

LES POTENTIELS ÉVOQUÉS VISUELS

JP WOILLEZ

1. DÉFINITION

Les potentiels évoqués visuels (PEV) sont utilisés pour étudier les voies visuelles principales, de la région fovéale au cortex visuel. Il s'agit d'une réponse micro-électrique recueillie sur le scalp en regard du cortex visuel provoquée par une stimulation visuelle globale (flash) ou structurée (pattern) mono ou binoculaire.

2. PRINCIPE

La stimulation rétinienne fovéolaire (2°), maculaire ($2-4^\circ$) ou péri maculaire ($4-10^\circ$) déclenche un potentiel d'action ($< 20 \mu\text{V}$) qui se transmet jusqu'au cortex visuel. Le potentiel d'action est détecté sur une large surface occipitale liée à une surreprésentation corticale de la réponse maculaire. L'onde principale correspond à l'activation des aires 18 et 19. Le potentiel d'action est enregistré par des électrodes placées sur le scalp. L'existence d'un bruit de fond micro-électrique (EEG, EMG, ECG, champ magnétique, secteur) nécessite une stimulation répétée (60 à 100 stimulations) qui, une fois traitée (filtres, amplis, sommation, moyennage), permet d'extraire le PEV par analyse statistique. La réponse est dite structurée si les pics de culmination des réponses sont discernables avec un coefficient de confiance élevé ou déstructurée dans le cas contraire. Les latences des pics de culmination sont assez constantes mais il peut exister une discrète variation selon le matériel utilisé. Selon le protocole standard de l'ISCEV⁽¹⁾, l'enregistrement doit comporter une stimulation par deux tailles de damiers avec au moins une électrode active placée en zone occipitale médiane (appelée « Oz » dans la nomenclature d'électroencéphalographie). Il est possible d'utiliser deux électrodes décalées latéralement de chaque côté de la ligne médiane (appelées « O1 » et « O2 »). (Fig. 1) (2,3).

3. PROTOCOLES

Selon le type et la fréquence de la stimulation, différents protocoles existent.

3.1. Les PEV standards selon les recommandations internationales⁽¹⁾

3.1.1. Les PEV obtenus avec une stimulation par flashes

Les flashes photopiques, achromatiques ou chroma-

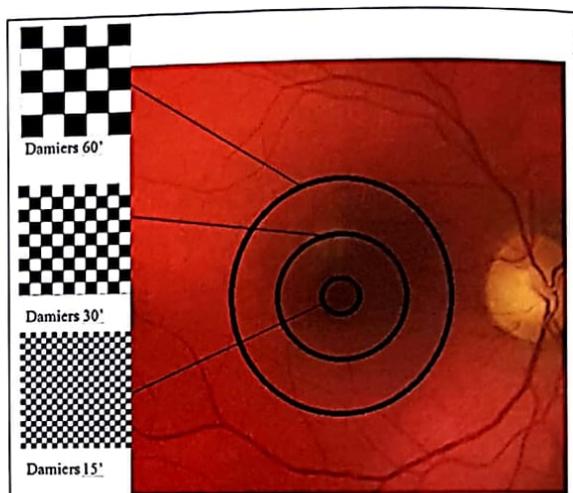


Figure 1 : Zones rétiennes stimulées en fonction de la taille angulaire du damier.

tiques nécessitent un champ de stimulation d'au moins 20° pour une luminance de 3 cd.s.m^{-2} . Ils sont générés dans une coupole ou par un autre moyen.

3.1.2. Les PEV par une stimulation par damiers

Stimulation
Des damiers noirs et blancs à contraste élevé constituent le mode de stimulation privilégié, l'événement stimulant est représenté par l'inversement (Fig. 2a) ou l'apparition-disparition (Fig. 2b) du damier.

En cas de mode apparition-disparition, quand le damier disparaît, il laisse la place à un écran de la luminance moyenne qui est la même que celle du damier, pour le patient il apparaît en gris ni noir ni blanc (Fig. 2b).

