

LES MÉTHODES D'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS OCULAIRES : AVANTAGES ET LIMITES

M.-A. QUÉRÉ*, S. TOUCAS*

Mots clés : Mouvements oculaires, méthode électromagnétique, électro-oculographie, photo-oculographie, dérèglements oculomoteurs.

Key words : Eye movements, electromagnetic eye movement recording, electro-oculography, photo-oculography, oculomoters disorders.

RÉSUMÉ

L'étude de la cinétique oculaire est souvent nécessaire pour poser le diagnostic, suivre l'évolution et choisir le traitement dans bien des dérèglements oculomoteurs. Pour faire une analyse correcte des mouvements oculaires, une méthode d'enregistrement est indispensable. Il existe de nombreuses techniques, mais un petit nombre d'entre elles peuvent être utilisées en pratique courante.

Une bonne méthode clinique doit répondre à un certain nombre de préalables :

- il faut qu'elle soit applicable à tout âge et indolore,
- elle ne doit pas exiger l'immobilisation de la tête,
- son exécution doit être facile et sûre,
- enfin le coût du matériel doit être raisonnable.

Il faut en outre qu'elle réponde à divers impératifs techniques :

- enregistrer simultanément les deux yeux à l'obscurité, en binoculaire et en monoculaire,
- enregistrer tous les types de mouvements selon tous les axes de déplacement,
- le port de la correction optique doit être possible ainsi que la compensation d'une déviation strabique,
- enfin, elle doit donner un enregistrement en temps réel et quantitatif, permettant le calcul de tous les paramètres du mouvement ainsi que l'édition des tracés et des résultats.

A la lumière de ce cahier des charges, les avantages et les limites des 3 principales méthodes d'enregistrement sont successivement analysés : méthodes électromagnétiques, électro-oculographiques et optiques.

SUMMARY

In many types of oculomotor disorders, it is necessary to examine eye movements in order to make a diagnosis, monitor progress and decide on management. A method of recording is essential for a proper analysis of eye movements. Many different techniques exist but few of them are suitable for use in clinical practice.

A good clinical method must firstly fulfil a certain number of requirements :

- it must be suitable for patients of all ages and it must be painless
- it must not necessitate immobilisation of the head,
- it must be easily carried out and it must be reliable
- it must not be too expensive.

it should also fulfil certain technical requirements, allowing :

- simultaneous recording of the 2 eyes, in darkness, in the binocular state and in the monocular state,
- recording of all kinds of eye movements in all axes of displacement,
- wearing of optical correction and, in the same way, compensation for a strabismus,
- a recording that is both real time and quantitative, permitting automatic calculation of all parameters of movement and production of tracings and results.

In the light of these requirements, we present an analysis of the advantages and limitations of the 3 different methods of eye movements recording : electromagnetic methods - electro-oculography - optic-methods.

* Clinique Ophtalmologique CHU Nantes - 44035 NANTES Cedex.

LES MÉTHODES D'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS OCULAIRES : AVANTAGES ET LIMITES

Une étude pertinente de la cinétique oculaire est nécessaire pour poser le diagnostic, suivre l'évolution et choisir le traitement dans bien des dérèglements oculo-moteurs. Pour faire une analyse correcte des mouvements oculaires, une méthode d'enregistrement est indispensable.

Il existe de très nombreuses méthodes, électro-oculographiques, optiques ou magnétiques mais seules quelques-unes sont pour l'instant utilisables en pratique courante.

Nous présentons tout d'abord le cahier des charges d'une bonne méthode clinique puis successivement les principales méthodes avec leurs avantages et inconvénients respectifs.

I - CAHIER DES CHARGES

Une bonne méthode doit répondre à un certain nombre de préalables :

- il faut qu'elle soit applicable à tout âge et indolore,
- elle ne doit pas imposer l'immobilisation de la tête,
- son exécution doit être facile et sûre,
- enfin le coût du matériel doit être raisonnable.

