

# ANALYSE FREQUENTIELLE EN TEMPS REEL DES POTENTIELS EVOQUES VISUELS STATIONNAIRES

## APPLICATION A LA VISION DE L'ENFANT

X. Zanlonghi\*, S. Defoort-Dhellemes\*\*, J.C. Hache\*\*, X. Bocquet\*\*\*, J. Charlier\*\*\*\*

La technique rapide de Potentiels Evoqués Visuels (PEV) stationnaire avec analyse fréquentielle en temps réel, est utilisée pour l'étude de plusieurs fonctions visuelles chez l'enfant. L'une des fonctions visuelles parmi les plus importantes à connaître en clinique quotidienne, est l'acuité visuelle. L'influence de la fréquence spatiale sur l'amplitude des PEV permet une estimation du pouvoir séparateur de l'enfant. Le protocole de PEV retenu, volontairement simple, utilise une fréquence de stimulation de 5 Hz avec 5 tailles de damiers allant de 352' à 7' en fonction de l'âge. La durée d'un examen pour un oeil dure un peu plus d'une minute.

Nous présentons les résultats obtenus chez 21 enfants normaux de moins de 6 ans.

### INTRODUCTION

L'utilisation de Potentiels Evoqués Visuels (PEV) transitoires en stimulation par "pattern" est difficile chez les enfants de moins de 4 ans et chez les enfants non coopérants, en raison du temps nécessaire pour extraire le PEV par rapport aux courtes périodes d'attention. Nous nous sommes donc orientés vers les PEV stationnaires (steady state), qui sont plus rapides que la technique classique de PEV transitoire par sommation. Nous rapportons notre expérience de l'utilisation de la technique d'analyse fréquentielle en temps réel des PEV stationnaires (Bocquet) dans l'étude du pouvoir séparateur chez 21 enfants normaux âgés de 1 mois à 6 ans. Les expérimentations ont été effectuées sur le Moniteur Ophtalmologique (Charlier).

### PEV ET MESURE DU POUVOIR SÉPARATEUR CHEZ L'ENFANT

La mesure objective de l'acuité visuelle par Potentiels

\* Clinique Sourdis, Place Anatole France - 44000 Nantes

\*\* Service d'Exploration Fonctionnelle de la vision, Lille

\*\*\* Centre de Technologie Biomédicale, INSERM, U 279, Lille

Evoqués Visuels est utilisée chez l'adulte depuis plusieurs années surtout à des fins d'expertise (Hache, Grall).

Chez l'enfant, plusieurs auteurs ont utilisé soit des PEV transitoires (Harter, Payen), soit des PEV stationnaires (Sokol, Porciatti), soit des PEV stationnaires avec balayage rapide (Apkarian). Tous les auteurs soulignent la difficulté d'obtenir des périodes prolongées d'attention. Seules les images structurées (ou pattern) sont utilisables en PEV lorsque l'on désire obtenir une "acuité visuelle objective". Ils utilisent le fait que la variation de la fréquence spatiale (1) donne une variation de l'amplitude des PEV.

Il existe quatre façons d'obtenir cette acuité visuelle objective à partir de la courbe "amplitude du PEV en fonction de la fonction de la fréquence spatiale" (figure 1)

- 1) En prenant la fréquence spatiale qui donne le PEV de plus grande amplitude. De Vries-Khoe pense qu'une bonne estimation du pouvoir séparateur par cette technique est possible chez l'enfant de moins d'un an.
- 2) En prenant la fréquence spatiale la plus élevée qui donne encore un PEV analysable par rapport au bruit de fond (Porciatti)
- 3) En construisant la droite de régression de la courbe amplitude du PEV en fonction de la fréquence spatiale pour les fréquences spatiales les plus élevées, l'intersection avec l'ordonnée donne une estimation du pouvoir séparateur (Apkarian).

