

# Etude des propriétés temporelles et spatiales du système visuel chez l'enfant par potentiels évoqués visuels stationnaires

Application à la mesure du pouvoir séparateur

X. ZANLONGHI<sup>(1)</sup>, J. CHARLIER<sup>(3)</sup>, S. DEFOORT-DHELLEMMES<sup>(2)</sup>, J.C. HACHE<sup>(2)</sup>,  
X. BOCQUET<sup>(3)</sup>, F. LEROY<sup>(2)</sup>

**Résumé.** L'utilisation d'une nouvelle technique de Potentiels Evoqués Visuels (PEV) stationnaires avec analyse fréquentielle en temps réel permet, à partir de l'étude de l'amplitude du PEV en fonction de la taille des damiers d'une part, et de l'étude du PEV en fonction de la fréquence temporelle d'autre part, de donner avec une bonne précision une mesure d'acuité visuelle objective. Cette nouvelle technique a été utilisée chez 60 enfants de moins de 10 ans, soit sur 115 yeux. Les PEV stationnaires ont permis de donner une acuité visuelle dans 31 cas sur 34 yeux normaux, et dans 42 cas sur 81 yeux pathologiques.

**Mots-clés :** Potentiels Evoqués Visuels; Acuité; Vision enfant; Transformé de Fourier; PEV stationnaire.

**Temporal/spatial properties of the child system of vision by stationary visual evoked response studies.**  
**Application to measurement of separating power**

**Summary.** The use of a new technique of Steady State Visual Evoked Potential (SSVEP) with a discrete Fourier transform performed in real time permitted to assess the infant visual acuity. Data are presented to illustrate the testability of acuity assessed by SSVEPs with clinical populations of preverbal and verbal normal and pathological infants. This new technique was used in 60 infants (115 eyes) SSVEP provided an estimation of visual acuity in 31 out of 34 normal eyes and in 42 out of 81 pathological eyes.

**Key-words :** Visual Evoked Potential; Steady-State; Fourier analysis; Infants, Acuity.

## INTRODUCTION

L'étude du système visuel de l'enfant pose de réels problèmes de méthodes, de techniques et d'interprétation des résultats des examens complémentaires, en particulier en ce qui concerne les Potentiels Evoqués Visuels (PEV). En effet, il s'agit d'un système sensoriel en développement (1).

Si les PEV par flash sont toujours réalisables chez l'enfant (2), il n'en va pas de même de l'utilisation d'image structurée ou pattern (en pratique des damiers noirs et blancs) (3). Cependant, la possibilité d'utiliser des damiers permet d'obtenir des informations plus fines sur l'état des fonctions visuelles comme celles concernant le pouvoir séparateur (4).

Les différents auteurs utilisent chez l'enfant soit des stimulations de fréquences lentes (PEV transitoire) (5), soit des stimulations de fréquences rapides (PEV stationnaire encore appelé steady-state dans la littérature anglo-saxonne) (6, 7).

L'utilisation d'une nouvelle technique de PEV de type stationnaire avec analyse fréquentielle en temps réel (8) permet de pratiquer des PEV par damiers même chez le nourrisson (9).

Il nous semble intéressant de rapporter notre expérience de l'utilisation depuis 1 an de cette technique de PEV stationnaire en clinique ophtalmo-pédiatrique quotidienne, comme aide à la mesure du pouvoir séparateur sur une série de 64 enfants normaux et pathologiques âgés de 1 mois à 10 ans.

(1) Laboratoire d'explorations fonctionnelles de la vision, Clinique Sourdielle, F 44000 Nantes.

(2) Service d'explorations fonctionnelles de la vision, Hôpital B, F 59037 Lille Cedex.

(3) INSERM, U 279, 1, rue du Pr Calmette, F 59800 Lille.

Congrès de la SFO, séance du mercredi 10 mai 1989.

Tirés à part : X. Zanlonghi, 3, place A.-France, F 44000 Nantes.

## RAPPEL

Les PEV sont des signaux générés par des stimulations visuelles et recueillis au niveau du cortex occipital au moyen d'électrodes cutanées. Il en existe deux grands types :

- Les PEV transitoires obtenus avec des stimulus visuels répétés à des intervalles longs (10). Le système visuel a le temps de revenir à son état de base entre chaque stimulation. En pratique clinique, on s'intéresse

Fig 1 a : PEV TRANSITOIRE (durée 1 mn)

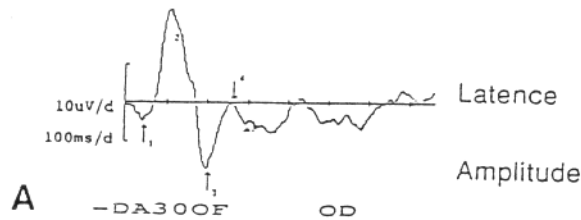


Fig 1 b : PEV STATIONNAIRE par ACCUMULATION (durée 1 mn)

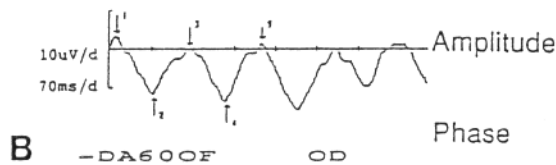


Fig 1 c : PEV STATIONNAIRE en TEMPS REEL (durée 12 s)

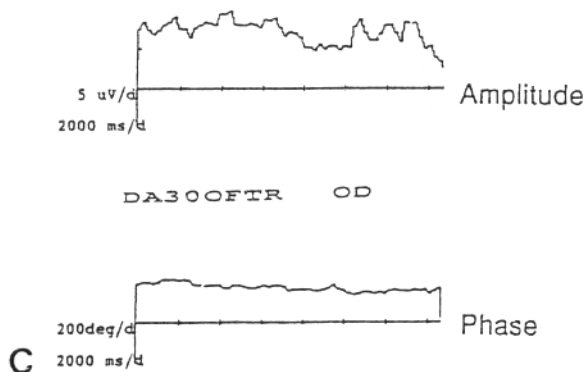


FIG. 1 a, b, c. — Enfant de 6 ans, acuité 10/10. 3 techniques de PEV de type ON-OFF.

