

ROYAUME DU MAROC
UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE
FES



**MISE EN PLACE ET ÉLABORATION DES VALEURS
NORMALES DES POTENTIELS ÉVOQUÉS VISUELS
AU LABORATOIRE DE NEUROPHYSIOLOGIE CLINIQUE
DU SERVICE DE NEUROLOGIE CHU HASSAN II À FÈS**

MEMOIRE PRESENTE PAR :

Dr El Machkour Merieme
née le 21 Juillet 1981 à Fès

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE SPECIALITE EN MEDECINE
OPTION : NEUROLOGIE

Sous la direction de :
Professeur BELAHSEN MOHAMMED FAOUZI

Juin 2011

SOMMAIRE

RESUME	2
INTRODUCTION	4
MATERIELS ET METHODES.....	5
I- Choix de la population.....	5
II- Installation du sujet	5
III- PEV à l'inversion de Damier.....	7
VI- PEV au flash.....	12
V- Calcul des moyennes.....	13
RESULTATS.....	14
I- Valeurs obtenues chez les sujets moins de 40 ans	14
II- Valeurs obtenues chez les sujets âgés de 40 ans ou plus.....	22
DISCUSSION	29
I- Principe des PEV	29
II- Conditions de genèse des PEV.....	29
III- Choix de la stimulation	23
IV- Conditions de stimulation.....	33
V- Conditions de recueil et de traitement du signal.....	36
VI- Caractéristiques des réponses.....	39
VII- Protocoles	44
IX- Limitation à l'enregistrement	51
X- Facteurs de perturbation des PEV	52
XI- Origine des ondes des PEV	54
XII- Interprétation des résultats.....	55
XIII- Quelques exemples d'application	61
CONCLUSION	64
BIBLIOGRAPHIE	66

RESUME

Introduction

La Fonction visuelle peut être évaluée au moyen d'un ensemble de tests utilisés en routine dans les laboratoires de Neurophysiologie. Les potentiels électriques émis par la rétine appelée électrorétinogramme (ERG) et par le cortex visuel, appelé potentiel évoqué visuel (PEV) sont évoqués par un stimulus lumineux non structuré (flash), ou par l'inversion d'un stimulus structuré, le plus souvent un damier.

Objectif

L'objectif de notre travail est d'établir les normes des valeurs recherchées au potentiel évoqué visuel, couplé à l'ERG au laboratoire de Neurophysiologie clinique du service de Neurologie au CHU Hassan II de Fès.

Matériels et méthodes

Après le choix des caractéristiques d'enregistrement et surtout des stimuli à adopter au laboratoire, notamment les dimensions de l'écran et des patterns, le rythme de stimulation, la luminance et le contraste, nous avons collecter l'ensemble des données relatives aussi bien au PEV à l'inversion du Damier (N75 ; P100 ; N145), qu'au PEV au flash (N1 ; P1 ; N2 ; P2 ; N3 ; P3 ; N4P4) chez un groupe homogène d'une vingtaine d'adultes normaux jeunes âgé de moins de 45 ans et âgés de 40 ans et plus. Les deux sexes doivent être représentés de façon équivalente.

Discussion:

L'étude des potentiels évoqués visuel correspond à une réponse globale des aires visuelles permettant d'étudier l'intégrité des voies visuelles à savoir, la rétine, les nerfs optiques, le chiasma optique et les radiations optiques. Ceci dit, ils doivent obligatoirement être couplé à l'ERG pour pouvoir tirer des conclusions concernant l'état des voies visuelles en dehors de la rétine, qui relève plutôt de la pathologie ophtalmologique.

Il est recommandé que chaque laboratoire établisse ses propres normes car dépendent de façon importante des conditions de réalisation de l'examen à savoir les paramètres de stimulation et d'enregistrement adoptés par le laboratoire.

Conclusion

Ce travail nous permet d'obtenir les valeurs des potentiels évoqués visuels propres au laboratoire du service de Neurophysiologie clinique du service de Neurologie au CHU Hassan II de Fès, tout en précisant les différents paramètres qui y seront adoptés.

INTRODUCTION

La Fonction visuelle peut être évaluée au moyen d'un ensemble de tests utilisés en routine dans les laboratoires de Neurophysiologie. Les potentiels électriques émis par la rétine appelée électrorétinogramme (ERG) et par le cortex visuel, appelé potentiel évoqué visuel (PEV) sont évoqués par un stimulus lumineux non structuré (flash), ou par l'inversion d'un stimulus structuré, le plus souvent un damier.

Les Potentiels Evoqués Visuels corticaux sont les tests de fonctionnement des voies maculaires, depuis les aires maculaires jusqu'aux aires visuelles primaires. Ils résultent de l'amplification des signaux issus du système photopique situé sur toute la surface maculaire (PEV flash) ou en différents secteurs maculaires (PEV damier) et de leur conduction le long des voies visuelles.

Les PEV permettent ainsi d'une part, de tester le fonctionnement du système photopique situé dans les aires maculaires si les résultats des bilans visuels laissent supposer que le fonctionnement des voies visuelles est normal et, d'autre part, d'approcher celui de la conduction le long des voies visuelles, si le fonctionnement normal des aires maculaires est attesté par ailleurs. L'interprétation des résultats des PEV, doit donc tenir compte de l'état de fonctionnement du système photopique global (ERG flash) mais surtout localisé (Pattern -ERG).

Des normes pour chaque laboratoire doivent être établies. L'objectif de ce travail est d'évaluer ceux du laboratoire de neurophysiologie clinique du CHU Hassan II de Fès après mise en place et choix des caractéristiques qui y seront adoptées. Ces derniers portent surtout sur les conditions de stimulation et de recueil pour différents types de potentiels évoqués visuels.

MATERIELS ET METHODES

I- Choix de la population

Nous avons procédé à la réalisation des potentiels évoqués visuels structurés et au flash, chez un groupe homogène d'une vingtaine d'adultes normaux jeunes âgés de moins de 40 ans et âgés de plus de 40 ans pour tenir compte des variations liées à l'âge.

II- Installation du sujet

Ceci a été réalisé grâce à un appareil « Neurosoft » (*figure 1*) qu'on a placé dans une salle où les conditions d'obscurité sont respectées (*figure 2*), avec la chaise du patient placée à 1,5 m (*figure 1*) de l'écran de stimulation pour le damier et le centre de l'écran (représenté par le point rouge) (*figure 3*) qui est placé au centre du champ visuel du sujet. Toutes les électrodes ont été placées après décapage de la peau permettant d'obtenir une bonne impédancemétrie.



Figure 1 : Appareil « Neurosoft » montrant aussi la chaise du malade placée à 1.5 m de l'écran de stimulation : Ecran de stimulation (flèche blanche) ; chaise du malade (flèche rouge) ; écran de réception (flèche noire)

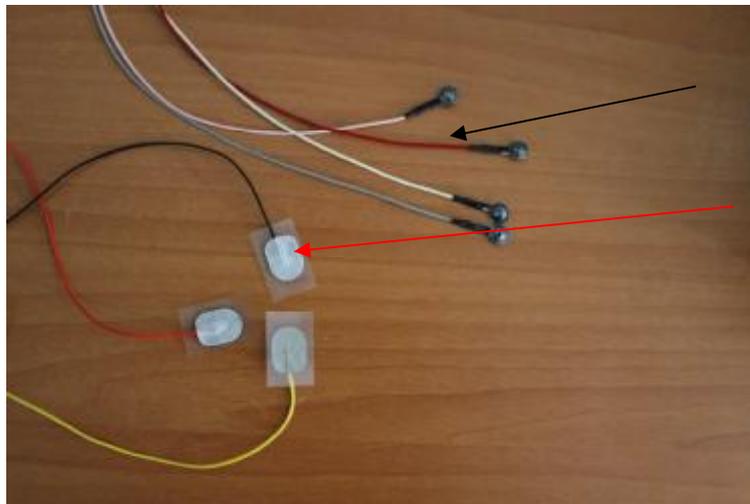


Figure 1' : les électrodes à type de cupule (flèche noire) et à type de patch (flèche rouge)



Figure 3: Dispositif de rideaux permettant l'obtention d'obscurité parfaite dans la salle

III- PEV à l'inversion de Damier

Au cours de l'enregistrement des potentiels évoqués visuels au damier, un certain degré de coopération et une acuité visuelle satisfaisante sont nécessaires, permettant au sujet la fixation du centre de l'écran (point rouge) (*figure 3*). Une éventuelle correction doit être portée par le patient au cours de cet enregistrement.

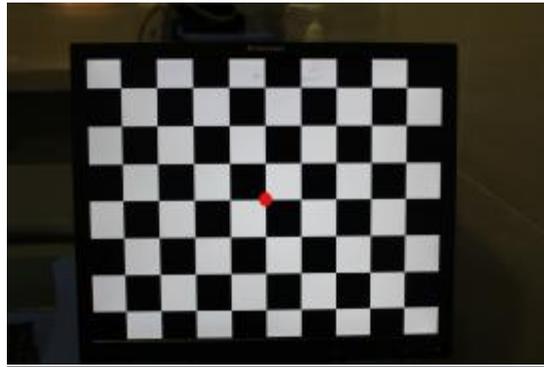


Figure 3 : montrant l'écran de stimulation qui Damier qui fait 30mmm x38mm, centre marqué par le point rouge, taille des cases à 60', contraste à 100%

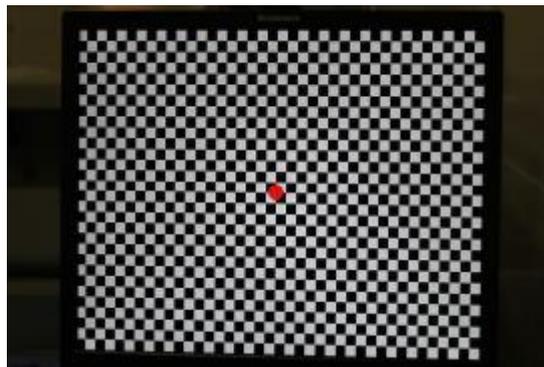


Figure 3' : montrant l'écran de stimulation qui Damier qui fait 30mmm x38mm, centre marqué par le point rouge, taille des cases à 15', contraste à 100%

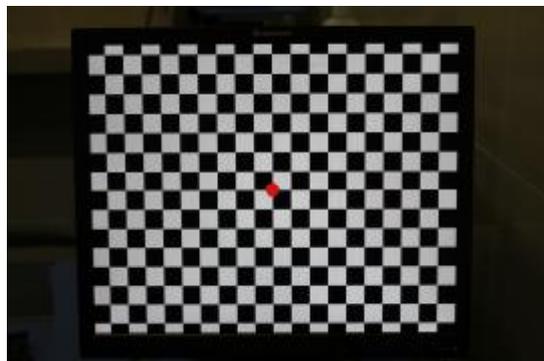


Figure 3'': montrant l'écran de stimulation qui Damier qui fait 30mmm x38mm, centre marqué par le point rouge, taille des cases à 30', contraste à 100%

1- Mise en place des électrodes

Les électrodes utilisées sont de type cupules qu'on colle grâce à de la pâte conductrice. Les électrodes en patch peuvent être utilisées pour l'ERG (figure1').

Les électrodes actives ont été placées à 2,5cm de part et d'autre du point Nasion -4cm, correspondant aux aires visuelles corticales bilatérales, pour pouvoir préciser le siège lésionnel exact par rapport au chiasma dans les cas pathologiques (figure 4 , 4'). Dans ce cas les électrodes de référence sont placées au niveau des deux mastoïdes et la terre au niveau d'un lobule de l'oreille. On peut se contenter dans certains cas d'une seule électrode active placée au point Nasion moins 4cm, quand on n'a pas de doute sur une lésion chiasmatique ou rétrochiasmatique, avec une électrode de référence placée au niveau frontale (correspondant au point d'intersection 1/3 antérieur / 2/3 postérieur de la ligne Nasion/Inion) et une terre placée sur une mastoïde.

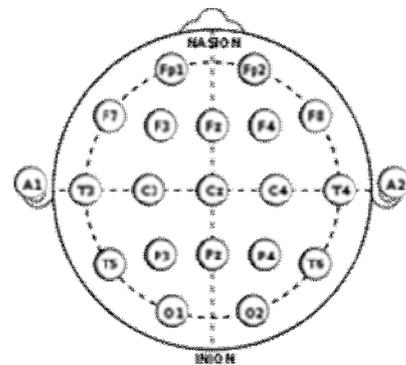


Figure 4 : montrant le placement des électrodes actives à 2,5cm de part et d'autre du point Nasion moins 4cm correspondant au point O1à gauche et O2à droite sur le système 10/20. Les électrodes de références au niveau des mastoïdes

Figure 4' : Système 10 /20

2- Caractéristiques de la stimulation

La taille de l'écran où figure les damiers est de 38mm x 30mm. Le degré de contraste entre les carreaux du damier était de 100%. La taille des cases étaient respectivement à 60' et 15' pour couvrir toute la surface rétinienne (*figure 3*). La fréquence temporelle de stimulation était à 2Hz. La stimulation était monoculaire avec occultation successive d'un œil puis de l'autre avec réponses symétriques que l'œil droit ou gauche soit stimulé, que le recueil se fasse en regard du lobe occipital droit ou gauche.

Un monitoring l'électroencéphalogramme (EEG) sommé dit « bruit de fond » a été réalisé avec tous les enregistrements PEV (*Figure 5*). Il correspond à la sommation-moyennage de 50 différences de potentiel recueillies sur le cuir chevelu en l'absence de stimulation lumineuse. L'EEG étant aléatoire au cours de temps, en l'absence de stimulation lumineuse, le bruit de fond est normalement très proche d'une ligne isoélectrique sans onde discernable.

