèse de McKerral (1997) qui suggère que les deux méthodes d'enregistrement sont porteuses de différentes informations sur les voies rétino-géniculocorticales a été vérifiée avant de faire l'analyse des résultats correspondants aux deux conditions de présentation M et P. Les résultats du temps de culmination de l'onde P₁₀₀ et du temps de réaction obtenus par l'oeil préféré des sujets normaux à chacune des fréquences spatiales ont été comparés statistiquement.

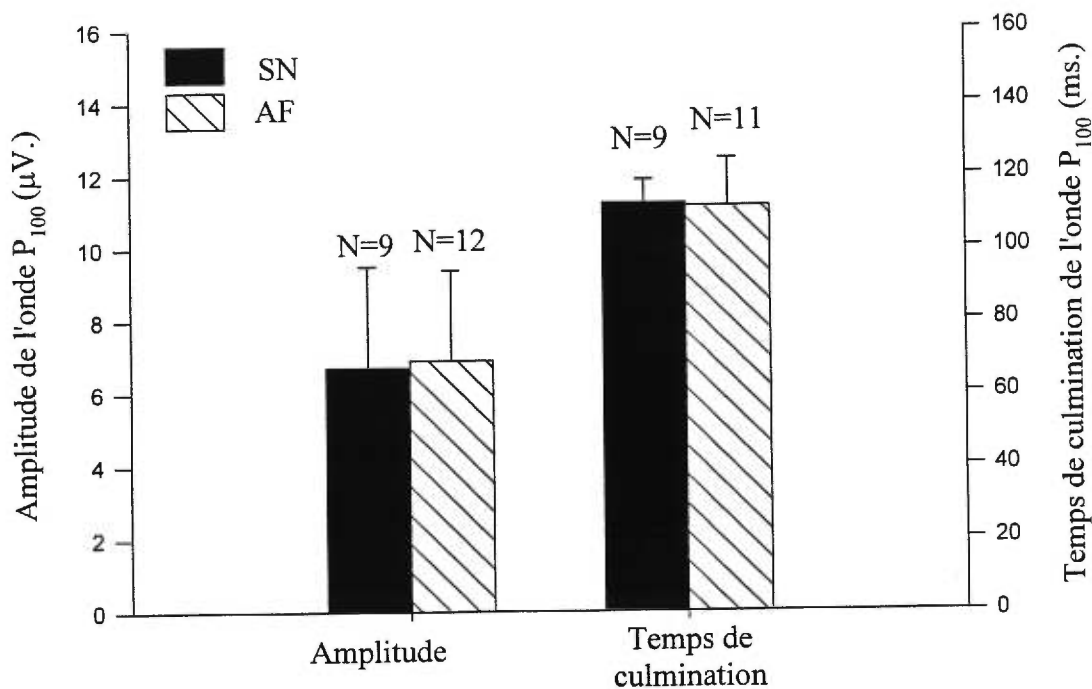


Fig. 2 Amplitude et temps de culmination moyens de l'onde P_{100} de l'oeil préféré des sujets normaux (SN) et de l'oeil non-amblyope des amblyopes fonctionnels (AF) à la condition de type-M (0,4 c./deg., 3%C.). Aucune différence significative entre les groupes.

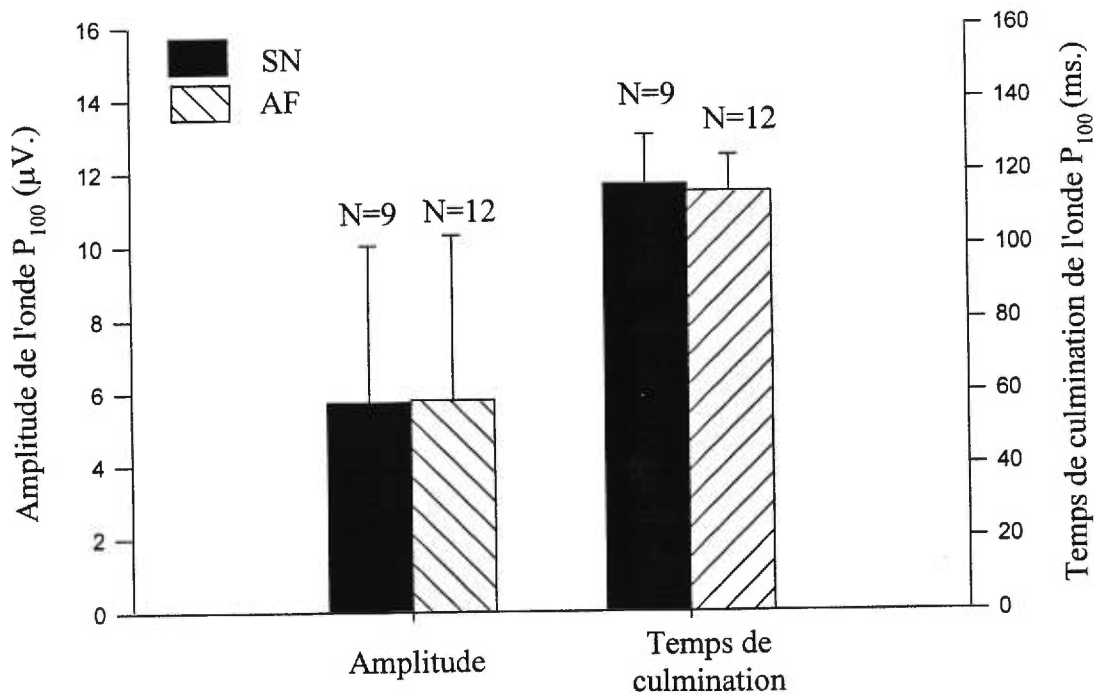


Fig. 3 Amplitude et temps de culmination moyens de l'onde P_{100} de l'oeil préféré des sujets normaux (SN) et de l'oeil non-amblyope des amblyopes fonctionnels (AF) à la condition de type-P (8 c./deg., 93%C.). Aucune différence significative entre les groupes.

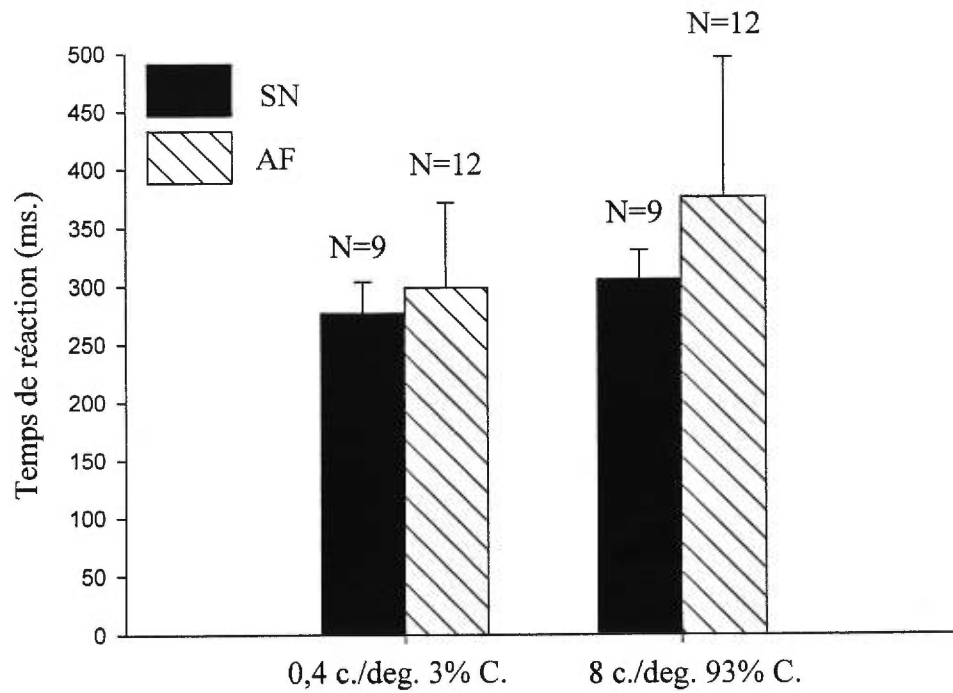


Fig. 4 Temps de réaction moyen de l'oeil préféré des sujets normaux (SN) et de l'oeil non-amblyope des amblyopes fonctionnels (AF) à la condition de type-M (0,4c./deg. 3%C.) et de type-P (8c./deg. 93%C.). Aucune différence significative entre les groupes.

Les figures 5A et 6A sont la représentation de PEV obtenus en fonction des fréquences spatiales, chez des sujets normaux. Au temps de culmination de l'onde, l'apparition du sommet de l'onde P_{100} à la fréquence spatiale de 2 c./deg. est plus rapide que celle de l'onde P_{100} à 0,4 c./deg. Alors qu'à la fréquence spatiale de 8 c./deg., le sommet de l'onde P_{100} apparaît plus tardivement que pour les deux autres fréquences spatiales.

Les figures 5BCD et 6BCD montrent des exemples d'histogrammes du temps de réaction, à 3% et à 93% de contraste. Sur les graphiques BCD, un décalage vers la droite des histogrammes C et D est observé, en comparaison de l'histogramme B. Ce que les figures 5BCD et 6BCD révèlent, est que le temps de réaction devient de plus en plus lent avec l'augmentation des fréquences spatiales.

L'ensemble des résultats obtenus chez les sujets normaux (figure 7) montre que les deux courbes de réponses au PEV, à 3% et 93% de contraste sont de type curvilinéaire. C'est-à-dire que les temps de culmination de l'onde P_{100} , reliés à l'oeil préféré des sujets normaux sont plus rapides à 2 c./deg., comparativement aux autres fréquences spatiales. Cependant, au point de vue statistique, les résultats entre la fréquence basse et la fréquence intermédiaire ne sont pas significativement différents ($P > 0,05$). En fait, seule la comparaison des résultats entre 2 et 8 c./deg. et 0,4 et 8 c./deg. démontre une différence significative à $P < 0,05$. Il n'existe donc pas une sélectivité spatiale à 2 c./deg. Pour ce qui est de la comparaison entre les contrastes, il existe une différence significative ($P < 0,05$) du temps de

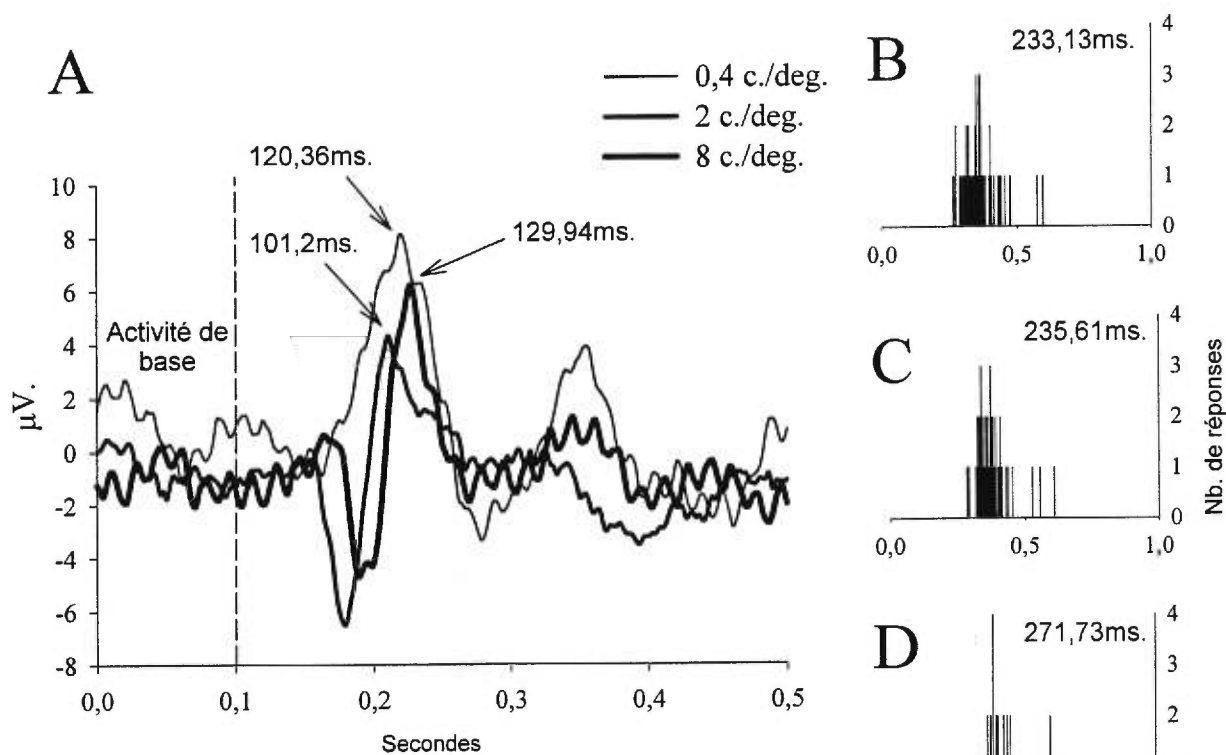


Fig. 5 Exemple de potentiel évoqué visuel (A) à 3% de contraste selon trois fréquences spatiales différentes chez un sujet normal. Exemple de temps de réaction aux fréquences spatiales de 0,4 c./deg.(B) 2 c./deg.(C) et 8 c./deg.(D).

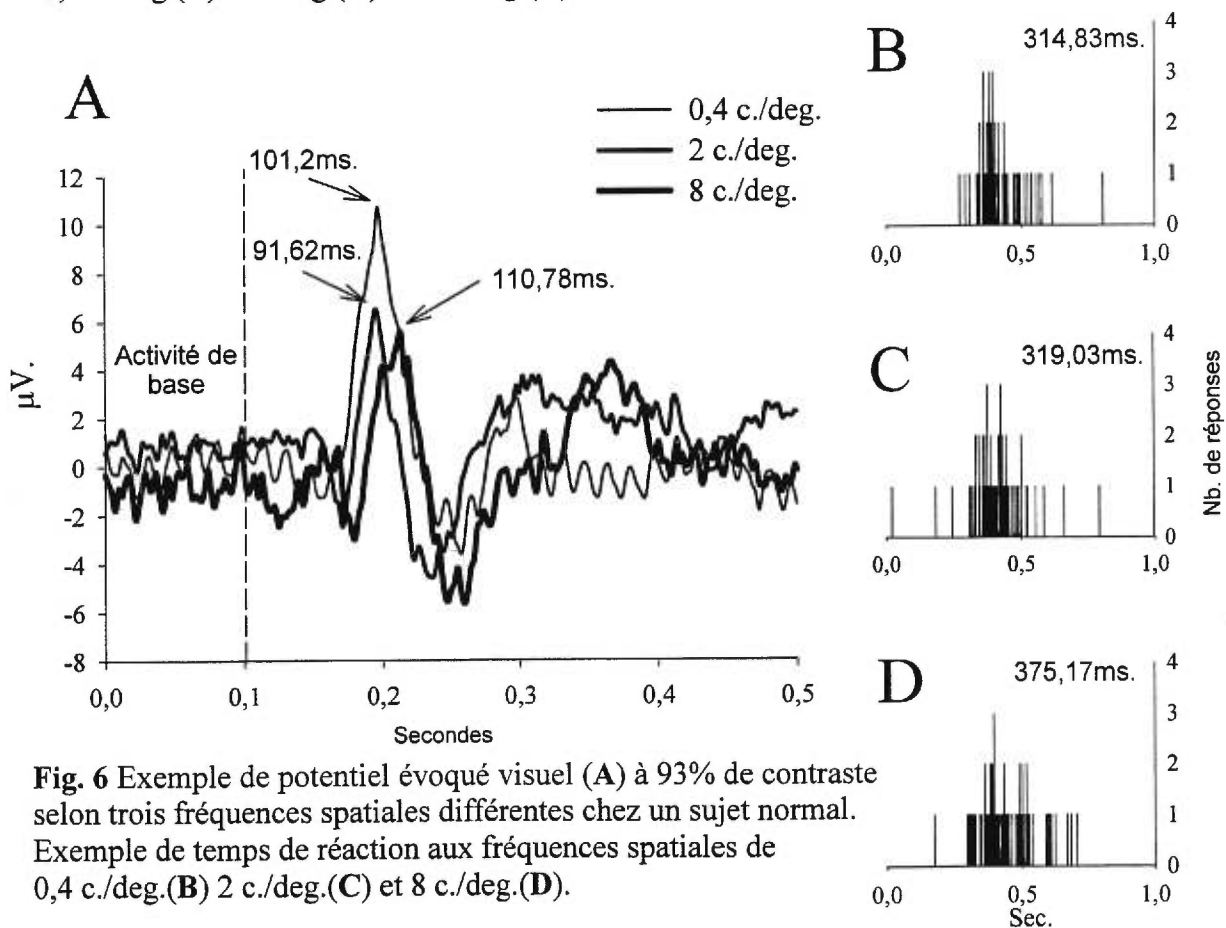


Fig. 6 Exemple de potentiel évoqué visuel (A) à 93% de contraste selon trois fréquences spatiales différentes chez un sujet normal. Exemple de temps de réaction aux fréquences spatiales de 0,4 c./deg.(B) 2 c./deg.(C) et 8 c./deg.(D).

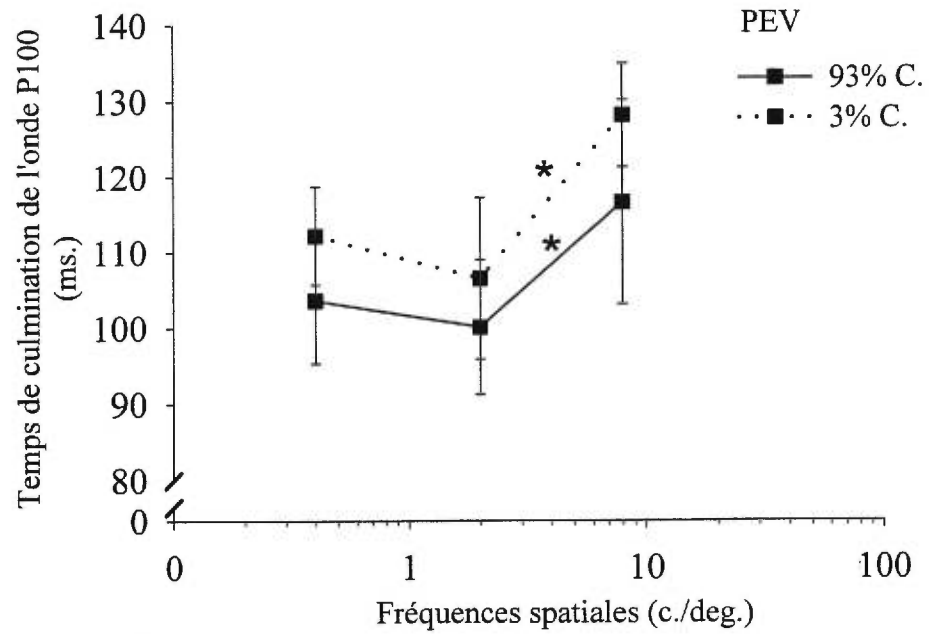


Fig. 7 Temps de culmination de l'onde P100 de l'oeil préféré des sujets normaux en fonction des fréquences spatiales. Différences significatives à 3% C.(---) et 93% C. (—) entre 2 et 8 c./deg.

culmination de l'onde P_{100} , entre 3% et 93% de contraste pour les fréquences spatiales 0,4, 2 et 8 c./deg.