FIG. 1 a. — PEV transitoire, damier de 30', fréquence de stimulation 1 Hz.

FIG. 1 b. — PEV stationnaire par accumulations, damier de 60', fréquence de stimulation 10 Hz.

FIG. 1 c. — PEV stationnaire avec analyse fréquentielle en temps réel, damier de 30', fréquence de stimulation 5 Hz.

essentiellement au pic positif situé vers 100 ms appelé P100 (fig. 1 A).

- Les PEV stationnaires sont obtenus avec les mêmes stimulus visuels mais répétés à brefs intervalles, empêchant le système visuel de revenir à son état de base. Il en résulte une série d'ondes d'activité électrique identique, de même fréquence que les stimulus visuels (11) (fig. 1 B).

Deux grandeurs nous intéressent dans l'étude des PEV stationnaires :

- L'amplitude des réponses évoquées. Elle est exprimée en microvolts ( $\mu\text{V}$ ).

- La phase qui exprime le décalage temporel entre la stimulation et la réponse. Cette valeur est cyclique et prend des valeurs entre  $0^\circ$  et  $360^\circ$ .

Techniques d'analyse des PEV stationnaires :

Deux techniques d'extraction du signal sont possibles (12) :

- La première est la méthode classique de sommation-moyennage.

- La seconde consiste à filtrer le signal à la fréquence de stimulation (première harmonique) pour une stimulation par flash ou par damier de type « ON-OFF » (c'est-à-dire apparition courte de quelques dizaines de millisecondes d'un damier, suivie de la présentation d'une plage grise de même luminance moyenne pendant une durée plus ou moins longue).

Le filtrage peut être effectué de façon analogique (13), ou numérique (14) par utilisation de la transformée de Fourier. Nous utilisons le filtrage numérique en temps réel qui permet d'afficher l'amplitude et la phase des PEV stationnaires sur l'écran de contrôle (15) (fig. 1 C). Les avantages de cette méthode sont le contrôle en temps réel de l'attention de l'enfant et la rapidité des mesures.

## POSITION DU PROBLÈME

Les propriétés spatiales du système visuel de l'enfant se modifient avec l'âge (16). En effet, pour une même taille de damier\* présenté à l'enfant, l'amplitude du PEV sera différente selon l'âge.

L'utilisation des PEV, en faisant varier la taille des damiers pour mesurer le pouvoir séparateur, est pratiquée depuis plusieurs années (4, 17). Il était tentant d'appliquer cette technique chez l'enfant. Mais les auteurs ont tous noté la difficulté d'obtenir une acuité visuelle par PEV transitoires par damiers chez les jeunes enfants essentiellement en raison de la durée des mesures (11, 18, 19). C'est la principale raison de l'utilisation de stimulations rapides (13).

Mais l'utilisation des PEV stationnaires pose le problème du choix de la fréquence de stimulation (20, 21), qui se situe le plus souvent entre 3 et 12 Hz. La meilleure reproductibilité du PEV est obtenue pour une fréquence entre 3 et 6 Hz (22). Regan (21) conseille de

\* Par souci de simplification nous parlerons ici en taille angulaire de damier. Il existe une correspondance entre la taille angulaire d'un damier et sa fréquence spatiale. Par exemple, un damier vu sous un angle de 30 minutes correspond à une fréquence spatiale de 1 cycle par degré.

pratiquer plusieurs fréquences temporelles par taille de damier, mais ceci a pour inconvénient de rallonger la durée des mesures.

L'étude des propriétés temporelles du système visuel de l'enfant permet également d'apprécier son pouvoir séparateur. En effet, l'amplitude des PEV varie avec la fréquence temporelle utilisée (23). Sokol (24) montre que le maximum d'amplitude pour une taille de damier de 48' se situe à 6 Hz chez l'adulte et à 10 Hz chez des nourrissons de 4 à 6 mois. Il est cependant difficile de calculer un pouvoir séparateur à partir de la courbe amplitude/fréquence temporelle pour une taille de damier (25).

D'autres techniques plus complexes de PEV stationnaires peuvent être utilisées pour raccourcir les temps d'examen. Certains auteurs (26) utilisent en même temps 3 tailles de damier à 3 fréquences temporelles différentes. Chaque amplitude correspondant à chaque taille de damier est extraite par transformée de Fourier. D'autres auteurs utilisent un balayage de fréquence spatiale ou « Sweep PEV » (27).

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Deux protocoles différents ont été utilisés pour l'estimation du pouvoir séparateur par PEV stationnaire avec analyse fréquentielle en temps réel chez l'enfant.

Le premier protocole utilise les propriétés spatiales du système visuel. En effet l'amplitude du PEV stationnaire de type ON-OFF (durée de la présentation du damier = 40 ms) varie avec la taille des damiers.

Une acuité visuelle objective (28) est déduite de la courbe amplitude du PEV en fonction de la taille des damiers.

Nous utilisons 5 tailles de damiers réparties entre 352' et 7' de taille angulaire, selon l'âge de l'enfant (tableau I) et selon sa pathologie (tableau II). Il faut au minimum 2 tailles de damier (par exemple 31' et 15') avec un PEV stationnaire interprétable pour en déduire un pouvoir séparateur. La fréquence de stimulation est de 5 Hz. Le contraste des damiers noirs et blancs est de 98 % (29). La durée de ce protocole pour un œil est plus de 1 minute 30 secondes. La figure 2 est un exemple de PEV stationnaire avec analyse fréquentielle en temps réel obtenu chez un nourrisson âgé de 2 mois ayant un examen ophtalmologique normal.

Le deuxième protocole utilise les propriétés temporelles du système visuel. Pour une même stimulation (ici un damier de 62'), l'amplitude du PEV varie avec la fréquence de stimulation. On en déduit également un pouvoir séparateur. Nous utilisons 9 fréquences temporelles entre 5 et 25 Hz. La durée de ce protocole est de 2 minutes 30 secondes par œil. La figure 3 est un exemple de PEV stationnaire avec analyse fréquentielle en temps réel en faisant varier la fréquence temporelle, obtenu chez un enfant de 6 ans dont l'acuité est de 10/10.