La première technique est peu précise. La deuxième nécessite un nombre important d'accumulations donc une durée importante, une ou deux minutes par taille de damier. La troisième semble la meilleure technique, mais pour obtenir la plus grande précision, elle nécessite plusieurs fréquences

(1) La fréquence spatiale est le nombre de barres ou damiers divisés par 2, vus sous un angle de un degré. Il existe une relation entre la fréquence spatiale et la taille angulaire en minute d'arc : par exemple, un damier vu sous un angle de 30 minutes correspond à une fréquence spatiale de 1 cycle par degré.

âge	> à 3 ans	1 à 3 ans	3 mois-1 an	< à 3 mois
distance	1.40m	1 m	80 cm	50 cm
oeil-écran				
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)
	124'	176'	220'	352'

Tableau 1 donnant la taille de damiers utilisés, la distance en fonction de l'âge de l'enfant ainsi que l'acuité visuelle objective (explication dans le texte).

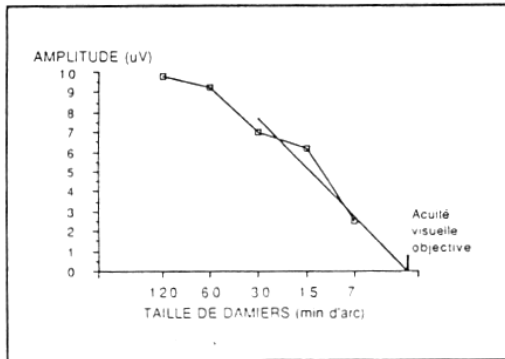
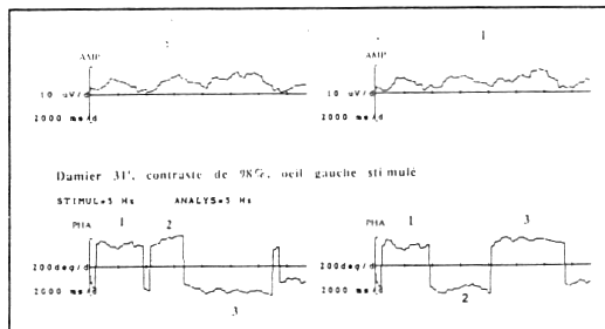


Figure 1 : Sujet normal, 9 ans, AV=10/10, oeil droit, données recueillies au niveau du lobe droit. La première technique d'estimation de l'acuité visuelle par PEV est très imprécise. Cet exemple montre que l'amplitude la plus importante se situe au niveau des plus grands damiers, ce que l'on rencontre également chez certains enfants de moins d'un an. La deuxième technique (le plus petit damier donnant un PEV qui est ici de 8') donne une acuité visuelle de 15/10. La troisième technique (droite de régression) est peu précise, si l'on prend seulement ici 3 tailles de damiers. Dans cet exemple, elle donne une acuité visuelle de 5/10. Enfin l'analyse de l'ensemble des tracés, l'étude du nombre de seconde de phase stable par taille de damier, la comparaison entre le recueil au niveau des deux lobes occipitaux, donne une acuité visuelle objective d'au minimum 4/10.

Figure 2 : Enfant de 4 ans, AV de 10/10. Des PEV stationnaires sont pratiqués par stimulation de l'oeil gauche. L'acuité visuelle objective est supérieure ou égale à 4/10. Les tracés obtenus avec un damier de 31' sont présentés. Le PEV est recueilli au niveau des deux lobes occipitaux (notés LD et LG). L'analyse de ce tracé montre 3 périodes de phase stable (notées 1, 2, 3). Le tableau donne les valeurs de l'amplitude, de la phase et de l'écart-type pour ces trois périodes de deux secondes.



	phase (degré)	amplitude (uV)	ecart-type
période 1, LD	147	4,10	1,39
période 1, LG	127	3,9	1,64
période 2, LD	209	5,37	1,33
période 2, LG	201	4,98	1,39
période 3, LD	178	6,34	1,17
période 3, LG	175	6,64	1,38

spatiales élevées, donc augmente la durée des mesures.

4) L'utilisation des PEV comme méthode de mesure de l'acuité visuelle chez l'enfant en clinique quotidienne, est un compromis entre la précision des mesures qui demande plusieurs dizaines de minutes et la durée d'attention de l'enfant qui le plus souvent ne dépasse pas deux ou trois minutes.