En faisant l'analyse des courbes de réponses au TR, il est à noter que le temps de réponse augmente en fonction des fréquences spatiales aux deux niveaux de contrastes. Toutefois, cette progression n'est pas significative entre toutes les fréquences spatiales. Comme les courbes au PEV, les différences de temps de réaction à 3% et à 93% de contraste ne sont significatives qu'entre 2 et 8 c./deg., et 0,4 et 8 c./deg. ($P < 0,05$). (Figure 8). Pour ce qui est des différences entre les contrastes, aucune différence statistique des temps de réaction n'est observée entre 3% et 93% de contraste, pour chacune des fréquences spatiales .

3.3 *Courbes de réponses chez les amblyopes fonctionnels*

Connaissant les courbes de réponses pour les sujets normaux, il est maintenant possible de comparer, jusqu'à quel point, il y a ressemblance ou dissimilitude entre les résultats obtenus par les sujets normaux et par les amblyopes fonctionnels. Les figures 9A et 10A sont des exemples de PEV, en fonction des fréquences spatiales produites cette fois-ci par l'oeil amblyope. En regardant bien la figure 9A, le sommet de l'onde P_{100} , produit par la présentation de la fréquence spatiale intermédiaire (2 c./deg.) est légèrement plus rapide que le sommet produit en basse fréquence spatiale (0,4 c./deg.) à 3% de contraste. Par contre, à 93% de contraste (Figure 10A), les sommets de l'onde P_{100} entre 0,4 et 2c./deg. sont identiques au temps de culmination de l'onde P_{100} . Et finalement, pour les

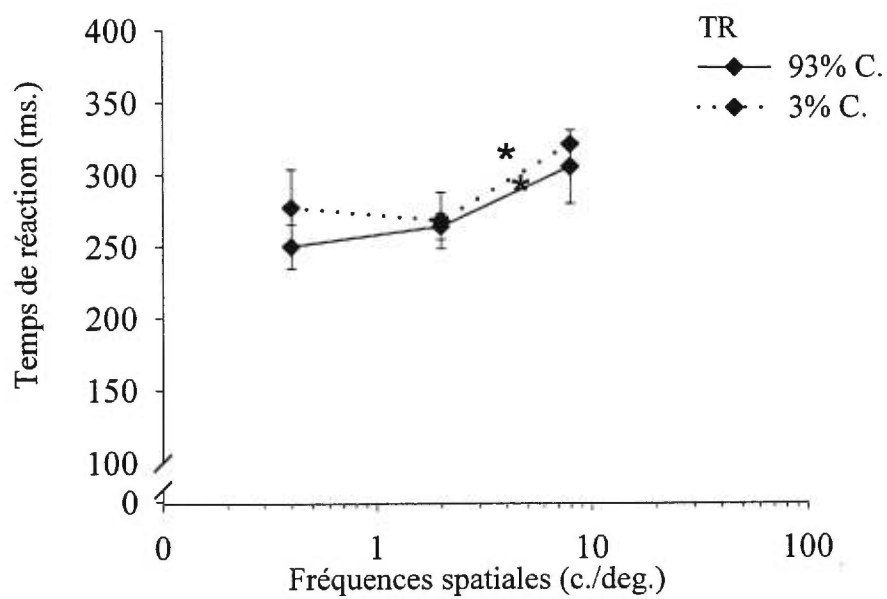


Fig. 8 Temps de réaction de l'oeil préféré des sujets normaux en fonction des fréquences spatiales. Différences significatives à 3% (---) et 93%(—) C. entre 2 et 8 c./deg.

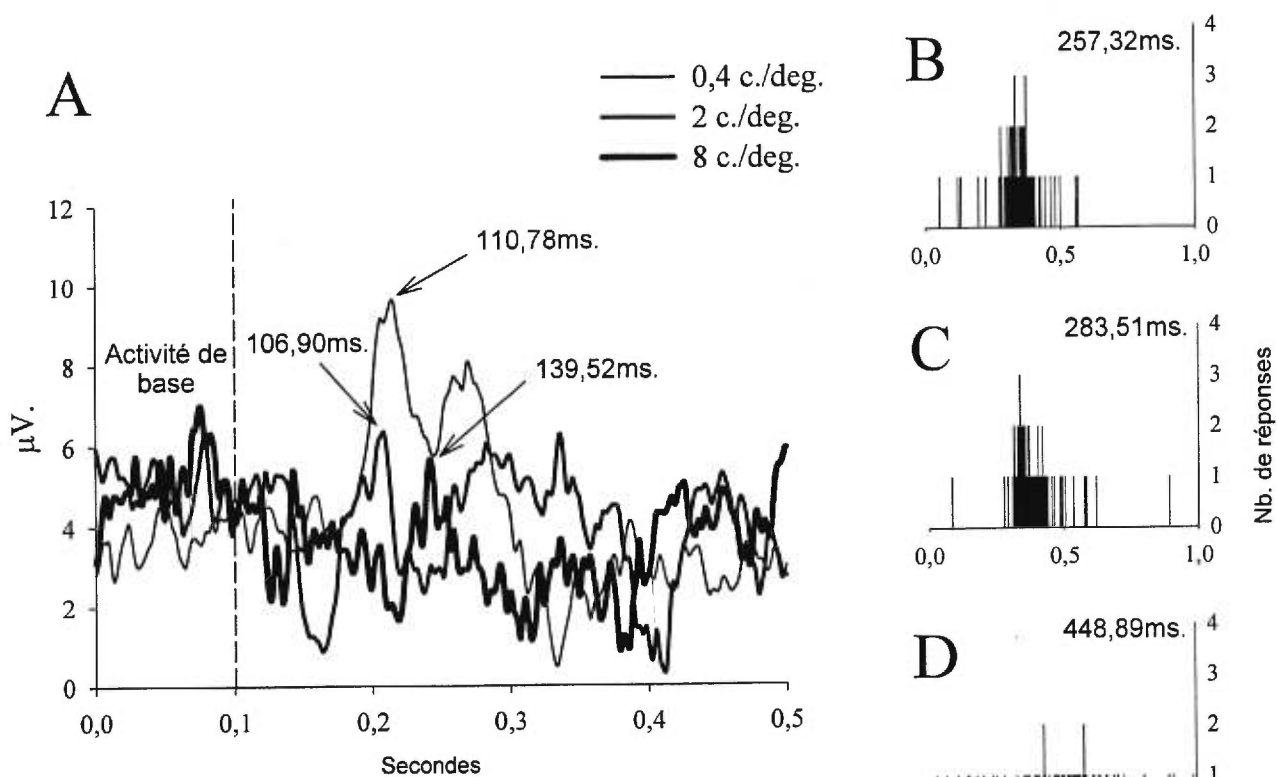


Fig. 9 Exemple de potentiel évoqué visuel (A) à 3% de contraste selon trois fréquences spatiales différentes chez un amblyope fonctionnel. Exemple de temps de réaction aux fréquences spatiales de 0,4 c./deg.(B) 2 c./deg.(C) et 8 c./deg.(D).

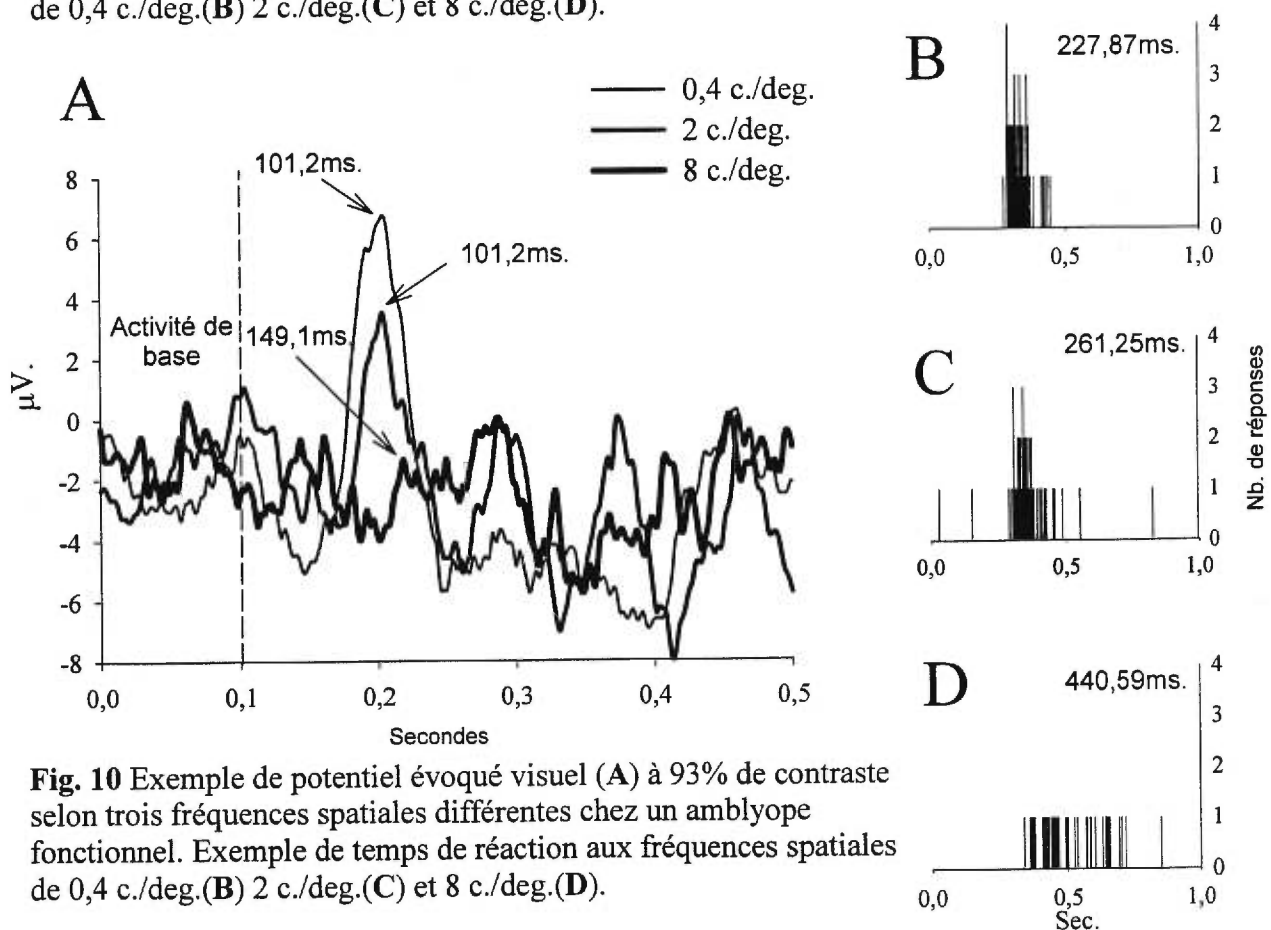


Fig. 10 Exemple de potentiel évoqué visuel (A) à 93% de contraste selon trois fréquences spatiales différentes chez un amblyope fonctionnel. Exemple de temps de réaction aux fréquences spatiales de 0,4 c./deg.(B) 2 c./deg.(C) et 8 c./deg.(D).

deux contrastes (Figures 9A et 10A), l'apparition du sommet de l'onde P_{100} à 8 c./deg. se fait beaucoup plus tardivement que pour les deux autres fréquences spatiales.

Au TR, les histogrammes de TR à 3% et à 93% de contraste (Figures 9BCD et 10BCD) démontrent qu'ils vont de plus en plus vers la droite au fur et à mesure que les fréquences spatiales augmentent. Tout comme les histogrammes chez les sujets normaux (5BCD et 6BCD), on peut affirmer que plus les fréquences augmentent et plus le temps de réaction devient lent.

Dans leur ensemble, les résultats des amblyopes fonctionnels, (Figure 11) montrent qu'il n'y a pas de sélectivité spatiale à 2 c./deg. Tout comme chez les sujets normaux (Figure 7), il existe des différences significatives ($P < 0,05$) uniquement entre les fréquences spatiales de 2 et 8 c./deg., et 0,4 et 8 c./deg. à 3% et 93% de contraste.

À la figure 12, les courbes de réponses du TR, pour les deux contrastes sont sensiblement identiques, aux résultats des sujets normaux (Figure 8). En fait, la seule différence statistique à noter, est qu'il y a une progression significative du temps de réaction entre toutes les fréquences spatiales à 93% de contraste ($P < 0,05$). De plus, tout comme chez les sujets normaux, l'augmentation des temps de réaction à 3 % de contraste n'est significative qu'entre 2 et 8 c./deg et 0,4 et 8 c./deg. ($P < 0,05$).

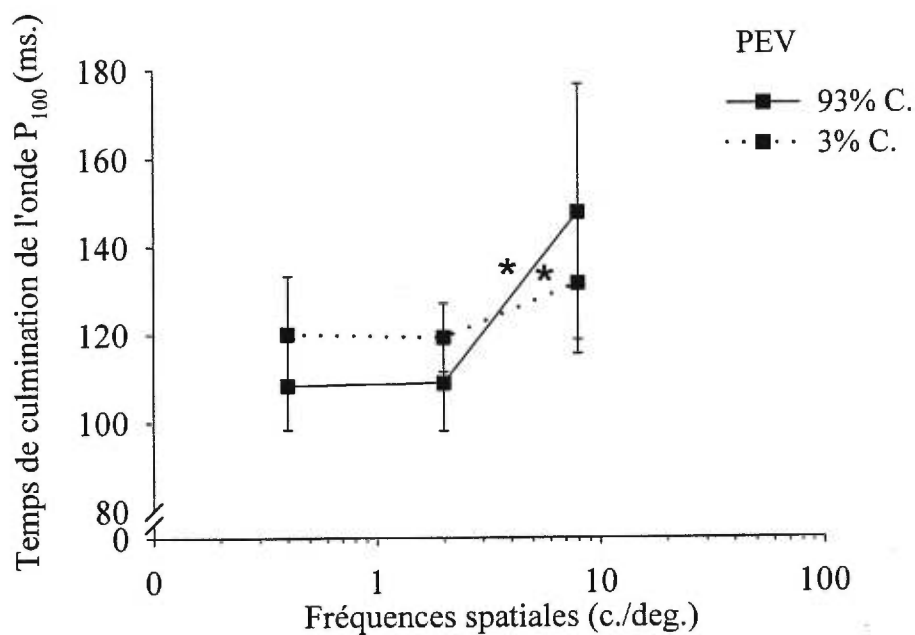


Fig. 11 Temps de culmination moyen de l'onde P₁₀₀ relié à l'oeil amblyope en fonction des fréquences spatiales. Différences significatives à 3% (---) et 93% (—) C. entre 0,4 et 8c./deg., et 2 et 8c./deg.

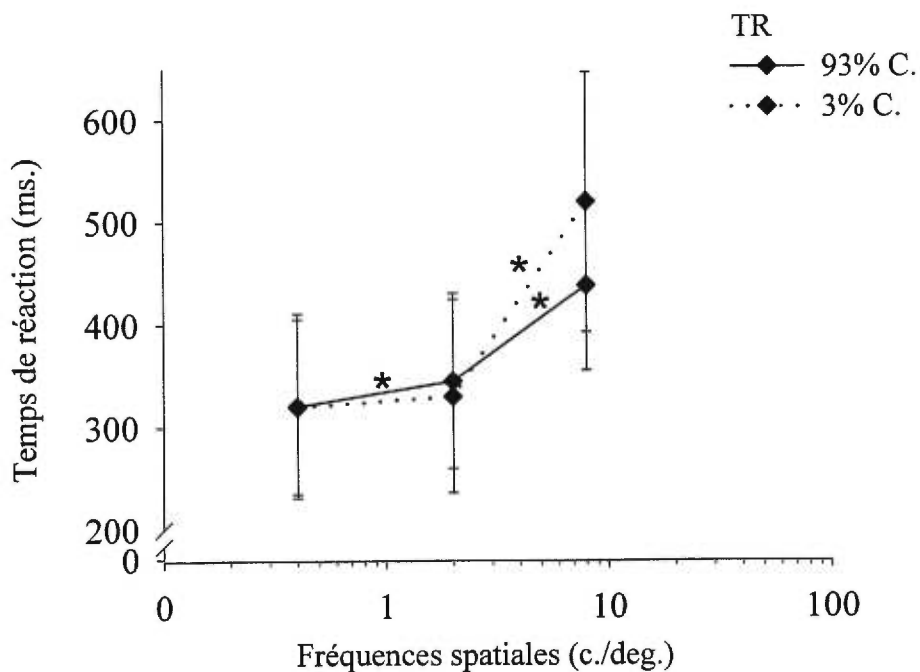


Fig. 12 Temps de réaction moyen de l'oeil amblyope en fonction des fréquences spatiales. Différences significatives à 3% C. (---) entre 0,4 et 8c./deg., et 2 et 8c./deg. et 93% C. (—) entre toutes les fréquences spatiales.

3.4 *Les conditions de type-M et de type-P*

La deuxième section de l'analyse des résultats porte sur les deux conditions de présentation de type-M et de type-P. Tout au long de cette analyse, la comparaison entre les résultats des amblyopes fonctionnels et ceux des sujets normaux pour chacune des conditions sera évaluée. L'objectif est de différencier ces deux groupes l'un de l'autre et de faire ressortir chez les amblyopes, des déficits fonctionnels associés aux systèmes M et P.

3.4.1 *Comparaison oeil amblyope-oeil préféré*

Les réponses obtenues au PEV par l'oeil amblyope et par l'oeil préféré, indiquent une différence significative ($P < 0,05$) du temps de culmination et de l'amplitude de l'onde P_{100} à la condition de type-P (8c./deg., 93%C.). Alors qu'à la condition de type-M (0,4c./deg., 3%C.), la réponse de l'oeil amblyope n'est pas significativement différente de celle de l'oeil préféré ($P > 0,05$) (Figures 13 et 14). Aux figures 15 et 16, le temps de réaction et l'écart-type du temps de réaction reliés à l'oeil amblyope sont eux aussi significativement différents à la condition de type-P ($P < 0,05$). Il est donc possible d'affirmer pour la condition de type-P, que l'oeil amblyope répond plus faiblement que l'oeil préféré des sujets normaux.