Ces deux protocoles de PEV stationnaires ont été comparés à l'étude des réflexes psychovisuels chez les nourrissons, à la mesure de l'acuité visuelle par optotype chez les enfants de plus de 33 mois, au PEV transitoire par flash systématiquement pratiqué, aux tests de poursuite visuelle de mires structurées (30, 31) (méthode psychophysique de mesure du pouvoir séparateur utilisable chez des nourrissons), au PEV transitoire par damier pratiqué après l'âge de 14 mois. Tous les PEV transitoires et stationnaires par damier ainsi que les tests de poursuite ont été pratiqués avec une correction optique lorsque celle-ci était nécessaire.

TABLEAU I. — Indiquant en fonction de l'âge les distances d'examen et la correspondance retenue entre le plus petit damier ayant donné un PEV stationnaire analysable et l'acuité visuelle objective.

Age distance œil-écran	> à 3 ans 1,40 m	1 à 3 ans 1 m	3 mois-1 an 80 cm	< à 3 mois 50 cm
Taille de damier	7' (4/10)	11' (3/10)	13' (2/10)	22' (1,5/10)
	15' (2/10)	22' (1,5/10)	27' (1/10)	44' (1/15)
	31' (1/10)	44' (1/15)	55' (1/20)	88' (1/30)
	62' (1/20)	88' (1/30)	110' (1/40)	176' (1/60)

TABLEAU II. — Résumant les pathologies en nombre d'yeux. En cas de poly pathologie nous n'avons retenu que la plus grave.

Pathologies	Atrophie optique	Nystagmus	Amblyopie	Cataracte congénitale	HTIC
Groupe 3	16	5	9	2	2
Groupe 4	2	4	7	-	12

Suite du tableau II

Pathologies	Colobome choro-rétinien	Cécité corticale	Retard psychomoteur	Rétinopathie des prématurés
Groupe 3	2	4	10	2
Groupe 4	-	-	4	-

HTIC : hypertension intracrânienne par tumeur intracrânienne.

L'ensemble des tracés de PEV stationnaire ont été interprétés sans connaître ni l'acuité visuelle de l'enfant, ni sa pathologie.

L'implantation de cette nouvelle technique de PEV stationnaire a été effectuée sur un appareil existant, le **Moniteur Ophtalmologique**. Cette implantation a nécessité le développement d'un logiciel de filtrage numérique en temps réel, l'utilisation d'un microprocesseur rapide et d'un disque dur. Le tube vidéo générant les damiers est à balayage de 100 Hz avec une luminance moyenne de 35 cd/m<sup>2</sup>.

Pour le premier protocole, 60 enfants de 1 mois à 10 ans, soit 115 yeux, ont été étudiés dont 34 yeux normaux et 81 yeux pathologiques. Tous les enfants ont eu un examen ophtalmologique complet comprenant, en plus de l'acuité, une étude de la réfraction, un examen en lampe à fente et un fond d'œil.

Quatre groupes différents ont été constitués :

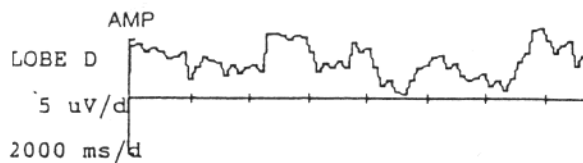
**Groupe 1** : 13 yeux normaux chez des enfants de moins de 2,5 ans où la mesure de l'acuité visuelle par optotype n'a pas été possible.

**Groupe 2** : 21 yeux normaux chez des enfants entre 2,5 ans et 10 ans où cette mesure a été possible.

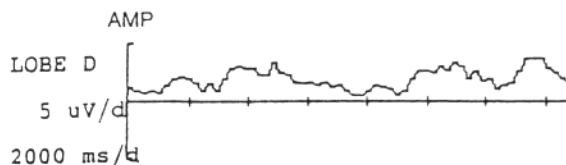
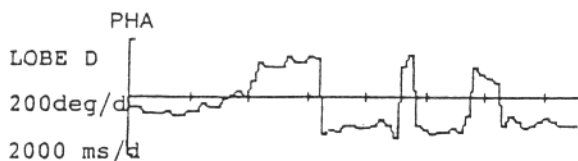
**Groupe 3** : 52 yeux anormaux chez des enfants où la mesure de l'acuité visuelle par optotype n'a pas été possible.

**Groupe 4** : 29 yeux anormaux chez des enfants où cette mesure a été possible.

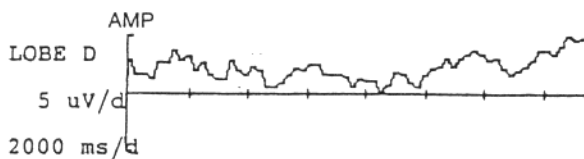
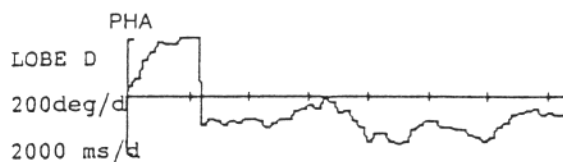
Le deuxième protocole (fig. 6) a été réalisé en binoculaire chez 3 enfants normaux et dans 1 cas pathologique chez un

**Damier de 220' ON-OFF BI**

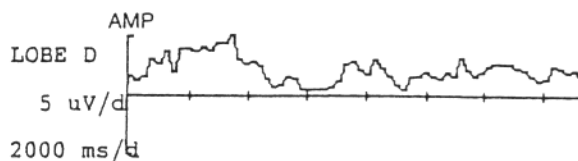
STIMUL=5 Hz ANALYS=5 Hz

**Damier de 110' ON-OFF BI**

STIMUL=5 Hz ANALYS=5 Hz

**Damier de 55' ON-OFF BI**

STIMUL=5 Hz ANALYS=5 Hz

**Damier de 27' ON-OFF BI**

STIMUL=5 Hz ANALYS=5 Hz

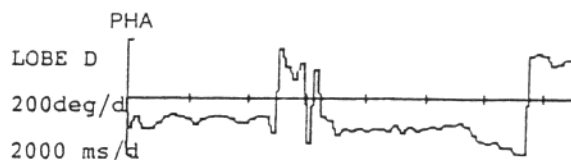


FIG. 2. — Enfant de 2 mois ayant un examen ophtalmologique normal et un comportement visuel normal. PEV stationnaire en binoculaire. Il existe une réponse pour les damiers de taille : 220', 110', 55' et 27'. L'acuité visuelle est d'au minimum 1/10.

enfant ayant un œdème papillaire secondaire à une hypertension intracrânienne réduisant sa vision à 3/10.