Aussi pour ne pas dépasser une durée d'examen d'une minute par oeil, la technique très rapide de PEV stationnaire avec analyse fréquentielle en temps réel a été utilisée.

La qualité des tracés, le nombre de secondes de stabilité de la phase par taille de damier sont analysés, la droite de régression pour les trois fréquences spatiales les plus élevées est construite, l'amplitude devant décroître avec l'augmentation de la fréquence spatiale (Figure 1). La valeur de l'acuité donnée par intersection de cette droite de régression avec l'ordonnée n'est pas assez précise. Aussi les valeurs d'acuité visuelle objective (tableau 1) sont retenues si les trois conditions suivantes sont respectées :

- Diminution de l'amplitude avec l'augmentation de la fréquence spatiale (pour les trois fréquences spatiales les plus élevées).
- Tracés interprétables pour les plus grands damiers.
- Tracés interprétables pour au minimum 2 fréquences spatiales chez un enfant présentant une pathologie, et pour quatre chez un enfant ayant un examen ophtalmologique normal.

#### MATERIEL ET METHODES

##### a) stimulation

Nous avons retenu une fréquence de stimulation de 5 Hz (5 événements stimulants par seconde), une stimulation de type ON-OFF en raison d'une meilleure linéarité des réponses de l'amplitude lors de l'augmentation du contraste et d'une amplitude plus importante qu'en "reversal" (Zanlonghi). La durée de présentation des damiers noirs et blancs avec un contraste de 98% est de 40 ms, suivie d'un écran de même luminance moyenne.

Cinq tailles de damiers sont représentées à l'enfant (tableau 1).

Un test de contrôle consistant à présenter un écran sans stimulation apparente de même luminance moyenne est systématiquement présenté. La durée d'un enregistrement est de 12,8 s par taille de damier, soit pour un oeil, une durée totale de 1 mm 30 secondes.

##### b) visualisation des résultats

La technique de PEV stationnaire avec analyse fréquentielle en temps réel permet un contrôle de l'attention de l'enfant. On élimine ainsi les périodes d'inattention correspondant à des périodes de phase instable.

Plusieurs méthodes d'analyse sont utilisées pour interpréter les tracés :

- la stabilité de la phase (noté PHA sur les figures 2, 3, 4). Un minimum de 2 s de phase stable nous suffit pour valider le signal.
- la moyenne vectorielle de l'amplitude sur la période de phase stable retenue avec un indice statistique d'écart type (notée AMP sur les figures 2, 3, 4).

On détermine ainsi un ou plusieurs échantillons temporels par taille de damier (figure 2). Les valeurs d'amplitude sont reportées sur une courbe "amplitude en fonction de la taille des damiers" (figure 1).

D'autres critères sont étudiés si les tracés obtenus sont de qualité moyenne pour une taille de damier.

- la stabilité de la phase sur les 2 lobes durant les mêmes périodes "d'attention de l'enfant" avec des valeurs proches entre les 2 lobes (figure 2).
- l'aspect global des tracés (un tracé ne présentant qu'une seule période de phase stable de 3 secondes est plus douteux qu'un tracé ou les 12,8 secondes d'enregistrement montre une phase stable (figure 3 a)
- l'étude des réponses à la fréquence de stimulation et aux fréquences adjacentes par l'intermédiaire d'une analyse spectrale complète (figure 3 b).
- l'étude du faux test dont l'analyse spectrale complète (par FFT) est un bon indice des rythmes cérébraux spontanés de l'enfant pouvant interférer avec le PEV (figure 4).

Un dernier paramètre étudié concerne les valeurs de phase en fonction des différentes tailles de damier (figure 5).

Enfin, l'attention de l'enfant est surveillée par une caméra infra-rouge.

##### c) système d'enregistrement

Deux électrodes actives sont placées à 2 cm au-dessus et de part et d'autre de l'inion. L'électrode non active étant placée au vertex et la masse sur le front. L'activité électrique générée par le cortex au travers de la boîte crânienne est amplifiée par une chaîne d'acquisition (12500), filtrée analogiquement entre 1 et 25 Hz puis discrétisée afin d'être traitée numériquement. La stimulation et le système d'enregistrement sont contrôlés par ordinateur afin d'éliminer toute erreur de manipulation.