3.4.2 *La différence interoculaire*

En faisant la soustraction des réponses entre l'oeil préféré et non-préférent chez les sujets normaux, et celles de l'oeil amblyope et non-amblyope chez les amblyopes pour chacune des conditions, il est possible d'obtenir la différence interoculaire. Comme le démontre les figures 17A et 18A, il n'y a pas de délai entre les temps de culmination de

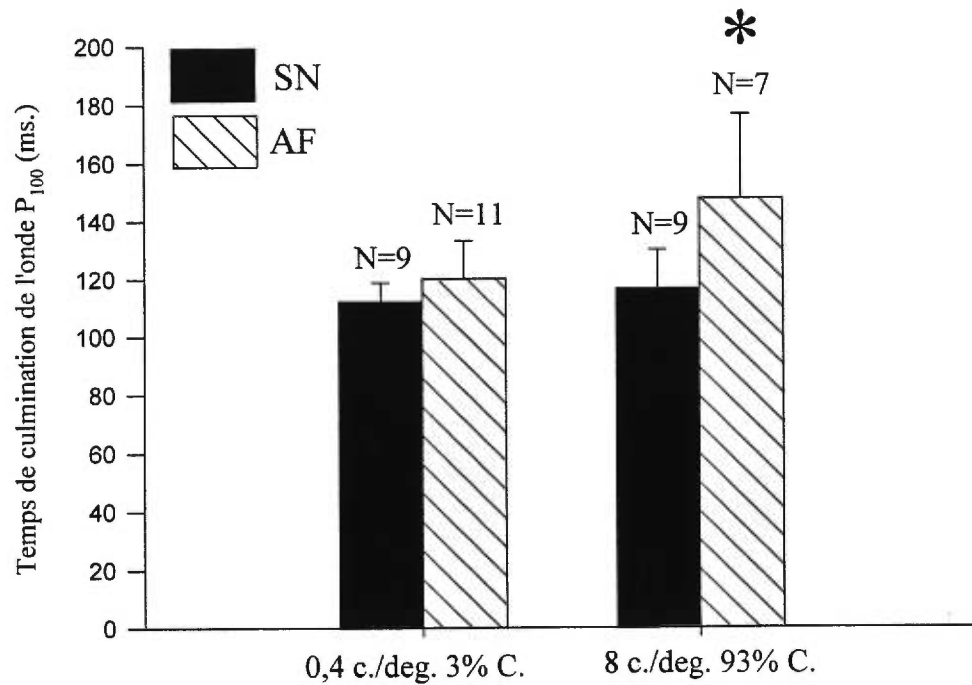


Fig. 13 Temps de culmination moyen de l'onde P_{100} aux conditions de type-M (0,4c./deg. 3%C.) et de type-P (8c./deg. 93%C.) pour les sujets normaux (SN) et les amblyopes fonctionnels (AF). Différence significative entre les groupes à 8 c./deg., 93% C.

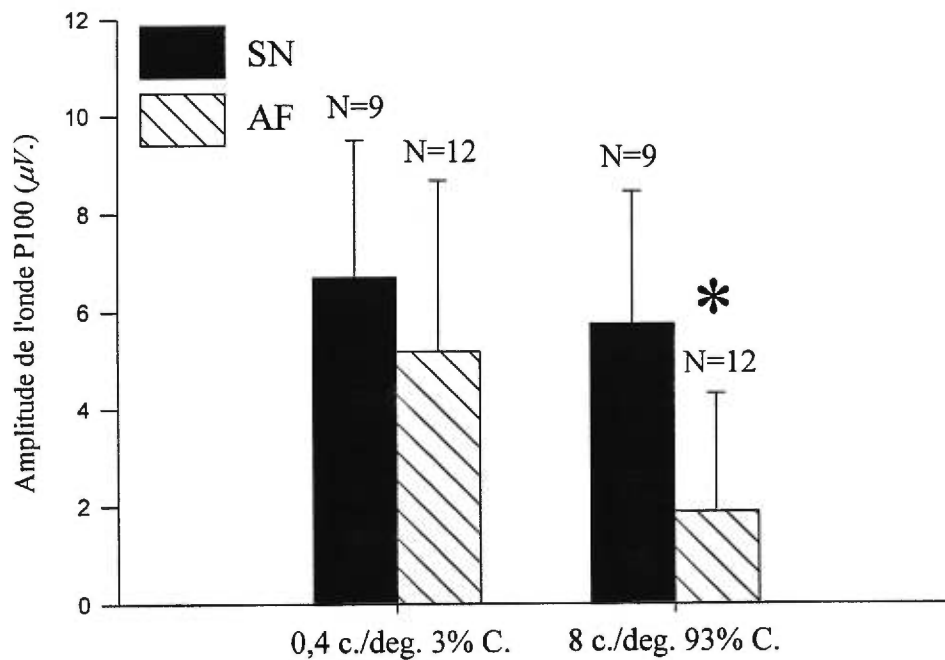


Fig. 14 Amplitude moyenne de l'onde P_{100} aux conditions de type-M (0,4c./deg. 3%C.) et de type-P (8c./deg. 93%C.) pour les sujets normaux (SN) et les amblyopes fonctionnels (AF). Différence significative entre les groupes à 8 c./deg., 93% C.

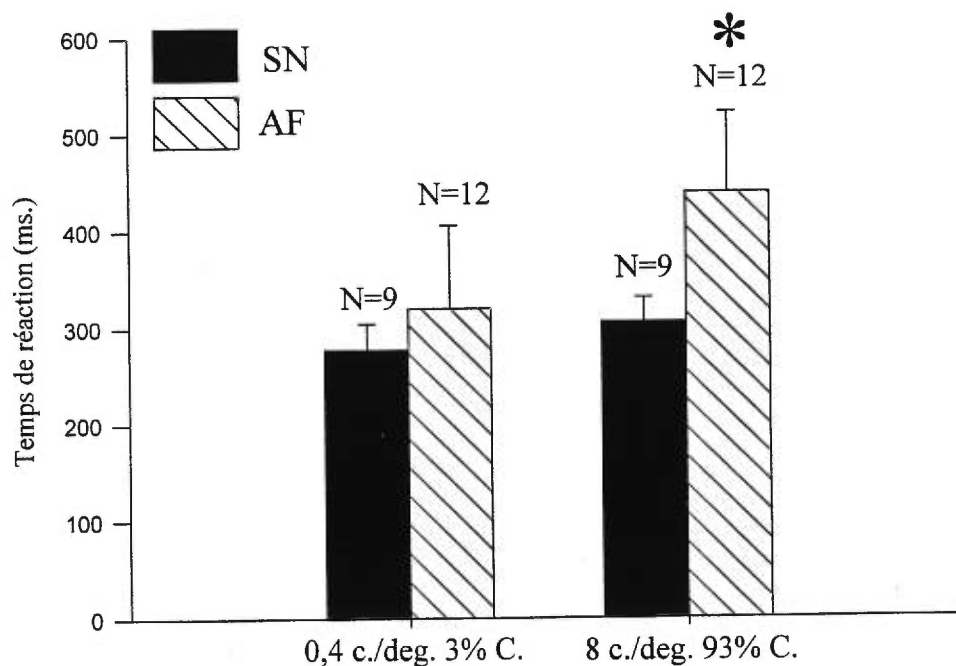


Fig. 15. Temps de réaction moyen aux conditions de type-M (0,4c./deg. 3%C.) et de type-P (8c./deg. 93%C.) pour les sujets normaux (SN) et les amblyopes fonctionnels (AF). Différence significative entre les groupes à 8 c./deg., 93% C.

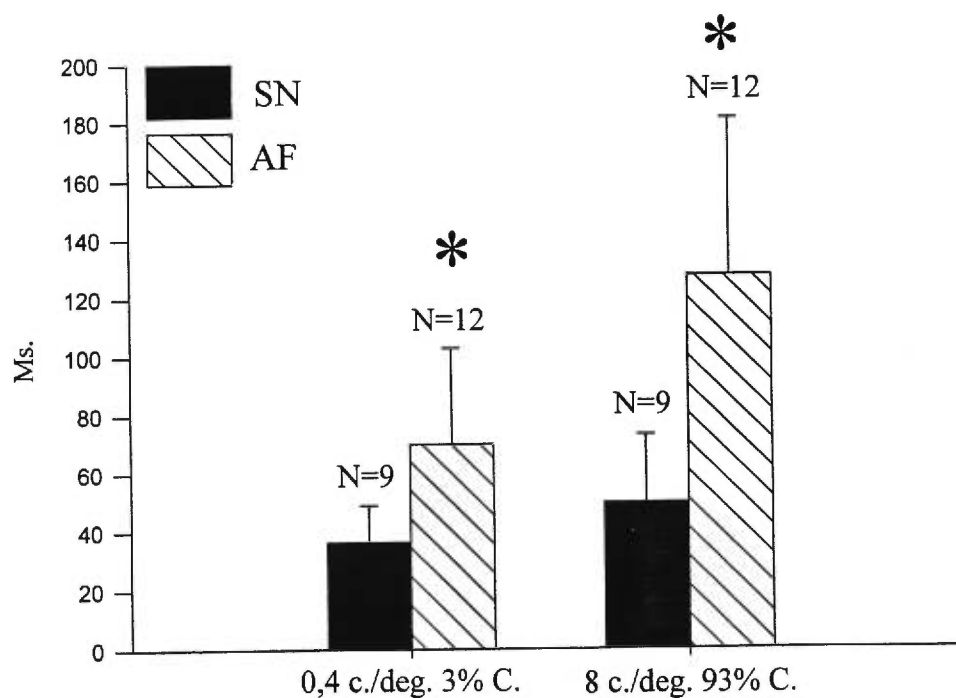


Fig. 16. Écart-type du temps de réaction moyen aux conditions de type-M (0,4c./deg. 3%C.) et de type-P (8c./deg. 93%) pour les sujets normaux (SN) et les amblyopes fonctionnels (AF). Différences significatives entre les groupes pour les deux conditions.

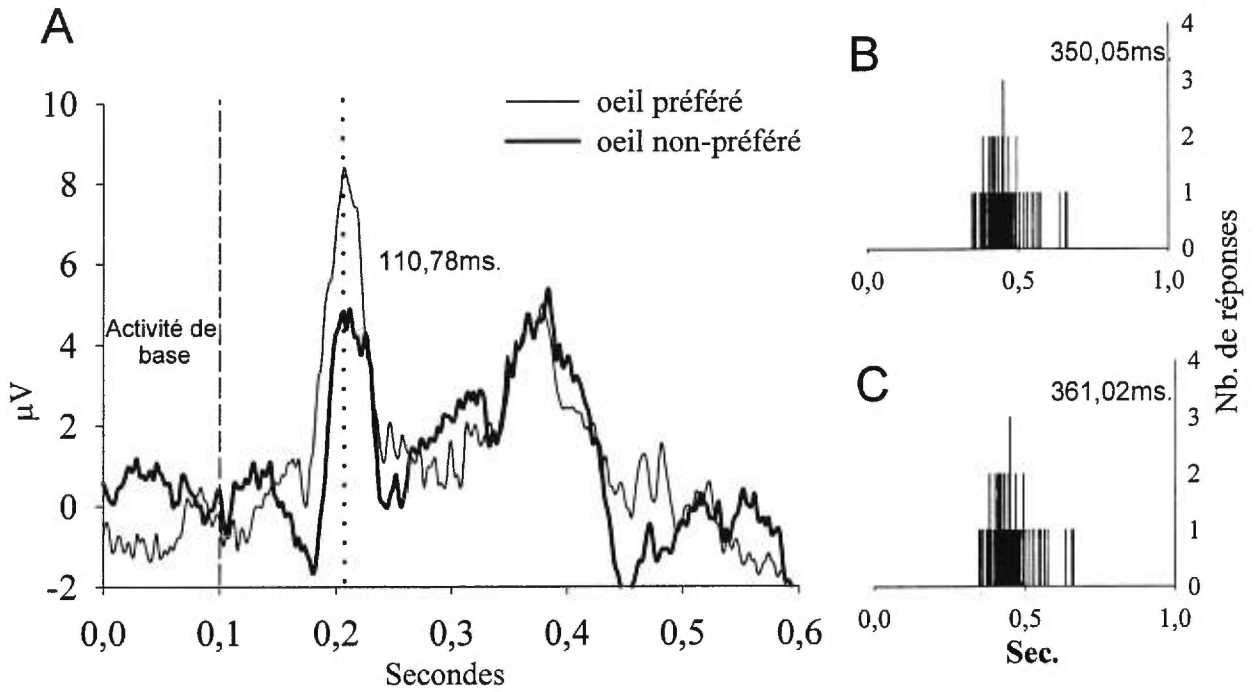


Fig. 17 Exemple de différence interoculaire au potentiel évoqué visuel (A) et au temps de réaction (B=oeil préféré; C=oeil non-préfééré) pour la condition de type-M (0,4 c./deg., 3%C.) chez un sujet normal.

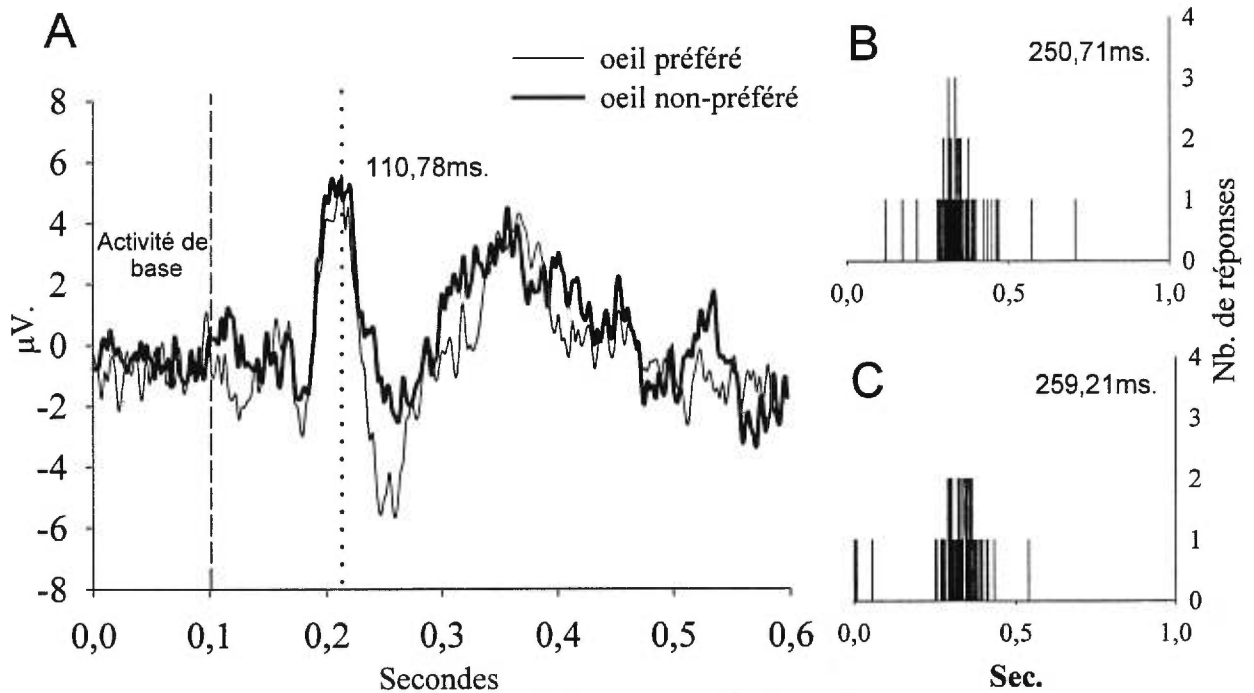


Fig. 18 Exemple de différence interoculaire au potentiel évoqué visuel (A) et au temps de réaction (B=oeil préféré; C=oeil non-préfééré) pour la condition de type-P (8 c./deg., 93%C.) chez un sujet normal.

l'onde P₁₀₀ de l'oeil préféré et l'oeil non-préférent aux deux conditions. Pour être plus précis, aucune différence interoculaire, chez sept sujets sur neuf à la condition de type-M n'a été observée, alors que seulement deux sujets sur neuf réussissent à obtenir une différence interoculaire de 0 ms pour la condition de type-P. Les figures 21 et 22 confirment qu'aux deux conditions, la différence interoculaire du temps de culmination et de l'amplitude de l'onde P₁₀₀ n'est statistiquement pas différente chez les sujets normaux ($P > 0,05$).

Pour la différence interoculaire chez les amblyopes, les figures 19A et 20A montrent bien que le temps de culmination de l'onde P₁₀₀ relié à l'oeil amblyope est beaucoup plus lent que celui de l'onde P₁₀₀ relié à l'oeil non-amblyope. L'amplitude de l'onde P₁₀₀ produite par l'oeil amblyope est également visiblement réduite pour les deux conditions en comparaison de celle de l'onde P₁₀₀ reliée à l'oeil non-amblyope (Figures 19A et 20A). Les figures 21 et 22 confirment donc qu'il y a des différences significatives ($P < 0,05$) aux deux conditions de présentation.

Pour le TR chez les sujets normaux, les figures 19BC et 20BC démontrent un décalage entre l'histogramme des figures B et C chez un sujet normal. Toutefois, selon la figure 23, la différence interoculaire aux deux conditions n'est pas significative ($P > 0,05$).

Pour les amblyopes, les figures 19BC et 20BC montrent bien un décalage plus important de l'histogramme de temps de réaction de la figure C, comparativement à celui

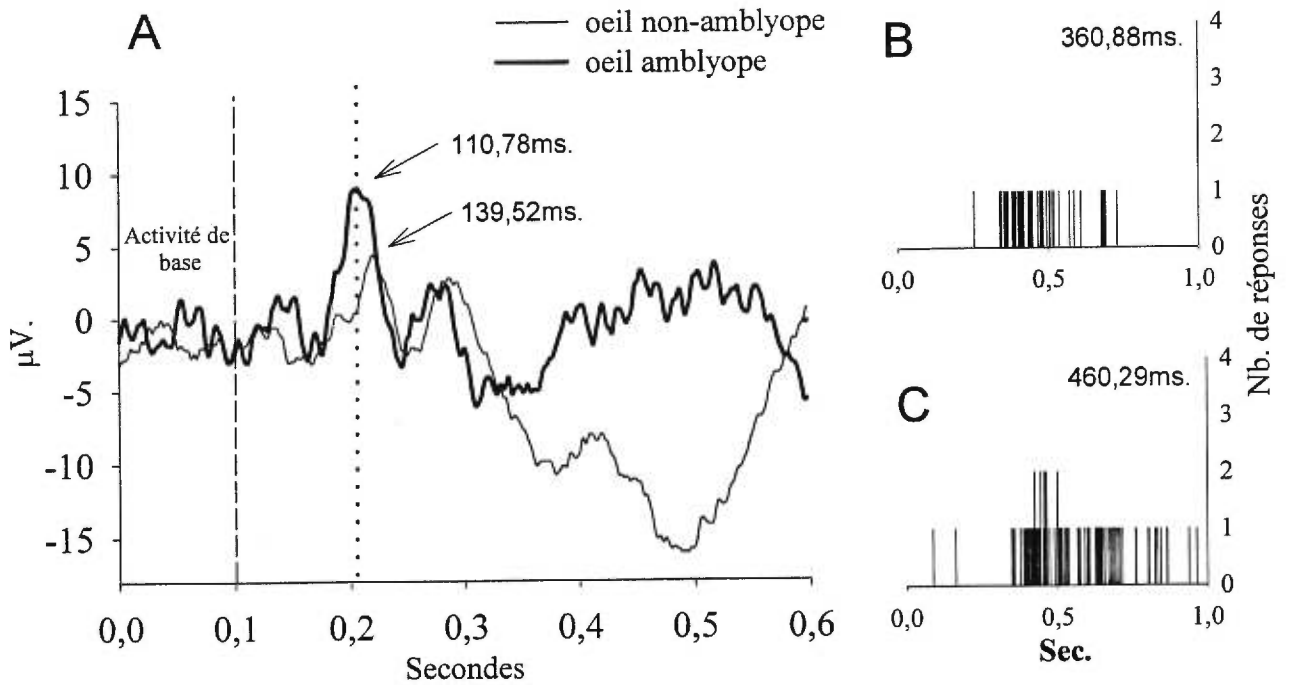


Fig. 19 Exemple de différence interoculaire au potentiel évoqué visuel (A) et au temps de réaction (B=oeil non-amblyope; C=oeil amblyope) pour la condition de type-M (0,4 c./deg., 3%C.) chez un amblyope fonctionnel.