## RÉSULTATS

### Groupe 1

Il comprend 8 enfants, soit 13 yeux normaux dont l'âge se situe entre 1 mois et 33 mois. Tous ont un PEV transitoire par flash normal pour l'âge. Les PEV transitoires par damier n'ont été possibles que pour une seule taille (120') dans 2 cas, dont l'âge était respectivement de 14 et 17 mois. Les PEV stationnaires par damier ont pu être pratiqués dans 13 cas. Pour un enfant âgé de 10 mois, les tracés en monoculaire sont ininterprétables alors qu'en binoculaire ils ont été possibles et donnent une acuité supérieure à 2/10. Pour les 11 autres yeux, les PEV stationnaires ont été possibles pour au minimum 3 tailles de damier, permettant ainsi d'estimer

un pouvoir séparateur se situant entre 1/30 à l'âge de 1 mois et 4/10 à l'âge de 2,5 ans.

Les tests de poursuite ont été réalisés dans 8 cas. Ils sont ininterprétables dans 2 cas (âge 1 mois). Ils sous-évaluent fortement l'acuité dans 2 cas (âge 2 mois). Ils permettent une estimation du pouvoir séparateur dans 2 cas alors que les PEV stationnaires sont ininterprétables et donnent la même estimation que les PEV stationnaires dans les 4 autres cas.

### Groupe 2

Il comprend 15 enfants, soit 21 yeux normaux, dont l'âge se situe entre 32 mois et 9 ans et demi. Tous avaient en monoculaire au minimum 8/10, Rossano 2. Tous ont un PEV transitoire par flash normal.

Pour les enfants dont l'âge se situe entre 32 et 51 mois, soit pour 7 yeux, les PEV transitoires par damier sont ininterprétables dans 2 cas (âge : 32 et 41

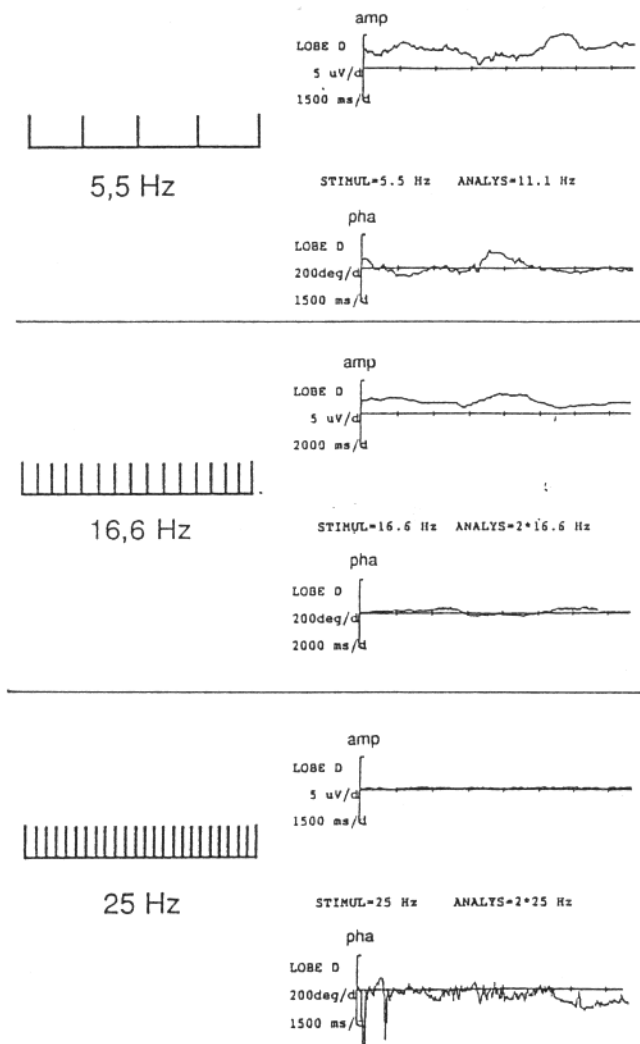


FIG. 3. — Variation de la fréquence temporelle PEV stationnaire avec analyse fréquentielle en temps réel.

■ Damier de 62' par renversement, la fréquence temporelle varie entre 5 et 25 Hz. Enfant de 6 ans, acuité de 10/10.

mois), une seule taille de damier est interprétable (125') dans 2 cas, 2 tailles de damiers sont interprétables (125' et 31') dans 3 cas. Les PEV stationnaires par damier n'ont pas été pratiqués dans 1 cas en raison de pleurs, ont été possibles pour toutes les tailles de damiers jusqu'à 15 minutes dans 1 cas, donnant une acuité supérieure à 2/10, et jusqu'à 7' dans 5 cas, donnant une acuité supérieure à 4/10.

Pour les enfants dont l'âge se situe entre 56 mois et 10 ans, soit 14 yeux, les résultats des PEV transitoires donnent : 2 tailles de damiers possibles dans 12 cas (damiers 125' et 31' dans 2 cas, et damiers 62' et 15' dans 10 cas), 3 tailles de damiers possibles dans 2 cas (damiers 62', 15', 7').

Les PEV stationnaires par damier ont été possibles dans tous les cas jusqu'à une taille de damier de 7' donnant ainsi une acuité visuelle objective d'au minimum 4/10

### Groupe 3

Il comprend des enfants présentant des pathologies diverses (*tableau II*) dont l'âge se situe entre 4 mois et 8 ans, soit 52 yeux. La mesure de l'acuité visuelle par optotype n'a pas été possible.