Fréquence spatiale

Deux tailles différentes (ex. 60 et 15 minutes d'arc) du damier noir et blanc généralement utilisé permettent de stimuler l'œil. La taille s'exprime en valeur angulaire: minutes d'arc ou en fréquence spatiale: nombre d'événements stimulants par degré.

Par exemple, dans un damier vu sous un angle de $1^\circ = 60 \text{ minutes d'arc}$ (min arc), la fréquence spatiale est de 0,5 cycle par degré et un damier vu sous un angle de $0,25^\circ = 15 \text{ minutes d'arc}$, la fréquence spatiale est de 2 cycles par degré (Fig. 3).

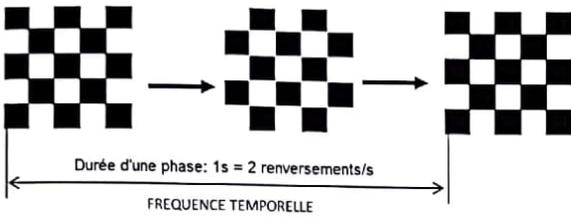


Figure 2a: Définition du renversement de damier. Le carré blanc devient noir et le carré noir devient blanc. Le temps entre deux renversements de damier est d'une seconde, la fréquence temporelle est donc de 2 Hz (schéma C ARNDT).

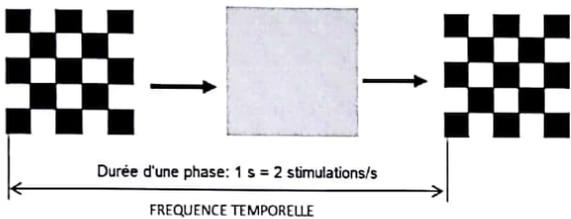


Figure 2b: Définition de la stimulation par damier en mode apparition-disparition (« onset-offset »), le damier alterne avec un écran uniformément gris. Le temps entre deux apparitions de damier est d'une seconde, la fréquence temporelle est donc de 2 Hz (schéma C ARNDT).

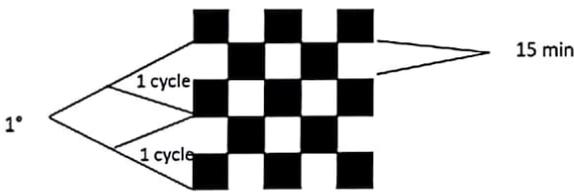


Figure 3: Définition de la fréquence spatiale. Chaque élément (carré) est vu sous un angle de 15 minutes d'arc (soit 0,25 degré) c'est la taille angulaire, dans ce cas un degré contient 2 paires de carrés noirs/blancs, la fréquence spatiale est de 2 cycles par degré (Schéma C ARNDT).

Fréquence temporelle

La fréquence temporelle définit le nombre d'événements stimulants par seconde, pour un damier (Fig. 2), c'est le nombre de renversements par seconde ou hertz (Hz).

- Si la fréquence temporelle est < 2 Hz, les neurones reviennent à leur état d'équilibre. Les voies parvocellulaires (cf. vision des contrastes, chapitre 2.5) sont stimulées préférentiellement.

Energie lumineuse, contraste

Le niveau de stimulation est exprimé en candela seconde par m², les flashes sont à 3cd.s.m⁻², la luminance des carrés blancs à 150-200 cd.s.m⁻², celle des damiers noirs est de 0 cd.s/ m², la luminance moyenne du champ de stimulation est ainsi de 75-

100 cd.s/ m² avec un contraste proche de 1 (cf. vision des contrastes, chapitre II.2.5.).

3.2. Les autres protocoles de PEV

En dehors des recommandations internationales, d'autres stimulations peuvent être utilisées, particulièrement dans des protocoles de recherche.