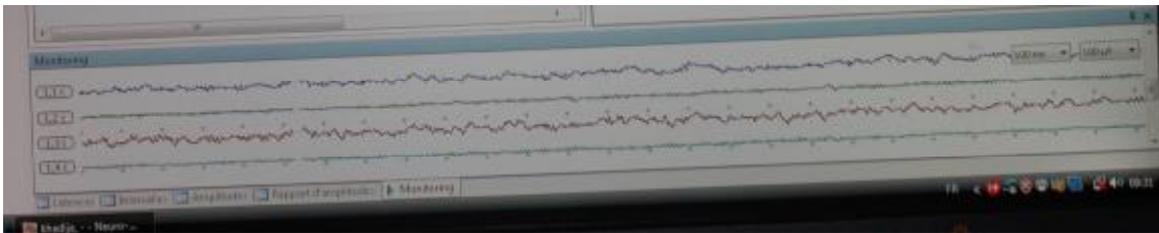


Figure 5 : montrant le monitoring EEG au dessous de l'écran d'enregistrement des
PEV

Tous les enregistrements Potentiels évoqués visuels sont couplés à un enregistrement ERG (électrorétinogramme) concomitant pour s'assurer de la normalité de la rétine avant de se prononcer sur le caractère pathogène d'un PEV. L'électrode de référence pour l'ERG est placée sous la paupière et l'électrode de référence au niveau de l'épicanthus homolatérale (*figure 6*). La terre étant la même pour les deux enregistrements PEV et ERG.

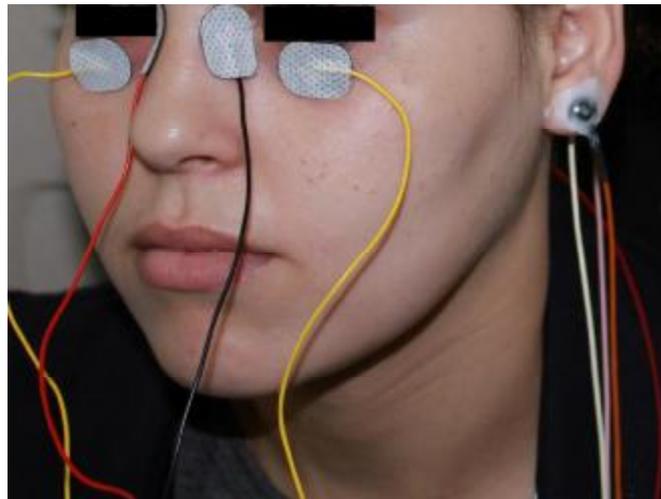


Figure 6 : montrant le placement des électrodes actives (en jaunes) au niveau des paupières et des électrodes de références au niveau de l'épicanthus homolatéral (électrode noire à gauche et rouge à droite). La terre étant placée sur le lobule de l'oreille gauche

3- Interprétation des résultats

Les trois ondes principales obtenues au PEV Damier correspondent à l'onde N75, P100 et N145 (*Figure 7*). L'amplitude qu'on a mesurée est celle de l'onde P100, effectuée de crête à crête, entre N75 et P100. Leurs temps de culmination ou latences a été mesurées pour les trois ondes. On a également procéder au calcul de la différence des latences et de l'amplitude entre l'œil droit et gauche chez un même sujet.



Figure 7 : Quatre courbes PEV au damier montrant l'emplacement N75, P100 et N145

VI- PEV au flash

1- Stimulation

Pour la simulation par flash, on a procédé a une stimulation lumineuse achromatique de niveau phototopique (3cd/sec) dans une coupole, toujours œil par œil (*figure 8*), avec les mêmes placements des électrodes et un monitoring EEG (*figure 6*). Un ERG concomitant a été réalisé.



Figure 8 : stimulation au flash de l'œil gauche avec occlusion de l'œil droit.

2- Interprétation des résultats

Les réponses au PEV flash transitoires sont représentées par plusieurs ondes, qu'on a désignées par leur polarité négative (N) ou positive (P) et leur ordre de survenue (1, 2, 3,4). On a précisé les temps de culmination et l'amplitude de ces ondes de crête à crête, les résultats doivent être considérés avec précaution et restent indicatifs car sont inconstants et variables avec la luminance du flash et d'un sujet à l'autre. On a procédé au calcul des différences de latences et d'amplitudes entre œil droit et gauche pour chacune des ondes en question.

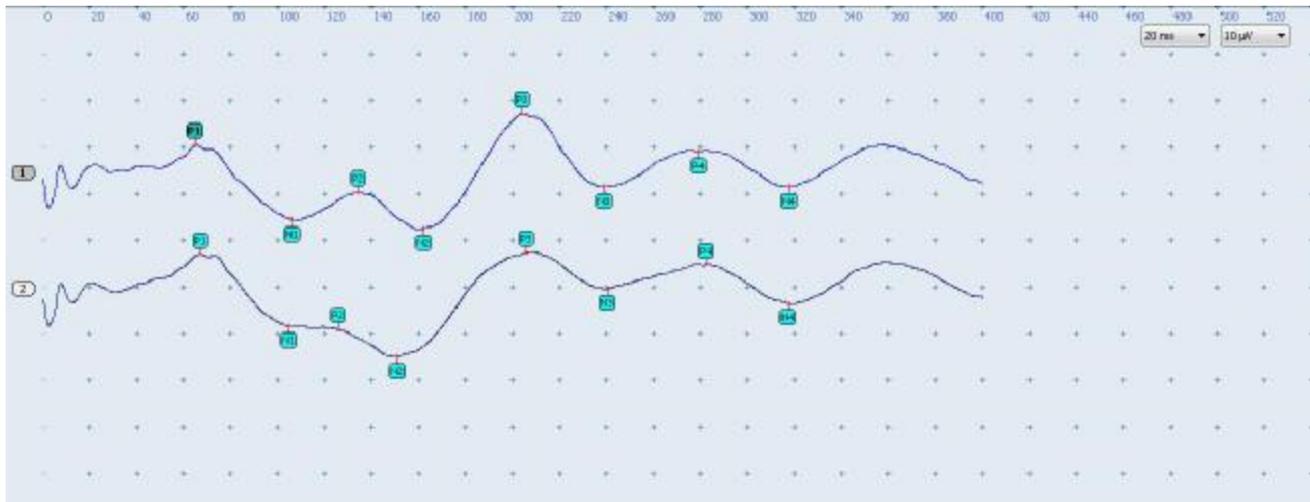


Figure 9 : Deux courbes PEV au flash montrant les différentes ondes successives témoignant de la réactivité des PEV au Flash

V- Calcul des moyennes

Les moyennes des latences et des amplitudes ont été calculées par le programme « Excel », avec calcul des écart-type pour toutes les ondes sus cités pour les deux groupe de patients âgés strictement de moins de 40 ans et supérieurs ou égales à 40 ans ; aussi bien pour les PEV Damier à 60' et à 50' que pour le flash. Nous avons procéder également au calcul de la moyenne avec son écart-type, de la différence entre l'œil droit et gauche pour tous ces paramètres.

RESULTATS

I- Valeurs obtenues chez les sujets moins de 40 ans

1- Résultats les PEV au damier transitoire à 60' chez les sujets de moins de 40 ans (voir Tableau 1)

Ø L'onde P100 :

Au niveau de l'œil droit : Sa latence moyenne est à 109,5 ms avec des extrêmes allant de 104,1ms à 114,9 ms avec une amplitude moyenne à 7,58 μV et des extrêmes allant de 4,71 μV à 10,36 μV .

Au niveau de l'œil gauche : Sa latence moyenne est à 108,7 ms avec des extrêmes allant de 103,2 ms à 114,2 ms avec une amplitude moyenne à 7,54 μV et des extrêmes allant de 4,34 μV à 10,74 μV .

La différence moyenne entre les latences de l'œil droit et de l'œil gauche est en moyenne de 2,6 ms mais peut aller jusqu'à 6,74 ms. Pour les amplitudes, la différence moyenne est de

1,88 μV et peut aller jusqu'à 3,71 μV .

Ø *L'onde N75 :

Au niveau de l'œil droit : Sa latence moyenne est de 79,30 ms avec des extrêmes allant de

73 ms à 85,61 ms.

Au niveau de l'œil gauche : Sa latence moyenne est de 78,45 ms avec des extrêmes allant de 73,89 ms à 83,01 ms.

La différence moyenne de latence entre l'œil droit et l'œil gauche est de 5,23ms et peut aller jusqu'à 8,76.

Ø *L'onde P145 :

Au niveau de l'œil droit : Sa latence moyenne est de 146 ms avec des extrêmes allant de 127,98 ms à 164,27ms.

Au niveau de l'œil gauche : Sa latence moyenne est de 146,4ms avec des extrêmes allant de 128,13ms à 164,67 ms.

La différence moyenne de latence entre l'œil droit et l'œil gauche est de 5,23ms et peut aller jusqu'à 8,76ms.

Tableau 1 : Valeurs normales des potentiels évoqués visuels (PEV) obtenus à l'inversion du Damier à 60' chez les sujets âgés de moins de 40 ans avec la différence acceptable entre l'œil droit et l'œil gauche aux mêmes conditions

PEV AU DAMIER (60') AVANT 40 ANS												
	Œil Droit (OD)				Œil Gauche (OG)				Différence (D) OD /OG			
	Latences (ms)			Amplitude (μ V)	Latences (ms)			Amplitude (μ V)	Latences (ms)			Amplitude (μ V)
	N75	P100	N145	P100 /N145	N75	P100	N145	P100/N75	D-N75	D-P100	D-N145	D-P100/N75
Moyenne	79,30	109,50	146,00	7,58	78,45	108,70	146,4	7,54	5,23	2,60	4,00	1,88
Ecart type	6,31	5,40	18,02	2,87	4,56	5,50	18,27	3,20	3,53	4,14	5,23	1,83

2- Résultats les PEV au damier transitoire à 15' chez les sujets de moins de 40 ans (voir Tableau 1)

Ø *L'onde P100 :

Au niveau de l'œil droit : Sa latence moyenne est à 108,4 ms avec des extrêmes allant de 104,31ms à 112,49 ms avec une amplitude moyenne à 7,33 μV et des extrêmes allant de 6,15 μV à 8,51 μV .

Au niveau de l'œil gauche : Sa latence moyenne est à 109,1ms avec des extrêmes allant de 105,06 ms à 114,2 ms avec une amplitude moyenne à 7,56 μV et des extrêmes allant de 5,68 μV à 9,44 μV .

La différence moyenne entre les latences de l'œil droit et de l'œil gauche est en moyenne de 2,9 ms mais peut aller jusqu'à 4,69 ms. Pour les amplitudes, la différence moyenne est de 1,41 μV et peut aller jusqu'à 2,54 μV .

Ø *L'onde N75 :

Au niveau de l'œil droit : Sa latence moyenne est de 82,84 ms avec des extrêmes allant de 77,24 ms à 88,44 ms.

Au niveau de l'œil gauche : Sa latence moyenne est de 82,26 ms avec des extrêmes allant de 74,76 ms à 89,76 ms.

La différence moyenne de latence entre l'œil droit et l'œil gauche est de 3,94ms et peut aller jusqu'à 6,18.

Ø *L'onde P145 :

Au niveau de l'œil droit : Sa latence moyenne est de 141,9 ms avec des extrêmes allant de 132,9 ms à 150,9ms.

Au niveau de l'œil gauche : Sa latence moyenne est de 140,6ms avec des extrêmes allant de 131,79ms à 149,41 ms.

La différence moyenne de latence entre l'œil droit et l'œil gauche est de 7,7ms et peut aller jusqu'à 15,9ms.

Tableau 2 : Valeurs normales des potentiels évoqués visuels (PEV) obtenus à l'inversion du Damier à 15' chez les sujets âgés de moins de 40 ans avec la différence acceptable entre l'œil droit et gauche aux mêmes conditions

PEV au DAMIER (15')												
	Œil Droit				Œil Gauche				Différence (D) OD/OG			
	Latences (ms)			Amplitude (μ V)	Latences (ms)			Amplitude (μ V)	Latences (ms)			Amplitude (μ V)
	N75	P100	N145	P100/N145	N75	P100	N145	P100/N145	D- N75	D- P100	D- N145	D- P100/N145
Moyennes	82,84	108,40	141,90	7,33	82,26	109,10	140,60	7,56	3,94	2,90	7,70	1,41
Ecart type	5,60	4,09	9,00	1,18	7,50	4,04	8,81	1,88	2,24	1,79	7,75	1,13

3- Résultats des PEV Flash chez les sujets de 40 ans et plus sont difficilement reproductibles, les moyennes des latences de chaque onde et de l'amplitude des deux premières avec leurs écart type aussi bien au niveau de l'œil droit qu'à l'œil gauche. L'importance des écarts type témoigne du caractère difficile à reproduire de ces ondes.

L'ensemble des résultats est reproduit sur les Tableaux 3 et 4.

Le Tableau 5 représente les différences acceptables entre l'œil droit et l'œil gauche.

Tableau 3 : Valeurs normales des potentiels évoqués visuels (PEV) de l'œil droit obtenus au Flash chez les sujets âgés de moins de 40 ans

PEV au Flash										
Œil Droit (OD)										
Latences (ms)									Amplitudes (μ v)	
	P1	N1	P2	N2	P3	N3	P4	N4	N1P1	N2P2
Moyennes	44,01	69,01	90,34	118,79	147,13	167,88	204,38	232,13	5,30	8,95
Ecart type	17,25	20,35	22,19	26,07	35,44	42,08	51,43	54,55	2,38	1,27

Tableau 4 : Valeurs normales des potentiels évoqués visuels (PEV) de l'œil gauche obtenus au Flash chez les sujets âgés de moins de 40 ans

PEV au Flash										
Œil Gauche (OG)										
	Latences (ms)								Amplitudes (μ V)	
	P1	N1	P2	N2	P3	N3	P4	N4	N1P1	N2P2
Moyennes	43,50	66,56	89,01	118,31	147,13	169,50	204,00	227,00	6,43	9,20
Ecart type	17,35	20,89	20,00	23,77	37,52	40,67	49,43	55,18	2,45	3,06

Tableau 5 : Valeurs acceptables de différence entre œil droit et œil gauche pour les PEV au Flash pour les latences et les amplitudes chez les sujets de moins de 40 ans

PEV au Flash										
Différence OD/OG										
	Latences (ms)								Amplitudes (μ V)	
	DP1	DN1	DP2	DN2	DP3	DN3	DP4	DN4	D N1/P1	D N2/P2
Moyenne	3,31	2,58	2,25	4,05	2,50	2,13	4,63	5,13	1,85	1,85
Ecart type	3,13	2,84	2,99	3,49	1,93	1,25	4,00	9,13	1,51	1,69

II- Valeurs obtenues chez les sujets âgés de 40 ans ou plus

1- Résultats les PEV au damier transitoire à 60' chez les sujets âgés de 40 ans ou plus (voir Tableau 6)

Ø *L'onde P100 :

Au niveau de l'œil droit : Sa latence moyenne est à 108,83 ms avec des extrêmes allant de 100,76ms à 120 ms avec une amplitude moyenne à 7,95 μ V et des extrêmes allant de 5,81 μ V à 10,36 μ V.