##### d) sujets

21 enfants ont été examinés (âge 1 mois à 6 ans) (tableau 2).

Chez 4 d'entre eux (groupe 1, âge : 1, 2, 6, 8 mois) seule une stimulation en binoculaire a été réalisée, pour les 17 autres, un oeil par sujet a été étudié. Les PEV ont été pratiqués avec une correction optique si nécessaire. L'examen ophtalmologique des yeux étudiés était normal. Les enfants de plus de 33 mois (groupe 3) ont eu une mesure subjective de l'acuité visuelle (test de Rossano-Weiss) qui était supérieure à 8/10 pour 12 enfants et de 6/10 pour un enfant en raison d'un astigmatisme.

#### RESULTATS

Les moyennes des durées de phase stable par taille de damier varient en fonction de l'âge des enfants. Pour le groupe 1, les tailles de damiers donnant le plus grand nombre de secondes de phase stable sont les tailles intermédiaires (entre 110' et 31'). Pour le groupe 2 les tailles de damier 110', 27' et 15' donnent les durées de phase stable les plus importantes. Pour le groupe 3 les tailles entre 62' et 15' donnent les durées de phase stable les plus importantes.

Il a été nécessaire de vérifier, par l'analyse spectrale de l'échantillon temporel sélectionné, la présence ou l'absence d'une réponse à 5 Hz uniquement pour le plus petits damiers

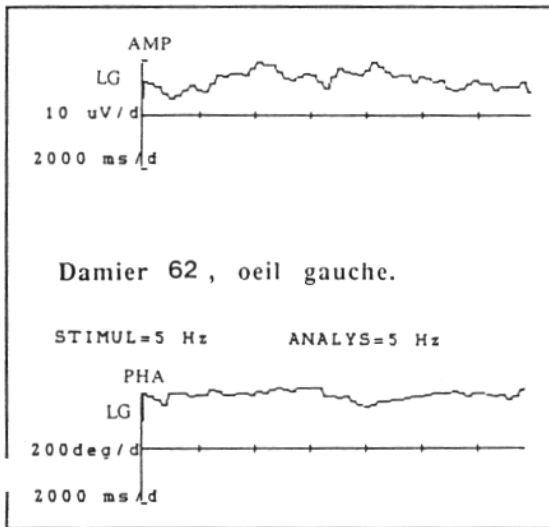


Figure 3 a : Exemple d'un tracé obtenu chez un enfant normal de 4 ans. L'oeil gauche est stimulé. Le recueil au niveau du lobe gauche est ici présenté. La phase est stable sur une durée de 12 secondes avec une faible variation de l'amplitude.