3.2.1. Les PEV stationnaires par damiers

La succession de stimulations répétées empêche tout retour à l'équilibre des neurones. Ce type de stimulation dans les hautes fréquences temporelles peut permettre d'évaluer la réponse des voies magnocellulaires à condition d'avoir une mire à basse fréquence spatiale et à faible contraste (cf. vision des contrastes, chapitre 2.5).

3.2.2. Les PEV par une autre stimulation que le damier noir et blanc

L'élément utilisé pour stimuler l'œil peut différer du damier noir et blanc, par la couleur ou le motif, il peut s'agir d'une alternance de barres noires et blanches ou de points.

3.2.3. Les PEV par stimulation multifocale

Une stimulation monoculaire de 60 zones différentes de la rétine situées sur les 25 degrés centraux est utilisée (4). Cette technique a pour avantage d'explorer une plus grande surface rétinienne par rapport au PEV standard. Les réponses sont générées au niveau du cortex visuel primaire V1 (Fig. 4).

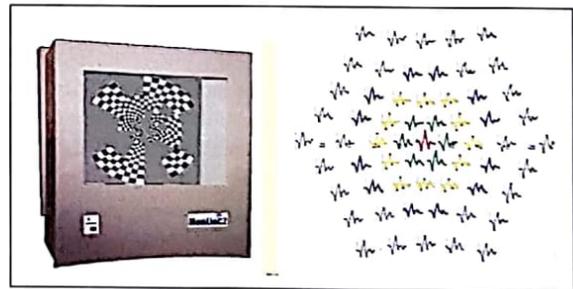


Figure 4: PEV multifocaux, exemple de mire de stimulation et de résultats (Metrovision)

3.2.4. Les PEV par balayage

Le PEV par balayage (« sweep ») est une méthode intéressante pour approcher l'acuité visuelle chez l'enfant préverbal. Elle repose sur le principe d'une stimulation rapide qui génère une réponse stationnaire.

Une présentation courte d'une succession de tailles décroissantes (fréquences spatiales croissantes) de damier (10 s par taille de damier) est effectuée. L'amplitude obtenue de la réponse à chaque taille de damier est fonction de l'acuité visuelle. Quand la taille de damier s'approche du seuil de discrimina-

tion de l'œil, la réponse devient non détectable par rapport au bruit de fond. Par extrapolation (Fig. 5), il est ainsi possible de déterminer cette taille de damier (en minutes d'arc), qui permet une estimation objective de l'acuité visuelle (7).

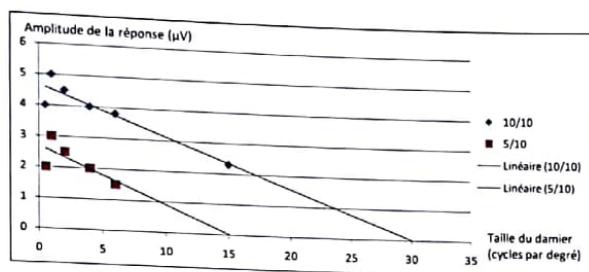


Figure 5: Relation entre taille du damier (en cycles par degré) et amplitude de la réponse (en µV). Le point de croisement entre la ligne des abscisses et la droite de régression correspond à l'acuité visuelle estimée.

3.2.5. Les PEV binoculaires

Cette méthode est intéressante afin d'évaluer l'existence d'une vision binoculaire chez le très jeune enfant (7). En cas de vision binoculaire, l'amplitude du signal obtenue en stimulation binoculaire devrait être supérieure à l'amplitude obtenue en stimulation monoculaire.

4. CONDITIONS D'EXAMEN

4.1. Généralités

Avant de réaliser un PEV, il est nécessaire d'utiliser la meilleure correction optique, dans l'idéal sur la base d'une réfraction réalisée le jour de l'examen (Fig. 6). La qualité de la fixation par le patient, son niveau de vigilance et l'expertise du technicien sont également à prendre en compte.