Il faut en outre qu'elle réponde à divers impératifs techniques :

- enregistrement simultané des 2 yeux, yeux ouverts ou fermés, à l'obscurité, en binoculaire ou monoculaire
- enregistrement de tous les types de mouvements :
 - mouvements spontanés anormaux,
 - mouvements induits : versions : poursuite, saccades, NOC
vergences

- enregistrement selon tous les axes de déplacement : 0° , 45° , 90° , 135°

- le port de la correction optique doit être possible ainsi que l'enregistrement des fortes déviations strabiques

- l'enregistrement doit se faire en temps réel et fournir des données quantitatives permettant le calcul de tous les paramètres du mouvement (position, vitesse, accélération)

- enfin, l'édition des tracés et des résultats est nécessaire (documents objectifs)

Actuellement, aucune méthode ne remplit toutes les conditions et seules deux méthodes que nous détaillerons sont réellement sorties du laboratoire.

II - LES PRINCIPALES MÉTHODES D'ENREGISTREMENT

Il existe trois grands types de méthodes : électro-magnétiques, électro-oculographiques et optiques.

A) LES MÉTHODES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

L'œil du sujet est centré dans un champ magnétique uniforme. Une bobine annulaire, fixée sur une lentille molle est posée sur l'œil. Elle est reliée à un système d'amplification et d'enregistrement. A chaque mouvement oculaire un courant induit apparaît dans la bobine proportionnel à l'angle de rotation de l'œil et permet d'évaluer la position de l'œil (Figure 1).

On peut citer l'instrumentation de ROBINSON (1963) ou de REULEN (1982).

Pour mesurer les mouvements oculaires à la fois horizontaux et verticaux, on applique 2 champs magnétiques perpendiculaires correspon-

gant à 2 ondes électromagnétiques de fréquences différentes.

Ces dispositifs sont précis, (1 minute d'arc) et peu sensibles aux parasites.

C'est le seul système permettant d'enregistrer les mouvements de torsion.

La DDP recueillie est une fonction linéaire de la rotation de l'œil jusqu'à une amplitude de 30 à 35° horizontalement et verticalement.

Mais il peut exister une imprécision liée aux petits mouvements de la lentille, il s'agit d'une méthode invasive (l'enregistrement ne doit pas dépasser 10 minutes sous peine d'érosion cornéenne), enfin son coût de mise en œuvre est très important : matériel, isolement de la pièce...

Pour toutes ces raisons, malgré leur intérêt, ces méthodes électromagnétiques sont encore réservées au laboratoire.

B) LES MÉTHODES ÉLECTRO-OCULOGRAPHIQUES

Indépendamment de toute stimulation, pour un état d'adaptation donné, il existe une différence de potentiel constante entre les couches internes de la rétine, électropositives et les cou-

ches externes de la rétine, électronégatives. La cornée hérite de l'électropositivité des couches internes.

L'électro-oculographie consiste à enregistrer des variations de potentiel au niveau d'électrodes de surface situées au pourtour du globe.

L'électro-oculographie sensorielle enregistre ces potentiels sous l'influence de l'adaptation à l'obscurité.

L'électro-oculographie cinétique s'intéresse seulement aux variations de potentiel dues aux mouvements oculaires. Il faut donc maintenir une ambiance lumineuse constante (photopique basse) et prévoir une adaptation à l'obscurité d'au moins 10 minutes du sujet avant de débiter l'enregistrement.

L'amplitude du potentiel enregistré (D) est proportionnelle au sinus de l'angle de rotation de l'œil (A) :

$$D = 2 \sin 1/2 A$$

L'EOG cinétique permet l'enregistrement de mouvements de grande amplitude (+/- 50°), avec ou sans correction optique. Sa précision est faible (de l'ordre de 2°) et de nombreux artéfacts compliquent l'interprétation. Elle permet unique-

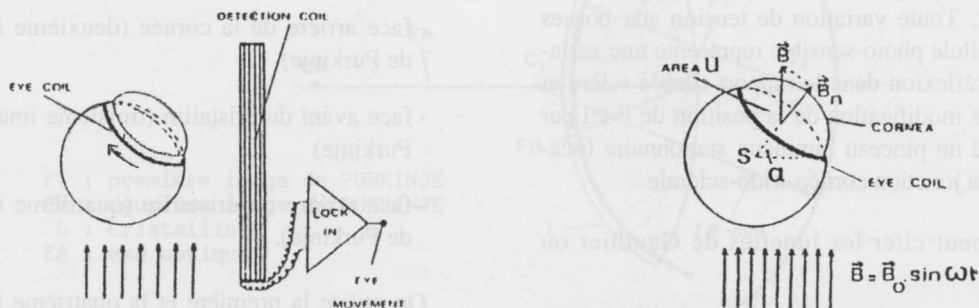


Figure 1

Mesure des mouvements oculaires par méthode magnétique (d'après REULEN, 1982).

ment l'enregistrement des mouvements horizontaux.