Au niveau de l'œil gauche : Sa latence moyenne est à 111,37 ms avec des extrêmes allant de 104,57ms à 119 ms avec une amplitude moyenne à 10,68 μ V et des extrêmes allant de 7,99 μ V à 13,37 μ V.

La différence moyenne entre les latences de l'œil droit et de l'œil gauche est en moyenne de 2.45ms mais peut aller jusqu'à 7,09 ms. Pour les amplitudes, la différence moyenne est de 2,73 μ V et peut aller jusqu'à 4,46 μ V.

Ø *L'onde N75 :

Au niveau de l'œil droit : Sa latence moyenne est de 80,12 ms avec des extrêmes allant de 76,79 ms à 83,45 ms.

Au niveau de l'œil gauche : Sa latence moyenne est de 80,8 ms avec des extrêmes allant de 75,45 à 86,15 ms.

La différence moyenne de latence entre l'œil droit et l'œil gauche est de 5,42ms et peut aller jusqu'à 9,55ms.

Ø *L'onde P145 :

Au niveau de l'œil droit : Sa latence moyenne est de 136,4 ms avec des extrêmes allant de 128,48 ms à 144,52ms.

Au niveau de l'œil gauche : Sa latence moyenne est de 141,67ms avec des extrêmes allant de 137,33ms à 149,01ms.

La différence moyenne de latence entre l'œil droit et l'œil gauche est de 5,17ms et peut aller jusqu'à 7,81ms.

Tableau 6 : Valeurs normales des potentiels évoqués visuels (PEV) obtenus à l'inversion du Damier à 60' chez les sujets âgés de 40 ans ou plus avec la différence acceptable entre l'œil droit et l'œil gauche aux mêmes conditions

PEV AU DAMIER A 60' A PLUS DE 40 ANS												
	Œil Droit (OD)				Œil Gauche (OG)				Différence OD/OG			
	Latences (ms)			Amplitude (μ V)	Latences (ms)			Amplitudes (μ V)	Latences (ms)			Amplitudes (μ V)
	N75	P100	N145	P100/N145	N75	P100	N145	P100/N145	DN75	DP100	DN145	P100/N145
Moyennes	80.12	108.83	136.50	7.95	80.80	111.37	141.67	10.68	5.42	4.67	5.17	2.73
Ecart Type	3.33	7.71	8.02	2.41	5.35	7.2	7.34	2.69	4.13	2.42	2.64	1.73

2- Résultats les PEV au damier transitoire à 15' chez les sujets de 40 ans ou plus (voir Tableau 7)

Ø *L'onde P100 :

Au niveau de l'œil droit : Sa latence moyenne est à 110,3 ms avec des extrêmes allant de 102,61ms à 118 ms avec une amplitude moyenne à 13,93 μ V et des extrêmes allant de 5,14 μ V à 19,07 μ V.

Au niveau de l'œil gauche : Sa latence moyenne est à 112,12 ms avec des extrêmes allant de 103,31ms à 120 ms avec une amplitude moyenne à 11,75 μ V et des extrêmes allant de 5,93 μ V à 17,57 μ V.

La différence moyenne entre les latences de l'œil droit et de l'œil gauche est en moyenne de 3,33 ms mais peut aller jusqu'à 5,4 ms. Pour les amplitudes, la différence moyenne est de 1,38 μ V et peut aller jusqu'à 2,16 μ V.

Ø *L'onde N75 :

Au niveau de l'œil droit : Sa latence moyenne est de 84,7 ms avec des extrêmes allant de 80,31 ms à 89,09 ms.

Au niveau de l'œil gauche : Sa latence moyenne est de 84,4 ms avec des extrêmes allant de 78,55 ms à 90,25 ms.

La différence moyenne de latence entre l'œil droit et l'œil gauche est de 4ms et peut aller jusqu'à 6,02.

Ø *L'onde P145 :

Au niveau de l'œil droit : Sa latence moyenne est de 136,38 ms avec des extrêmes allant de 130,78 ms à 142,43ms.

Au niveau de l'œil gauche : Sa latence moyenne est de 141,5ms avec des extrêmes allant de 134,84 ms à 148,16 ms.

La différence moyenne de latence entre l'œil droit et l'œil gauche est de 4,67ms et peut aller jusqu'à 7,25 ms.

Tableau 7 : Valeurs normales des potentiels évoqués visuels (PEV) obtenus à l'inversion du Damier à 15' chez les sujets âgés de 40 ans et plus avec la différence acceptable entre l'œil droit et gauche aux mêmes conditions

DAMIER 15												
	OD				OG				abs(OD-OG)			
	Latences (ms)			Ampl μV	Latences (ms)			Ampl μV	Latences (ms)			DAmpl μV
	N75	P100	N145		N75	P100	N145		DN75	DP100	DN145	
Moy	84.70	110,3	136.83	13.93	84.40	109.50	141.5	11.75	4.00	3.33	4.67	1.38
écart type	4.39	7.69	6.05	5.14	5.85	8.34	6.66	5.82	2.02	2.07	2.58	0.78

3- Résultats des PEV Flash chez les sujets de 40 ans et plus sont difficilement reproductibles, les moyennes des latences de chaque onde et de l'amplitude des deux premières avec leurs écart type aussi bien au niveau de l'œil droit qu'à l'œil gauche. L'importance des écarts type témoigne du caractère difficile à reproduire de ces ondes.

L'ensemble des résultats est reproduit sur les Tableaux 8 et 9.

Le Tableau 10 représente les différences acceptables entre l'œil droit et l'œil gauche.

Tableau 8 : Valeurs normales des potentiels évoqués visuels (PEV) de l'œil droit obtenus au Flash chez les sujets âgés de 40 ans et plus

PEV Flash										
Œil Droit										
Latences (ms)									Amplitude (μ V)	Amplitude (μ V)
	P1	N1	P2	N2	P3	N3	P4	N4	P1N1	P2N2
Moyennes	84.20	118.25	156	183.9	210.50	254.75	289.50	336.25	7.60	1.20
Ecart type	1.09	12.53	23.68	27.51	36.24	46.81	38.48	29.24	2.27	0.87

Tableau 9 : Valeurs normales des potentiels évoqués visuels (PEV) de l'œil gauche obtenus au Flash chez les sujets âgés de moins de 40 ans

PEV Flash										
Œil Gauche										
Latences (ms)									Amplitudes (μ V)	Amplitudes (μ V)
	P1	N1	P2	N2	P3	N3	P4	N4	P1N1	P2N2
Moyennes	77.00	110.25	153	176	200	237	286.25	312.75	6.75	11.28
Ecart type	5.79	1.71	6.06	33.14	23.85	33.98	24.88	20.84	0.85	2.53

Tableau 10 : Valeurs acceptables de différence entre œil droit et œil gauche pour les PEV au Flash pour les latences et les amplitudes chez les sujets de 40 ans

PEV AU Flash										
Différence OD/OG										
Latences (ms)									Amplitudes	
	DP1	DN1	DP2	DN2	DP3	DN3	DP4	DN4	DP1N1	DP2N2
Moyennes	7.20	12.00	25.00	50.00	51.00	58.75	50.75	42.50	9.65	2.65
Ecart type	6.55	9.31	5.03	11.60	13.39	21.00	22.81	28.03	8.04	0.96

DISCUSSION

I- Principe des PEV

Que l'aire maculaire soit stimulée en même temps que toute la surface rétinienne avec des stimulations flashes par exemple, ou localement avec des stimulations structurées en damiers, les réponses sont générées sur une large surface occipitale grâce à l'amplification maculaire des voies visuelles.

Il est ainsi possible d'enregistrer des variations de potentiels survenant entre les rétines stimulées et les réponses des aires visuelles occipitales sous forme de signaux qui après, traitement mathématique, sont dits potentiels évoqués visuels (PEV).

II- Conditions de genèse des PEV

Pour générer des variations de potentiels détectables au niveau des aires visuelles corticales, la stimulation doit comporter une variation brève d'un de ses paramètres. En effet, lorsqu'une stimulation est présentée en continue, elle aboutit à une perception mais n'entraîne pas de variation d'état des cellules corticales détectable.

La variation brève de la stimulation peut être celle du niveau lumineux comme pour un flash, la réponse évoquée visuelle est dite PEV flash, ou bien celle de l'organisation spatiale de la luminance qui peut correspondre soit à des damiers alternants entre eux-mêmes, la réponse évoquée est dite PEV damier.

III- Choix de la stimulation

1- Stimulation par flashs

Ils sont de niveaux lumineux photopiques, achromatiques et délivrés dans une coupole.

2- Stimulations structurées

Le damier couvre une surface de 10 à 15 degrés. Ses cases carrées passent successivement d'une luminance maximale à minimale, donnant l'impression de cases qui alternent avec elles-mêmes. Entre deux changements de configuration, la structure est vue stable (*figure 3*).

La taille des cases est successivement de 60' (*figure 3*), 30' (*figure 3''*), et 15' (*figure 3'*) chez un adulte ; elles mettent ainsi préférentiellement en activité trois secteurs maculaires en relation avec la taille des champs récepteurs corticaux [1], la zone fovéolaire des deux degrés centraux avec les cases de 15', l'anneau compris entre 2 et 4 degrés d'excentricité avec celles de 30', puis l'anneau plus externe compris entre 4 et 10 degrés avec celles de 60'[2] [3] (*figure 11*).

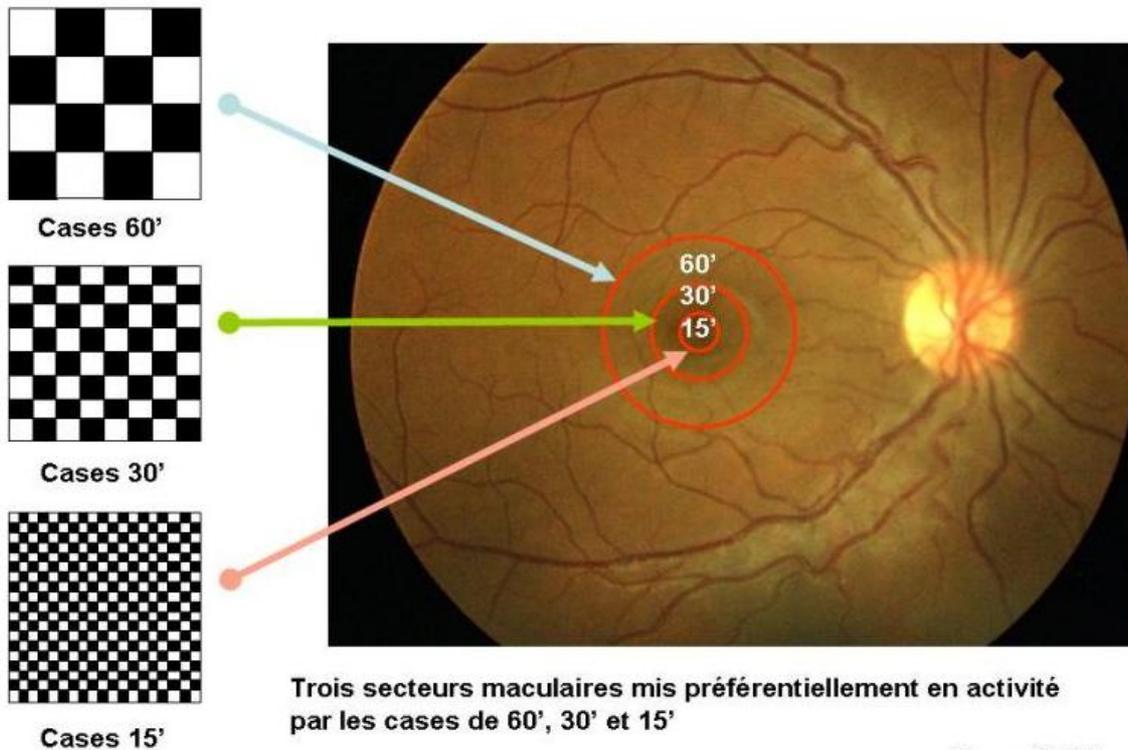


Figure 11. Fond d'œil et les trois secteurs maculaires mis préférentiellement en activité par un damier alternant de cases 60' : anneau maculaire vu sous un angle compris entre 10 et 4 degrés d'excentricité ; cases 30' : anneau périfovéolaire compris entre 4 et 2 degrés d'excentricité ; cases 15' : la fovéola correspondant aux 2 degrés centraux.

3- Surface stimulante

Pour que l'amplitude des PEV soit maximale, la stimulation doit mettre en activité toute la zone maculaire et donc couvrir une surface supérieure à 10 degrés. En pratique, les flashes sont délivrés en plein champ, dans une coupole et les stimulations structurées, sur une surface couvrant environ les 15 degrés centraux du pôle postérieur.

4 Fréquence temporelle

* Des flashes. Elle est habituellement comprise entre 1 et 2 Hz dite basse fréquence temporelle ; le système visuel peut évoluer librement entre deux flashes et revenir à son état basal : les PEV flash sont dits transitoires. Elle peut être comprise entre 8 et 12 Hz, le système visuel ne peut plus évoluer librement vers son état basal entre deux stimulations. La réponse visuelle est de type « entretenue », les PEV flash sont dits stationnaires.

* De l'alternance des cases du damier. Elle est classiquement de 2 Hz : les PEV damier enregistrés sont dits transitoires. Elle peut être de 8 à 12 Hz : les PEV damier sont dits stationnaires. Cette dernière configuration est rarement utilisée en exploration clinique.