Figure 6: Variation du PEV en fonction de la correction optique

Pour interpréter la réponse obtenue, il est nécessaire d'avoir une notion de la meilleure acuité visuelle corrigée de loin et de près, de la transparence des milieux optiques, et de l'état maculaire. L'idéal est de réaliser un examen ophtalmologique complet le

jour de l'enregistrement du PEV. Dans le cas contraire, il est impératif de disposer d'un descriptif détaillé d'un examen ophtalmologique récent (Fig. 6).

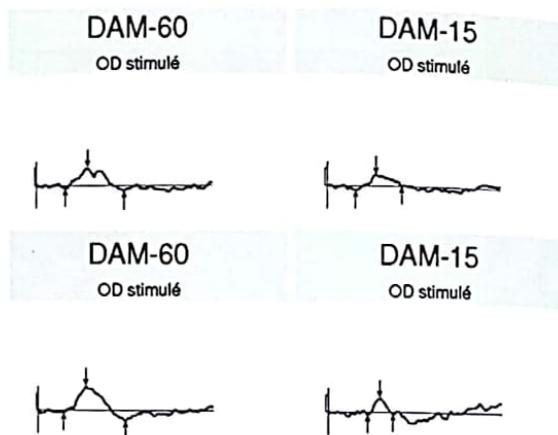


Figure 7: Variation du PEV en fonction de l'acuité visuelle, après stimulation par damier 60 et 15 minutes.

7a : Les deux tracés du haut correspondent à la réponse à la stimulation d'un œil droit avec une acuité visuelle de 4/10.

7b : Les deux tracés du bas correspondent à la réponse à la stimulation d'un œil droit avec une acuité visuelle de 10/10.

4.2. Particularité chez l'enfant

Intérêt

Cet examen est praticable dès la naissance sans anesthésie, sans dilatation préalable, il ne faut pas utiliser des électrodes à aiguilles. Les PEV autorisent une étude de la fonction des nerfs optiques à tout âge et sans anesthésie générale. Avec une procédure standard (stimulation par damiers 60 et 15 minutes), l'examen se conduit comme chez un adulte mais il est possible de se contenter d'un nombre de stimulations moindre et la durée d'acquisition doit être supérieure à 500 ms. L'utilisation des PEV par balayage (PEV par balayage ou « sweep ») permet une évaluation de l'acuité visuelle et la comparaison des amplitudes en monoculaire et en binoculaire donne une idée des capacités de vision binoculaire.

Difficultés

Le manque d'attention (à évaluer durant la totalité de l'examen) est un critère fondamental dans l'interprétation des résultats, de même que la maturation très variable des voies visuelles selon l'individu. Enfin l'interprétation est très dépendante de l'expérience du praticien.

5. RÉSULTATS

5.1. Résultats Normaux

5.1.1. Adultes

PEV transitoires par flashes

Une courbe présentant plusieurs ondes de polarité négatives (N1 = 60 ms, N2 = 90 ms, N3 = 150 ms) ou positives (P1 =, P2 = 120 ms, P3 = 180 ms) est enregistrée (Fig. 8). Les amplitudes varient de 5 à 40 μ V. Les fluctuations interindividuelles sont importantes.

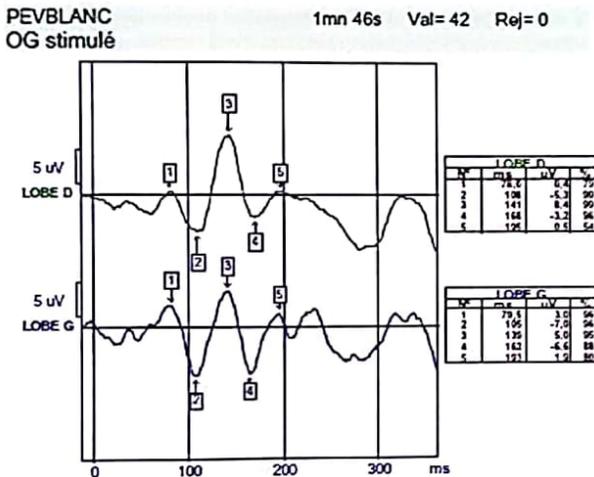


Figure 8 : PEV standard par flashes, il existe une réponse positive qui culmine après 100 ms, l'onde P2.