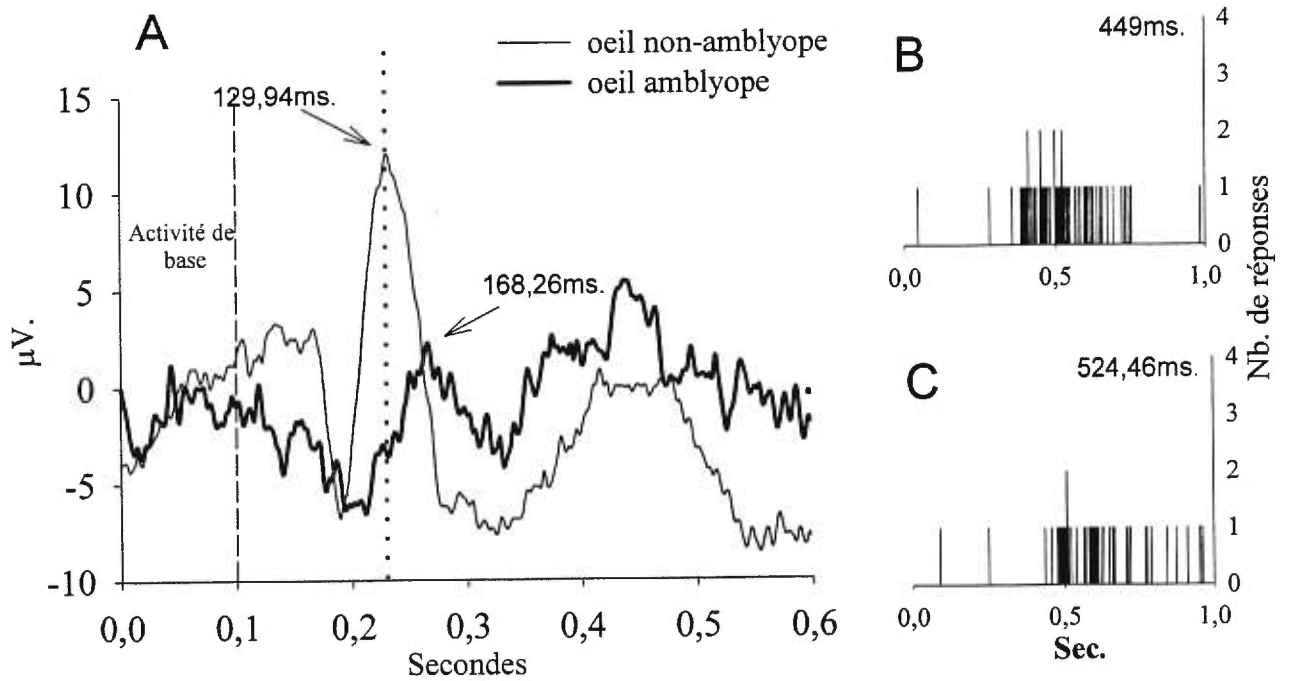


Fig. 20 Exemple de différence interoculaire au potentiel évoqué visuel (A) et au temps de réaction (B=oeil non-amblyope; C=oeil amblyope) pour la condition de type-P (8 c./deg., 93%C.) chez un amblyope fonctionnel.

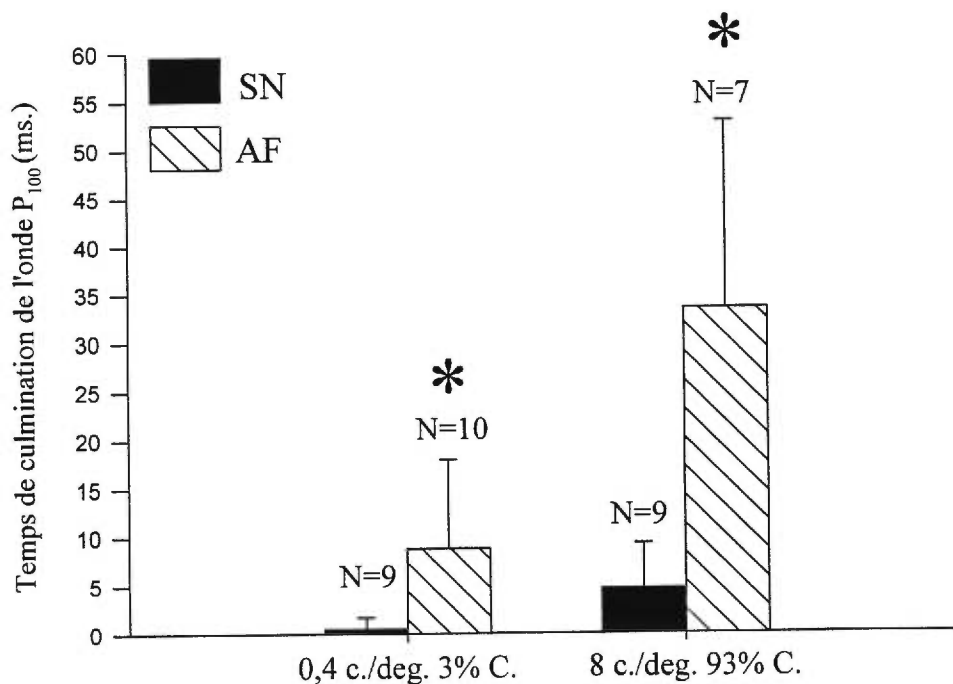


Fig. 21 Différence interoculaire du temps de culmination moyen de l'onde P₁₀₀ pour les sujets normaux (SN) et les amblyopes fonctionnels (AF) aux conditions de type-M (0,4c./deg. 3%C.) et de type-P (8c./deg.93%C.). Différences significatives entre l'oeil amblyope et non-amblyope aux deux conditions.

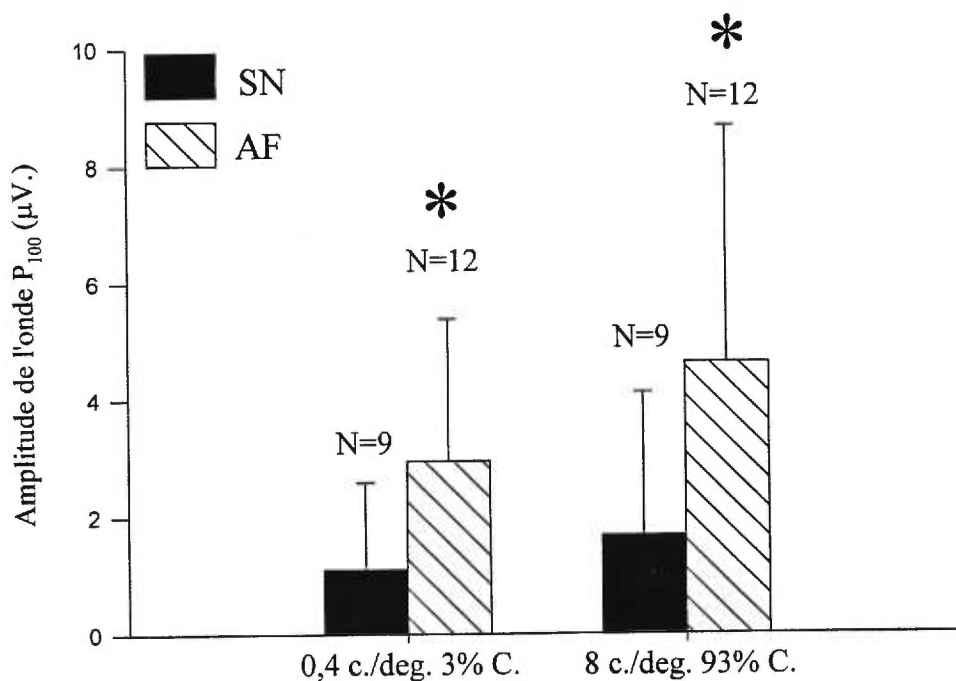


Fig. 22 Différence interoculaire de l'amplitude moyenne de l'onde P₁₀₀ pour les sujets normaux (SN) et les amblyopes fonctionnels (AF) aux conditions de type-M (0,4 c./deg. 3%C.) et de type-P (8 c./deg.93%C.). Différences significatives entre l'oeil amblyope et non-amblyope aux deux conditions.

du temps de réaction de la figure B. Par contre, seule la différence interoculaire à 8 c./deg. et 93% de contraste est significativement différente de celle de l'oeil non-amblyope ($P < 0,05$) (Figure 23).

3.4.3 *Comparaison entre la condition de type-M et de type-P*

Afin de pouvoir vérifier l'hypothèse de Barlow & Levick (1969) selon laquelle les réponses des cellules du système P sont beaucoup plus variables que celles des cellules du système M, il a été vérifié au TR, si le temps de réaction est plus court et l'écart-type plus petit pour la condition de type-M que pour la condition de type-P.

À la figure 15, une augmentation significative ($P < 0,05$) des temps de réaction entre la condition de type-M (0,4 c./deg et 3% C.) et la condition de type-P (8 c./deg. et 93% C.) est remarquée non seulement pour les sujets normaux, mais également pour les amblyopes. En analysant les écarts-type du temps de réaction, l'étendue des réponses pour les sujets normaux et les amblyopes est significativement différente ($P < 0,05$) entre les conditions de type-P et de type-M (Figure 16). Donc, bien que les deux groupes obtiennent des différences significatives entre les deux conditions ($P < 0,05$), les amblyopes ont toujours un temps de réaction significativement plus long et un écart-type significativement plus grand que ceux des sujets normaux.

3.5 *Différences entre les types d'amblyopie fonctionnelle*

La troisième partie de l'analyse des résultats se concentre principalement sur les différents types d'amblyopie fonctionnelle. Cette partie de l'étude tentera de mettre à jour

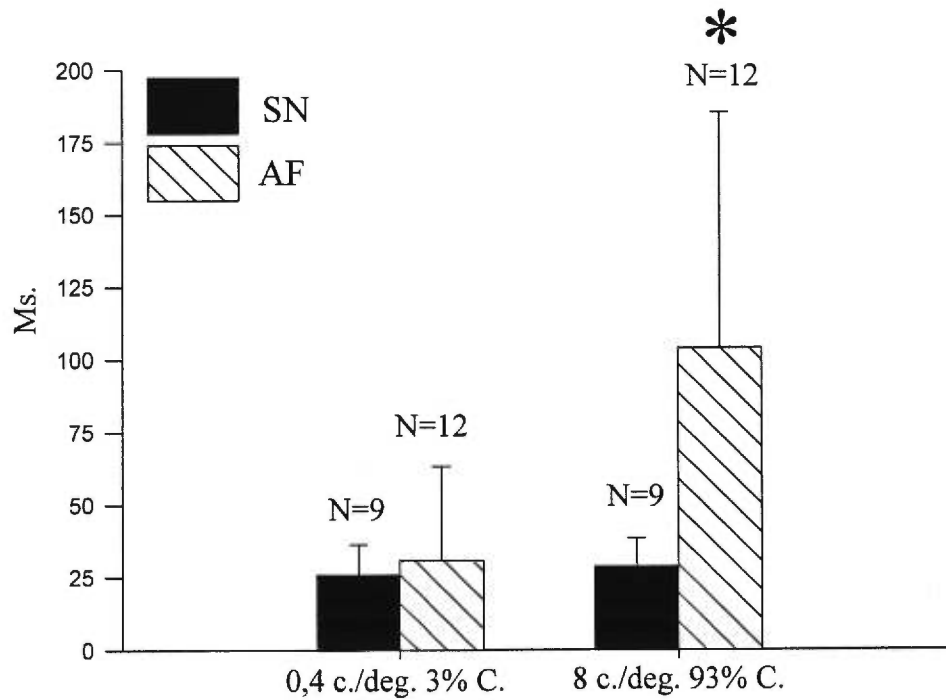


Fig. 23 Différence interoculaire du temps de réaction moyen pour les sujets normaux (SN) et les amblyopes fonctionnels (AF) à la condition de type-M (0,4c./deg. 3%C.) et de type-P (8c./deg.93%C.). Différence significative entre l'oeil amblyope et non-amblyope à 8 c./deg., 93% C.

l'existence de différences fonctionnelles entre les AA, les AS et les AA & AS. Puisque le nombre de sujets par sous-groupes d'amblyopes n'est pas équivalent, les résultats seront analysés à partir de la cote-Z de chacun des amblyopes.

3.5.1 Temps de culmination de l'onde P₁₀₀

La figure 24 représente les cotes-Z des temps de culmination de l'onde P₁₀₀ obtenus à la condition de type-M. À l'exception de deux sujets AA (no.14 et 15), les temps de culmination de neuf des douze amblyopes sont regroupés à l'intérieur de deux écarts-type, de la moyenne des temps de culmination de l'onde P₁₀₀ des sujets normaux ($P < 0,05$). Pour le sujet AA no.6 qui n'est pas illustré à la figure 24, il a été impossible d'identifier hors de tout doute la présence de l'onde P₁₀₀ dans l'onde enregistrée, car aucun sommet majeur positif n'apparaît à 100 ms.

Pour la condition de type-P (Figure 25), deux AA (sujets no.15 et 18) et un AS (sujet no.28) ont des temps de culmination plus lents que la moyenne, c'est-à-dire, à plus de quatre écarts-type de la moyenne des sujets normaux. Le sujet no.13 ayant à la fois un strabisme et une anisométrie est pour sa part, à 3 écarts-type de la moyenne. Il est également intéressant de noter que pour trois AA (sujets no.10,11 et 14), un AS (sujet no.12) et un AS & AA (sujet no.24), il fut impossible d'identifier l'onde P₁₀₀ de la réponse électrophysiologique enregistrée à la condition de type-P.

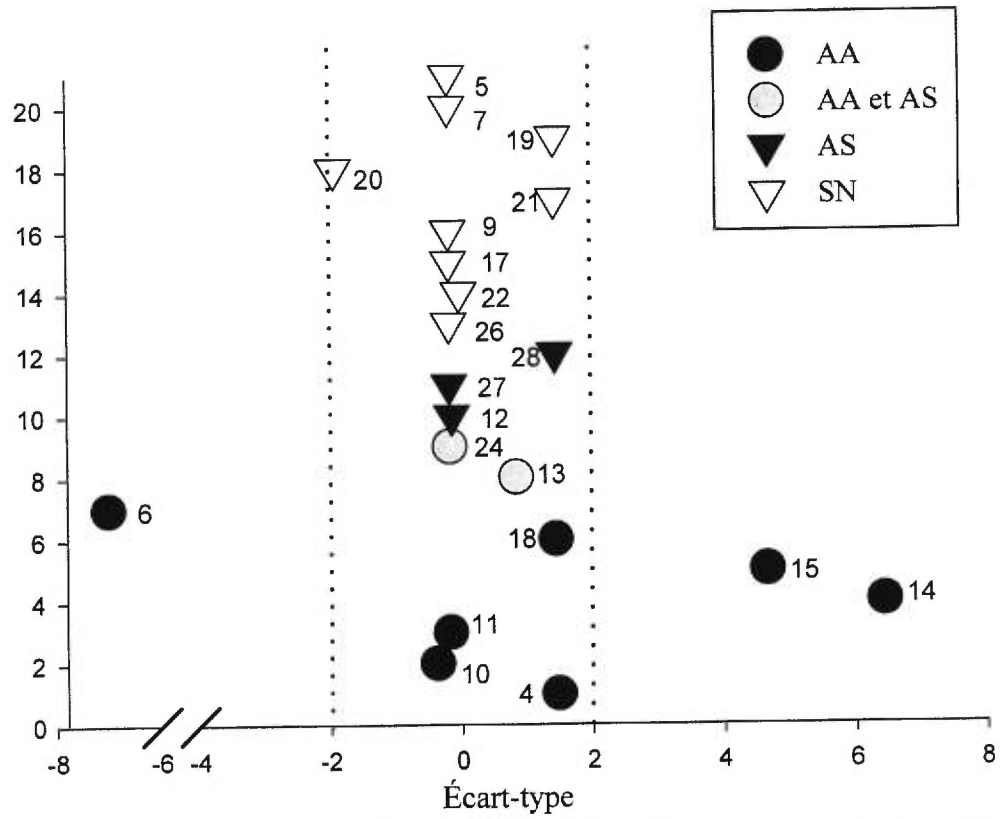


Fig. 24 Cote-Z du temps de culmination de l'onde P₁₀₀ pour les trois types d'amblyopie fonctionnelle à la condition de type-M (0,4 c./deg., 3%C).

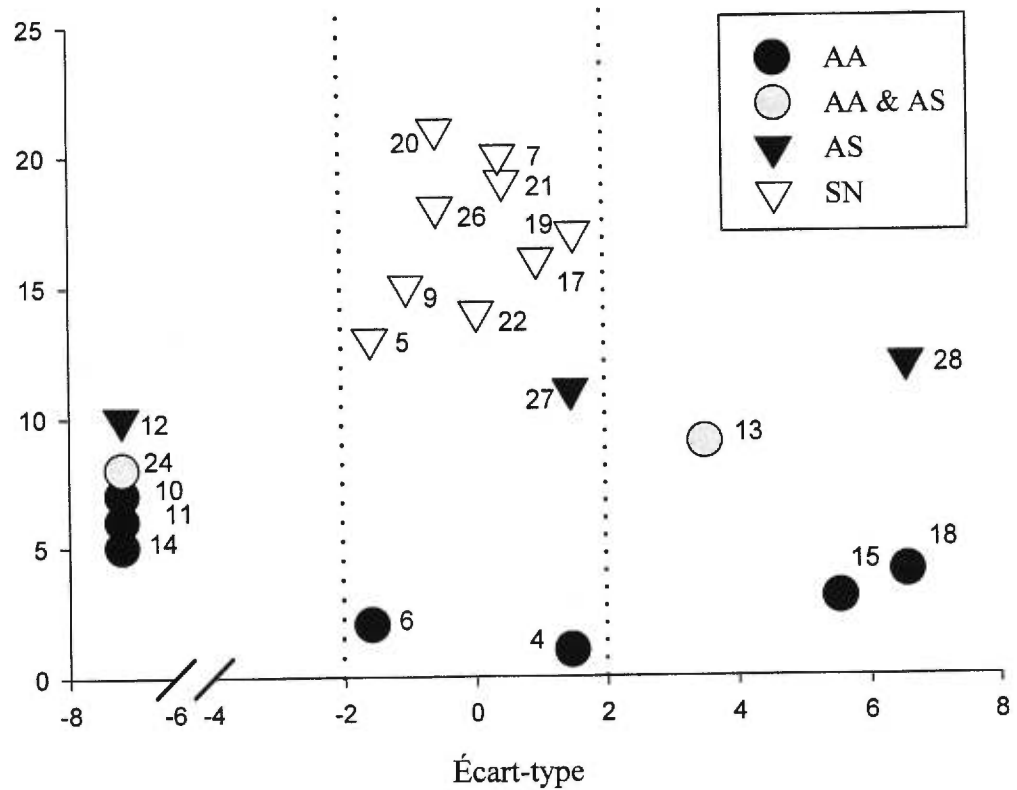


Fig. 25 Cote-Z du temps de culmination de l'onde P₁₀₀ pour les trois types d'amblyopie fonctionnelle à la condition de type-P (8 c./deg., 93%C).