*De l'alternance damier – champ lumineux. La durée de présentation du damier dure 200 ms, le champ lumineux 300 ms : il n'est jamais précisé que les PEV onset-offset sont transitoires car une alternance rapide d'une structure et d'un champ lumineux n'évoque plus de réponse spécifique de la structure. Chez les enfants présentant un nystagmus, il est possible de diminuer la durée de présentation à 50 ms et celle du champ lumineux à 450 ms.

5- Niveaux lumineux

* Des Flashes. Ils sont achromatiques et doivent être de niveaux lumineux photopiques de l'ordre du standard flash (SF : 3 cd.s/m²) [4]. L'utilisation de stimulations colorées n'a pas fait la preuve de leurs spécificités [5].

* Des damiers. Les damiers ont des cases achromatiques (vues blanches) de niveaux lumineux photopiques (150 ou 200 cd/m²) associées à des cases de niveaux lumineux nuls (vues noires), le contraste doit être proche de 1. Le niveau lumineux moyen des damiers ou celui du champ lumineux homogène est de 75 ou 100 cd/m².

IV- Conditions de stimulation

1- Ambiance lumineuse de stimulations

Les enregistrements se font habituellement dans une pièce sombre, d'ambiance constante et identique d'un sujet à l'autre (*figure 1 ; 2*). Si le sujet est pusillanime, il est possible d'avoir une ambiance lumineuse mésopique qui n'entraîne pas de modification notable des résultats. Il faut éviter les ambiances photopiques trop fortes qui peuvent modifier l'état d'adaptation des rétines.

2- Préparation du sujet

Si la stimulation est en damier, le patient doit porter sa compensation optique adaptée à la distance de vision de la structure (environ 1,50 m) et garder la possibilité d'accommoder. La stabilité de sa fixation est assurée par un point placé au centre de la stimulation [6]. En effet, si le sujet fixe un bord du damier qu'il soit supérieur, inférieur, droit ou gauche, la stimulation ne couvrira alors plus la zone

maculaire, mais se fera en héli-rétine, à l'origine d'asymétrie de réponses en relation avec l'anatomie des voies visuelles (*figure 12*) et non le reflet d'altérations fonctionnelles.

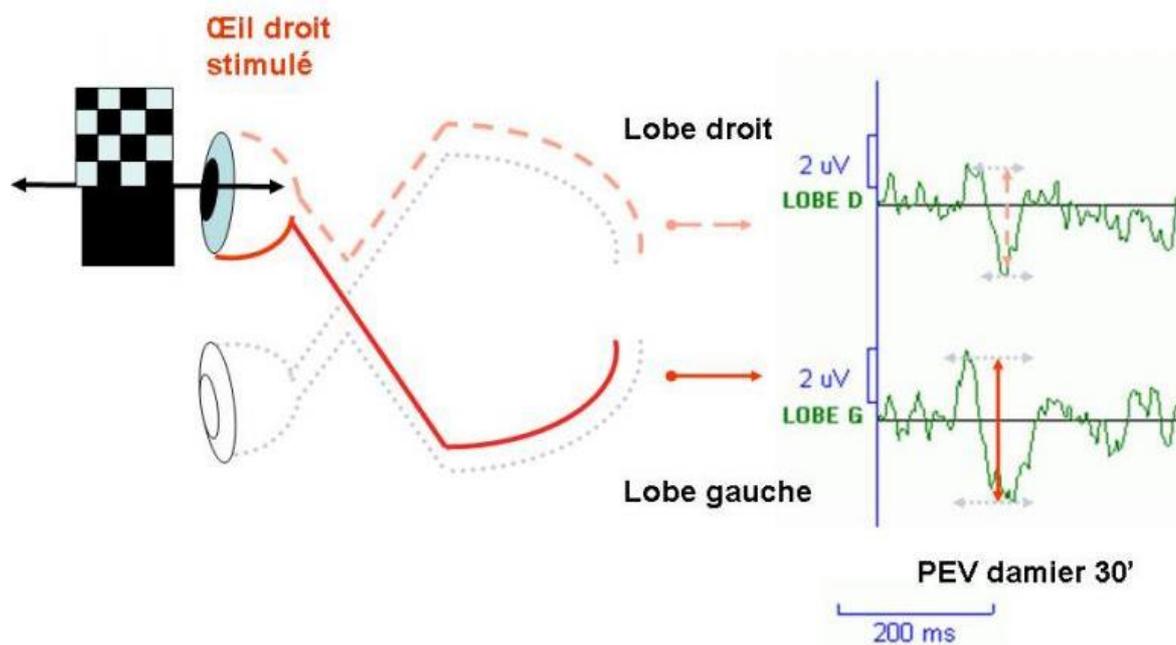


Figure 12. Stimulation de l'œil droit par un héli-champ temporel droit. La stimulation de l'héli-rétine nasale droite privilégie les signaux transmis le long des voies croisées. La réponse (PEV damier) recueillie en regard du lobe gauche (O3) est plus ample que celle en regard du lobe droit (O4).

3- Procédures de stimulation

La stimulation doit être monoculaire avec occultation successive d'un œil puis de l'autre. Les réponses normales sont symétriques que l'œil droit ou gauche soit stimulé, que le recueil se fasse en regard du lobe occipital droit ou gauche [7].

La stimulation peut être aussi binoculaire, les PEV recueillis seront le reflet du fonctionnement conjoint des deux yeux qui se traduit par une augmentation d'amplitudes des réponses, effet de la sommation binoculaire [8] *(figure 13)*.

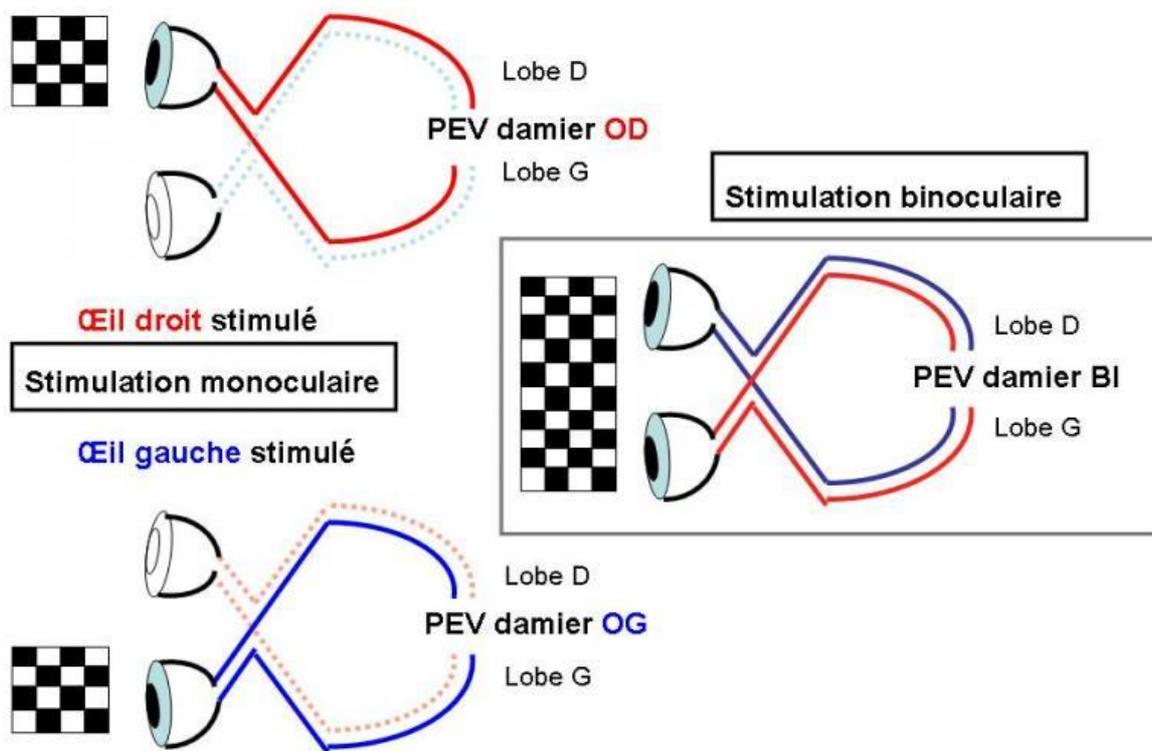


Figure 13. Stimulation monoculaire et binoculaire. Les réponses de l'œil droit ou gauche sont symétriques ; de même pour chaque œil, les réponses recueillies en O3 et O4. Stimulation binoculaire : les amplitudes sont 20 à 30 % supérieures à celles enregistrées après stimulation monoculaire.

V- Conditions de recueil et de traitement du signal

1- Recueil du signal

Il s'effectue entre deux électrodes actives, l'une placée en regard du lobe occipital droit (O4) et l'autre du lobe occipital gauche (O3) à environ 2,5 cm de part et d'autre de la ligne médiane (Oz) et une électrode de référence. Placée en Fz, celle-ci n'est pas à un potentiel constant car elle suit la variation de potentiel des aires frontales qui participent au traitement de paramètres visuels comme les aires primaires. Une référence de potentiel constant est prise en connectant les lobes des deux oreilles (A1 et A2) [9]. La masse est placée en position indifférente.

Les électrodes sont de type à électroencéphalogramme pour les adultes, en contact avec le cuir chevelu par du gel conducteur (*figure 4*). Pour les enfants ou les patients ayant peu voire pas de cheveux, on peut utiliser des électrodes collées de type à électrocardiogramme ; elles sont maintenues par un bandeau élastique.

Le recueil du signal s'effectue durant au moins 500 ms avec une bande passante comprise entre 0.1 Hz et 100 Hz. L'amplification est de l'ordre de 10^4 . Le signal résultant est d'amplitude comprise entre 5 et 10 μv .

2- Traitement du signal

La réponse corticale évoquée à la suite d'une seule stimulation est d'amplitude faible, comparable à celles des réponses électro-encéphalographiques, considérées comme du bruit masquant la réponse recherchée. La réponse visuelle est mise en évidence par un traitement du signal enregistré, en améliorant le rapport signal sur bruit. Le signal recueilli est sommé et moyenné en phase avec la répétition de la

stimulation, par exemple 50 fois. L'amélioration du rapport signal sur bruit est proportionnelle à la racine carrée du nombre de sommations, 7 pour l'exemple donné est considéré comme une valeur acceptable de l'amélioration du signal par rapport au bruit de fond électro-encéphalographique. Une réponse discernable apparaît dite potentiels évoqués visuels.

3- Enregistrement du « bruit de fond »

Il est important de s'assurer que la réponse mise en évidence est celle du système visuel après stimulation lumineuse. Les PEV enregistrés doivent être comparés à l'électroencéphalogramme (EEG) sommé dit « bruit de fond ». Il correspond à la sommation-moyennage de 50 différences de potentiel recueillies sur le cuir chevelu en l'absence de stimulation lumineuse. L'EEG étant aléatoire au cours de temps, en l'absence de stimulation lumineuse, le bruit de fond est normalement très proche d'une ligne isoélectrique sans onde discernable (*figure 5*). Si les conditions d'enregistrement sont difficiles, avec troubles corticaux ou chez des enfants agités, la comparaison entre le bruit de fond sommé et les PEV permet de faire la part entre les réponses initiées par la stimulation lumineuse et les ondes dues à une perturbation plus ou moins cyclique de l'EEG (*figure 14*).

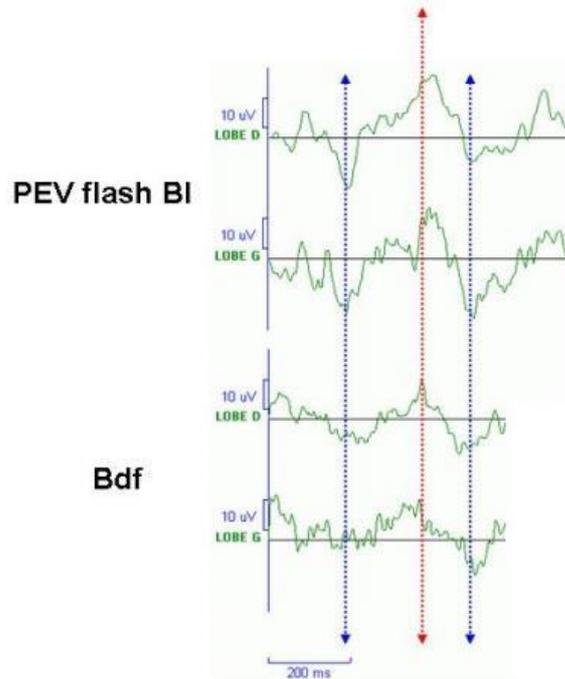


Figure 14. PEV flash et bruit de fond de morphologie et d'amplitude comparables. On ne peut donc pas affirmer que les ondes du PEV correspondent à une réponse visuelle.

F.Rigaudière <http://lodel.irevues.inist.fr/oeilephysiologiedelavision/index.php?id=113> [01/05/2011]

VI- Caractéristiques des réponses

1- PEV flash transitoires

* Leur morphologie présente plusieurs ondes, désignées par leur polarité négative (N) ou positive (P) et leur ordre de survenue (1, 2,...) [10]. Plusieurs ondes évoluent entre la 50^{ième} ms et la 300^{ième} ms après la stimulation, durée au-delà de laquelle on considère que la réponse est terminée [11]. Certaines apparaissent de façon assez constante : N2 culminant vers 90 ms et P2 vers 120 ms, les suivantes N3 (vers 150 ms) et P3 (180 ms) sont plus inconstantes ; les temps de culmination sont indicatifs car varient en particulier avec la luminance du flash.

* L'amplitude des ondes est mesurée de crête à crête ; celles de survenues les plus fréquentes entre N2 et P2 et/ou P2 et N3. Elle varie entre 5 et 40 μ V selon les sujets. Ceci a été vérifié dans notre série.

* Le temps de culmination des ondes est mesuré entre le début de la stimulation et la culmination de l'onde considérée.

2- PEV flash stationnaires

* Leur morphologie est d'allure pseudo-sinusoidale, sans onde individualisable ; elle dépend de la fréquence temporelle utilisée. Les résultats sont reproductibles chez un même sujet mais avec une certaine variabilité d'un sujet à l'autre [12].