PEV transitoires par damiers

La réponse se compose de 3 pics principaux N75 = 80 +/-10 ms, P100 = 110 +/-10 ms, N135 = 140 +/-10 ms (Fig. 9). L'amplitude varie de 5 à 10 μ V. Elle diminue si la fréquence spatiale augmente ce qui permet une mesure objective de l'acuité visuelle. Les fluctuations interindividuelles sont beaucoup moins importantes.

PEV stationnaires par stimulation flashes

Ils sont peu utilisés en pratique clinique courante.

PEV stationnaires par damiers

La réponse à la stimulation par damiers prend l'allure d'une sinusoïde (Fig. 10). La réponse est en fait composée d'une superposition de sinusoïdes dont les fréquences sont des multiples de la fréquence de la stimulation et dont les amplitudes respectives peuvent être déterminées par un procédé

de calcul appelé « décomposé de Fourier ». Ce type de stimulation dans les hautes fréquences temporelles peut permettre d'évaluer la réponse des voies magnocellulaires à condition de stimuler avec une mire à basse fréquence spatiale et à faible contraste (lire aussi le chapitre II.2.5. : Vision des contrastes).

PEV par stimulation damiers apparition-disparition (on set-offset)

La stimulation on set-offset réponse on: 3 ondes (+CI = 75 ms, - CII = 125 ms, + CIII = 150 ms)

PEV multifocaux

Les résultats sont extrêmement variables en amplitude et en forme d'un sujet à l'autre. Pour pouvoir analyser d'éventuelles lésions des cellules ganglionnaires cela nécessite l'utilisation de logiciels très spécialisés non accessibles actuellement. Comme l'ERG multifocal, la fixation est un élément clef.

5.1.2. Enfants

PEV flashes

La forme de la réponse PEV aux flashes permet d'évaluer la maturation des voies visuelles.

PEV damiers

Comme la réponse PEV aux flashes, la réponse aux damiers permet également d'apprécier la maturation des voies optiques.

5.2. Résultats pathologiques

5.2.1. Adultes

Des erreurs réfractives, un trouble des milieux transparents (cornée, cristallin, vitré), une lésion rétinienne sont susceptibles d'altérer le PEV. En général, dans ces cas, l'altération de la réponse aux damiers est corrélée à la baisse de l'acuité visuelle. Par conséquent avant de retenir une atteinte du nerf optique devant une altération du PEV, il faut avoir éliminé ou pris en compte toutes les autres causes pouvant induire une altération du PEV (cf. IV conditions d'examen et V 3 pièges).

Seulement ensuite deux situations peuvent être envisagées.

5.2.1.1. Atteinte démyélinisante

Il existe un retard de conduction, qui se présente soit sous la forme d'une augmentation de la latence de l'onde P100 (Fig. 9a) ou d'un aspect dédouble de l'onde P100 (Fig. 9b): c'est un argument quasi pathognomonique en faveur d'une atteinte démyélinisante. Le PEV est ici essentiel, car il donne un reflet de la vitesse de conduction du nerf optique.