Les PEV transitoires par flash ont toujours été réalisés. Ils sont normaux dans 23 cas, présentent un retard de latence du pic P100 dans 11 cas, un aspect immature dans 13 cas et sont ininterprétables dans 5 cas.

Les PEV transitoires par damier n'ont pas été effectués chez les enfants de moins de 22 mois (22 cas) et chez un enfant de plus de 22 mois. Ils sont ininterprétables quelle que soit la taille de damier dans 20 cas. Une seule taille de damier a été possible dans 5 cas, 2 tailles de damier dans 4 cas. Les PEV stationnaires par damier n'ont pas été effectués dans 1 cas en raison de pleurs. Ils sont ininterprétables pour toutes les tailles de damier dans 16 cas, ont été possibles pour une seule taille de damier dans 17 cas, pour plusieurs tailles de damier dans 18 cas, permettant ainsi de donner une acuité visuelle objective dans ces 18 cas (*fig. 4*).

Le *tableau III* donne la comparaison des différentes techniques ainsi que le nombre d'acuités visuelles objectives obtenues par PEV stationnaire en fonction des pathologies.

### Groupe 4

Il s'agit d'enfants présentant des pathologies diverses (*tableau II*) dont l'âge se situe entre 41 mois et 10 ans, soit 29 yeux où la mesure de l'acuité visuelle par optotype a été possible.

LES PEV transitoires par flash ont toujours été réalisés. Ils sont normaux dans 23 cas, présentant un retard de latence du pic P100 dans 6 cas.

Les PEV transitoires par damier n'ont pas été effectués dans 2 cas, sont ininterprétables quelle que soit la taille de damier dans 10 cas, une seule taille de damier a été possible dans 5 cas, 2 tailles de damier ont été possibles dans 12 cas.

Les PEV stationnaires par damier sont ininterprétables pour toutes les tailles de damier dans 4 cas, ont été possibles pour une seule taille de damier dans 1 cas, pour plusieurs tailles de damier dans 24 cas, permettant ainsi de donner une acuité visuelle objective dans ces 24 cas (*fig. 5*).

Le *tableau IV* donne la comparaison des différentes techniques de PEV dans l'estimation du pouvoir séparateur.

### Résultats du deuxième protocole

Les enfants normaux (*fig. 6*) n° 1 et 3 présentent le maximum d'amplitude à 5,5 Hz (21) avec une diminution vers les hautes fréquences temporelles. Par contre, l'enfant pathologique n° 4 et l'enfant normal n° 2 ont des courbes très proches.

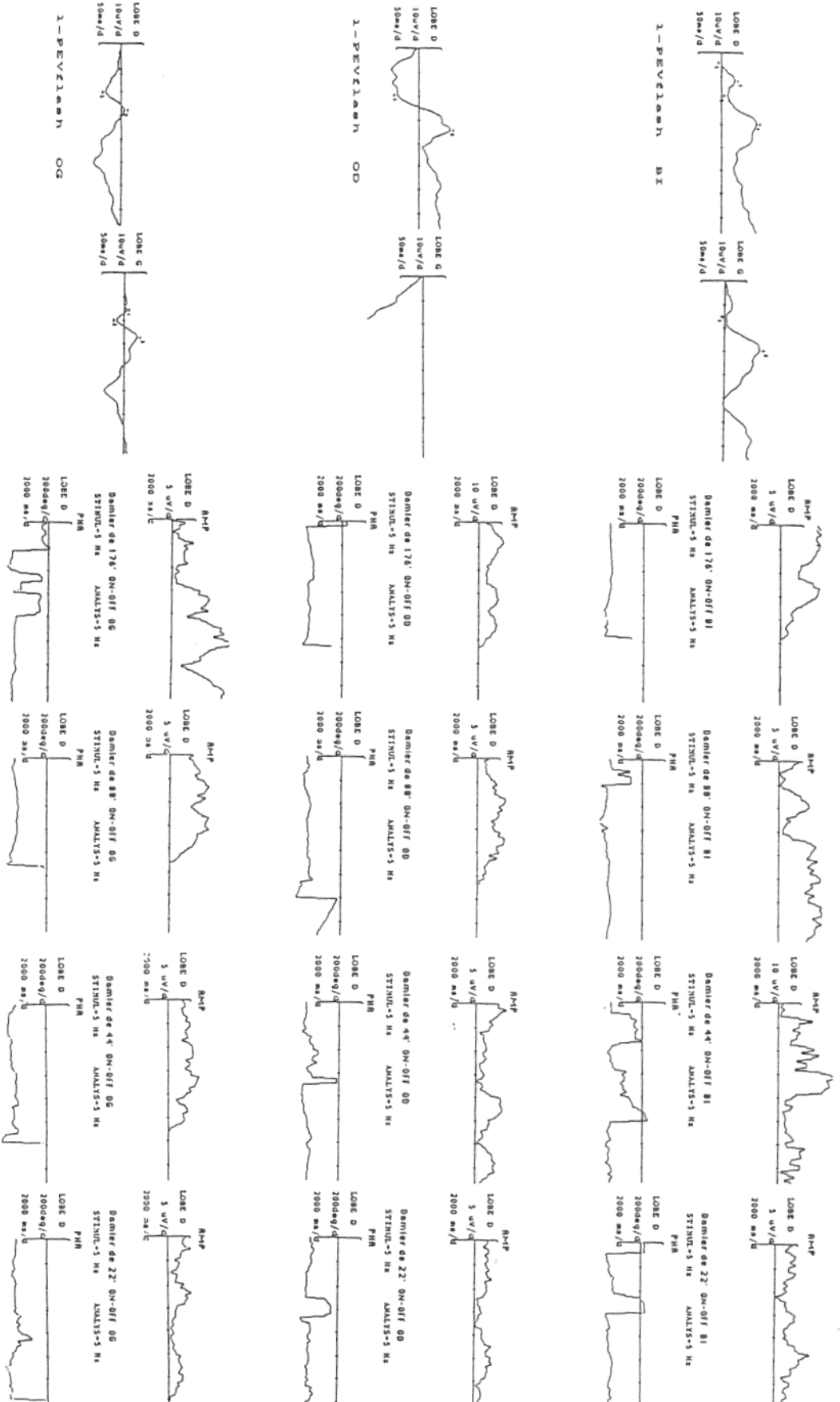


FIG. 4. — Enfant de 9 ans et demi présentant un retard psychomoteur important associé à un strabisme convergent alternant. Aucune mesure d'acuité visuelle subjective n'a été possible. Les PEV transitoires par flash montrent une réponse présente en binoculaire (BI), par stimulation de l'œil droit (OD), mais de mauvaise qualité car l'enfant a arraché une électrode pendant l'acquisition, et par stimulation de l'œil gauche (OG) (l'enregistrement au niveau des 2 lobes notés LD et LG est présenté dans cet exemple).