Néanmoins ces méthodes sont largement utilisées en pratique courante et nous les décrirons donc en détail plus loin.

C) LES MÉTHODES OPTIQUES

Il en existe un très grand nombre : nous ne citerons que les principales.

1 - Réflexion cornéenne simple

La cornée est une surface lisse réfléchissante qui, éclairée par un faisceau incident fixe, le réfléchit selon un angle qui dépend de sa position.

Cette méthode exige l'immobilité stricte de la tête ou son repérage.

L'amplitude de mouvements ne doit pas dépasser $\pm 15^\circ$. Au-delà le reflet se fait sur une portion moins sphérique et moins lisse de la cornée ou de la sclère.

2 - Détection du limbe

La position du limbe est déterminée grâce à des cellules photo-électriques. Au niveau du limbe, l'intensité lumineuse va varier car les deux zones anatomiques ont un pouvoir réfléchissant différent. Toute variation de tension aux bornes d'une cellule photo-sensible représente une variation de réflexion dans le rapport cornée-sclère et donc une modification de la position de l'œil par rapport à un pinceau lumineux stationnaire focalisé sur la jonction cornéo-irido-sclérale.

On peut citer les lunettes de Gauthier ou d'Ober.

Ces méthodes nécessitent la fixation de la tête ou le port d'un casque ce qui interdit l'examen d'enfant et le plus souvent le port de la correction optique à moins de placer celle-ci en

avant des émetteurs et des détecteurs. La précision est de $15'$ d'arc. Le champ visuel est réduit par le casque (amplitude $\pm 20^\circ$).

3 - Méthodes optiques avec lentilles de contact

Pour la précision de l'examen, il est indispensable que la lentille se déplace exactement avec l'œil.

Les imperfections liées à la cornée sont éliminées et la précision des examens est grande : 5 à 10 secondes d'arc.

Tous ces systèmes sont peu confortables, coûteux et inapplicables à l'enfant.

Ces méthodes sont réservées à l'étude des mouvements d'amplitude inférieure à 5° (au-delà, mauvaise stabilité de la lentille) : études des micro mouvements de fixation en laboratoire.

4 - Méthode de la double image de Purkinje

Un rayon lumineux qui traverse l'œil est réfléchi par différentes interfaces :

- face avant de la cornée (première image de Purkinje)
- face arrière de la cornée (deuxième image de Purkinje)
- face avant du cristallin (troisième image de Purkinje)
- face arrière du cristallin (quatrième image de Purkinje).

On utilise la première et la quatrième image du Purkinje en tant que repère de l'œil. Ces deux repères se déplacent l'un par rapport à l'autre uniquement dans les mouvements de rotation de l'œil et pas dans les mouvements de translation.

Une source lumineuse éclaire l'œil et forme les deux images de Purkinje. Deux lentilles vont recueillir ces images après réflexion sur un miroir et les focaliser sur 2 photo-détecteurs (Figure 2).

Ces méthodes sont précises (1 minute d'arc) mais interdisent le port de la correction optique. Elles sont réservées au laboratoire.

5 - POG différentielle

Son principe repose sur la détection de la position relative du reflet cornéen central et du centre de la pupille. C'est la seule méthode optique utilisable en pratique courante et nous la détaillerons plus loin.

III - MÉTHODES CLINIQUES

Seules l'EOG cinétique et la POG différentielle sont donc réellement sorties du laboratoire.

Nous décrivons ici de façon plus précise ces 2 méthodes telles qu'elles sont utilisées en pratique courante au CHU de Nantes dans le service du Pr QUÉRÉ.

A) L'ÉLECTRO-OCULOGRAPHIE CINÉTIQUE

1 - Méthode

La chaîne d'enregistrement est simple :

- Le recueil des potentiels de repos est obtenu grâce à des électrodes de Beckman placées au pourtour de l'œil sur une peau préalablement décapée.