3.5.2 Amplitude de l'onde P_{100}

Pour l'amplitude de l'onde P_{100} , la figure 26 représentant les résultats à la condition de type-M, nous montre une homogénéité des cotes-Z pour dix amblyopes sur douze. Cependant, deux AA (sujets no.6 et 14) se distinguent des autres sujets en obtenant des amplitudes différentes, de plus de deux écarts-type à la moyenne. Pour le sujet no.6, l'amplitude de son oeil amblyope se retrouve inférieur à deux écarts-type. Comme il a déjà été mentionné, puisque le temps de culmination n'a pu être identifié par manque d'amplitude de l'onde P_{100} , il est présumé que le résultat produit par l'oeil amblyope est à plus ou moins 0 μV . À la figure 27, l'oeil non-amblyope produit une amplitude de 3,2 μV , alors que pour l'oeil amblyope, elle est de 6,4 μV . Ce phénomène est d'autant plus surprenant que l'acuité visuelle de son oeil amblyope est de 20/100 (voir tableau 2).

À la condition de type-P (Figure 28), il est observé pour les sujets AA no.10, 11 et 14, les sujets AS no.12 et 28, ainsi que pour les sujets AS & AA no.13 et 24, que l'amplitude de l'onde P_{100} produite par l'oeil amblyope est inférieure à deux écarts-type, par rapport à celle des sujets normaux. Pour les trois AA (10,11 et 14) et les sujets no.12 et 24, ces résultats s'expliquent eux aussi, par le fait qu'il n'a pas été possible, en raison du faible voltage du signal, d'identifier l'onde P_{100} produite par leur oeil amblyope.

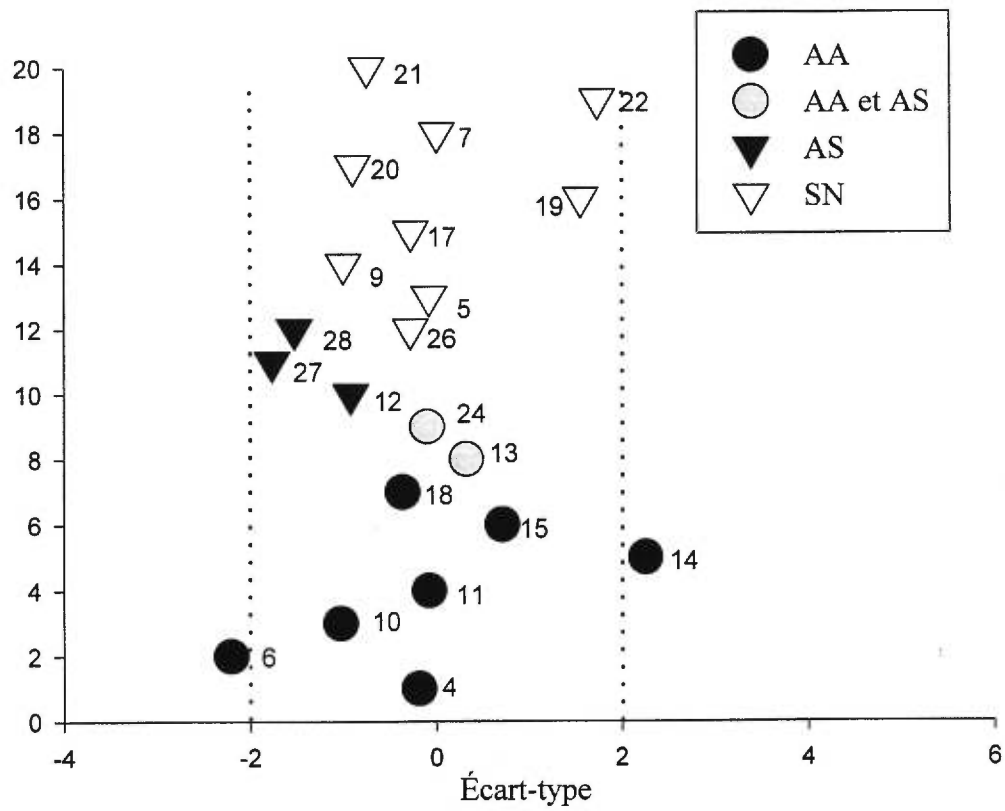


Fig. 26 Cote-Z de l'amplitude de l'onde P100 pour les trois types d'amblyopie fonctionnelle à la condition de type-M (0,4 c./deg., 3%C.).

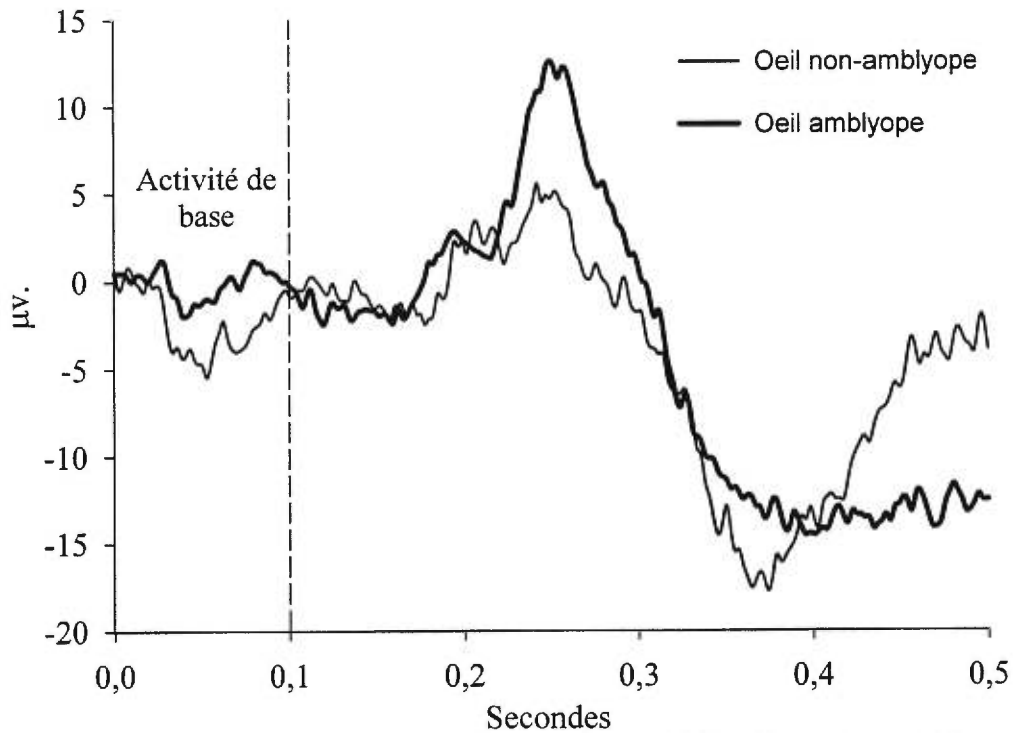


Fig. 27 Exemple de potentiel évoqué visuel à 0,4 c./deg. et 3% C.chez l'amblyope par anisométrie no.14. Forte amplitude de la P100 produite par l'oeil amblyope (plus de deux écarts-type de la moyenne).

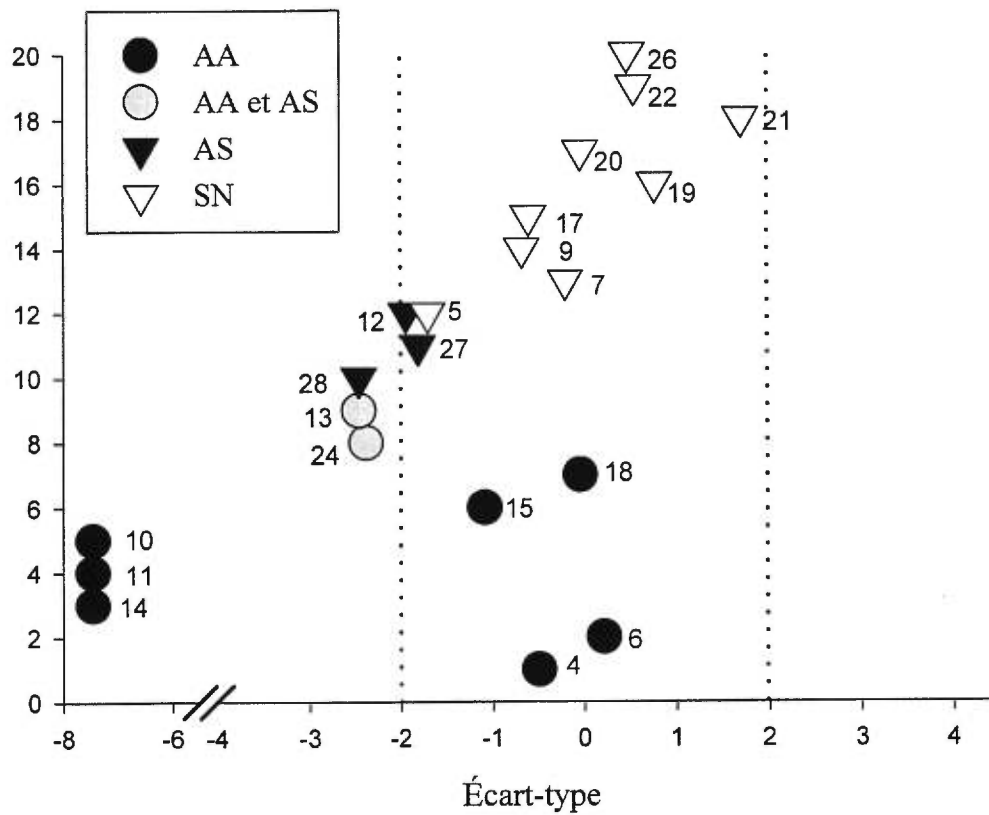


Fig. 28 Cote-Z de l'amplitude de l'onde P100 pour les trois types d'amblyopie fonctionnelle à la condition de type-P (8 c./deg., 93%C).

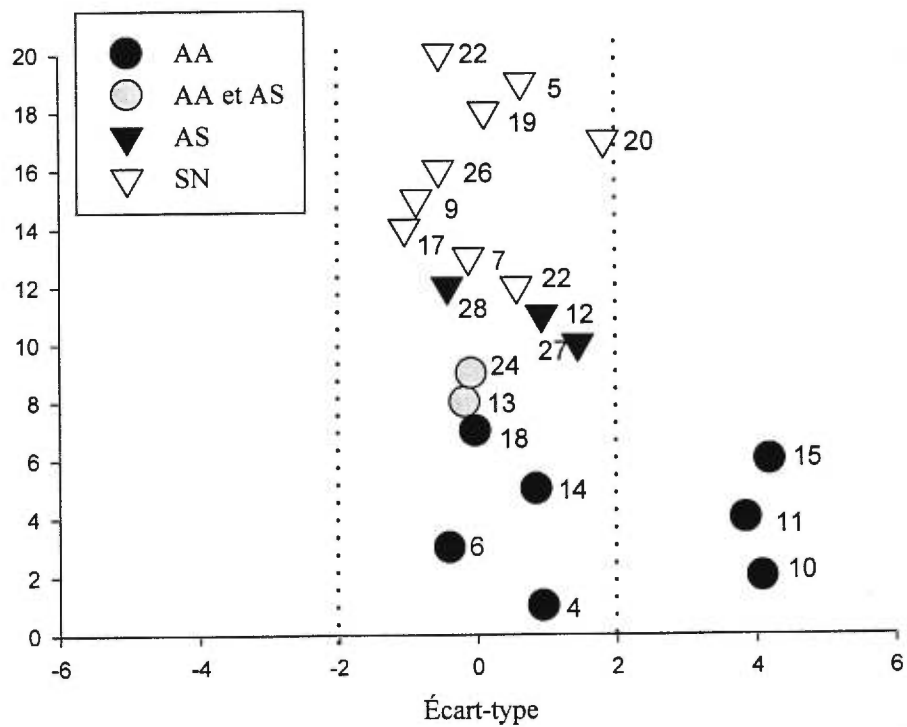


Fig. 29 Cote-Z du temps de réaction pour les trois types d'amblyopie fonctionnelle à la condition de type-M (0,4 c./deg., 3%C.).

3.5.3 *Temps de réaction*

En analysant les cotes-Z du temps de réaction à la condition de type-M (Figure 29), trois des sept AA (sujets no.10,11 et 15) ont un temps de réaction plus long de trois écarts-type et plus par rapport à la moyenne. À la condition de type-P (Figure 30), les trois mêmes AA (sujets no.10,11 et 15) ont également des temps de réaction plus lents à plus de deux écarts-type de la moyenne. Cette fois-ci, il est noté qu'un AS (sujet no.28) et un AS & AA (sujet no.13) ont également des temps de réaction supérieurs à deux écarts-type à la moyenne des cotes-Z.

3.5.4 *Écart-type des temps de réaction*

En observant les cotes-Z de l'écart-type des temps de réaction à la condition de type-M (Figure 31), quatre des sept AA (sujets no.6,11,14 et 15) produisent des temps de réaction beaucoup plus irréguliers que la majorité des résultats des autres sujets. Il est à remarquer qu'en plus d'avoir un écart-type supérieur à la moyenne, les sujets no. 11 et 15, ont également un temps de réaction à plus de deux écarts-type de la moyenne.

À la condition de type-P (Figure 32), le phénomène est encore plus intéressant, puisque tous les AA ont un écart-type supérieur à 2. À noter que les sujets no.10,11 et 15 ont également un temps de réaction supérieur à 2 écarts-type à la moyenne. Pour les autres amblyopes, le sujet AS no.28 et le sujet AA & AS no.13 ont eux aussi, une étendue de réponses supérieures à 2 écarts-type à la moyenne, associées à un temps de réaction à plus de deux écarts-type à la moyenne.

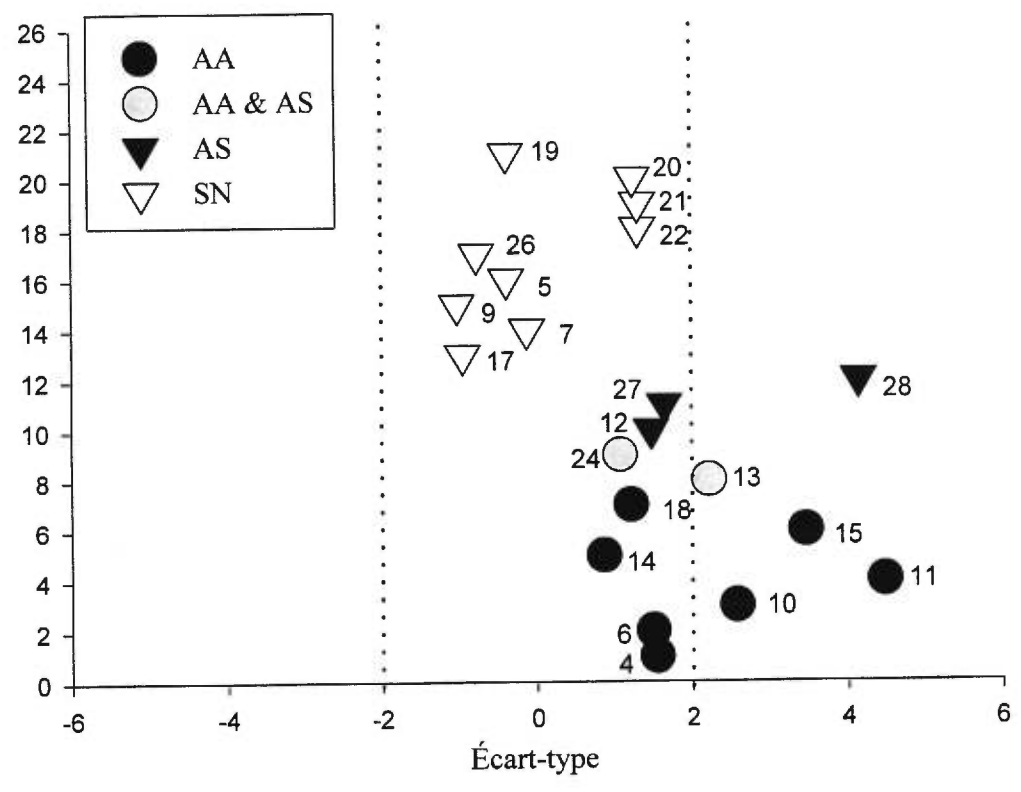


Fig. 30 Cote-Z du temps de réaction pour les trois types d'amblyopie fonctionnelle à la condition de type-P (8 c./deg., 93%C.).

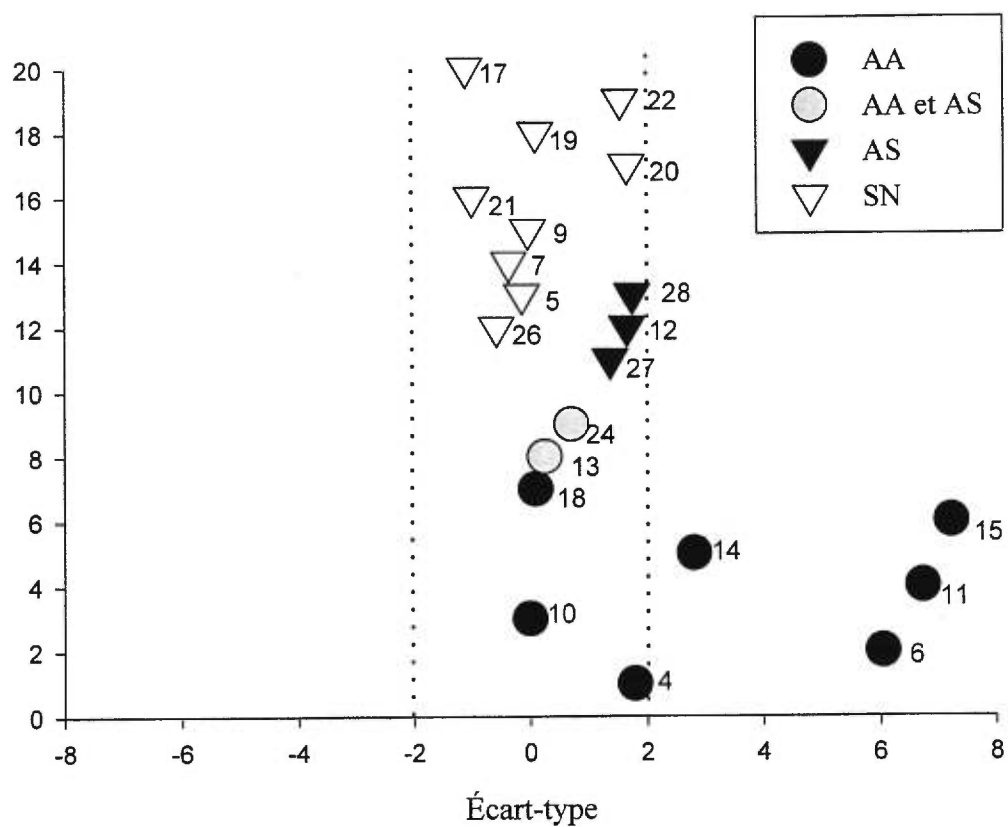


Fig. 31 Cote-Z de l'écart-type du temps de réaction pour les trois types d'amblyopie fonctionnelle à la condition de type-M (0,4 c./deg., 3%C.).