Les PEV stationnaires montrent en binoculaire une réponse pour les tailles de dernier 176°, 88°, 22°, par stimulation de l'œil droit pour les derniers 178°, 88°, 44°, 22°, par stimulation de l'œil gauche pour les derniers 178°, 88°, 44°, 22°. Cette nouvelle technique de PEV permet de préciser que l'acuité visuelle objective est au minimum de 1.5/10 à droite et à gauche et qu'il n'y a pas d'amblyopie unilatérale. Seul les enregistrements au niveau du lobe droit (noté LD) sont ici présentés.

TABLEAU III. — Groupe 3, soit 52 yeux. Comparaison des PEV transitoires par flash, par damier, des PEV stationnaires par damier, de la poursuite en fonction des pathologies.

N : normal, R : retardé, IM : immature, IN : ininterprétable, NF : non fait. Pour les PEV transitoires et stationnaires par damier, est indiqué le plus petit damier donnant un PEV interprétable. Pour la poursuite est indiquée la plus petite taille de barres suivies par l'enfant. La colonne d'acuité visuelle objective donne le nombre de fois où les PEV stationnaires nous ont permis de répondre (cad minimum 2 tailles de damier interprétable).

Pathologies	PEV transitoire par flash	PEV transitoire par damier	Poursuite	PEV stationnaire par damier	Acuité visuelle objective
Atrophie optique 16 yeux	IM : 8 R : 7 N : 1	IN : 10 NF : 6	88' : 1 IN : 3 NF : 12	31' : 1 44' : 1 62' : 1 88' : 1 176' : 6 220' : 1 IN : 5	3
Nystagmus 5 yeux	N : 5	15' : 2 NF : 3	11' : 3 IN / 2	7' : 2 22' : 1 352' : 1 IN : 1	3
Amblyopie 9 yeux	N : 3 R : 4 IN : 2	31' : 2 125' : 1 IN : 4 NF : 2	11' : 2 IN : 5 NF : 2	15' : 2 88' : 1 125' : 1 220' : 1 IN : 4	3
Cataracte congénitale opérée 2 yeux	N : 2	NF : 2	NF : 2	220' : 1 IN : 1	0
HIC 2 yeux	N : 2	IN : 2	NF : 2	62' : 1 IN : 1	1
Colobome chorio-rétinien 2 yeux	N : 2	125' : 2	NF : 2	31' : 1 62' : 1	2
Cécité corticale 4 yeux	M : 1 IN : 3	NF : 4	IN : 4	IN : 3 220' : 1	0
Retard psycho-moteur 10 yeux	N : 6 IM : 4	60' : 2 IN : 4 NF : 4	IN : 2 NF : 8	11' : 2 31' : 1 62' : 1 125' : 1 220' : 4 IN : 1	5
Rétinopathie des prématurés 2 yeux	N : 2	NF : 2	11' : 2	31' : 1 NF : 1	1

## DISCUSSION

Le but de cette étude était triple :

- D'une part, vérifier sur une série suffisante d'enfant, la faisabilité de cette nouvelle technique de PEV stationnaire par rapport au PEV transitoire par flash et par damier.

- D'autre part, vérifier que l'estimation du pouvoir séparateur chez l'enfant par variation de la taille des damiers est fiable et apporte une aide réelle au clinicien.

- Enfin, vérifier si l'étude des réponses temporelles peut être utile dans l'estimation de ce même pouvoir séparateur.

Pour le premier point, dans les groupes 1 et 2 d'enfants normaux, seuls 2 cas sont ininterprétables, et dans un seul cas les PEV stationnaires ont dû être arrêtés en raison de pleurs. Par contre, les PEV transitoires par damiers sont pratiquement toujours

ininterprétables avant l'âge de 2 ans, sont possibles entre l'âge de 2 ans et 4 ans et demi (une, voire deux tailles de damier), et sont fiables après l'âge de 5 ans. La poursuite de cibles structurées paraît être aussi performante que les PEV stationnaires dans le groupe 1 pour des âges entre 3 et 18 mois.

Dans le groupe 3, sur 52 yeux, les PEV transitoires par flash sont ininterprétables dans 5 cas, par damier dans 20 cas, alors que les PEV stationnaires par damier sont ininterprétables dans 16 cas. La poursuite de cibles structurées pratiquées dans 24 cas est interprétable dans 8 cas alors que les PEV stationnaires sur ces mêmes 24 cas sont interprétables dans 16 cas.

Dans le groupe 4 sur 29 yeux, les PEV stationnaires sont interprétables dans 25 cas, alors que les PEV transitoires par damiers ne le sont que dans 19 cas.

Pour le deuxième point, l'étude du groupe 2 montre que l'utilisation des PEV stationnaires sous-estime

TABLEAU IV. — Groupe 4, soit 29 yeux. Comparaison des PEV transitoires par flash, par damier, des PEV stationnaires par damier, en fonction des pathologies.

N : normal, R : retardé, IN : ininterprétable, NF : non fait. Pour les PEV transitoires et stationnaires par damier, est indiqué le plus petit damier donnant un PEV interprétable. La colonne d'acuité visuelle objective donne le nombre de fois où les PEV stationnaires nous ont permis de répondre (cad minimum 2 tailles de damier interprétable).

