



## Estimation objective et rapide de l'acuité visuelle grâce au PEV sweep

Violaine Deral-Stephant

**P**armi l'ensemble des examens fonctionnels de la vision, ce sont les potentiels évoqués structurés qui sont les plus utiles à l'évaluation de l'acuité visuelle car, ne mettant pas en jeu la volonté du sujet, ils testent de façon objective le fonctionnement des voies maculaires, depuis les aires maculaires jusqu'aux aires visuelles primaires.

La technique des PEV sweep présente deux avantages majeurs : l'objectivité de la mesure et la rapidité de l'enregistrement. Elle est particulièrement utile chez l'enfant en âge pré-verbal, et chez l'adulte lorsque les méthodes traditionnelles ne peuvent pas être utilisées.

On distingue deux types de potentiels évoqués visuels (PEV) : les PEV classiques dits transitoires, les plus couramment utilisés, recueillis après une stimulation basse fréquence, et les PEV stationnaires recueillis après une stimulation haute fréquence, qui constituent les PEV sweep après balayage (*sweep*) des fréquences spatiales.

Cette technique présente deux avantages majeurs pour l'estimation de l'acuité visuelle : l'objectivité de la mesure et la rapidité de l'enregistrement. Elle est particulièrement utile pour l'évaluation de l'acuité visuelle chez l'enfant en âge préverbal et chez l'adulte lorsque les méthodes traditionnelles d'évaluation subjective ne peuvent pas être utilisées : simulation ou troubles phasiques.

### Principe technique

La technique des PEV à balayage ou PEV sweep a été proposée initialement par Regan en 1973 [1] et Tyler en 1979 [2]. Il s'agit d'une technique rapide d'enregistrement des potentiels évoqués visuels de type stationnaire (*steady state*), à balayage spatial rapide, avec analyse fréquentielle en temps réel, qui permet l'estimation rapide du pouvoir séparateur de l'œil.

#### Stimulation haute fréquence et réponse de type *steady state*

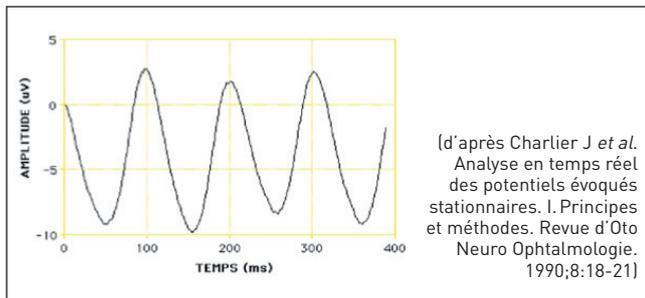
Les PEV permettent de mesurer les changements de potentiel électrique au niveau du cortex occipital en réponse à une stimulation visuelle. La stimulation est faite par des damiers alternants de taille différente. Les cases carrées des damiers passent successivement d'une luminance maximale à minimale, donnant l'impression de cases qui alternent avec elles-mêmes. En faisant varier

la taille des damiers, la zone stimulée varie : les damiers 60 minutes stimulent la région parafovéale et les damiers 15 minutes la région fovéale.

Lors de l'enregistrement des PEV standard, dits transitoires, la fréquence temporelle de stimulation est basse, inférieure à 5 Hz, permettant au cerveau de revenir à son état de base entre les stimuli. La morphologie du signal enregistré est complexe et doit être extraite du bruit de l'activité électro-encéphalographique de la région occipitale. Pour séparer la réponse évoquée visuelle du bruit de fond, la technique de moyennage/sommation, ou détection synchrone, est utilisée. C'est une sommation des réponses individuelles effectuée de façon synchrone à la répétition de la stimulation visuelle. Chacune des stimulations visuelles répétées dans le temps est supposée générer une réponse individuelle identique à celle générée par la stimulation précédente, de même polarité, de même amplitude et apparaissant avec le même temps de culmination : la réponse visuelle est dite synchrone de la stimulation. Par contre, les bruits générés après chaque stimulation sont supposés être aléatoires, avec une polarité, une amplitude et un temps de culmination variables. Au cours de la sommation, les bruits ont tendance à s'éliminer. Si l'enregistrement des PEV est considéré comme une technique objective, il nécessite une bonne fixation pendant une durée suffisamment prolongée pour que les réponses restent identiques à elles-mêmes.