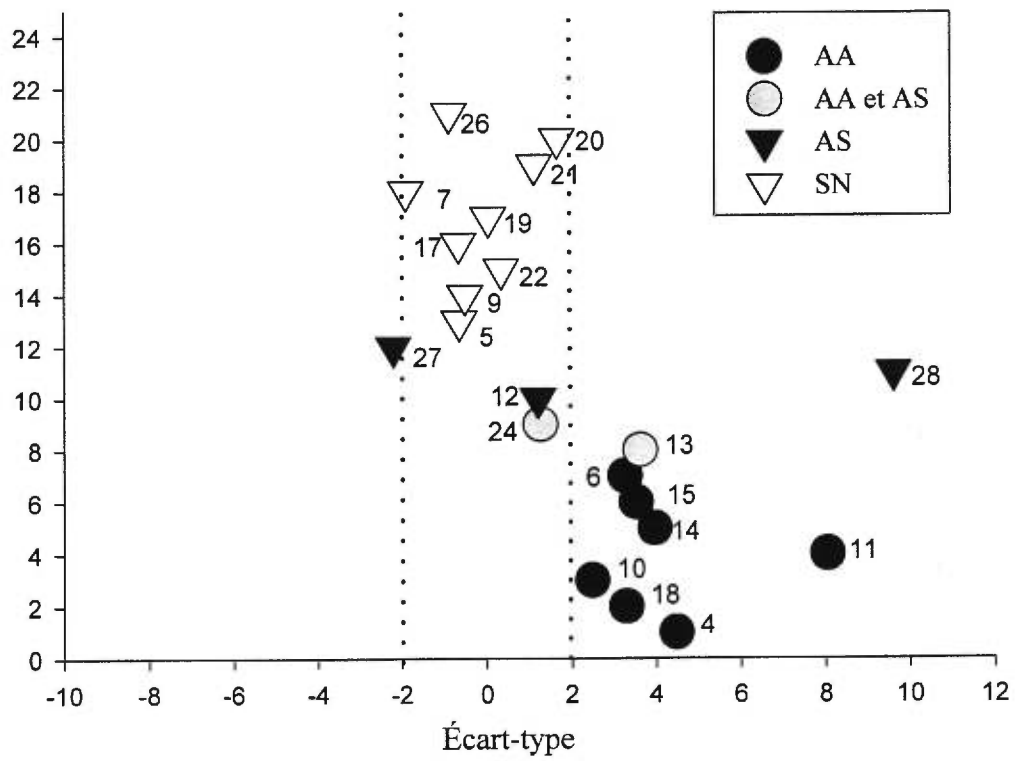


Fig. 32 Cote-Z de l'écart-type du temps de réaction pour les trois types d'amblyopie fonctionnelle à la condition de type-P (8 c./deg., 93%C.).

En résumé, en analysant les résultats dans leur ensemble, il est observé que parmi les sept AA, quatre d'entre eux sont particulièrement affectés. Que ce soit à l'analyse du temps de culmination de l'onde P_{100} , du temps de réaction ou encore de l'écart-type du temps de réaction, l'oeil amblyope des sujets no.10, 11, 14 et 15 est affecté de manière significative (2 écarts-type et plus) à la condition de type-P. L'oeil amblyope des sujets no.10, 11 et 14 montre également une diminution significative ($P < 0,05$) de l'amplitude de l'onde P_{100} pour la condition de type-P. De plus, les sujets no.10, 11 et 15 produisent un temps de réaction très lent (supérieur à 2 écarts-type) pour la condition de type-M. À remarquer que les sujets no.11 et 15 ont tous deux produit des temps de réaction ainsi que des écarts-type supérieurs à la moyenne (2 écarts-type et plus) pour les deux conditions de présentation. Sur les trois sujets AS, le sujet no.28 est le seul pour qui l'oeil amblyope est affecté pour l'ensemble des analyses à la condition de type-P. Et finalement, parmi les deux AA & AS, le sujet no.13 obtient à son oeil amblyope des résultats significativement différents à toutes les analyses effectuées au PEV et au TR à la condition de type-P.

4. DISCUSSION

4.1 *Observations générales*

Comme il est mentionné dans la littérature, l'oeil amblyope ne réagit pas de la même manière aux stimuli visuels, lorsque celui-ci est comparé à l'oeil non-amblyope ou aux yeux des sujets normaux. À l'analyse des résultats obtenus dans cette étude, l'existence d'une anomalie des réponses produites par l'oeil amblyope est constatée. Par la présentation des conditions de type-M et de type-P, les résultats au PEV et au TR démontrent qu'il existe des différences entre la vision de l'oeil amblyope et celle des yeux des sujets normaux.

En faisant le portrait global des résultats obtenus, le temps de culmination de l'onde P_{100} et le temps de réaction sont toujours plus lents (Figures 13 et 15), l'amplitude de l'onde P_{100} est toujours plus faible (figures 14) et l'écart-type du temps de réaction est toujours plus grand (Figure 16) pour l'oeil amblyope que pour les yeux sains des sujets normaux, à la condition de type-P. En effet, que ce soit au PEV ou au TR, toutes les réponses produites par l'oeil amblyope à cette condition sont significativement différentes des réponses produites par les yeux des sujets normaux .

Pour ce qui est des résultats obtenus par les différents groupes d'amblyopes, cette étude fait ressortir des distinctions entre les types d'amblyopie. À l'analyse du temps de culmination, de l'amplitude de l'onde P_{100} et de la distribution du temps de réaction, les résultats des figures 24 à 26 et 28 à 32 montrent que l'oeil amblyope des AA est affecté en présence d'une condition de type-P et de type-M. Pour l'oeil amblyope des AS et des AA & AS, la présence d'un déficit n'est observé que pour la condition de type-P.

Cette anomalie des réponses liée à l'oeil amblyope de tous les types d'amblyopie fonctionnelle, est d'ailleurs particulièrement évidente lors de l'analyse de l'écart-type des temps de réaction à la condition de type-P (Figures 31 et 32). En effet, cette analyse révèle que pour tous les AA, la détection du renversement de l'image par l'oeil amblyope est très variable dans le temps. Tandis que pour les deux autres types d'amblyopie, ce trouble dans la détection de l'inversion du stimulus est réservé à seulement deux sujets (no.13 et 28).

De plus, lors de la présentation d'un stimulus visuel de type-M à l'oeil amblyope des AA, certains d'entre eux démontrent un temps de culmination de l'onde P₁₀₀ significativement lent et une amplitude de l'onde P₁₀₀ significativement plus faible, comparativement aux réponses des sujets normaux. Aux figures 24 et 26, aucun AS ou AA & AS ne démontrent une anomalie de leurs réponses au PEV, pour la condition de type-M. Avec la méthode du TR, il est possible d'affirmer avec beaucoup plus de certitude qu'avec la méthode du PEV, que la réponse de l'oeil amblyope des AA présente un déficit lors de la présentation d'un stimulus de type-M. En effet, tel que montré aux figures 29 et 31, uniquement certains des AA démontrent que leur oeil amblyope est affecté lorsque celui-ci est confronté à la condition de type-M. En effet, parmi tous les groupes d'amblyopes, seuls les AA ont des résultats supérieurs à la normale.

L'oeil amblyope des AA se révèle donc, comme étant beaucoup plus affecté que l'oeil amblyope des autres types d'amblyopie, par la condition de type-M. Par contre, tous les types d'amblyopie obtiennent des résultats similaires à la condition de type-P. En inférant que ces conditions sont représentatives des voies visuelles magnocellulaire et

parvocellulaire, ces résultats révèlent qu'il existe des différences neuronales entre les amblyopes fonctionnels et les sujets normaux, mais également entre les AS et les AA. De plus, ces résultats supposent des altérations neurophysiologiques possibles à chacun des types d'amblyopie.

4.2 *Comparaison entre les courbes de réponses au PEV et au TR*

4.2.1 *Chez les sujets normaux*

La littérature sur la vision des sujets normaux parle de la présence d'une sélectivité spatiale du temps de culmination de l'onde P₁₀₀, pour les fréquences spatiales intermédiaires (Hartwerth & Levi, 1978; Srebro, 1984; Rimmer *et al.*, 1989; Kurita-Tashima, 1991; Jakobsson & Johansson, 1992; Török *et al.*, 1992; McKerral, 1997) et de l'augmentation graduelle des temps de réaction avec l'augmentation des fréquences spatiales, pour la méthode du TR (Breithmeyer, 1975, Lupp *et al.*, 1976; Vassilev & Mitov, 1976; Harwerth & Levi, 1978). Toutefois, ces observations au PEV et au TR peuvent varier selon les stimuli utilisés. En effet, comme le démontre certaines études, la relation entre le PEV et le TR peut être soit linéaire (Hartwell & Cowan, 1993), partiellement linéaire (McKerral *et al.*, 1992, 1997) ou complètement différente (Musselwhite & Jeffreys, 1985).

Ce qui démarque l'expérience de McKerral (1997) des études précédentes, c'est qu'elle évalue les réponses produites par les sujets normaux, par l'intermédiaire d'un enregistrement simultané des réponses obtenues au PEV et au TR. Grâce à ce type d'enregistrement, il a été possible de démontrer que ces deux méthodes interagissent différemment lorsqu'elles sont confrontées aux mêmes stimuli visuels. Donc, ces deux

méthodes peuvent être porteuses de différentes informations sur les voies rétino-corticales. Puisque cet étude désire démontrer si les amblyopes fonctionnels ont un trouble au niveau des voies M et/ou P, l'expérience de McKerral (1997) a été répliquée et évaluée pour savoir si il était possible d'obtenir cette même dissimilitude des résultats au PEV et au TR chez les sujets normaux et chez les amblyopes.

En faisant l'analyse des résultats chez les sujets normaux, il est à remarquer que les courbes ont la même apparence que celles retrouvées au PEV et au TR par McKerral (1997). En effet, à la figure 7, les courbes de réponses au temps de culmination de l'onde P₁₀₀ suggèrent une sélectivité spatiale à 2 c./deg. De plus, les courbes au temps de réaction montrent qu'il y a une augmentation progressive des temps de réaction en fonction des fréquences spatiales (Figure 8).

Par contre, les résultats statistiques au temps de culmination de l'onde P₁₀₀ en fonction des fréquences spatiales démontrent qu'il n'y a pas de sélectivité spatiale à 2 c./deg. (Figure 7). En d'autres mots, les réponses produites à la fréquence spatiale intermédiaire ne sont pas plus rapides que les réponses de la fréquence spatiale à 0,4 c/deg.. Tout comme le démontre les courbes au TR (Figure 8), les résultats statistiques au PEV démontrent plutôt une augmentation des temps de culmination au fur et à mesure de l'augmentation des fréquences spatiales.

Cette expérience ne permet donc pas de prétendre comme McKerral (1997) que les deux méthodes interagissent différemment chez les sujets normaux puisque les réponses au

PEV et au TR, en fonction des fréquences spatiales sont similaires. Compte tenu que la grande majorité des études fait ressortir une sélectivité spatiale au PEV et que les courbes à 3% et 93% de contraste suggèrent une sélectivité à 2c./deg., il est supposé qu'avec un plus grand nombre de sujets normaux, les différences entre les fréquences spatiales pourraient devenir significatives à $P < 0,05$.

4.2.2. *Chez les amblyopes fonctionnels*

En comparant les résultats des sujets normaux, à ceux des amblyopes fonctionnels, il est étonnant de constater la similitude des courbes de réponses obtenues au temps de culmination de l'onde P₁₀₀ et au temps de réaction chez les amblyopes (Figures 11 et 12). Les courbes au PEV et au TR montrent également que les temps augmentent au fur et à mesure que les fréquences spatiales augmentent. Par contre, que les courbes de réponses soient quasi-identiques entre les deux groupes ne signifient pas pour autant que les résultats entre l'oeil préféré et l'oeil amblyope soient similaires. En effet, en comparant les résultats entre les deux groupes, les temps au PEV et au TR pour les deux niveaux de contraste sont plus lents à 0,4 et 2c./deg. et significativement plus lents à 8c./deg chez les amblyopes fonctionnels.

Ce que cette étude voulait démontrer par l'analyse des courbes de réponses au PEV et au TR, est que ces deux méthodes pouvaient apporter des informations complémentaires à propos des voies visuelles M et P (Kubova *et al*, 1995; McKerral, 1997) chez les amblyopes fonctionnels. Mais puisque les résultats statistiques chez les sujets normaux ne suggèrent pas que les deux méthodes pourraient être porteuses de différentes informations

sur les voies rétino-corticales, il est difficile d'interpréter les résultats obtenus chez les amblyopes fonctionnels.

D'un autre côté, puisque cette étude a appliqué les mêmes paramètres que McKerral (1997), et que cette même étude démontre significativement la présence d'une sélectivité spatiale à 2c./deg., il est supposé que l'absence de sélectivité spatiale au PEV chez les amblyopes fonctionnels (Figure 11) pourrait possiblement révéler l'existence de différences entre les deux groupes au niveau des voies visuelles. Et puisque les études de Kubova et al (1995) et McKerral (1997) suggèrent que le PEV pourrait être le reflet de l'activité de la voie parvocellulaire, cette absence de sélectivité pourrait être interprétée comme étant un signe d'un déficit de la voie parvocellulaire chez les amblyopes fonctionnels. Ces affirmations sont évidemment purement spéculatives, mais elles ressemblent fortement aux résultats que nous allons voir dans les prochains paragraphes.

4.3 *Les conditions de type-M et de type-P*

4.3.1 *L'oeil amblyope*

Pour les amblyopes fonctionnels, la condition de type-P est la présentation visuelle la plus problématique. Que ce soit au PEV ou au TR, cette condition permet toujours de différencier l'oeil amblyope des amblyopes, des yeux des sujets normaux. D'ailleurs, la littérature abonde dans le sens d'un déficit de l'oeil amblyope, lorsque celui-ci est confronté à de hautes fréquences spatiales (Hess, Howell & Kitchin, 1978; Hess, 1981; Campos *et al.*, 1984; Sjöstrand, 1981; Bradley & Freeman, 1981; Hess & Pointer, 1985). Il n'est donc pas surprenant de constater que l'oeil amblyope est moins performant, en présence d'une haute

fréquence spatiale. Et c'est ce que cette étude confirme. Tous les résultats sans exception, démontrent la faiblesse de l'oeil amblyope devant la condition de type-P (Figures 10 à 13 et 20). L'hypothèse que la voie parvocellulaire reliée à l'oeil amblyope s'est développée différemment de celle des sujets normaux peut donc être confirmée.

4.4 *Relation entre les propriétés des cellules X et Y et les histogrammes au TR*

À la condition de type-P, les différences significatives entre l'oeil amblyope et les yeux des sujets normaux sont probablement causées par la présentation d'une fréquence spatiale et d'un contraste qui favorisent l'émergence de réponses de la part du système visuel parvocellulaire. Comme il a été mentionné précédemment à propos des propriétés des cellules X et Y chez le chat (Barlow & Levick, 1969, Enroth-Cugell & Robson, 1966; DeMonasterio & Gouras, 1975; Schiller & Malpeli, 1978) et la distribution des temps de réaction chez l'humain (Tolhurst, 1975; Kulikowski & Tolhurst, 1973; Breithmeyer, 1975, Lupp *et al.*, 1976; Vassilev & Mitov, 1976; Legge, 1977; Harwerth *et al.*, 1979; Bowen, 1981, Ueno *et al.*, 1985; McKerral, 1997; Schwartz, 1992), l'utilisation de bons paramètres de présentation favorise l'émergence de réponses des voies M ou P

L'expérience de McKerral (1997) révèle que les conditions de présentation choisies produisent la même distribution de réponses que le patron de décharges des cellules X et Y. Les résultats aux figures 15 et 16 montrent qu'avec la mesure du TR, il est possible de faire une différence dans la distribution des temps de réaction, entre les conditions de type-M et de type-P. À la condition de type-P, les temps de réaction sont beaucoup plus lents (Figure 15) et la variabilité des réponses est beaucoup plus grande (Figure 16) que ceux de la

condition de type-M. Comme l'a déjà mentionné McKerral (1997), cette présente étude confirme également que ces deux conditions sont très révélatrices d'une activité sélective des deux grandes voies visuelles.

4.4.1 La théorie de Barlow & Levick et la population amblyope

Cette constatation n'aurait pas de raison d'être dans cette expérience, si elle ne nous aidait pas à mieux comprendre le fonctionnement des voies visuelles chez la population amblyope. Ne pouvant pas déceler de différences significatives entre les courbes de réponses du PEV et celles du TR, l'analyse de la distribution des temps de réaction fut faite dans le but d'identifier l'impact que produit l'amblyopie fonctionnelle sur le développement des voies visuelles.

Aux figures 15 et 16, les amblyopes produisent un temps de réaction plus lent et une plus grande variabilité dans leur réponse lorsque l'oeil amblyope est confronté à une condition de type-P plutôt qu'à une condition de type-M. La robustesse des deux modèles de distribution des temps de réaction proposés initialement par Barlow & Levick (1969) chez une population amblyope est donc confirmée.

En comparant les résultats des figures 15 et 16 obtenus entre les deux groupes à chacune des conditions, il est observé encore une fois que la condition de type-P pose problème. Comparativement à l'oeil non-amblyope, l'oeil amblyope fait produire un temps de réaction plus long (Figure 15) et une étendue de réponses plus grande (Figure 16) lorsque l'oeil amblyope est en présence de la condition de type-P. Cette découverte n'est

pas très surprenante, mais elle confirme l'hypothèse que la condition de type-P est problématique et apporte une preuve encore plus solide que les amblyopes fonctionnels ont un déficit au niveau de la voie parvocellulaire.