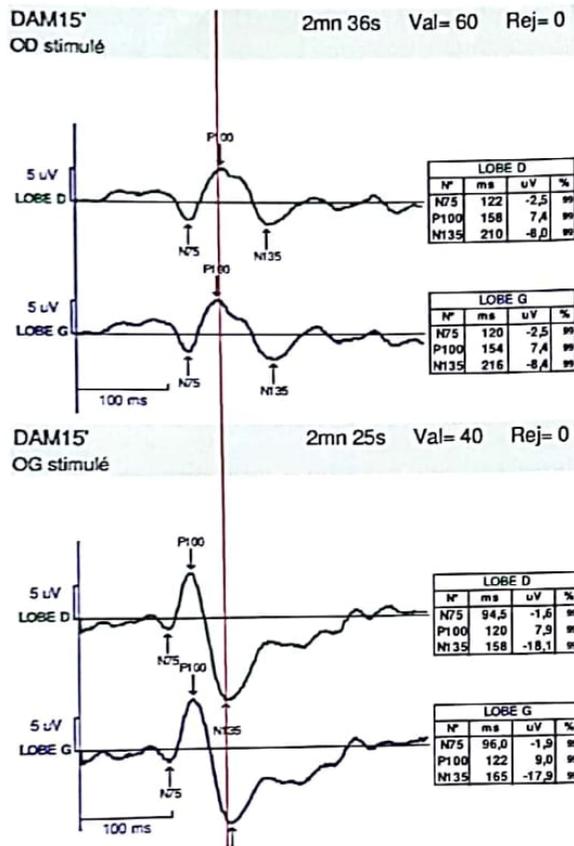


Figure 9a: PEV transitoire avec retard du pic de culmination de l'onde P100 en haut, une réponse normale en bas.

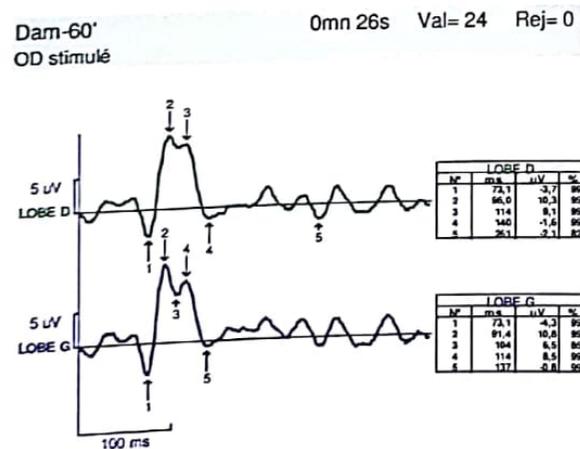


Figure 9b: PEV transitoire avec aspect bifide de l'onde P100.

5.2.1.2. Atteinte axonale

Il existe une diminution de l'amplitude soit à la réponse transitoire (onde P100 n'est pas identifiable) ou les réponses stationnaires sont de très faible amplitude (Fig. 10). Là encore, le PEV est essentiel, il permet d'affirmer une atteinte axonale fonctionnelle, si toutes les autres causes d'altération du PEV ont été prises en compte. En cas d'altération du PEV sans perte décelable en cellules ganglionnaires rétiniennes à l'OCT, l'atteinte axonale est possiblement réversible. Dans les neuropathies optiques aiguës, les PEV permettent de suivre l'éventuelle récupération après la phase initiale. En cas de perte axonale définitive, l'atteinte du PEV précède la perte de cellules ganglionnaires décelée à l'OCT.

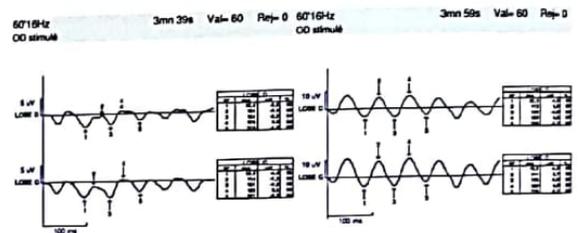


Figure 10: PEV stationnaire : Diminution de l'amplitude de la réponse à droite par rapport au tracé de gauche, pouvant témoigner d'une dysfonction axonale.

De plus, le PEV multifocal serait plus sensible que le champ visuel pour détecter des atteintes très localisées des cellules ganglionnaires rétiniennes (6,7).