Pathologies	PEV transitoire par flash	PEV transitoire par damier	PEV stationnaire par damier	Acuité visuelle objective
Atrophie optique 2 yeux	R : 2	IN : 2	125' : 2	2
Nystagmus 4 yeux	N : 4	62' : 2 IN : 2	7' : 1 15' : 1 31' : 2	4
Amblyopie 7 yeux	N : 6 R : 1	15' : 2 31' : 1 62' : 1 125' : 1 IN : 2	7' : 2 15' : 3 31' : 1 IN : 1	6
Hypermétropie crânienne 12 yeux	N : 11 R : 1	15' : 2 31' : 2 62' : 2 125' : 2 IN : 2 NF : 2	7' : 5 15' : 4 31' : 1 125' : 1 IN : 1	10
Retard psychomoteur 4 yeux	N : 2 R : 2	176' : 2 IN : 2	11' : 1 22' : 1 IN : 2	2

l'acuité visuelle par rapport à la mesure par optotype. Cette limitation provient du fait que les plus petits damiers utilisés étaient de 7'.

Il n'est pas certain qu'une taille de damier de 3' donne un PEV stationnaire interprétable en raison de la

faible amplitude des signaux (de 0,5 à 2 microvolts). L'étude du groupe 4 (fig. 5) montre qu'une sous-estimation est obtenue lorsque l'acuité par optotype est supérieure à 4/10. Les deux cas de légère surestimation de l'acuité visuelle par PEV stationnaire (distance œil écran de 1,40 m) correspondent à deux yeux amblyopes où l'acuité de près était nettement meilleure que l'acuité visuelle de loin mesurée à 5 m.

Au total sur 34 yeux normaux, les PEV stationnaires ont pu donner une acuité visuelle objective dans 31 cas, et sur 81 yeux pathologiques dans 42 cas.

Pour le troisième point, la figure 6 montre une différence entre les enfants normaux (nos 1 et 3) et pathologique (no 4). Les courbes pratiquement identiques des enfants nos 2 et 4 ne sont pas dues à la différence d'âge mais paraissent plutôt en rapport avec la moins grande sensibilité de ce deuxième protocole (par variation de la fréquence temporelle), par rapport

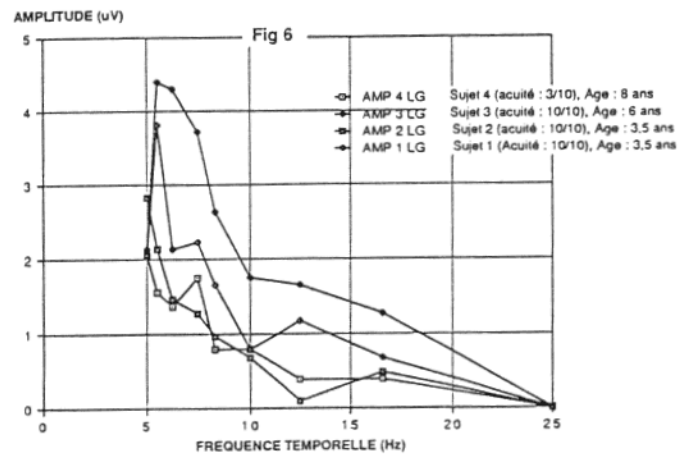


FIG. 6. — Evolution de l'amplitude du PEV stationnaire par renversement (damier de 62 minutes) en fonction de la fréquence temporelle (5; 5,5; 6,2; 7,4; 8,3; 10; 12,5; 16,6; 25 Hertz) chez 3 enfants normaux et chez un enfant pathologique.

Remarque : en nombre d'événements stimulants, il faut multiplier la fréquence temporelle par 2.

au premier protocole (par variation de la taille des damiers). Cette moins bonne sensibilité ne permet pas de déduire de la figure 6 avec une précision suffisante une acuité visuelle objective. Un autre inconvénient est la durée de ce deuxième protocole.

## CONCLUSION

Cette nouvelle technique de PEV stationnaire avec analyse fréquentielle en temps réel, en présentant des damiers de tailles différentes, est d'un grand intérêt comme méthode de mesure du pouvoir séparateur chez l'enfant, en raison de sa précision et de sa rapidité (à peine plus d'une minute par œil). Cette série de 64 enfants permet de dégager deux grandes indications de cette nouvelle technique de PEV stationnaire.

- D'une part, l'étude de la vision des enfants de moins de deux ans.

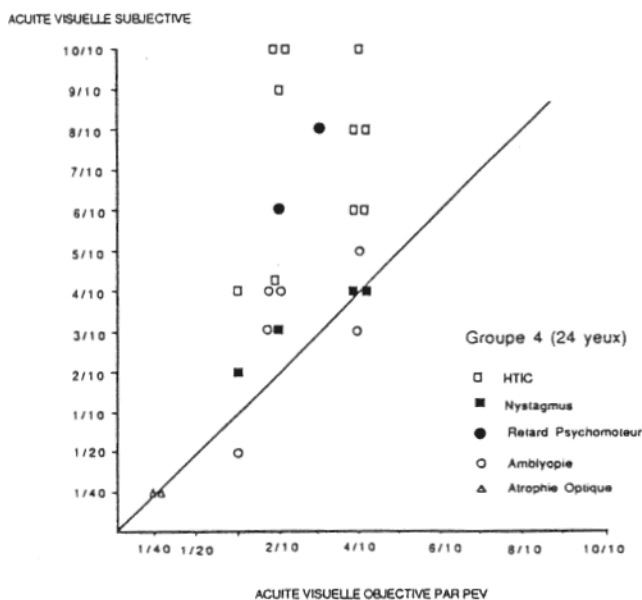


FIG. 5. — Comparaison des deux techniques de mesure de l'acuité visuelle : PEV et optotypes.

- D'autre part, l'étude de la vision des enfants présentant des pathologies neuro-ophtalmologiques importantes chez lesquels une mesure de l'acuité visuelle par des méthodes subjectives est impossible. Cette nouvelle technique de PEV permet de fournir aux ophtalmologistes, pédiatres et parents une information plus précise sur l'état du système visuel de l'enfant.