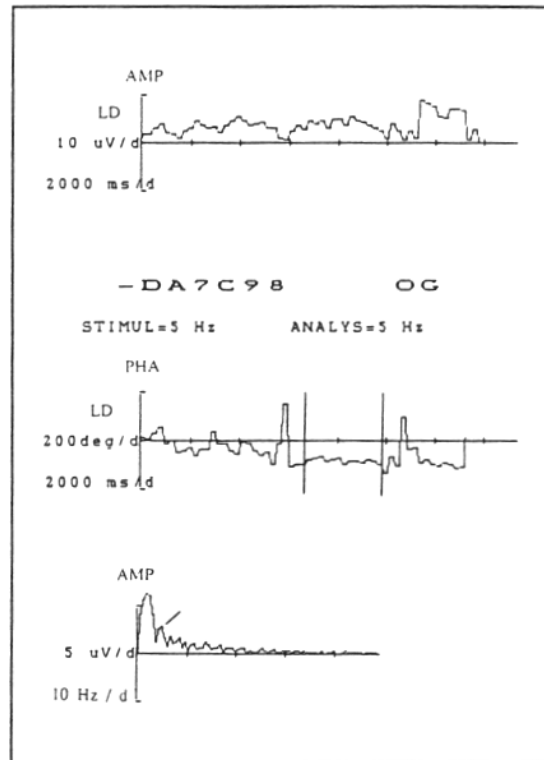


Figure 3 b : Exemple d'un tracé de PEV stationnaire chez un enfant de deux ans et demi (mesure de l'acuité visuelle subjective impossible). L'oeil gauche est stimulé. Le recueil au niveau du lobe droit est ici présenté. La phase de présente que 3 secondes de stabilité (entre les 2 traits). La présence d'une réponse évoquée visuelle à 5 Hz discernable du bruit de fond, est confirmée par la transformée de Fourier (FFT) qui montre un pic à 5 Hz (flèche).

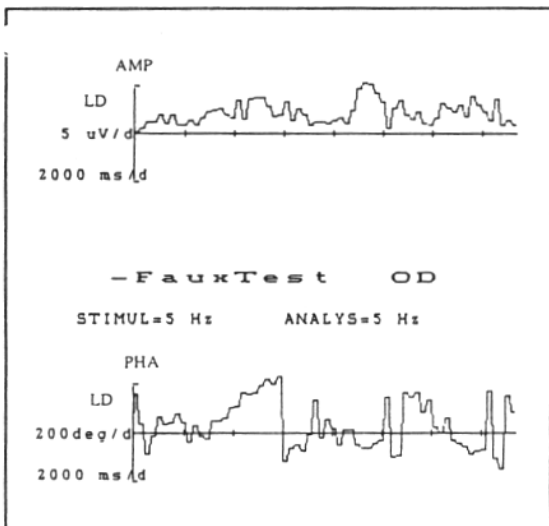


Figure 4 : Exemple d'un faux test chez un enfant de 4 ans. Il n'y a aucune stimulation visuelle. Il n'y a aucune période de phase stable.

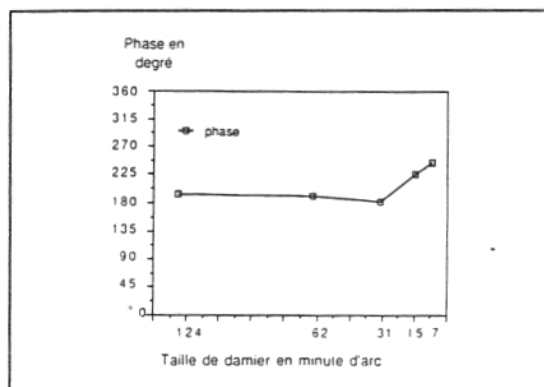


Figure 5 : Oeil droit d'un enfant de 6 ans. Acuité visuelle de 10/10. Seules les valeurs recueillies au niveau du lobe droit sont présentées.

(7' et 11') dans 2 cas. Un exemple est donné à la figure 3b.

Le faux test est positif dans 5 cas (c'est à dire avec une période de phase stable d'au minimum 2 secondes sur les 2 lobes). Sur ces 5 cas, l'analyse spectrale a révélé dans 3 cas l'existence d'un pic de fréquence à 5 Hz (âge 48 et 42 mois).

On retrouve une variation modérée des valeurs de la phase en fonction de la taille des damiers (figure 5).

Il a été nécessaire de refaire un PEV stationnaire pour une seule taille de damier dans 2 cas, en raison d'un tracé ininterprétable.

L'estimation du pouvoir séparateur (tableau 2) est possible avec la technique de PEV stationnaire. On constate une augmentation de l'acuité visuelle jusqu'à l'âge de 30 mois, âge à partir duquel on pratique les PEV à une distance de 1,40 d'arc. Le chiffre d'acuité minimale alors donné, est de 4/10 (tableau 1). 3 enfants de plus de 30 mois ont eu une mesure d'acuité par PEV à 4/10. Dans ces 3 cas, les PEV stationnaires ont été pratiqués avec une distance oeil-stimulateur vidéo de 1 m. Il s'agissait d'enfant normaux mais très peu attentifs ce qui nous a obligé à les rapprocher de la télévision pour les intéresser. Nous avons été surpris par l'intérêt que tous les enfants sauf trois, ont porté sur la stimulation par damier ON-OFF rapide (5 par secondes) par rapport aux stimulations transitoires (1 par seconde) que ce soit en pattern ou en flash.