Lorsque les fréquences de stimulation sont élevées, au-delà de 5 Hz, le système visuel n'a pas le temps de retourner à un état de repos et génère une réponse de type « *steady state* » ou « état stable » en français. Il se produit un phénomène de synchronisation entre la stimulation et la réponse bioélectrique recueillie sur le scalp occipital :

les réponses ont alors une forme simple et périodique qui peut être décrite comme une sinusoïde. La réponse fondamentale a la même fréquence temporelle que la fréquence de renversement. Les réponses sinusoïdales ainsi obtenues sont plus simples à caractériser que pour les PEV classiques transitoires, par leur amplitude et leur fréquence.

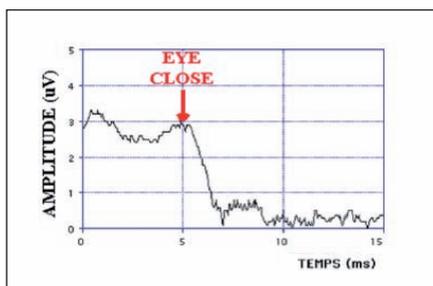


**Figure 1.** PEV obtenu avec stimulation de fréquence élevée (8 Hz). Stimulation par renversement d'un damier de taille 30 minutes et à la fréquence de 8 Hz, moyennage de 100 réponses.

### Représentation fréquentielle

Le signal simple de type sinusoïdal est plus rapidement analysable et, grâce au passage d'une représentation temporelle à une représentation fréquentielle, un "monitorage temps réel" est possible. L'utilisation de la transformée de Fourier permet de passer de la représentation temporelle du signal (amplitude en fonction du temps) à sa représentation fréquentielle (amplitude en fonction de la fréquence). Le signal complexe initial est représenté par l'ensemble des amplitudes et fréquences des signaux élémentaires qui le composent. La composante correspondant à la stimulation est rapidement et facilement détectée, en quelques secondes, en recherchant l'amplitude du pic à la fréquence de stimulation, l'activité électrique corticale visuelle oscillant à la même fréquence temporelle que la stimulation.

L'exemple présenté figure 2 montre l'évolution de l'amplitude de la réponse lorsque le sujet ferme les yeux. En moins de deux secondes, l'amplitude de la réponse diminue pour atteindre le niveau du « bruit ».



**Figure 2.** Evolution de l'amplitude de la réponse lorsque le sujet ferme les yeux (d'après la notice d'utilisation des PEV sweep de Metrovision).

### Stimulation de type sweep

La stimulation commence avec la présentation d'un pattern à une fréquence temporelle fixe comprise entre 5 et 15 Hz. Une réponse *steady state* est alors obtenue, caractérisée par son amplitude et sa phase, l'amplitude dépendant de la taille du damier et la phase de la fréquence temporelle de la stimulation. La taille du pattern est ensuite diminuée (ou augmentée) rapidement et de façon quasi continue, réalisant ainsi un balayage en fréquences spatiales, jusqu'à atteindre la limite correspondant à l'acuité visuelle. On obtient une courbe donnant l'amplitude de la réponse en fonction de la taille du damier. L'acuité visuelle correspond à la taille du pattern la plus faible pour laquelle une réponse est obtenue.

### Paramètres des procédures standard

Contrairement aux PEV transitoires, il n'existe pas de recommandations de l'Iscev (International Society for Clinical Electrophysiology of Vision) concernant le choix des paramètres d'enregistrement des PEV sweep.