- L'amplificateur est un amplificateur différentiel. Nous utilisons un amplificateur en courant alternatif, de manière à réduire les importants phénomènes de dérive observés en courant continu.

Le filtre Passe Bas utilisé est de 15 ou 30 Hz.

Le filtre Passe Haut encore appelé constante de temps est variable :

- 0,05 Hz soit une constante de temps de 7 secondes pour avoir une information sur la position,

FT : première image de PURKINJE
FH : deuxième image de PURKINJE
L : Cristallin
EA : axe optique

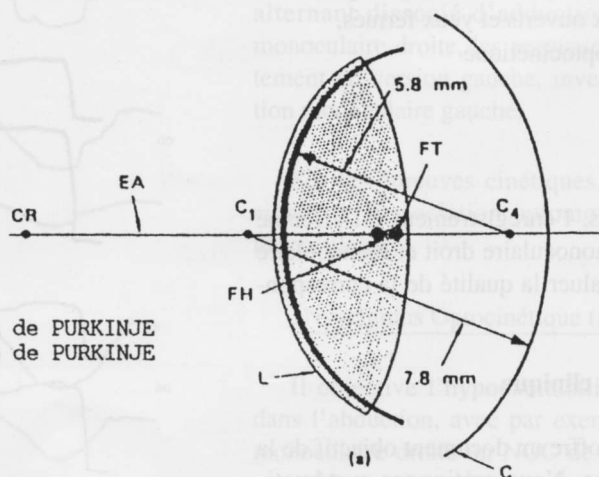


Figure 2

Technique de la double image de Purkinje.

LES MÉTHODES D'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS OCULAIRES : AVANTAGES ET LIMITES

- 5 Hz soit une constante de temps de 0,03 secondes pour avoir une information sur la vitesse du mouvement.

Le signal analogique, amplifié et filtré, est transmis à un galvanomètre. La transcription se fait directement grâce à un inscripteur à plume sur du papier défilant à 15 mm/seconde.

Notre appareil, certes peu sophistiqué, fournit un signal analogique. Il faut signaler qu'il existe des appareils plus sophistiqués permettant de numériser le signal, et de lui appliquer différents types de traitements et de filtrages spécifiques pour le calcul de l'amplitude, de la vitesse ou de la latence du mouvement. On peut ainsi s'affranchir de certains parasites, mais le principe reste le même et les limites inhérentes à la nature médiate du signal subsistent.

2 - Déroulement de l'examen

L'examen se déroule selon un protocole stéréotypé. Il faut faire un examen complet des potentialités oculogyres et étudier :

- mouvements spontanés (nystagmus ou autres), yeux ouverts et yeux fermés,
- nystagmus optocinétique
- poursuites
- saccades
- vergences.

A chaque fois, l'enregistrement est effectué en binoculaire, monoculaire droit et monoculaire gauche afin d'évaluer la qualité de la correspondance motrice.

3 - Intérêt en clinique

L'EOG nous offre un document objectif de la cinétique oculaire. Nous pratiquons systématiquement un enregistrement :

- chez tous les sujets strabiques,

- dans les paralysies oculo-motrices et les syndromes de rétraction,
- dans les nystagmus.

Les principaux éléments séméiologiques sont les suivants.

a) Dyssynergies fonctionnelles et paralytiques

On oppose 2 grand types de perversion cinétique :

- la dyssynergie paralytique : elle porte toujours sur le même œil et est indépendante des modalités de fixation. Elle traduit l'altération des ductions cinétiques et donc un syndrome périphérique neurogène, myogène ou capsulo-musculaire (Figure 3).