CONCLUSION

L'utilisation des PEV stationnaires avec analyse fréquentielle en temps réel par pattern (damier), permet de donner avec une bonne précision un pouvoir séparateur chez l'enfant. Cette acuité visuelle objective est inférieure à celle réellement mesurée par optotypes. Le choix d'une analyse fréquentielle en temps réel de la phase et de l'amplitude se révèle d'un grand intérêt en raison de la possibilité de savoir très rapidement (quelques secondes) s'il existe une réponse évoquée visuelle corticale en réponse à la présentation d'un damier. En cas d'incertitude, des analyses complémentaires (analyse spectrale complète) peuvent être effectuées.

L'implantation de cette nouvelle technique de PEV sur le Moniteur Ophthalmologique est un complément très utile pour la mesure de l'acuité visuelle des jeunes enfants et des sujets non coopérants.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - APKARIAN PS., VAN VEENENDAAL W., SPEKREIJSE H. - 1986 - Measurement of visual acuity in infants and young children by visual evoked potentials. Doc. Ophthalmol. Proc. Series. vol 45, 168-189.
- 2 - BOCQUET X. - 1989 - Analyse fréquentielle en électrophysiologie visuelle : potentiel évoqué visuel et électrorétinogramme. Thèse pour l'obtention du Doctorat nouveau régime, Lille II.
- 3 - CHARLIER J., NGUYEN D., HUGUEUX JP., PARIS V., BOCQUET X., DEFOORT S., HACHE JC. - 1986 - Computer assisted evaluation of visual functions in non verbal children. Doc. Ophthalmol. Proc. Series. vol 45, 244-251.
- 4 - DE VRIES-KHOE LH., SPECKREIJSE H. - 1982 - Maturation of luminance and pattern EPs in man. Doc. Ophthalmol. Proc. Series. 31, 461-475.
- 5 - HACHE JC., PAYEN P., TIRTAINE D., CHARLIER J., ZEINSTRAL H. - 1979 - Mesure de l'acuité visuelle au moyen des potentiels évoqués visuels obtenus avec des stimulations par renversement d'une mire en damier (pattern). Bull. Soc. opht. France. 11-12, 1089-1090.
- 6 - GRALL Y., RIGAUDIERE F., DELTHIL S., LE GARGASSON JF., SOURDILLE J. - 1976 - Potentiels évoqués et acuité visuelle. Vision Res. 16, 1007-1012.
- 7 - HARTER R., DEATON F., ODOM V. - 1977 - 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, 42, 595-607.
- 8 - PAYEN P. - 1983 - Etude des potentiels évoqués visuels par pattern dans l'amblyopie fonctionnelle chez l'enfant. Thèse Doctorat en Médecine, Lille.
- 9 - PORCIATTI V. - 1986 - Pattern VEPs in very young infants. Doc. Ophthalmol. Proc. Series, vol 45, 99-106.
- 10 - SOKOL S. - 1978 - Measurement of infant visual acuity from pattern reversal evoked potentials. Vision Res. 18, 33-39.
- 11 - ZANLONGHI X., BOCQUET X. - 1989 - Evaluation objective de la sensibilité au contraste par PEV. Ophthalmologie, 3, 242-243.

Tableau 2

	mesure de l'acuité visuelle subjective impossible								mesure subjective de l'acuité possible								
	BINOCULAIRE				MONOCULAIRE												
âge (mois)	groupe 1																
âge (mois)	1	2	6	8	12	16	30	33	34	36	41	42	48	54	60	66	72
nombre d'enfant	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	3	1
acuité subjective									10	10	10	10	10	10	10	10 et 6/10	10
acuité par PEV	> 1/40	> 1/20	> 1/10	> 1/10	> 1/10	> 1/10	> 4/10	> 4/10	> 3/10	> 3/10	> 4/10	> 4/10	> 4/10 et > 2/10	> 4/10	> 4/10	> 4/10	> 4/10