À l'analyse des écarts-types de la figure 16, il est observé qu'il existe une différence significative entre les groupes, pour la condition de type-M. Même si les amblyopes produisent des temps de réaction similaires aux sujets normaux en présence de cette condition, ils produisent cependant, un plus grand écart-type des temps de réaction que celui des sujets normaux. Le fait que l'écart-type soit affecté à la condition de type-M, mais que la moyenne des temps de réaction soit identique à celle des sujets normaux suggère que les amblyopes ont un léger déficit au niveau de la voie magnocellulaire. Toutes ces constatations confirment l'hypothèse que la condition de type-P fait produire un temps de réaction plus long et un écart-type plus grand pour les amblyopes que les sujets normaux. Mais cela révèle également, que la condition de type-M fait produire des temps de réaction irréguliers et significativement différents des sujets normaux.

4.5 *L'analyse de la différence interoculaire*

Pour la différence interoculaire au TR et au PEV, la différence interoculaire à la condition de type-P est plus grande chez les amblyopes que chez les sujets normaux (figures 19, 20 et 23). Également, au temps de culmination et à l'amplitude de l'onde P₁₀₀, la différence entre la réponse de l'oeil amblyope et de l'oeil non-amblyope est beaucoup plus grande que celle des sujets normaux à la condition de type-M. Cette observation est quand même surprenante, puisqu'un bon nombre d'études suggèrent, qu'étant donné que

l'onde P₁₀₀ au PEV est la représentation majeure de l'activité de la fovéa et est fortement dépendante du niveau de contraste de la stimulation, elle est aussi le reflet de l'activité du système parvocellulaire (Kubova et al., 1995; McKerral, 1997).

D'un autre côté, puisque les résultats ne font pas ressortir de différences significatives entre les deux méthodes d'enregistrement employées, il est donc possible d'affirmer que la mesure du PEV est plus représentative de l'activité de la voie parvocellulaire que la TR pour la condition de type-P. Ce basant sur le fait que les réponses au PEV et au TR seraient plutôt modulées par différents aspects du stimulus (McKerral, 1997), il se peut donc que la condition de type-M produise des différences interoculaires importantes au PEV chez les amblyopes fonctionnels.

Ce que ces résultats dévoilent au sujet de l'oeil amblyope est que la condition de type-P est sans contredit, la condition qui cause le plus de difficulté à l'oeil amblyope. Appuyé par de nombreuses études (Hess, Howell & Kitchin, 1978; Hess, 1981; Sjöstrand, 1981; Bradley & Freeman, 1981; Campos *et al.*, 1984; Hess & Pointer, 1985), le système parvocellulaire est celui qui subit le plus l'impact de l'amblyopie fonctionnel.

En somme, les différences obtenues à l'analyse de la différence interoculaire et au TR laisse croire que le système magnocellulaire n'a pas été totalement épargné par l'amblyopie. Toutefois, l'amblyopie fonctionnelle rassemble plusieurs types d'amblyopie. Ce qui est suggéré maintenant, est la possibilité que ces différences retrouvées pour la condition de type-M soient produites par un type d'amblyopie en particulier.

4.6 *Les différents types d'amblyopie fonctionnelle*

Les études qui ont tenté de différencier les AA et les AS ont observé, que l'oeil amblyope des AA avait une perte de sensibilité pour tout le spectre des fréquences spatiales (Hess, Howell & Kitchin, 1978; Hess, 1981; Sjöstrand, 1981; Bradley & Freeman, 1981; Campos *et al.*, 1984; Hess & Pointer, 1985). À partir de cela, il était intéressant de savoir si cette remarquable constance à travers les différentes études, pouvait également transparaître lorsque l'on présente les conditions de type-P et de type-M aux différents groupes d'amblyopes fonctionnels.

Bien que les groupes d'amblyopes ne soient pas équivalents en nombre, il n'en demeure pas moins que ce sont effectivement les AA qui ont une difficulté évidente à détecter le renversement de l'image pour les deux conditions de présentation visuelle. Ce sont en général les AA qui produisent des temps anormalement lents (ou absence de l'onde P₁₀₀) et des amplitudes anormalement faibles à la condition de type-P comparativement aux résultats des autres sujets (Figures 25, 28 et 30).

Donc, sur la base des résultats obtenus, il est possible de différencier les AA des AS avec la mesure du temps de culmination et l'amplitude de l'onde P₁₀₀.

Étant donné que selon la littérature, les deux types d'amblyopie sont affectés de manière similaire à la condition de type-P, le postulat proposé est que seule la condition de type-M pourrait distinguer les AA des AS au temps de réaction,. Comme il est possible de le voir à la figure 29, seuls certains AA ont des temps de réaction significativement plus

longs que ceux des sujets normaux. Il est donc possible de distinguer les deux types d'amblyopie fonctionnelle, par l'intermédiaire de cette condition. Par contre, pour la condition de type-P, il y a sept amblyopes fonctionnels sur douze qui obtiennent des temps à l'intérieur de deux écarts-type à la moyenne. Donc, la condition de type-P au TR ne permet pas de différencier complètement les types d'amblyopie fonctionnelle et ne permet pas de confirmer l'hypothèse que tous les amblyopes fonctionnels ont un trouble en présence de cette condition de présentation.

Un fait à noter au temps de réaction est que les trois mêmes AA (sujets no. 10, 11 et 15) produisent un temps de réaction très lent aux deux conditions (Figures 29 et 30). À l'étude des dossiers cliniques de chacun de ces sujets, ni l'âge ou la réfraction de leur oeil amblyope ne permet d'isoler l'élément pouvant expliquer cette dissension dans le groupe des AA. Le seul point unissant les sujets no. 10, 11 et 15 est la similitude de leur acuité visuelle. Et encore, il ne peut expliquer la lenteur des temps de réaction puisque deux autres AA (sujets no.4 et 6) possèdent une acuité visuelle similaire à ces trois amblyopes et sont à l'intérieur de 2 écarts-type.

Un autre point venant supporter le fait que l'acuité visuelle n'est pas reliée aux les performances des amblyopes est qu'avec une acuité de 20/60, un sujet devrait théoriquement être en mesure de percevoir des fréquences spatiales plus basses que 5 c./deg. Malgré cela, les trois sujets no.10, 11 et 15 n'obtiennent pas à la condition de type-M, des temps de réaction dans les limites de la normale. De plus, il est également difficile de comprendre pourquoi les sujets AA no.4 et 6, qui ont respectivement des acuités

visuelles de 20/30 et 20/60 réussissent eux, à détecter l'inversion d'une stimulation de type-P. En considérant ces faits, il n'y a donc pas de raisons de croire que les performances des amblyopes au PEV ou au TR sont reliées à l'acuité visuelle.

L'âge aurait pu être un autre facteur pouvant influencer les résultats. Mais en comparant les performances du sujet AA no.10 âgé de 48 ans, avec ceux des sujets AA no.11,14 et 15 âgés de 8 et 9 ans, il n'est donc pas possible de conclure, en regard des résultats obtenus, que les performances du sujet no. 10 sont toujours inférieurs à celles des plus jeunes sujets AA. Il est donc difficile d'établir à partir des informations obtenues, pourquoi certains amblyopes se démarquent des autres amblyopes fonctionnels.

Bien que l'on puisse noter des différences entre les AA et les AS au temps de culmination, à l'amplitude de l'onde P_{100} et au temps de réaction, cette distinction entre les groupes est encore plus évidente, lorsque l'on analyse l'écart-type des temps de réaction (Figure 33). En effet, c'est là que se trouve la plus grande différence entre les AA et les AS. Pour plus de 50% des AA, la condition de type-M fait produire de grandes variations dans les réponses, comparativement à celles des sujets normaux, alors qu'aucun des AS ne produit la même anomalie de réponses devant cette même condition de présentation. De plus, les réponses de l'oeil amblyope des sept AA démontrent un écart-type du temps de réaction significativement différent des sujets normaux, pour la condition de type-P. Par contre, chez les AS, un seul amblyope (sujet no.28) démontre ce même résultat au temps de réaction. En analysant l'écart-type du temps de réaction à la condition de type-M, il est

donc possible de distinguer les deux types d'amblyopie et de conclure qu'un bon nombre de AA se démarque aisément des AS aux conditions de type-M et de type-P.

Par contre, étant donné le petit nombre de sujets dans le groupe des AS, il est difficile d'affirmer sur la base du temps de réaction, que les AS ont un trouble évident devant une condition de type-P ou de type-M. Donc la condition de type-P devient problématique lorsque l'acuité visuelle de l'oeil amblyope est très basse. En effet, le seul AS (sujet no 28) répertorié comme ayant des résultats supérieurs à deux écarts-type de la moyenne, pour la condition de type-P est en fait, le seul AS à détenir une acuité visuelle de 20/200 à son oeil amblyope. Suivant la logique, il sera attendu que la faible acuité visuelle de l'oeil amblyope de ce AS provoque également une difficulté dans la perception de la condition de type-M, mais ce n'est pas le cas. En fait, peu importe le niveau d'acuité visuelle, aucun des AS évalués ne démontrent des temps de réaction ou des écarts-type supérieurs à ceux des sujets normaux.

Un des types d'amblyopie pour lequel il n'y a pas beaucoup d'informations dans la littérature, est l'amblyopie causée à la fois par de l'anisométrie et par un strabisme (AA & AS). Ce qui se dégage pour ce type d'amblyopie est que, leurs résultats au PEV et au TR sont similaires à ceux des AS. En fait, les résultats d'un des deux AA & AS sont presque identiques aux résultats des AS. Contrairement à l'amblyope AA & AS no.18 qui ne présente presque pas de déficits visuels, l'amblyope AA & AS no.13 obtient pour chacune des analyses faites au PEV et au TR, des différences significatives à la condition de type-P comparativement aux sujets normaux (Figures no.26, 28, 30 et 32). Les causes de cette

divergence des résultats avec son homologue amblyope sont également très difficile à comprendre. À l'observation des informations cliniques (Tableau no.2), l'acuité visuelle et la réfraction de l'oeil amblyope du sujet no 13 sont meilleures que celles de l'amblyope no 18. Il est bien évident qu'aucune conclusion ne peut être tirée pour l'ensemble des AA & AS, à partir des résultats obtenus chez seulement deux AA & AS. À vrai dire, pour dresser un portrait satisfaisant du comportement de l'oeil amblyope des AA & AS, un nombre beaucoup plus élevé de sujets devrait être sélectionné. Malgré l'insuffisance du nombre de sujets, cette étude permet tout de même, d'informer sur l'orientation des réponses que peut donner l'oeil amblyope des amblyopes par anisométrie et par strabisme.

Finalement, il est possible de distinguer les AA des AS grâce aux deux méthodes d'enregistrements, ainsi qu'avec les conditions de type-M et de type-P. Même si il existe une inégalité dans le nombre d'amblyopes par groupe, l'oeil amblyope des AA est quand même le seul à démontrer un déficit à la fois à la condition de type-M et de type-P. Appuyés par la littérature, les résultats de la condition de type-M sont donc l'élément-clé qui permet de différencier les amblyopes par anisométrie, de ceux par strabisme.

4.7 *Conclusion*

En faisant le portrait global des résultats obtenus dans cette étude, l'amblyopie fonctionnelle a un impact négatif sur le développement des voies visuelles M et P. En règle générale, les amblyopes ont un déficit perceptuel plus marqué lorsqu'ils sont confrontés à une condition de type-P. Mais les AA ont également un trouble perceptif en regard de la condition de type-M. En fait, puisque ces conditions sont représentatives des systèmes M

et P, il est à supposer que la voie parvocellulaire est celle qui subit le plus, les effets négatifs de la perte d'acuité visuelle causée par du strabisme ou de l'anisométrie au cours de son développement. De plus, il semble que contrairement au strabisme, l'anisométrie produit également des déficits développementaux de la voie magnocellulaire. Donc, les voies visuelles ne sont pas affectées de manière équivalente, chez les amblyopes fonctionnels. Tout semble être fonction du type d'amblyopie fonctionnelle.

5. RÉFÉRENCES

- Adler, F.H. (1987). *Physiology of the eye: clinical application*. 8th edition. R.A. Moses & Hart W.M., The C.V. Mosby company. Washington, 709p.
- Arden, G.B., Barnard, W.M. & Mushi, A.S. (1974). Visually evoked responses in amblyopia. *BR.J.Ophthalmol.* 58(3), 183-192.
- Barbeito R, Bedell, H.E., Flom, M.C., Simpson T.L. (1987). Effects of luminance on the visual acuity of strabismic and anisometropic amblyopes and optically blurred normals. *Vision Research*, 27(9), 1543-1549.
- Barbeito R, Bedell HE, Flom MC (1988) Does impaired contrast sensitivity explain the spatial uncertainty of amblyopes? *Invest Ophthalmol Vis Sci* Feb;29(2):323-6
- Barlow HB, Levick WR (1969) Changes in the maintained discharge with adaptation level in the cat retina. *J Physiol (Lond)* Jun;202(3):699-718
- Beneish, R., Lachapelle, P., Polomeno, R.C. & Lake, N. (1990). Pattern VEP differences in strabismic and anisometropic amblyopia. *Clinical Vision Sciences*, 5, 271-283.
- Blakemore, C. (1976). The conditions required for the maintenance of binocularity in the kitten's visual cortex. *J. Physiology*, 261, 423-444.
- Bobak P, Bodis-Wollner I, Guillory S (1987) The effect of blur and contrast on VEP latency: comparison between check and sinusoidal and grating patterns. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* Jul;68(4):247-55
- Bowen RW (1981) Latencies for chromatic and achromatic visual mechanisms. *Vision Res*;21(10):1457-66
- Boycott BB, Wässle H (1974) The morphological types of ganglion cells of the domestic cat's retina. *J Physiol (Lond)* Jul;240(2):397-419
- Bradley A, Freeman RD (1981) Contrast sensitivity in anisometropic amblyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* Sep;21(3):467-76
- Breitmeier, B.G. (1975). Simple reaction time as a measure of the temporal response properties of transient and sustained channels. *Vision research*, 15, 1411-1412.
- Campos, C.E., Prampoloni, M.L. & Gulli, R. (1984). Contrast-sensitivity differences between strabismic and anisometropic amblyopia: objective correlate by means of visual evoked responses. *Documenta Ophthalmologica*, 58, 45-50.
- Casagrande VA (1994) A third parallel visual pathway to primate area V1. *Trends Neurosci* Jul;17(7):305-10

- Crawford M.L, von Noorden G.K (1979) The effects of short-term experimental strabismus on the visual system in *Macaca mulatta*. *Invest Ophthalmol Vis Sci* May;18(5):496-505
- Crewther DP, Crewther SG (1990) Neural site of strabismic amblyopia in cats: spatial frequency deficit in primary cortical neurons. *Exp Brain Res*;79(3):615-22
- DeMonasterio, F.M. & Gouras, P. (1975). Functional properties of ganglion cells of the rhesus monkey retina. *Journal of Physiology (London)*, 251, 167-195.
- Desimone R, Schein SJ, Moran J, Ungerleider LG (1985) Contour, color and shape analysis beyond the striate cortex. *Vision Res*;25(3):441-52
- De Valois KK, De Valois RL, Yund EW (1979) Responses of striate cortex cells to grating and checkerboard patterns. *J Physiol (Lond)* Jun;291:483-505
- DeYoe, E.A. & Van Essen, D.C. (1988). Concurrent processing streams in monkey visual cortex. *Trends in neuroscience*, 11, 219-226.
- Dowling, J.E.(1987). The retina: an approachable part of the brain. The Belknap Press of Harvard University Press. England, 281p.
- Dreher B, Fukada Y, Rodieck RW (1976) Identification, classification and anatomical segregation of cells with X-like and Y-like properties in the lateral geniculate nucleus of old-world primates. *J Physiol (Lond)* Jun;258(2):433-52
- Eggers, H.M. & Blakemore, c. (1978). Physiological basis of anisometric amblyopia. *Science*, 201, 264-267.
- Enroth-Cugell, C. & Robson, J.G. (1966). The contrast sensitivity of retinal ganglion cells of the cat. *Journal of Physiology (London)*, 187, 517-552.
- Farah MJ, Brunn JL, Wong AB, Wallace MA, Carpenter PA (1990) Frames of reference for allocating attention to space: evidence from the neglect syndrome. *Neuropsychologia*;28(4):335-47
- Felleman, D.J. & Van Essen, D.C. (1991). Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cerebral Cortex*, 1, 1-47.
- Flom, M.C., Bedell, H.E., (1985). Identifying amblyopia using associated conditions, acuity, and nonacuity features. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.* 62(3), 153-160.
- Goodale MA, Milner AD, Jakobson LS, Carey DP (1991) A neurological dissociation between perceiving objects and grasping them. *Nature* Jan 10;349(6305):154-6

- Hamasaki, D.I. & Flynn, J.T. (1981). Amblyopic eyes have longer reaction time. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 21, 846-853.
- Hammarrenger, B, ElleMBERG, D, Leporé, F, Roy MS., Guillemot, JP.(1999) *VEPs reveal two distinct mechanisms in human vision resembling magnocellular and parvocellular activity*. *Investigative Ophthalmology Visual Science*, march 15, volume 40, no 4 p.S823.
- Hartwell, R.C. & Cowan, J.D. (1993) Evoked potentials and simple motor reaction times to localised visual patterns. *Vision Research*, 33, 1325-1337.
- Levi, D.M. & Hartwerth, R.C. (1978),. Reaction time as a measure of suprathreshold grating detection. *Vision Research*, 17, 571-575.
- Hess RF, Howell ER (1978) The luminance-dependent nature of the visual abnormality in strabismic amblyopia. *Vision Res*;18(8):931-6
- Hess RF, Howell ER, Kitchin JE (1978) On the relationship between pattern and movement perception in strabismic amblyopia. *Vision Res*;18(4):375-7
- Hess RF (1979) Contrast sensitivity assessment of functional amblyopia in humans. *Trans Ophthalmol Soc U K*;99(3):391-7
- Hess, R.F, Campbell, F.W., Zimmern, R. (1980). Differences in the neural basis of human amblyopias: the effect of mean luminance. *Vision Research*, 20(4), 295-305.
- Hess, R.F.& Bradley A., (1980). Contrast perception above threshold is only minimally impaired in human amblyopia. *Nature*, 287(5781), 463-464.
- Hess RF, Pointer JS (1985) Differences in the neural basis of human amblyopia: the distribution of the anomaly across the visual field. *Vision Res*;25(11):1577-94
- Hubel DH, Wiesel TN, LeVay S (1977) Plasticity of ocular dominance columns in monkey striate cortex. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* Apr 26;278(961):377-409
- Hubel DH, Wiesel TN (1970) The period of susceptibility to the physiological effects of unilateral eye closure in kittens. *J Physiol (Lond)* Feb;206(2):419-36
- Ikeda H, Wright MJ (1975) The latency of visual cortical neurones in area 17 in the cat to visual stimuli with reference to the sustained (X) and transient (Y) and 'simple' and 'complex' cell classification. *J Physiol (Lond)* Feb;245(2):114P-115P
- Ikeda, H. & Wright, M.J. (1976). Properties of LGN cells in kittens reared with convergent squint: a neurophysiological demonstration of amblyopia. *Experimental Brain Research*, 25, 63-77.