* Seule l'amplitude mesurée crête à crête, caractérise la réponse. Le temps de culmination n'a pas de signification. L'amplitude varie avec la fréquence temporelle de stimulation et présente successivement trois maximums, le premier autour de 10 Hz, puis le deuxième 10% moins ample autour de 18 Hz, enfin le troisième 60%

moins ample, autour de 50 Hz [13] (*figure 15*). Ce résultat correspond probablement à la séparation progressive des vitesses de conduction des signaux le long des différentes voies visuelles « P voie lente et M voie rapide » en relation avec les différents diamètres de leurs axones [14]. La fréquence temporelle entre 8 et 12 Hz est la seule utilisée en pratique clinique.

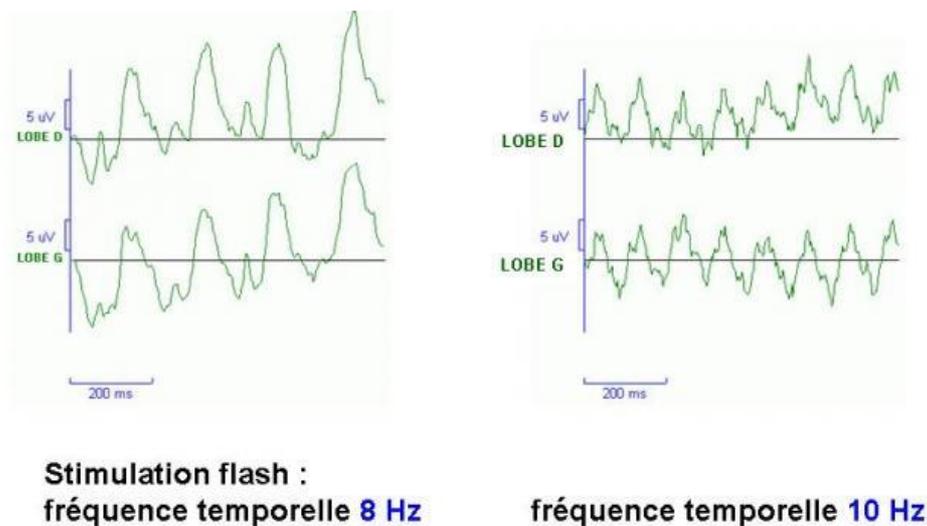


Figure 15. Variation de l'amplitude crête-crête des PEV stationnaires, fonction de la fréquence temporelle de stimulation. D'après Regan D, JOSA, 1977, 67 : 1475-89.

3- PEV damier transitoires

*Leur morphologie comprend trois ondes principales N75, P100 et N145 qui évoluent entre la 50^{ième} et 300^{ième} ms après l'alternance de la structure (*figure 15*).

*L'amplitude mesurée est celle de l'onde P100, habituellement la plus ample ; elle s'effectue de crête à crête, entre N75 et P100. Elle varie entre 5 et 10 µV.

Elle augmente lorsque la taille de la case diminue indiquant la prépondérance de l'aire fovéolaire dans la constitution des PEV. En effet, l'amplitude des PEV est en partie proportionnelle à la densité des cônes des zones préférentiellement mises en activité [15] (*figure 16*). Elle augmente également lorsque les deux yeux sont stimulés, traduisant les effets de la sommation binoculaire (*figure 17*).

*Leur temps de culmination dépend du niveau lumineux moyen et du contraste de la structure. Pour des structures générées sur un écran avec un contraste maximum, le temps de culmination de l'onde N75 est compris entre 70 et 90 ms, celui de l'onde P100 entre 100 et 120 ms, celui de l'onde N135 entre 130 et 150 ms ; une 4ème onde positive peut être observée entre 170 et 180 ms (*figure 17*). Les résultats de notre série rentrent dans ces intervalles. Pour les mêmes conditions de stimulation, les résultats sont reproductibles chez un même sujet au cours du temps mais également d'un sujet à l'autre, ce qui facilite leur interprétation (*figure 18*).

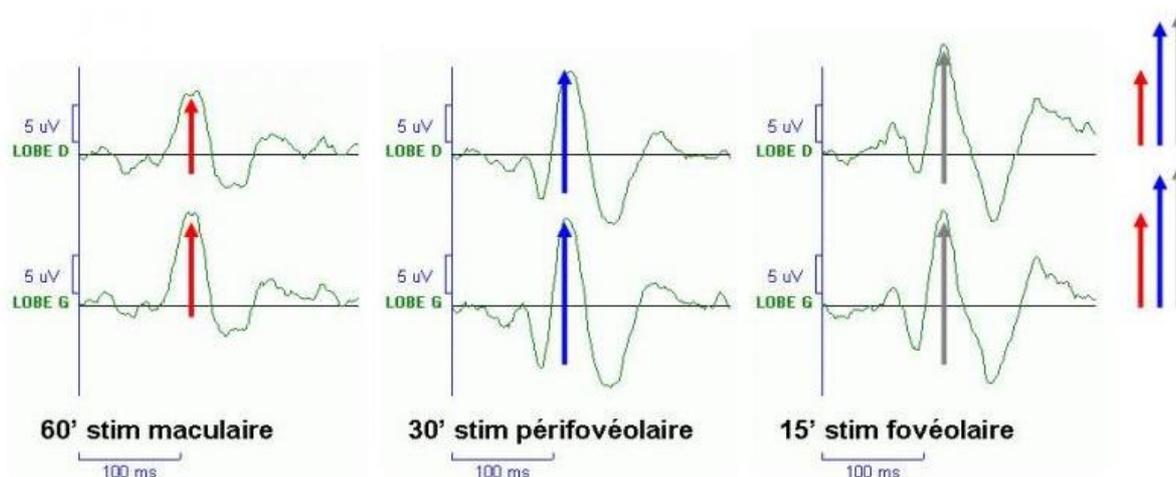
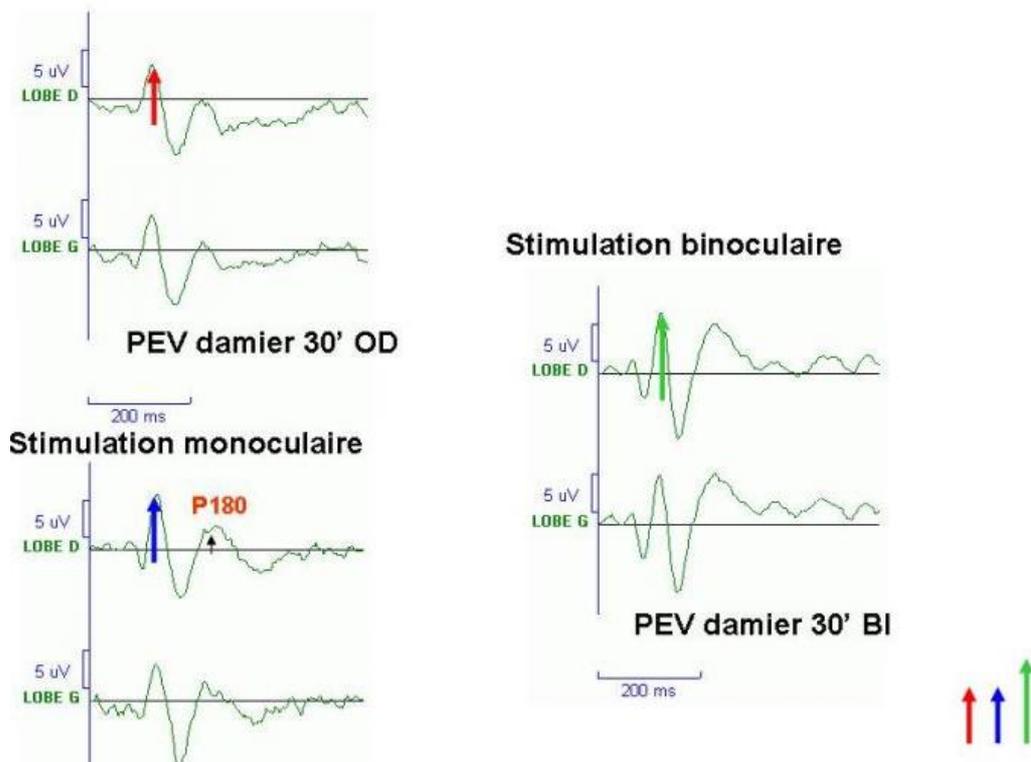


Figure 16. Augmentation de l'amplitude des PEV damier avec la diminution de la taille de la case.



PEV damier 30' OG

Figure 17. PEV damier 30' après stimulation de l'œil droit, gauche, plus ample après stimulation binoculaire.

F.Rigaudière <http://lodel.irevues.inist.fr/oeiletpysiologiedelavision/index.php?id=113> [01/05/2011]

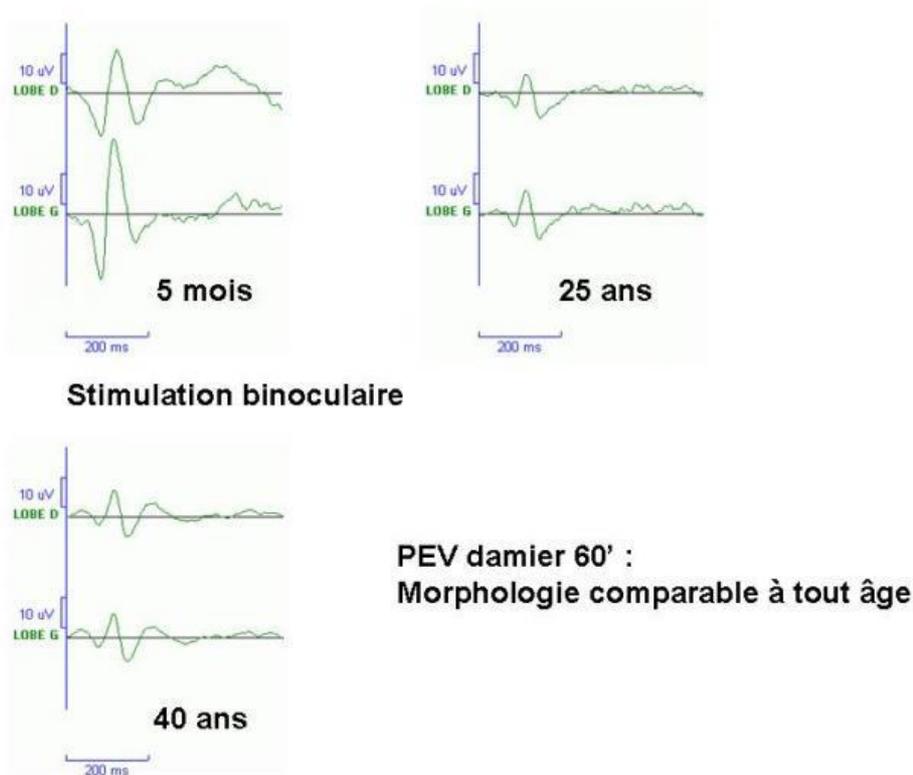


Figure 18. PEV damier : constance de la morphologie à tout âge.

F.Rigaudière <http://lodel.irevues.inist.fr/oeiletpysiologiedelavision/index.php?id=113> [01/05/2011]

4- PEV onset-offset

La réponse comprend deux parties.

*Réponse ON liée à l'apparition de la structure. Elle est ample, de morphologie variable pour un même sujet, d'un sujet à l'autre et avec l'âge. Pour l'adulte, elle se compose de trois ondes : CI positive (vers 75 ms), d'origine extra-striée, suivie de CII négative (vers 125 ms) d'origine striée, puis de CIII positive (vers 150 ms).

Seule l'amplitude de l'onde CII est mesurée de crête à crête, entre CI et CII ; elle est maximale pour des tailles de cases comprises entre 20' et 10'

*Réponse OFF liée à la disparition de la structure est peu ample voire difficilement discernable. Elle n'est guère utilisée pour l'interprétation clinique.

5- Normes

Elles doivent être établies pour chaque type de PEV : flash et damier qui sont les plus couramment utilisés en exploration clinique, chez un groupe homogène d'une vingtaine d'adultes normaux jeunes entre 15 et 45 ans et âgés de 45 à 75 ans pour tenir compte des variations liées à l'âge, ces limites ne sont données qu'à titre indicatif [16].

Pour le groupe des 15 à 25 ans et des 25 à 45 ans, les amplitudes et temps de culmination sont comparables. Pour le groupe des 45 à 75 ans, il existe une diminution progressive d'amplitude et une augmentation des temps de culmination [17] plus significatives pour les PEV damier [18], chose qui n'a pas été retrouvée dans notre série. Les caractéristiques des réponses enregistrées sont ensuite comparées à ces normes [19].

VII- Protocoles

1- Standard de l'ISCEV

Il préconise l'enregistrement des PEV flash et damier transitoires avec des cases de tailles 60' et 15', le recueil des signaux étant fait avec une seule électrode active, placée en zone occipitale médiane Oz [10]. Ce protocole minimal, n'apporte que des informations sur la réponse maculaire ; il est à réserver aux seuls cas d'altération de la fonction rétinienne ; il n'est pas utilisable en neuro-ophtalmologie.

2- Standard clinique

C'est celui utilisé dans la plupart des centres qui explorent le fonctionnement visuel dans le cadre de maladies rétinienne ou générales [20]. Il comprend

l'enregistrement des PEV damier transitoires avec des cases de 60', 30' et 15' présentés sur une surface d'au moins 15 degrés, puis celui des PEV flash transitoires délivrés dans une coupole, avec stimulation successive de chaque œil.

Le recueil des signaux s'effectue avec deux électrodes actives, l'une placée en O3 et l'autre en O4, l'électrode de référence correspond à un potentiel fictif obtenu par interconnexion entre les électrodes situées en A1 et A2. Ces enregistrements précèdent les ERG ou l'EOG dans le cadre d'un bilan fonctionnel complet.