- Une **luminance** entre 50 et 100 cd/m<sup>2</sup> donne les réponses les plus fiables et est préférée aux luminances basses autour de 25 cd/m<sup>2</sup>.
- Différentes **fréquences de stimulation** (4, 6, 7,5, 10 ou 12 Hz) ont été testées, mais aucune différence significative n'a été retrouvée dans l'estimation de l'acuité visuelle. Cependant, pour les fréquences temporelles élevées, au-delà de 10 Hz, il est possible que le système visuel n'ait pas le temps de répondre correctement et les résultats seraient moins fiables. Il est recommandé d'utiliser une fréquence de stimulation en dehors du rythme alpha (réponse électro-encéphalographique du lobe occipital dans un état de somnolence, en dehors de toute stimulation visuelle), qui est entre 8 et 13 Hz. La plupart des études utilisent une fréquence de stimulation de 6 Hz.
- Le sens du **balayage** semble modifier les estimations. Initialement, Tyler *et al.* ont suggéré que le balayage du non-vu au vu (des hautes aux basses fréquences spatiales) surestimerait la mesure de l'acuité visuelle [2], et les différentes mesures réalisées depuis retrouvent les mêmes résultats.
- Il est recommandé d'utiliser un **point de fixation** car il permet de contrôler l'accommodation et minimise le mouvement des yeux, source d'artéfact. Une seule étude a comparé les résultats dans l'utilisation des PEV sweep avec ou sans point de fixation et il n'apparaît pas de différence significative dans la mesure de l'acuité visuelle [3].

### Réalisation pratique de l'examen

L'enregistrement des PEV sweep est très proche de celui des PEV classiques. Il est effectué dans une pièce

# Clinique

obscur exemple de tout bruit afin que l'attention ne soit pas détournée du test. L'examen est réalisé œil par œil. Le choix du protocole diffère uniquement par la distance de réalisation de l'examen. Plus la distance est grande et plus on peut atteindre des niveaux d'acuité visuelle élevés. Le test doit donc être choisi en fonction de l'estimation de l'acuité visuelle attendue, sinon l'acuité visuelle risque d'être sous-estimée.

Une fois le patient placé à la distance choisie, les électrodes sont mises en place de la même façon que pour les PEV classiques avec une électrode en Oz, une électrode de référence et une électrode de masse, selon les recommandations de l'Iscev.

Le programme commence par la présentation sur l'écran de stimulation d'un damier de grande taille.

Les réponses recueillies au niveau du scalp sont digitalisées à une fréquence multiple de la fréquence de stimulation et traitées en temps réel, par transformée de Fourier. L'amplitude et la phase du premier et du second harmonique sont calculées sur une fenêtre temporelle et visualisées sur l'écran de contrôle sous forme de deux bandes verticales de couleur jaune (amplitude en fonction de la fréquence). La taille du damier de stimulation est progressivement diminuée avec un balayage de la totalité des tailles en une dizaine de secondes. On observe une diminution de l'amplitude des pics de réponse lorsque l'on approche de la limite de perception. Lorsque le sweep est terminé, le programme présente de nouveau la plus grande taille de damier et on doit voir réapparaître le pic de réponse. Il est recommandé de réaliser plusieurs balayages au cours d'un même enregistrement (simplement en relançant plusieurs fois un balayage) pour comparer les réponses obtenues et éliminer celles dont la qualité n'est pas satisfaisante.

## Interprétation des résultats présentés

### Analyse de la magnitude et de la phase des différents sweep (figure 3)

La courbe verte du haut représente l'amplitude de la réponse en fonction du temps. Le balayage démarre à l'emplacement du marqueur vertical. Sa durée de 10 secondes est indiquée par le trait gras horizontal. Lorsque la taille des damiers diminue et chez un sujet normal, l'amplitude de la réponse augmente d'abord. Elle atteint ensuite un maximum avant de décroître rapidement. L'acuité visuelle correspond à la plus petite taille de damier pour laquelle on obtient une réponse.

La courbe en pointillé représente le niveau de bruit ; il doit rester inférieur à la réponse mesurée.

La courbe verte du bas représente la phase de la réponse ou retard par rapport à la stimulation. Celle-ci aug-

mente progressivement et de façon stable lorsque la taille des damiers diminue. Le niveau de réponse supérieur à celui du bruit et la stabilité de phase indiquent que la réponse est fiable.

Différentes sources de bruit peuvent affecter la réponse. Celles-ci peuvent être facilement identifiées à partir de la forme du tracé de l'analyse fréquentielle. Par exemple, le rythme alpha apparaît sur le tracé comme un pic de réponse à une fréquence autour de 8 à 10 Hz. Le bruit électrique produit par les mouvements du patient se traduit dans le tracé essentiellement par des composantes basses fréquences.