## Références

1. DAILLY R, SENEGAL J, ARDOUIN M, URVOY M. Développement des fonctions visuelles de l'enfant de 0 à 6 ans. *Pédiatrie*, 1976; 31 : 227-43.
2. SOKOL S. Clinical applications of the ERG and VEP in the pediatric age group. *Evoked potentials*, New York, Alan R. Ed by Cracco R and Bodis-Wollner I, 1986; 447-54.
3. PAYEN P. Etude des potentiels évoqués visuels par pattern dans l'amblyopie fonctionnelle chez l'enfant. Thèse Doctorat en Médecine, Lille, 1983.
4. HACHE JC, PAYEN P, TIRTAINE D, CHARLIER J, ZEINSTRAL H. Mesure de l'acuité visuelle au moyen des potentiels évoqués obtenus avec des stimulations par renversement d'une mire en damier (pattern). *Bull Soc Ophth France*, 1979; 11-12 : 1089-90.
5. MARG E, FREEMAN DN, PELZMAN P, GOLDSTEIN PJ. Visual acuity development in human infants : evoked potential measurements. *Invest Ophthalmol*, 1976; 15 : 150-3.
6. HARRIS L, ATKINSON J, BRADDICK O. Visual contrast sensitivity of a 6-month-old infant measured by the evoked potential. *Nature*, 1976; 264 : 570-1.
7. SOKOL S. Measurement of infant visual acuity from pattern reversal evoked potentials. *Vision Res*, 1978; 18 : 33-9.
8. BOCQUET X. Analyse fréquentielle en électrophysiologie visuelle : potentiel évoqué visuel et électrorétinogramme. Thèse pour l'obtention du Doctorat nouveau régime, Lille II, 1989.
9. ZANLONGHI X, BOCQUET X, HACHE JC, DEFOORT-DHELEMMES S, CHARLIER J, LEROY F. Application d'une nouvelle technique de potentiels évoqués visuels stationnaire à la mesure du pouvoir séparateur chez l'enfant. Résultats préliminaires. *J Fr d'orthoptie*, 1989, 22 : 207-20.
10. CELESIA G. Steady-state and transient visual evoked potentials in clinical practice. *Annals New York Academy of Science*. Ed by Bodis-Wollner, 1982; 388 : 290-305.
11. REGAN D. Steady-state evoked potentials. *J Opt Soc Am* 1977; 67 : 1475-89.
12. NORCIA AM, CLARKE M, TYLER CW. Digital filtering and robust regression techniques for estimating sensory thresholds from the evoked potential. *IEEE Eng Med Biol Mag*, 1985; 26-32.
13. REGAN D. Comparaison of transient and steady-state methods. *Annals New York Academy of Science*. Ed by Bodis-Wollner, 1982; 388 : 45-71.
14. YOLTON RL, ALLEN RG, GOODSON RA, SCHAFFER DL, DECKER WD. Amplitude variability of the steady-state visual evoked responses VER. *Am J Optom Physiol Optics*, 1983; 60 : 694-704.
15. BOCQUET X, CHARLIER J, HECHE JC. Etude préliminaire sur les potentiels évoqués visuels stables (steady-state). *Bull Soc Fr d'Optique Physiol* 1987; 1 : 88-93.
16. PORCIATTI V. Pattern VEPs in very young infants. *Doc Ophthalmol Proc Series* 1986; 45 : 99-106.
17. GRALL Y, RIGAUDIÈRE F, DELTHIL S, LE GARGASSON JF, SOURDILLE J. Potentiels évoqués et acuité visuelle. *Vision Res* 1976; 16 : 1007-12.
18. HARTEK R, DEATON F, ODOM V. Maturation of evoked potentials and visual preference in 6-45 day-old infants : effects of check size, visual acuity, and refractive error. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 1977; 42 : 595-607.
19. LEVI D, MANNY R. The VEP in the diagnostic evaluation of amblyopia. *Frontier of Clinical Neuroscience*, vol 3, Evoked potentials, Ed Cracco R and Bodis-Wollner I, 1986; 437-46.
20. TYLER CW, APKARIAN P, NAKAYAMA K. Multiple spatial frequency tuning of electrical responses from the human visual cortex. *Exp Brain Res* 1978; 33 : 535-50.
21. REGAN D. Assessment of visual acuity by evoked potential recording : Ambiguity caused by temporal dependence of spatial frequency selectivity. *Vision Res* 1978; 18 : 439-43.
22. DOUTHWAITE WA, JENKINS TCA, TAYLOR AJ. Visual acuity prediction using the VER-temporal aspects. *Am J Optom Physiol Optics* 1987; 12 : 888-96.
23. PORCIATTI V. Temporal and spatial properties of the pattern reversal VEPs in infants below 2 months of age. *Human Neurobiol* 1984; 3 : 97-102.
24. SOKOL S. Pattern evoked potentials in visually normal and abnormal infants and young children. *Doc Ophthal Proc Series* 1982; 31 : 449-60.
25. TYLER CW, NAKAYAMA K, APKARIAN P, LEVI DM. VEP assessment of visual function. *Vision Res* 1981; 21 : 607-9.
26. SIMON F, RASSOW B, WESEMANN W. Multifrequency stimulation of visual evoked potentials. *Advances in diagnostic visual optics*, Springer Verlag, 1987, 170-5.
27. REGAN D. Human brain electrophysiology : Evoked potentials and evoked fields in science and medicine. Ed by Elsevier, 1989; 112-26.
28. ZANLONGHI X, DEFOORT-DHELEMMES S, BOCQUET X, HACHE JC, LEROY F, CHARLIER J. Exemples d'applications cliniques chez le jeune enfant des potentiels évoqués visuels stationnaires et de la poursuite visuelle de cibles structurées. *Coup d'œil*, 1990; 25 : 33-8.
29. ZANLONGHI X, BOCQUET X. Evaluation objective de la sensibilité au contraste par PEV. *Ophtalmol* 1989; 3 : 242-3.
30. DEFOORT S. Approche de la vision binoculaire chez le nourrisson. Thèse pour le doctorat en médecine, Lille, 1984.
31. CHARLIER J, NGUYEN D, HUGUEUX JP, QUERLEU D, DEWARVRIN D, HACHE JC, DEFOORT S. A new technique for the clinical evaluation of visual functions in human neonates. *Advances in diagnostic visual optics*, Springer Verlag, 1987; 176-80.