3- Procédures spécifiques

*Stimulations par héli-champs. Les stimulations par héli-champ nasal ou temporal servent en neuro-ophtalmologie pour l'exploration d'hélianopsies homonymes. S'il existe une épargne maculaire, la stimulation de tout le champ peut évoquer des réponses normales en dépit de l'hélianopsie à cause de la rétinotopie corticale maculaire, alors que la stimulation par héli-champ peut mettre en évidence l'hélianopsie, avec asymétrie d'amplitude des réponses recueillies en regard de chaque lobe [21].

*Asymétries paradoxales. Il arrive que les réponses enregistrées en regard de chacun des lobes, lors de la stimulation successive de l'héli-champ non fonctionnel et fonctionnel, soient d'amplitudes inverses à ce qui est prévu par l'anatomie. Ces inversions, dites paradoxales, s'expliquent si on conçoit que le potentiel recueilli par une électrode placée en regard d'un lobe occipital, peut provenir non pas du lobe sous-jacent, mais du lobe opposé par glissement des charges controlatérales formant des lignes de courant à travers les différentes enveloppes (liquide céphalo-rachidien, méninges, dure-mère, peau), donnant l'illusion d'une augmentation du potentiel en regard du lobe déficient [7].

VIII- Conditions liées au sujet

Plusieurs variations physiologiques retentissent sur les caractéristiques des potentiels évoqués visuels. Il faut en tenir compte lors de l'interprétation des résultats.

1- Critères périmétriques et campimétriques

Une altération du champ visuel périphérique est compatible avec des potentiels évoqués visuels normaux puisqu'ils sont le reflet du fonctionnement des voies issues des 10 degrés centraux ; par contre, toute altération du champ visuel central, même sur une surface de quelques degrés juxta ou para-fovéolaire avec possible conservation de l'acuité visuelle, peut modifier voire abolir l'émergence des potentiels évoqués visuels, compte tenu de la rétinotopie corticale [22] et de la prépondérance des voies fovéolaires dans la constitution des PEV.

2- Diamètre pupillaire

Des diamètres pupillaires variant entre 2,5 mm et 8 mm – ce qui correspond aux variations interindividuels – n'entraînent pas de modification des caractéristiques des PEV flash [23] mais une diminution des temps de culmination de l'onde P100 des PEV damier, d'une dizaine de ms [24] à cause de l'augmentation de l'éclairement rétinien.

On rappelle que l'éclairement rétinien est proportionnel à la luminance ou au niveau lumineux moyen de la stimulation et à la surface pupillaire. Un diamètre de 2,5 mm correspond à une surface pupillaire de 5 mm² et celui de 8 mm à une surface de 50 mm², 10 fois supérieure.

En cas d'anisocorie, il faut penser à l'existence possible d'une différence de temps de culmination entre les ondes issues de la stimulation de chaque œil, avant de leur attribuer une signification pathologique.

3- Amétropies

Elles n'entraînent pas de modification des caractéristiques des PEV flash. Par contre, toute amétropie doit être compensée de façon optimale lors de l'utilisation de stimulations structurées (damiers).

Une défocalisation de l'image rétinienne induit une diminution d'amplitude des ondes des PEV damier avec augmentation de leurs temps de culmination [25] et, à la limite, ils peuvent ne pas être discernables [26].

4- Age

La morphologie des PEV flash est spécifique chez les petits. On observe une évolution significative de la naissance à 2 ans, de 2 à 5 ans, de 5 à 10 ans, de 10 à 15 ans, parallèle à la maturation de la myélinisation des voies visuelles (*figure 19*). Celle des PEV damier est comparable à celle de l'adulte, avec seulement le temps de culmination de l'onde P100 augmenté pour les très jeunes.

5- Sexe

La variation d'amplitude et de temps de culmination, entre des sujets de même âge et de sexe différent, si elle est observée par certain [16], est réfutée par d'autres [27]. Elle devient non significative si les résultats sont normalisés par

rapport à l'enregistrement électroencéphalographique individuel. En pratique, il n'en est pas tenu compte.

6- Variations interindividuelles

*Morphologies des PEV. Celles des PEV flash sont variables d'un sujet à l'autre, même chez un groupe homogène de sujets normaux (*figure20*) du fait de la variation des résistivités individuelles des enveloppes traversées - liquide céphalo-rachidien, dure-mère, os, peau....

Par contre, les morphologies des PEV damier sont constantes, comparables d'un sujet à l'autre

*Fixation du centre du damier. La fixation doit être stable, se faire au centre du damier pour éviter des stimulations qui privilégieraient la partie supérieure, inférieure, droite ou gauche de la rétine avec genèse d'asymétries de réponses entre chaque lobe, à distinguer de manifestations d'une éventuelle pathologie sous-jacente.

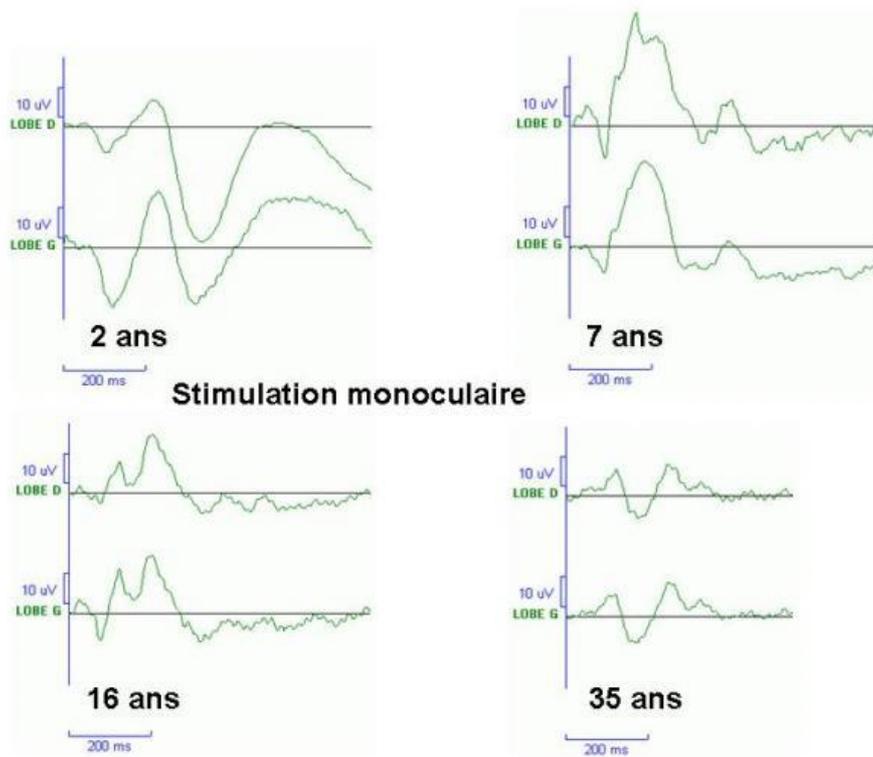
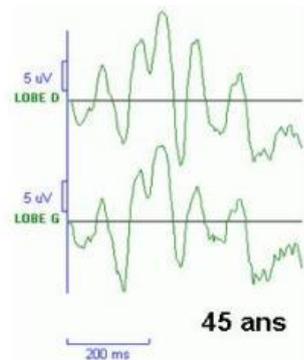
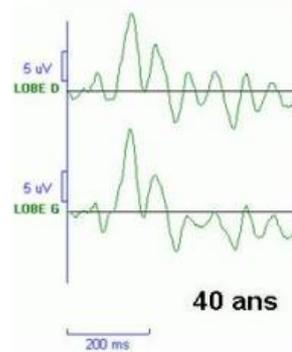
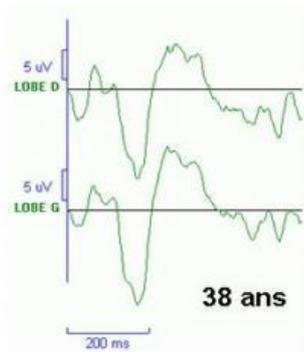


Figure 15. PEV flash : variation de la morphologie avec l'âge, reflet de la maturation des voies visuelles.

F.Rigaudière <http://lodel.irevues.inist.fr/oeiletpysiologiedelavision/index.php?id=113> [01/05/2011]



PEV flash :
Variation interindividuelle de la morphologie

Figure 20. PEV flash : variation interindividuelle de la morphologie pour une même tranche d'âge.

F.Rigaudière <http://lodel.irevues.inist.fr/oeiletpysiologiedelavision/index.php?id=113> [01/05/2011]

IX- Limitation à l'enregistrement

1- PEV flash

Il n'y a pas de limitation à l'enregistrement des PEV flash, qui peut se pratiquer y compris les yeux fermés. Dans ce cas, les flashes achromatiques traversent les paupières et la sclère qui, richement vascularisées, jouent le rôle d'un filtre ne laissant passer que les grandes longueurs d'onde (flash « rouge »). Cette stimulation est elle aussi, adaptée à la mise en activité du système photopique et permet donc la genèse de PEV flash dont les caractéristiques sont très proches de ceux générés par les flashes achromatiques (*figure 21*).

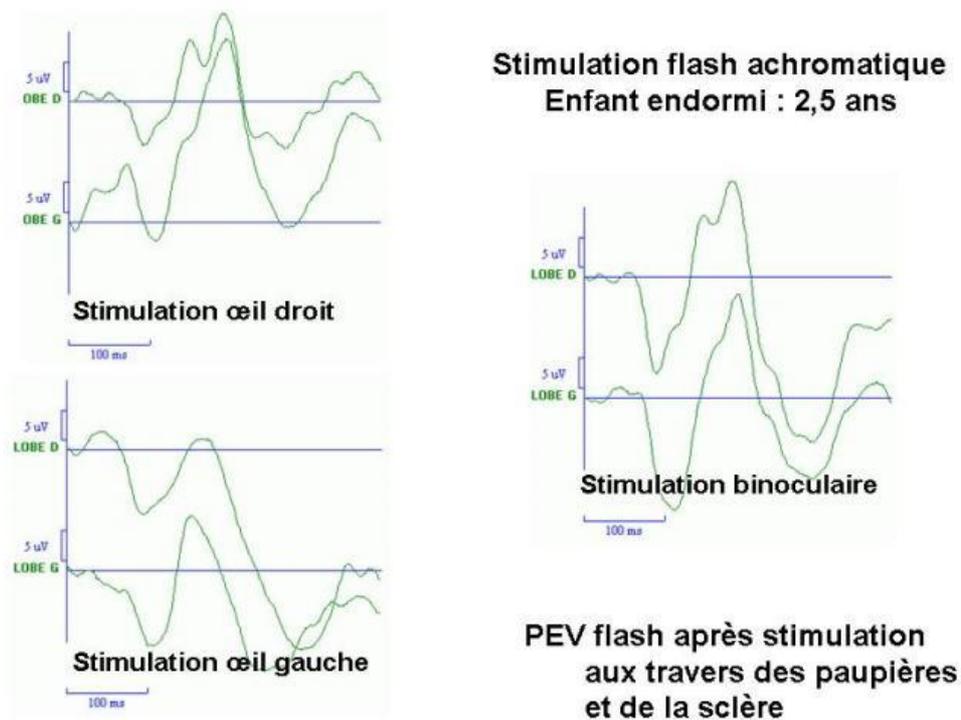


Figure 21. PEV flash œil droit, gauche et binoculaire, enregistrés à travers les paupières et la sclère.

2- PEV damier

Le patient doit porter la compensation optique qui permet d'avoir une image nette sur le plan rétinien, être capable d'ouvrir les yeux et de maintenir sa fixation au centre du damier. Ces deux dernières conditions ne sont pas réunies si le sujet n'est pas coopérant (jeunes enfants, encéphalopathes, simulateurs...) ou s'il y a un trouble de transparence des milieux antérieurs. En cas de nystagmus modéré, on peut enregistrer les PEV onset-offset [28].

X- Facteurs de perturbation des PEV

1- Alcool et tabac

Une consommation même importante d'alcool et/ou de tabac, juste avant l'examen, est à distinguer de la prise chronique voire de l'intoxication générant une neuropathie optique infra clinique. Elle peut modifier de façon variable les amplitudes et non pas les temps de culminations des ondes.

2- Prises médicamenteuses [29]

Les antiparkinsoniens à type de L-Dopa ou scopolamine, les psychotropes (neuroleptiques et antidépresseurs), les hormones thyroïdiennes (tri-iodothyronine) produisent des diminutions d'amplitude et des augmentations de temps de culmination des ondes. Les benzodiazépines et les barbituriques à faible dose provoquent des diminutions d'amplitude sans modification des temps de culmination, par contre les barbituriques à forte dose peuvent complètement abolir l'émergence des potentiels évoqués visuels. Le lithium semble ne rien modifier.

3- Sédation et anesthésie générale [30]

Elles peuvent être rendues nécessaires pour l'examen du sujet, jeunes enfants très agités ou encéphalopathes, incapables d'un minimum de coopération. La sédation par hydrate de chloral permet l'enregistrement des PEV chez des enfants de moins de 3 ans, sans modification significative des amplitudes ou temps de culmination par rapport à ce qu'est enregistré chez l'enfant vigile. Ceci n'est pas possible après 3 ans. Les potentiels évoqués visuels ne sont pas discernables chez des sujets en cours d'anesthésie générale.

4- Ponction Lombaire

Souvent pratiquée dans les cas de suspicion de pathologies démyélinisantes, la ponction lombaire perturbe les pressions des liquides céphalo-rachidiens de façon transitoire ce qui altère les répartitions des champs de potentiels corticaux et donc modifient les PEV. Si leur enregistrement est pratiqué peu après une ponction lombaire sans qu'il y ait injection de liquide pour compenser le prélèvement. Il doit s'écouler un délai d'au moins 24 h entre ces deux examens.

5- Angiographie

Elle modifie l'état d'adaptation de la rétine et donc doit se pratiquer après les enregistrements électrophysiologiques.

XI- Origine des ondes des PEV

Contrairement aux autres signaux électrophysiologiques (EOG ou ERG), les ondes des PEV n'ont pas de support physiologique direct car leur mode de genèse est complexe.

Les ondes des PEV résultent des signaux issus des zones maculaires et leurs amplitudes sont proportionnelles à la densité des cônes rétiniens [15]. Elles sont donc la traduction prépondérante des réponses des aires fovéolaires et restreinte de celles de la proche périphérie.