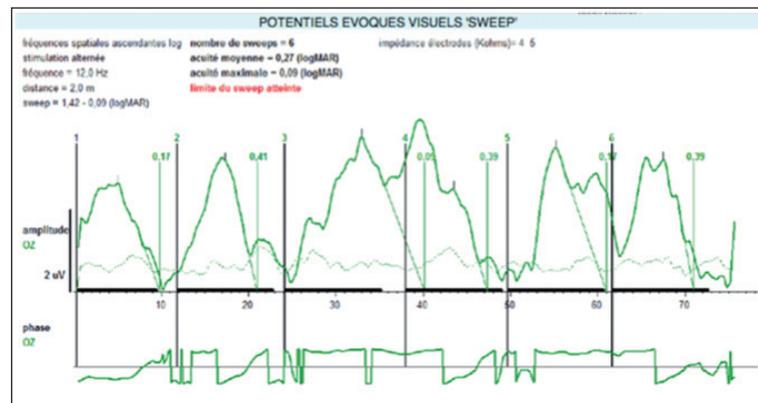


Figure 3. Analyse de la magnitude et de la phase des différents sweep.

### Analyse des résultats (figure 4)

L'analyse des résultats donne la moyenne vectorielle des différents sweep effectués pendant l'examen. La réponse moyennée apparaît sous la forme d'une courbe colorée alors que les résultats individuels de chaque sweep sont sous forme de lignes gris clair.

Sur l'axe horizontal sont indiqués les tailles de pattern (en cycles par degré ou CPD) et les niveaux d'acuité visuelle correspondants. Lorsque la taille du pattern diminue, le nombre de CPD augmente et l'amplitude de la réponse décroît. Le programme extrapole automatiquement la partie descendante de la courbe au niveau de réponse zéro qui correspond à la plus petite taille de pattern produisant une réponse. La ligne verticale de couleur rouge indique la mesure et l'acuité visuelle correspondantes. L'estimation de l'acuité visuelle est réalisée en construisant la droite de régression de la courbe d'amplitude des 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. Cette analyse effectue une moyenne vectorielle pondérée : chaque résultat est pondéré en fonction de la quantité de bruit, ce qui permet l'élimination des parties bruitées de l'enregistrement.

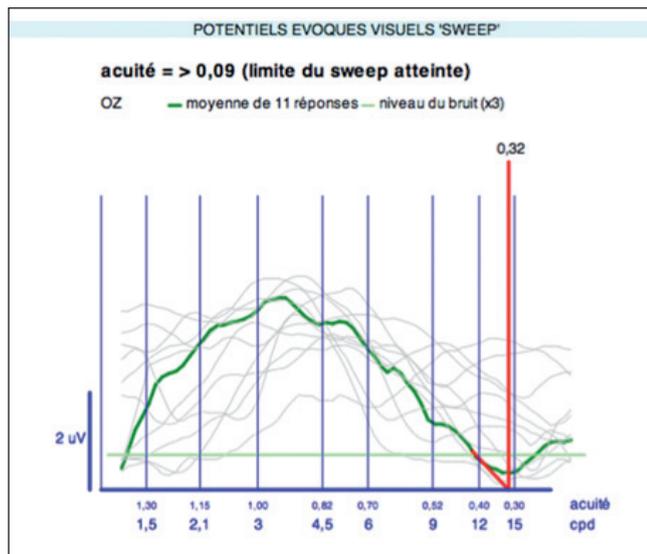


Figure 4. Détermination de l'acuité visuelle par les PEV sweep.