5.2.2. Enfants d'âge préverbal

La morphologie de la réponse au flash, permet d'évaluer le stade de maturation des voies visuelles(8). L'absence de réponse au flash traduit une malvoyance profonde. Le PEV flash permet ainsi de distinguer un retard de maturation d'une atteinte organique, congénitale ou acquise. Les PEV par damiers sont utiles devant un comportement visuel anormal non expliqué par un examen ophtalmologique standard. Comme les réponses au flash, les réponses au damier permettent d'évaluer la maturation visuelle. Ils permettent d'évaluer indirectement l'acuité visuelle. Une réponse présente rassure sur la conduction du nerf optique. L'absence de réponse au damier doit être interprétée avec prudence, comme chez l'adulte, il est impératif de connaître les conditions d'examen et les données de l'examen ophtalmologique complet.

5.3. Pièges

Une augmentation de la latence ou un tracé mal structuré peut être observée en cas de distance inadaptée entre le sujet et le stimulateur, une mauvaise correction optique, une mauvaise fixation, des difficultés de vigilance, une erreur de branchement. Une asymétrie des résultats entre les 2 voies de recueil occipital peut être provoquée par une mauvaise position, un mauvais état ou un mauvais contact des électrodes ^(4,8).

En cas de ponction lombaire, il faut attendre au moins 24 heures avant de pratiquer les PEV car la pression du LCR étant perturbée, il existe une altération de la répartition des champs des potentiels corticaux.

Ainsi, l'analyse d'un tracé doit tenir compte de tous ces paramètres avant de donner une interprétation sur le caractère normal ou pathologique d'une réponse.

Enfin des lésions du chiasma ou de la bandelette optique, peuvent également donner lieu à une atteinte du PEV ⁽⁹⁾.

CONCLUSION

Même si le PEV ne fait plus partie des critères diagnostiques de la sclérose en plaques, il garde toute sa valeur diagnostique dans l'atteinte de la fonction des nerfs optiques. Un cas particulier est la neuropathie optique démyélinisante chronique dite infra-clinique par atteinte lentement progressive appelée « Silent Demyelinating Optic Neuropathy » (SDON).

REFERENCES

1. Odom JV, Bach M, Brigell M et al. ISCEV standard for clinical visual evoked potentials (2009 update). *Doc Ophthalmol* 2010; 120:111-119
2. Halliday AM. Evoked potentials in clinical testing. *Clinical Neurology and Neurosurgery Monographs* 1982; 175p Churchill Livingstone.
3. Risse JF. Exploration de la fonction visuelle ; *Applications au domaine sensoriel de l'oeil normal et en pathologie*, Masson, Paris, 1999 ; ISBN 2-225-83817-8
4. Chan JW. Optic Nerve Disorders: Diagnosis and Management 2010 *Springer* ISBN 978-1-4419-1587-0
5. Rigaudière F. Les potentiels évoqués visuels corticaux (PEV), *Oeil et Physiologie de la Vision [En ligne]*, *V-Exploration électrophysiologique, mis à jour le :22/10/2008, V-6: URL: <http://odel.irevues.inist.fr/oeil-letphysiologiedelavision/index.php?id=120>*
6. Halliday AM, Mc Donald W, Mushin J. Delayed visual evoked response in optic neuritis. *Lancet* 1972;1:982-985
7. Halliday AM, Mc Donald WI, Mushin J. Visual evoked response in diagnosis of multiple. *Br Med J* 1973 ; 4 :661-664
8. Defoort-Dhellemmes S, Meunier I. Du signe clinique au diagnostic *BSOF 2012 ÉDITION L / GROUPE CIEL*, ISBN 10 : 2952427895
9. Breceelj J. Visual electrophysiology in the clinical evaluation of optic neuritis, chiasmal tumors, achiasma, and ocular albinism: an overview. *Doc Ophthalmol* 2014; 129:71-84.