Elles découlent de la conduction de ces signaux jusqu'aux aires visuelles primaires le long de l'ensemble des voies visuelles pour les PEV flash, des voies majoritairement P pour les PEV damier transitoires et des voies majoritairement M pour les PEV flash stationnaires [14].

Elles reflètent les variations de champs de potentiels occipitaux au cours du temps, avec intégration des excitations et inhibitions cellulaires corticales et sous corticales des aires visuelles [31].

Ainsi les caractéristiques des ondes des PEV, que ce soit leurs amplitudes ou leurs temps de culmination, dépendent-elles étroitement des fonctionnements fovéolaire, maculaire, des modes de conduction le long des voies visuelles et du fonctionnement des aires visuelles primaires. La démyélinisation des axones par exemple, altère les séquences d'arrivée dans le temps des signaux au niveau cortical, désynchronise les variations de champs de potentiel corticaux et modifie les caractéristiques des ondes des PEV, de même un retard de maturation corticale ou de la myélinisation des voies visuelles.

XII- Interprétation des résultats

1- Bruit de fond

La question se pose dès que les conditions d'examen sont difficiles (enfants, sujets tendus, anxieux, difficilement coopérants...). Si les ondes des PEV et celles du bruit de fond sont d'amplitudes comparables, on ne peut pas affirmer que les PEV enregistrés correspondent à une réponse visuelle.

2- L'ERG

Les PEV ne s'interprètent jamais sans que les résultats des ERG flash, pattern et si possible multifocaux ne soient connus, permettant d'apprécier l'état normal ou non du signal amplifié le long des voies visuelles et qui aboutit à l'émergence des PEV.

Si l'ERG flash est normal et le PERG anormal, les PEV sont nécessairement anormaux, reflets d'une maculopathie. Dans les anomalies des PEV, les résultats des ERG sont indispensables pour faire la part des dysfonctionnements maculaires en amont et de ceux des voies visuelles en aval.

Les conditions de réalisation de l'ERG ne seront pas développer dans ce travail. Il faudrait juste savoir que la réalisation de l'ERG dans ce cadre fait appel à un protocole court car le but est d'affirmer ou d'infirmer sa normalité pour pouvoir conclure concernant les PEV. Il comporte deux volets : le flash-ERG et le Pattern-ERG réalisés respectivement avec le flash-PEV et le pattern-PEV. Les électrodes de références peuvent être de simples électrodes cutanées placées sous les paupières (L'ERG destiné à l'étude rétinienne proprement dite nécessite des électrodes cornéennes). La réponse au flash comprend deux ondes « a » négative et « b » positive avec un temps de culmination des latences de 40 à 50 ms. Pour le pattern

ERG on s'intéresse à la P50 ms mais surtout à la N95. A noter que contrairement au PEV, les polarités des ondes sont indiquées : positives, représentées vers le haut, traduction d'une dépolarisation et négatives, vers le bas, représentation d'une hyperpolarisation.

3- La fonction maculaire

Si la clinique laisse supposer que les voies visuelles sont normales. Les PEV flash reflètent alors le fonctionnement maculaire global des 10 degrés centraux, tandis que les PEV damier permettent d'en préciser le fonctionnement des trois secteurs : fovéolaire (cases de 15') et périfovéolaires (cases de 30 et 60').

4- La conduction le long des voies visuelles

Si les neurorétines (ERG flash) et l'aire maculaire (ERG pattern) fonctionnent normalement, les modifications des PEV laissent suspecter une altération des voies visuelles y compris des aires visuelles primaires.

*Atteintes pré-chiasmatiques sont probables si on constate une asymétrie des réponses après stimulation respectivement de l'œil droit et l'œil gauche (*figure 22*).

*Atteintes chiasmatiques sont possibles si, après stimulation de chaque œil, on observe une asymétrie des réponses recueillies en regard du lobe droit et du lobe gauche et si cette asymétrie s'inverse à la stimulation de l'œil droit puis de l'œil gauche ; elles peuvent toucher les voies croisées (comme dans le cas d'une compression extrinsèque par l'hypophyse par exemple) (*figure 23*) ou les voies directes comme dans le cas de l'albinisme oculaire qui s'accompagne d'une

hyperdécussation des voies croisées, créant un déficit en voies directes. L'asymétrie de PEV en particulier flash est pathognomonique de l'albinisme oculaire (*figure 24*).

*Atteintes rétro-chiasmatiques sont suspectées si on enregistre, après stimulation de chaque œil, une asymétrie des réponses recueillies en regard du lobe droit ou du lobe gauche, mais toujours en regard du même lobe (*figure 25*).

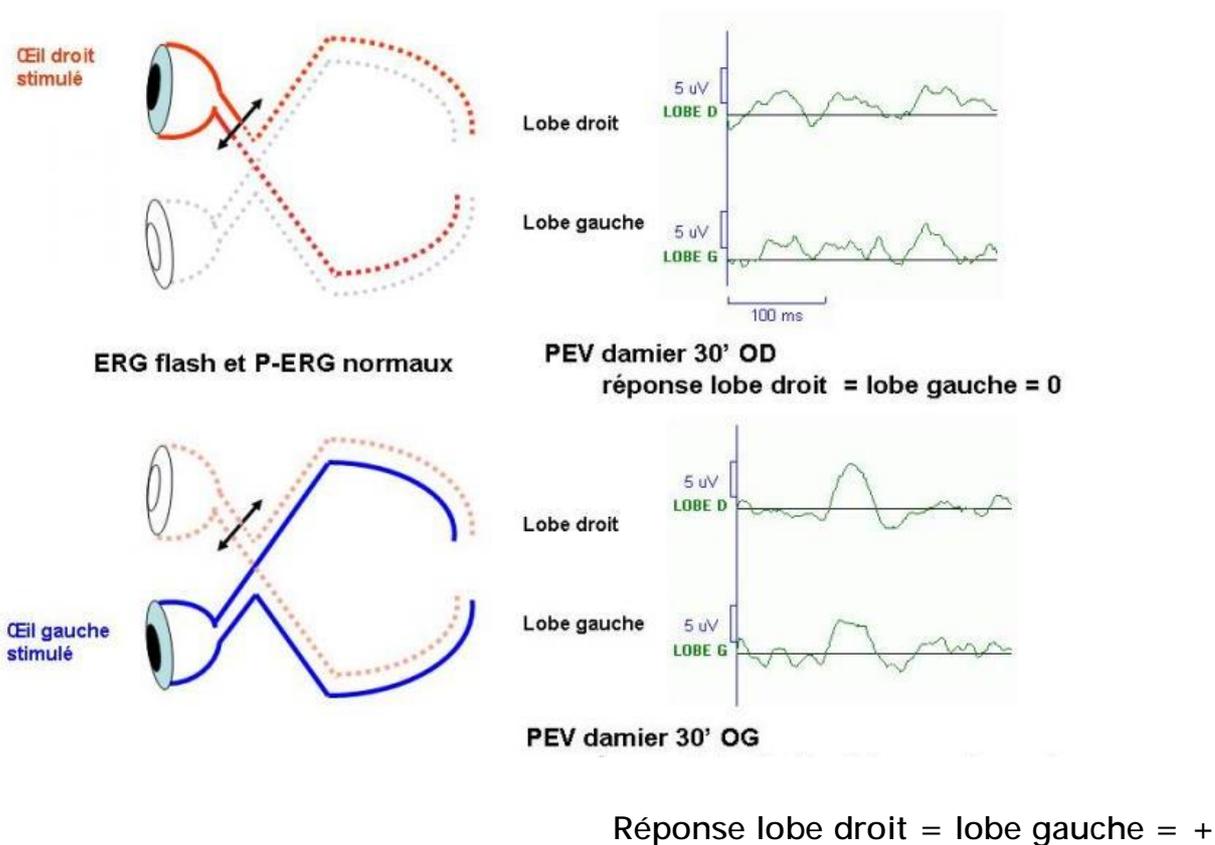
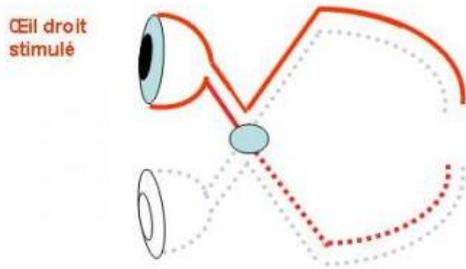
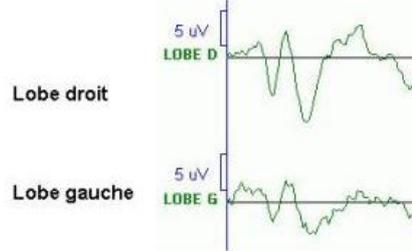
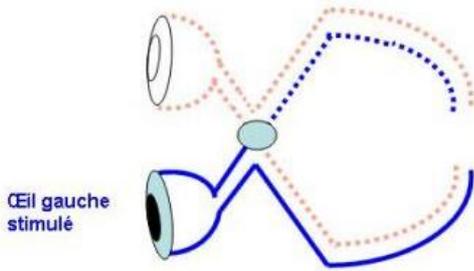


Figure 22. Neuropathie optique droite.

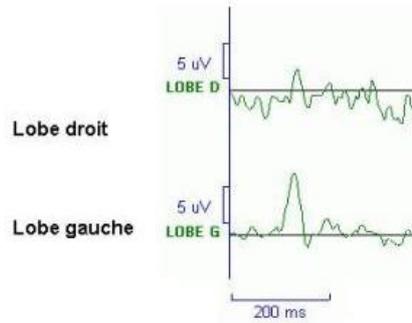
F.Rigaudière <http://lodel.irevues.inist.fr/oeiletophysiologiedelavision/index.php?id=113> [01/05/2011]



ERG flash normal



PEV damier 30' OD :
réponse lobe droit > lobe gauche

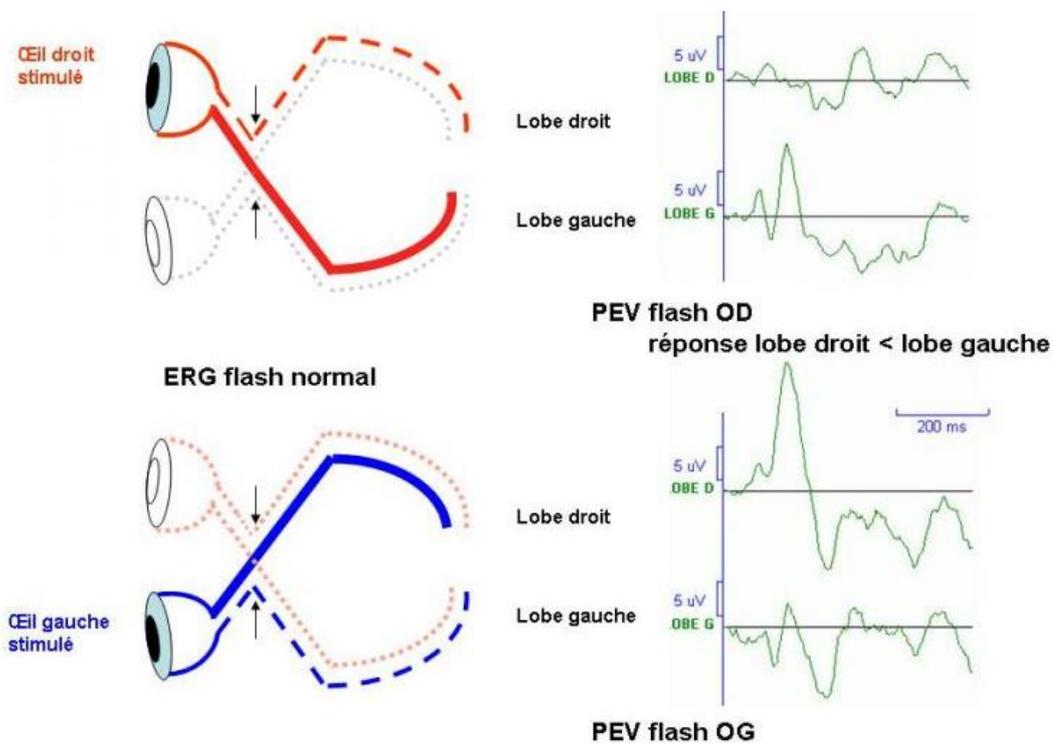


PEV damier 30' OG :

Réponse lobe droit < lobe gauche

Figure 23. Atteinte chiasmatique des voies croisées.

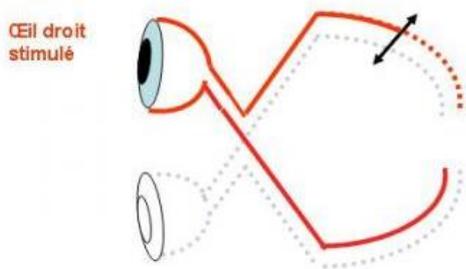
F.Rigaudière <http://lodel.irevues.inist.fr/oeilephysiologiedelavision/index.php?id=113> [01/05/2011]



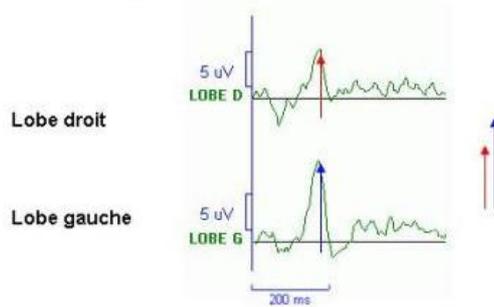
Réponse lobe droit sup lobe gauche

Figure 24. Atteinte chiasmatiche des voies directes. L'exemple type est l'albinisme oculaire qui s'accompagne d'une hyperdécussation des voies croisées entraînant une diminution du nombre de fibres formant les voies directes.