### Correspondance avec l'acuité visuelle

La notion de fréquence spatiale est apparue dans la littérature de recherche avec l'avènement des réseaux de contraste. Par définition, c'est le nombre de cycles du stimulus vu sous un angle de 1 degré. Un cycle correspond au motif élémentaire qui est répété pour constituer le réseau. Pour un réseau de barres alternativement blanches et noires, il correspond donc à une paire blanche plus noire. L'acuité réseau est exprimée en nombre de CPD. Une acuité de 1,0 correspond à une taille angulaire de 1 minute d'arc qui correspond à une fréquence spatiale de 30 CPD (chaque barre, noire et blanche, est vue sous un angle de 1 minute d'arc ; il y a donc dans un degré 60 barres alternativement noire ou blanche, ce qui correspond à 30 paires). Une acuité de 0,1 équivaut à 10 minutes d'arc qui équivalent à 3 CPD. L'acuité visuelle est l'inverse de la taille angulaire du stimulus exprimée en minutes d'arc.

### Application cliniques

La littérature concernant l'utilisation des PEV sweep chez l'enfant pour estimer l'acuité visuelle est abondante mais reste limitée aux applications en recherche clinique et non pas en pratique courante. Les PEV sweep ont été utilisés pour évaluer l'acuité visuelle des enfants sains ou atteints de pathologie en âge préverbal avec une excellente reproductibilité et une bonne corrélation avec l'acuité visuelle mesurée par des méthodes psychophysiques (le plus souvent la méthode du regard préférentiel) [4,5].

Chez l'adulte sain ou atteint d'une pathologie, les études cliniques montrent également une très bonne reproduc-

tibilité de la technique dans l'estimation de l'acuité visuelle [6] et une bonne corrélation avec l'acuité visuelle mesurée sur échelle de Snellen [7]. Chez l'adulte sain, les PEV sweep ont tendance à sous-estimer l'acuité visuelle [8]. Par contre en pathologie, avec des acuités visuelles basses, les PEV sweep ont tendance à surestimer les acuités visuelles, et plus particulièrement en cas de neuropathie optique où les corrélations sont les moins bonnes [7].

### Conclusion

Les PEV damiers sont les examens les plus utiles à l'évaluation objective de l'acuité visuelle car ils testent les capacités qu'ont les différentes zones maculaires à répondre à des stimulations organisées en structure. Selon la taille des patterns, ils permettent d'obtenir une estimation objective de l'acuité visuelle. Parmi les différents PEV disponibles, les PEV sweep, technique d'enregistrement des PEV de type stationnaire, avec une stimulation haute fréquence, à balayage spatial rapide, avec analyse fréquentielle en temps réel, permettent facilement et rapidement d'obtenir une estimation précise de l'acuité visuelle. Cette technique reste assez peu développée et connue mais mérite d'être plus largement utilisée, notamment dans l'évaluation de l'acuité visuelle chez l'enfant en âge préverbal. Il conviendrait de définir des standards d'utilisation concernant les paramètres de procédure afin d'optimiser son utilisation. Enfin dans les cas de baisse d'acuité visuelle présumée anorganique, situation clinique peu fréquente mais souvent complexe, l'utilisation des PEV sweep permet d'apporter simplement et rapidement des réponses formelles.

### Bibliographie

1. Regan D. Steady-state evoked potentials. *J Opt Soc Am.* 1977;67(11):1475-89.
2. Tyler CW, Apkarian P, Levi DM, Nakayama K. Rapid assessment of visual function: an electronic sweep technique for the pattern evoked potential. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1979;18(7):703-13.
3. Yadav NK. Optimization of sweep visually evoked potential (sVEP) in adults. Thèse, université de Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2008.
4. Katsumi O, Denno S, Arai M *et al.* Comparison of preferential looking acuity and pattern reversal visual evoked response acuity in pediatric patients. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 1997;235(11):684-90.
5. Lauritzen L, Jorgensen MH, Michaelsen KF. Test-retest reliability of swept visual evoked potential measurements of infant visual acuity and contrast sensitivity. *Pediatr Res.* 2004;55(4):701-8.
6. Mackay AM, Bradnam MS, Hamilton R *et al.* Real-time rapid acuity assessment using VEPs: development and validation of the step VEP technique. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008;49(1):438-41.
7. Arai M, Katsumi O, Paranhos FR *et al.* Comparison of Snellen acuity and objective assessment using the spatial frequency sweep PVER. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 1997;235(7):442-7.
8. Ridder WH 3rd. Methods of visual acuity determination with the spatial frequency sweep visual evoked potential. *Doc Ophthalmol.* 2004;109(3):239-47.