- Ikeda H, Plant GT, Tremain KE (1977) Nasal field loss in kittens reared with convergent squint: neurophysiological and morphological studies of the lateral geniculate nucleus. *J Physiol (Lond)* Sep;270(2):345-66
- Ikeda H, Tremain KE (1978) Amblyopia resulting from penalisation: neurophysiological studies of kittens reared with atropinisation of one or both eyes. *Br J Ophthalmol* Jan;62(1):21-28
- International Society for Clinical Electrophysiology of Vision (ISCEV), (1995), Standard for visual evoked potentials, final draft. 7p.
- Jakobsson, P. & Johansson, B. (1992). The effect of spatial frequency and contrast on the latency of the visual evoked potential. *Documenta Ophthalmologica*, 79, 187-194.
- Jasper H.H (1958), The ten-twenty electrode system of the international federation. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol*, 10:371-375.
- Jeannerod, M.(1994). The hand and object: the role of posterior parietal cortex in forming motor representations. *Can.J. Physio.Pharmacol.* 72, 535-541.
- Jones R, Keck MJ (1978) Visual evoked response as a function of grating spatial frequency. *Invest Ophthalmol Vis Sci* Jul;17(7):652-9
- Kandel GL, Grattan PE, Bedell HE (1977) Monocular fixation and acuity in amblyopic and normal eyes. *Am J Optom Physiol Opt* Sep;54(9):598-608
- Kandel E.R., Schwartz J.H. & Jessel, T.M. 1991 Phototransduction and information processing in the retina, dans *Principles of neural science*, third edition, Connecticut, Appleton & Lange, p.400-417.
- Kaplan, E. & Shapley, R. M. (1986). The primate retina contains two types of ganglion cells, with high and low contrast sensitivity. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 83,2755-2757.
- Katz LM, Levi DM, Bedell HE (1984) Central and peripheral contrast sensitivity in amblyopia with varying field size. *Doc Ophthalmol* Dec 15;58(4):351-73
- Kiorpes L, Kiper DC, Movshon JA (1993) Contrast sensitivity and vernier acuity in amblyopic monkeys. *Vision Res* Nov;33(16):2301-11
- Kohler et al (1995). Dissociation of pathways for object and spatial vision; a PET study in humans. *Cognitive neuroscience and neuropsychology*. 6(14), 1865-1868.
- Kubova, Z. & Kuba, M. (1992). Clinical application of motion-onset visual evoked potentials. *Doc. Ophthalmol.* 81, 209-218.

- Kubova, Z., Kuba, M. Spekreijse, H. & Blakemore, C. (1995). Contrast dependence of motion-onset and pattern-reversal evoked potentials. *Vision Research*, 35, 197-205.
- Kubova Z, Kuba M, Hrochova J, Sverak J (1996-97) Motion-onset visual evoked potentials improve the diagnosis of glaucoma. *Doc Ophthalmol*;92(3):211-21
- Kulikowski JJ, Tolhurst DJ (1973) Psychophysical evidence for sustained and transient detectors in human vision. *J Physiol (Lond)* Jul;232(1):149-62
- Kurita-Tashima S, Tobimatsu S, Nakayama-Hiromatsu M, Kato (1991) Effect of check size on the pattern reversal visual evoked potential. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* May-Jun;80(3):161-6
- Legge, G.E. (1977). Sustained and transient mechanisms in human vision: temporal and spatial properties. *Vision Research*, 18, 69-81.
- Lennie P (1980) Parallel visual pathways: a review. *Vision Res*;20(7):561-94
- LeVay S, Wiesel TN, Hubel DH (1980) The development of ocular dominance columns in normal and visually deprived monkeys. *J Comp Neurol* May 1;191(1):1-51
- Levi DM (1975) Patterned and unpatterned visual evoked responses in strabismic and anisometropic amblyopia. *Am J Optom Physiol Opt* Jul;52(7):455-64
- Levi DM, Klein SA (1985) Vernier acuity, crowding and amblyopia. *Vision Res*;25(7):979-91
- Levi, D.M. & Manny, (1982). The pathophysiology of amblyopia: electrophysiological studies. *Annals NY Acad. Sciences*, 77, 243-263.
- Livingstone MS, Hubel DH (1982) Thalamic inputs to cytochrome oxidase-rich regions in monkey visual cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A* Oct;79(19):6098-101
- Lupp U, Hauske G, Wolf W Perceptual latencies to sinusoidal gratings. *Vision Res* 1976;16(9):969-72
- Maier, J. Dagnelie, G. Spekreijse, H. & Van Dijk, B.W. (1987). Principal components analysis for source localisation of VEPs in man. *Vision Research*, 27(2), 165-177.
- Mauguiere F, Brudon F (1984) Visual evoked potentials (VEP's) obtained by black and white or red and black checkerboard inversion. Results in healthy subjects and in

- multilocular sclerosis patients. *Rev Electroencephalogr Neurophysiol Clin* Jun;14(1):53-60
- McKerral, M. , Lachapelle, P. & Benoit, J. (1992). Comparative effects of luminance and scatter on the pattern visual evoked potential and eye-hand reaction time. *Documenta Ophthalmologica*, 79, 177-185.
- McKerral, M (1997). Évaluation fonctionnelle des voies visuelles rétino-corticales chez l'humain normal et amblyope à l'aide des techniques de potentiel évoqué visuel et de temps de réaction. *Thèse de doctorat*, Université de Montréal, Montréal.
- McKerral M, Polomeno RC, Lepore F, Lachapelle P (1999) Can interocular pattern reversal visual evoked potential and motor reaction time differences distinguish anisometropic from strabismic amblyopia? *Acta Ophthalmol Scand* Feb;77(1):40-4
- Mishkin, M., Ungerleider, L.G. & Macko, k.A. (1983). Objet vision and spatial vision : Two cortical pathways. *Trends in Neuroscience*, 6, 414-417.
- Movshon, J.A. Eggers, H.M. & Gizzi, M.S. (1987). Effects of early unilateral blur on the macaque'' visual system. III. Physiological observations. *Journal of Neuroscience*, 7, 1340-1351.
- Merigan WH, Maunsell JH (1990) Macaque vision after magnocellular lateral geniculate lesions. *Vis Neurosci* Oct;5(4):347-52
- Merigan, W.H. Katz, L.M. & Maunsell, JHR. (1991). The effects of parvocellular lesions on the acuity & contrast sensitivity of macaque monkeys. *Journal of Neuroscience*, 11(4), 994-1001.
- Musselwhite & Jeffreys, (1985) The influence of spatial frequency on the reaction times and evoked potentials recorded to grating pattern stimuli. *Vision Research*, 25,1545-1555.
- Odom, J.V. (1991). Amblyopia and clinical electrophysiology. Dans Heckenlively, J.R. & Arden, G.B. (eds), Principles and practice of clinical electrophysiology of vision (p.589-593). St-Louis: Mosby Year Book.
- Oken BS, Chiappa KH, Gill E (1987) Normal temporal variability of the P100. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* Mar;68(2):153-6
- Parker DM, Salzen EA, Lishman JR (1982) Visual-evoked responses elicited by the onset and offset of sinusoidal gratings: latency, waveform, and topographic characteristics. *Invest Ophthalmol Vis Sci* May;22(5):675-80

- Perenin MT, Vighetto A (1988) Optic ataxia: a specific disruption in visuomotor mechanisms. I. Different aspects of the deficit in reaching for objects. *Brain* Jun;111 (Pt 3):643-74
- Ratcliff G, Davies-Jones GA (1972) Defective visual localization in focal brain wounds. *Brain*;95(1):49-60
- Regan, D. (1989). Clinical application of visual evoked potentials. Dans Regan,D.(ed), *Human brain electrophysiology* (p. 507-554). New York: Elsevier Science Publishing Co.
- Riddoch MJ, Humphreys GW (1987) A case of integrative visual agnosia. *Brain* Dec;110 (Pt 6):1431-62
- Rigal, R. (1987) Motricité humaine: fondements et applications pédagogiques. Presses de l'Université de Québec, Sainte-Foy.
- Rimmer S, Iragui V, Klauber MR, Katz B (1989) Retinocortical time exhibits spatial selectivity. *Invest Ophthalmol Vis Sci* Sep;30(9):2045-9
- Roy M.S. et al, (1994). Human strabismus: evaluation of the interhemispheric transmission time and hemiretinal differences using a reaction time task. *Behavioral Brain Research*, 62, 63-70.
- Rubin, S.E. & Nelson, L.B. (1993). Amblyopia, Diagnosis and Management. *Pediatric Ophthalmology*, 40, 727-735.
- Schwartz, S.H. (1992). Reaction time distributions and their relationship to the transient/sustained nature of the neural discharge. *Vision Research*, 32, 2087-2092.
- Schwartz, S.H. & Loop (1982). Evidence for transient luminance and quasi-sustained color mechanisms. *Vision Research*. 22, 445-447.
- Sengpiel, F & Blakemore, C, (1996). The neural basis of suppression and amblyopia in strabismus. *Eye*, 10, 250-258.
- Sherman SM, Watkins DW, Wilson JR (1976) Further differences in receptive field properties of simple and complex cells in cat striate cortex. *Vision Res*;16(9):919-27
- Sherman, S.M. (1985). Functional organization of the W-,X-, and Y-cell pathways in the cat: a review and hypothesis. *Prog. Psychobiol. and Physiol. Psychol.* 11, 233-314.
- Schiller, P.H. & Malpeli, J.G. (1978). Functional specificity of lateral geniculate nucleus laminae of the rhesus monkey. *J. of neurophysiology*, 41(3), 788-797.

- Schneider, G.E. (1967). Contrasting visuomotor functions of tectum and cortex in the golden hamster., *Psychol. Forsch.* 31(1), 52-62.
- Sireteanu R, Singer W, Fronius M, Greuel JM, Best J, Fiorentini A, Bisti S, Schiavi C, Campos E (1993) Eye alignment and cortical binocularity in strabismic kittens: a comparison between tenotomy and recession. *Vis Neurosci* May-Jun;10(3):541-9
- Sjöstrand, J. (1981). Contrast sensitivity in children with strabismic and anisometropic amblyopia. A study of the effect of treatment. *Acta Ophthalmologica*, 59(1), 25-34.
- Sokol S (1976) Visually evoked potentials: theory, techniques and clinical applications. *Surv Ophthalmol* Jul-Aug;21(1):18-44
- Sokol, S. (1980). Abnormal evoked potential latencies in amblyopia. *British journal of Ophthalmol.* 67, 310-314.
- Sokol S, Moskowitz A (1981) Effect of retinal blur on the peak latency of the pattern evoked potential. *Vision Res*;21(8):1279-86
- Srebro R (1984) Visually evoked potentials in eccentrically and centrally fixing amblyopes. *Br J Ophthalmol* Jul;68(7):468-71
- Stanford LR, Sherman SM (1984) Structure/function relationships of retinal ganglion cells in the cat. *Brain Res* Apr 16;297(2):381-6
- Teichner WH, Krebs MJ, Laws of the simple visual reaction time. *Psychol. Rev.* 1972 79(4), p.344-58.
- Tobimatsu S, Kurita-Tashima S, Nakayama-Hiromatsu M, Kato M (1993) Effect of spatial frequency on transient and steady-state VEPs: stimulation with checkerboard, square-wave grating and sinusoidal grating patterns. *J Neurol Sci* Aug;118(1):17-24
- Tolhurst, D.J. (1975). Sustained and transient channels in human vision. *Vision Research*, 15, 1151-1155.
- Trevarthen, C.B. (1968). Two mechanisms of vision in primates. *Psychol. Forsch.* 31(4), 299-348.
- Ueno T, Pokorny J, Smith VC (1985) Reaction times to chromatic stimuli. *Vision Res*;25(11):1623-7

- Ungerleider, L.G. & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In *Analysis of visual behavior* D.J. Ingle M.A. Goodale, RJW. Mansfield. eds. (MIT Press, Cambridge, MA, 1982) p.549-586.
- Vaegan & Taylor D (1979) Critical period for deprivation amblyopia in children. *Trans Ophthalmol Soc U K*;99(3):432-9
- Van Essen, D.C., Anderson, C.H & Felleman, D.J. (1992) Information processing in the primate visual system: an integrated systems perspective. *Science*, 255, 419-423.
- Vassilev, A. Manahilov, V Mitov, D.(1983). Spatial frequency and the pattern onset-offset response. *Vision Research*, 23(12), 1417-1422.
- Vassilev, A. & Mitov, D (1975). Perception time and spatial frequency. *Vision Research*, 16, 89-92.
- Vaughan HG Jr, Costa LD, Gilden L (1966) The functional relation of visual evoked response and reaction time to stimulus intensity. *Vision Res* Dec;6(12):645-56
- von Noorden, G.K. (1961). Reaction time in normal and amblyopic eyes. *Arch. of Ophthalmol.* 66, 695-701.
- von Noorden G.K, Dowling JE, Ferguson D.C. (1970) Experimental amblyopia in monkeys. I. Behavioral studies of stimulus deprivation amblyopia. *Arch Ophthalmol* Aug;84(2):206-14
- von Noorden, G.K. (1974). Factors involved in the production of amblyopia. *British Journal of Ophthalmology*, 58, 158-164.
- von Noorden G.K, Crawford M.L (1978). Morphological and physiological changes in the monkey visual system after short-term lid suture. *Invest Ophthalmol Vis Sci* Aug;17(8):762-8
- von Noorden G.K, Middleditch P.R (1975) Histology of the monkey lateral geniculate nucleus after unilateral lid closure and experimental strabismus: further observations. *Invest Ophthalmol* Sep;14(9):674-83
- von Noorden, G.K, Crawford MLJ & Levacy, R.A. (1983) the lateral geniculate nucleus in human anisometric amblyopia. *Ass. for Research in Vision and Ophthalmol.*, 24, 788-790.
- von Noorden G.K (1985) Amblyopia: a multidisciplinary approach. Proctor lecture. *Invest Ophthalmol Vis Sci* Dec;26(12):1704-16

- von Noorden, G.K, Crawford M.L.J (1992). The lateral geniculate nucleus in human strabismic amblyopia. *Inv. Opht. & Visual Sc.* 33, 2729-2732.
- Wanger, P. & Nilsson, B.Y.(1978). Visual evoked responses to pattern-reversal stimulation in patients with amblyopia and/or defective binocular functions. *Acta Ophthalmologica.* 56, 617-627.
- Wiesel, T.N. & Hubel, D.H. (1963). Single-cell responses in striate cortex of kittens deprived of vision in one eye. *Journal or Neurophysiology*, 26, 1003-1017.
- Wiesel, T.N. (1982) Postnatal development of the visual cortex and the influence of environment. *Nature*, 299, 583-591.
- Zeki, S. & Shipp,S. (1988) . The functional logic of cortical connections. *Nature*, 335 (22),311-317.

6. ANNEXE



FORMULE DE CONSENTEMENT

NOM:

PRÉNOM:

ADRESSE:

TÉLÉPHONE:

RÉFÉRÉ PAR:

"ÉTUDE COMPARATIVE SUR LES PEV ET LES TEMPS DE RÉACTION"

Les techniques utilisées dans la mesure des potentiels évoqués visuels et des temps de réaction m'ont été expliquées en détail par le Dr. P. Lachapelle. Toutes les questions que j'avais à l'esprit (risques possibles, durée de l'enregistrement, etc.) furent discutées à ma satisfaction. Aucune pression ne fut utilisée (explicitement ou implicitement) dans le but d'influencer ma décision. Je suis conscient(e) que, quelle que soit ma décision, la qualité des soins que je suis en droit d'attendre ne sera modifiée en aucune façon.

En foi de quoi, je _____, accepte/accepte que
_____ participe à cette étude.

PATIENT

et/ou

DATE: _____

PÈRE, MÈRE, OU TUTEUR

DATE: _____

PERSONNE OBTENANT LE CONSENTEMENT

DATE: _____

TÉMOIN

Pierre Lachapelle, Ph.D.
Dept. of Ophthalmology (D-289)
2300 Tupper Street, Montreal, Quebec, Canada H3H 1P3
Tel.: 934-4400 Loc. 3890 Fax: 934-4331

7. REMERCIEMENTS

J'aimerais tout d'abord remercier mon directeur de recherche, M. Franco Leporé, pour m'avoir donné la chance de faire cette maîtrise en sa compagnie. Sans ses qualités de médiateur, sa grande patience et son aide précieuse tout au long de mes études, rien n'aurait pu être réalisable. Merci pour avoir été toujours disponible et compréhensif à mon égard.

J'aimerais également remercier mon codirecteur de recherche, M. Pierre Lachapelle pour m'avoir prêté les locaux et l'équipement nécessaires à la réalisation de cette étude ainsi que pour m'avoir introduit au PEV. Merci pour m'avoir apporté un support financier et m'avoir permis de participer à de nombreuses activités scientifiques.

Un très grand merci au Dr. Bob Polomeno de l'Hôpital de Montréal pour Enfants pour m'avoir référé tous les sujets amblyopes nécessaires à la réalisation de cette étude.

Et j'aimerais remercier tout spécialement M. Jean-Paul Guillemot qui fut pour moi, un excellent conseiller. Par sa disponibilité, ses conseils judicieux et sa bienveillance, il a su me donner le courage dont j'avais besoin, pour terminer cette maîtrise et en débiter une autre... Merci pour tout.

J'aimerais remercier du plus profond de mon coeur, mes parents, qui du début jusqu'à la fin ne m'ont jamais lâché. Tout au long de ma folle aventure, ils ont été ma référence, mes supports, mes confidents. Et surtout des parents qui m'ont toujours laissé libre de réaliser mes folies, mes bêtises, et qui ont eu la patience de me relever et de me donner la force d'en faire d'autres... Merci Mom de m'avoir appris à foncer. Merci Papou

de m'avoir appris à être patiente, et d'avoir sauvé mes données par miracle, du plus profond de l'abîme.

Et comment oublier mes deux mousquetaires préférés! Sans Bénédicte et Julie, mes deux copines infernales, je n'aurais pas eu autant de plaisir à venir au labo. Merci à vous deux, de m'avoir enduré pendant deux ans et d'avoir fait de mes années à Montréal, une des périodes les plus folles de ma vie.

Je tiens également à remercier Marie, mon amie de toujours, a qui j'ai infligé durant trois années, les hauts et les bas de ma personnalité et de mes études. Merci d'avoir été mon petit réconfort provenant du Saguenay.

Et j'aimerais remercier Eric Massicotte et Stéphane Monfort pour leur amitié et pour avoir toujours été disponibles et prêts à m'aider pour résoudre mes gros problèmes informatiques. Un gros merci également à Suzanne Lamothe pour son aide précieuse tout au long de mes études.

Finalement, j'aimerais remercier tous mes amis du labo de Marie-Victorin et de l'Hôpital de Montréal pour Enfants qui m'ont aidé durant mes études, en particulier les gens du département d'informatique de HME. Et un merci tout spéciale à Raquel Beneish, Olga Dembinska, Justine Dassa et Michelle McKerral pour leurs conseils, leur aide et leur amitié sincère.