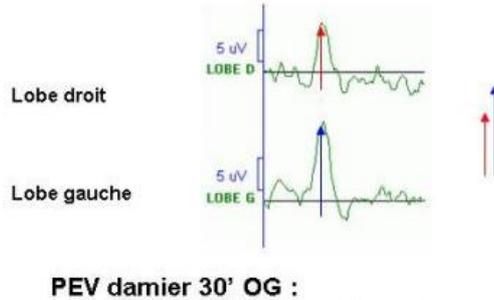
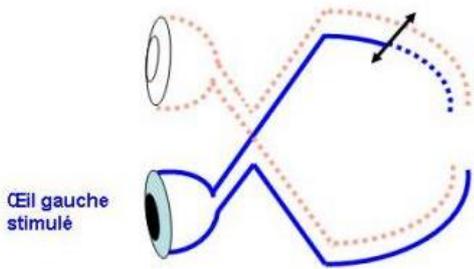
F.Rigaudière <http://lodel.irevues.inist.fr/oeiletpysiologiedelavision/index.php?id=113> [01/05/2011]



ERG flash et P-ERG normaux



PEV damier 30' OD :
réponse lobe droit < lobe gauche



PEV damier 30' OG :

Réponse lobe droit < lobe gauche

Figure 25. Atteinte rétro-chiasmatique droite.

XIII- Quelques exemples d'application

1- Baisse d'acuité visuelle et modification visible au fond d'œil

Devant une baisse d'acuité visuelle, l'examen clinique du fond d'œil peut être contributif et orienter - vers un trouble rétinien : en association avec les ERG, les PEV apportent des précisions sur le fonctionnement essentiellement maculaire ; - vers une modification de l'aspect de la papille : après vérification du fonctionnement de la neurorétine et de ses différents secteurs, les PEV sont une indication de fonctionnement des voies maculaires (neuropathies optiques héréditaires, toxique - alcoolique... - , traumatique...)

2- Baisse d'acuité visuelle et aspect du fond d'œil normal

Après vérification de la normalité de l'ERG et du PERG, les PEV renseignent sur l'état des voies visuelles - traumatisme récent, pathologie ischémique, inflammatoire, toxique (éthambutol, alcool), compressions des voies visuelles avec éventuellement localisation d'un niveau de dysfonctionnement par rapport au chiasma -... L'évolution de leur morphologie est utile à suivre dans le cadre de la rééducation d'une amblyopie. La normalisation de leur morphologie peut précéder l'amélioration de l'acuité visuelle.

3- Acuité visuelle normale avec neuropathie possible

Si l'histoire de la maladie suggère une neuropathie possible, les PEV permettent de confirmer ou d'infirmer une modification fonctionnelle des voies visuelles en dépit de la normalité de l'acuité visuelle.

4- Une demande spécifique : évaluation objective de l'acuité visuelle

Elle peut être cruciale lorsque le sujet n'est pas capable de décrire ce qu'il perçoit, où lorsqu'il dissimule ou sous-estime volontairement ce qu'il perçoit.

Si on s'en tient à la définition classique de l'acuité visuelle comme étant celle de l'inverse du minimum séparable (exprimé en minutes d'arc) entre deux lignes d'une mire de Foucault, les PEV ne permettent pas d'évaluer l'acuité visuelle.

Cependant, l'utilisation de damiers et l'enregistrement des PEV damier ou onset-offset permettent de tester les capacités qu'ont les différentes zones maculaires pour les premiers et toute l'aire maculaire pour les seconds, à répondre à des stimulations organisées en structure [31].

Les PEV damier enregistrés avec des stimulations de différentes tailles, sont le reflet du fonctionnement des voies maculaires, lui-même lié à l'acuité visuelle. Leur normalité atteste simplement celle des voies maculaires. Or, l'acuité visuelle va au-delà ; elle fait appel à des mécanismes cognitifs d'interprétation de l'image maculaire en fonction d'un apprentissage antérieur qui en permet la perception. Les PEV damier ne permettent donc pas strictement une évaluation de l'acuité.

5- PEV et estimation de l'acuité visuelle

Si la détermination d'une acuité visuelle est capitale, une procédure un peu longue peut être mise en œuvre. Elle permet d'approcher un minimum séparable en procédant avec des damiers dont les cases sont de tailles décroissantes (par exemple 120', 60', 30', 15' voire 8' et 4'), présentés successivement pour enregistrement des PEV damier transitoires [32], stationnaires [33] ou onset-offset [34].

La variation des amplitudes des PEV enregistrés est portée sur un graphique, en fonction de la taille de la case stimulante. La taille de la case qui donne une réponse d'amplitude juste discernable (ou amplitude seuil) est assimilée au minimum séparé par la rétine centrale. Par extrapolation, la taille de la case pour laquelle la réponse serait d'amplitude nulle est supposée correspondre au minimum séparable par la rétine centrale, assimilée à l'inverse de l'acuité visuelle, fournissant ainsi une estimation de l'acuité visuelle [35].

Le passage de l'estimation de l'acuité visuelle à son évaluation, doit se faire avec prudence. En effet, quand les PEV sont discernables, témoignant d'un état fonctionnel satisfaisant, ils correspondent souvent à une bonne perception ; la réciproque n'est pas toujours vraie. Une bonne perception est combinée à une acuité visuelle subjective correcte.

CONCLUSION

Après choix et définitions des caractéristiques d'enregistrement e surtout des stimuli adoptés au laboratoire de Neurophysiologie clinique du CHU Hassan II à Fès, à savoir les dimensions d'écran et des pattern, le rythme de stimulation, la luminance et le contraste, nous avons collecté l'ensemble des données relatives aussi bien au PEV à l'inversion du DAMIER (N75 ; P100 ; N145), qu'au flash (N1 ; P1 ; N2 ; P2 ; N3 ; P3 ; N4 ; P4) chez un groupe homogène d'une vingtaine d'adultes normaux jeunes âgés de moins de 40 ans et âgés de 40 ans ou plus. Le damier a été utilisé avec 60' et 15' pour pouvoir couvrir toute la rétine. Tous les enregistrements ont été couplés, à L'ERG pour pouvoir tiré des conclusions concernant l'état des voies visuelles en dehors de la rétine, qui relève plutôt de la pathologie ophtalmologique.

Chez les sujets âgés de moins de 40 ans, la latence maximale acceptable de la P100 est de 114,9 ms à droite et à 114,2ms à gauche pour le damier à 60' et à 112,42 ms à droite et 114,2ms à gauche pour le damier à 15'.

Chez les sujets âgés de 40 ans et plus, la latence maximale acceptable de la P100 est de 108,83 ms à droite et à 111,37ms à gauche pour le damier à 60' et à 110.3ms à droite et 109.5 ms à gauche pour le damier à 15'.

Nous avons également procéder au calcul des différences acceptables entre l'œil droit et gauche (ODG), utilisées à l'interprétation si les deux valeurs sont dans les fourchettes normales. Pour les sujets de moins de 40 ans, au Damier 60', on accepte une différence ODG des deux latences des P100 de 6,74 ms et de 4.69 ms au Damier 15'. Pour les sujets de 40 ans ou plus, au Damier 60', on accepte une différence ODG des deux latences des P100 de 7,09 ms et de 5.4 ms au Damier 15'.

Ce travail nous a permis d'obtenir les valeurs des potentiels évoqués visuels propres au laboratoire de Neurophysiologie clinique du service de Neurologie au CHU Hassa II de Fès, tout en précisant les différents paramètres qui y seront adoptés.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Halliday, A.M., Barrett, G., Halliday, E., & Michael, W.F. (1977). The topography of pattern-evoked potential. In *Visual evoked potentials in man* (pp. 127-128). Oxford: Clarendon Press.
- [2] Harter, M.R. (1970). Evoked cortical responses to checkerboard patterns: effect of check-size as a function of retinal eccentricity. *Vision Res*, 10 (12), 1365-1376.
- [3] Meredith, J.T., & Celesia, G.G. (1982). Pattern-reversal visual evoked potentials and retinal eccentricity. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 53 (3), 243-253.
- [4] Davis, E.T., Schnider, C.M., & Sherman, J. (1987). Normative data and control studies of flash VEP's for comparison to a clinical population. *Am J Optom Physiol Opt*, 64 (8), 579-592.
- [5] Klistorner, A., Crewther, D.P., & Crewther, S.G. (1998). Temporal analysis of the chromatic flash VEP--separate colour and luminance contrast components. *Vision Res*, 38 (24), 3979-4000.
- [6] Regan, D. (1989b). Human Brain electrophysiology. In *Evoked potentials and evoked magnetic fields in science and medicine* (p. 401). New York: Elsevier.
- [7] Blumhardt, L.D., & Halliday, A.M. (1979). Hemisphere contribution to the composition of the pattern evoked potential waveform. *Exp Brain Res*, 36 (53-69).
- [8] Leguire, L.E., Rogers, G.L., & Bremer, D.L. (1995). Flash visual evoked response binocular summation in normal subjects and in patients with early-onset esotropia before and after surgery. *Doc Ophthalmol*, 89 (3), 277-286.
- [9] Regan, D. (1989a). Human Brain electrophysiology. In *Evoked potentials and evoked magnetic fields in science and medicine* (p. 15). New York: Elsevier.
- [10] Odom, J.V., Bach, M., Barber, C., Brigell, M., Marmor, M.F., Tormene, A.P., Holder, G.E., & Vaegan (2004). Visual evoked potentials standard (2004). *Doc Ophthalmol*, 108 (2), 115-123.
- [11] Shimoyama, I., Miyanaga, F., Nishizawa, S., Uemura, K., & Morita, Y. (1995). Statistical analysis of short-latency flash visual evoked cortical potentials with noncephalic reference. *Doc Ophthalmol*, 91, 363-370.

- [12] Joost, W., & Bach, M. (1990). Variability of the steady-state visually evoked potential: interindividual variance and intraindividual reproducibility of spatial frequency tuning. *Doc Ophthalmol*, 75 (1), 59-66.
- [13] Regan, D. (1977). Steady-state evoked potentials. *J Opt Soc Am*, 67 (11), 1475-1489.
- [14] Baseler, H.A., & Sutter, E.E. (1997). M and P components of the VEP and their visual field distribution. *Vision Res*, 37 (6), 675-690.
- [15] Dow, B.M. (1990). Nested maps in Macaque monkey visual cortex. In *Science of Vision* (p. 88). New York: Springer Verlag.
- [16] Adachi-Usami, E. (1991). Aging and pattern visual evoked cortical potential. In *Principles and practice of clinical electrophysiology of vision* (pp. 417-424): Mosby Year Book.
- [17] Riemsdag, F.C.C., & Spekreijse, H. (1990a). Electrodiagnosis by luminance and pattern stimulation. In *Evoked potential manual* (pp. 149-150): Kluwer Acad Pub.
- [18] Van Orden, K.F., & Sturr, J.F. (1990). Age-related amplitude changes of the pattern reversal evoked potential depend on stimulus spatial frequency and contrast. *Clin Vision Sci*, 6 (1), 31-37.
- [19] Harding, G. (1991b). Technical issues in visual evoked cortical potential recording. In *Principles and practice of clinical electrophysiology of vision* (p. 437): Mosby Year Book.
- [20] Harding, G., Odom, J.V., Spileers, W., & Spekreijse, H. (1996). Standard for visual evoked potentials 1995. The International Society for Clinical Electrophysiology of Vision. *Vision Res*, 36 (21), 3567-3572.
- [21] Victor, J.D., Conte, M.M., & Adecola, C. (1991). Ocular dependence of hemifield visual evoked potentials : relevance to bilateral cortical representation of central vision. *Clin Vision Sci*, 6 (4), 261-276
- [22] Fujimoto, N., & Adachi-Usami, E. (1988). Comparison of automated perimetry and pattern visually evoked cortical potentials in optic neuritis. *Doc Ophthalmol*, 69 (3), 263-269.
- [23] Skalka, H., & Holman, J. (1986). Effect of pupillary dilatation in flash VER testing. *Doc Ophthalmol*, 63 (4), 321-324.

- [24] Penne, A., & Fonda, S. (1981). Influence of pupillary size on P100 latency time of pattern-reversal VEP. *Doc Ophthalmol Proc Ser*, 27, 255-263.
- [25] Perlman, I., Segev, E., Mazawi, N., Merhav-Armon, T., Lei, B., & Leibur, R. (2001). Visual evoked cortical potential can be used to differentiate between uncorrected refractive error and macular disorders. *Doc Ophthalmol*, 102, 41-62.
- [26] Katsumi, O., Hirose, T., Sakuaue, H., Mehta, M., & Rosenstein, R.B. (1990). Effect of optical defocus on the steady state pattern reversal visual-evoked responses. *Ophthalmic Res*, 22 (6), 383-390.
- [27] Mitchell, K.W., Howe, J.W., & Spencer, S.R. (1987). Visual evoked potentials in the older population : age and gender effects. *Clin Phys Physiol meas*, 8, 317-324.
- [28] Hoffmann, M.B., & Seufert, P.S. (2005). Simulated nystagmus reduces pattern-reversal more strongly than pattern-onset multifocal visual evoked potentials. *Clin Neurophysiol*, 116 (7), 1723-1732.
- [29] Sannita, W.G. (1991). Neuropsychiatric drug effects on the visual nervous system. In *Principles and practice of clinical electrophysiology of vision* (pp. 167-173): Mosby Year Book.
- [30] Whitacre, M.M., & Ellis, P.P. (1984). Outpatient sedation for ocular examination. *Surv Ophthalmol*, 28 (6), 643-652.
- [31] Bobak, P., Khanna, P., Goodwin, J., & Brigell, M. (1993). Pattern visual evoked potentials in cases of ambiguous acuity loss. *Doc Ophthalmol*, 85 (2), 185-192.
- [32] Wenzel, D., & Brandl, U. (1984). Maturation of pattern evoked potentials elicited by checkerboard reversal. *Dev Ophthalmol*, 9, 87-93.
- [33] Sokol, S. (1978). Measurement of infant visual acuity from pattern reversal evoked potentials. *Vision Res*, 18 (1), 33-39.
- [34] De Vries-Khoe, L.H., & Spekrijse, H. (1982). Maturation of luminance and patterns Eps in man. *Doc Ophthalmol Proc Series*, 31, 461-475.

[35] Apkarian, P. (1994). Visual evoked potential assesment of visual function in pediatric neuroophthalmology. In Principles and practice of ophthalmology (pp. 622-647): Saunders W.B. Company.