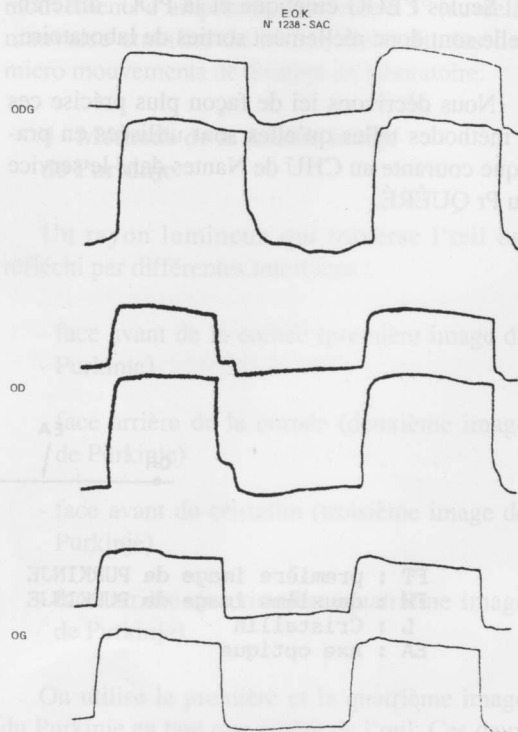


Figure 3

Saccades horizontales. Dyssynergie paralytique OD.

- la dyssynergie fonctionnelle : alternante ou monolatérale, elle n'apparaît que sur l'œil non fixateur ou masqué, et disparaît quand celui-ci prend la fixation, ce qui prouve que les ductions cinétiques sont normales. C'est un trouble moteur dissocié en fonction des afférences opto-motrices, par définition supra-nucléaire (Figure 4).

b) Nystagmus congénitaux

L'EOG cinétique est une méthode de choix pour l'étude sémiologique des nystagmus, en particulier des nystagmus congénitaux en ophtalmologie.

On distingue les nystagmus patents et les nystagmus manifestes latents mais l'analyse des enregistrements montre qu'il existe de nombreuses formes mixtes.

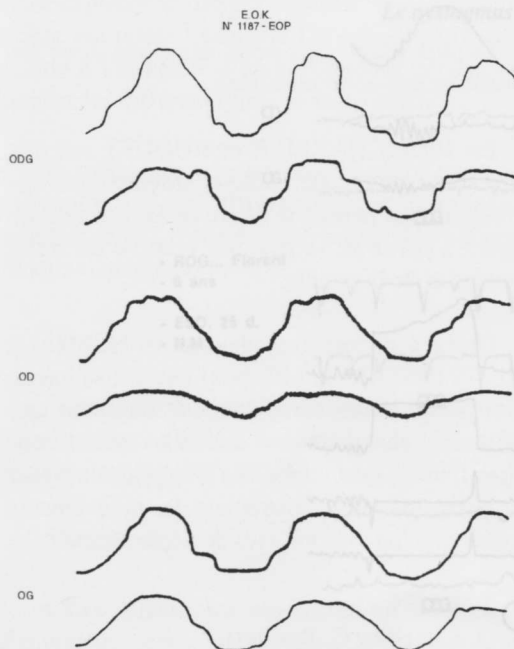


Figure 4

Poursuite horizontale. Dyssynergie fonctionnelle OG.

- Nystagmus patent

Ce nystagmus est indépendant des conditions afférentielles. Classiquement, la morphologie est pendulaire ou pendulo-ressort, avec une phase lente progressivement croissante. L'occlusion monoculaire n'a aucune incidence sur la morphologie ni sur l'intensité.

S'il existe, le torticolis est unidirectionnel et on peut alors observer un blocage latéral (syndrome de Kestenbaum-Anderson) qui est noté à la fois en statique (version droite ou gauche) et en cinétique en particulier sur la pause latérale des saccades (Figure 5).

Certains patients présentent un blocage en vision de près.

- Nystagmus manifeste latent

L'occlusion monoculaire met en évidence la composante latente : le nystagmus s'amplifie et bat vers l'œil découvert (Figure 6). Toujours sur les épreuves statiques, en fixation monoculaire, on peut observer la justification du torticolis alternant dissocié d'adduction : en fixation monoculaire droite, les secousses diminuent nettement en version gauche, inversement en fixation monoculaire gauche.

Sur les épreuves cinétiques, on retrouve les signes de dissociation optomotrice en fixation monoculaire :

- Nystagmus Optocinétique (NOC)

Il objective l'hypoexcitabilité optocinétique dans l'abduction, avec par exemple, en fixation monoculaire droite un NOC de faible amplitude quand le tambour tourne vers la droite, et au contraire bien élicité quand le tambour tourne vers la gauche. (Réaction additive ou soustractive des phases lentes). (Figure 7).

LES MÉTHODES D'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS OCULAIRES : AVANTAGES ET LIMITES

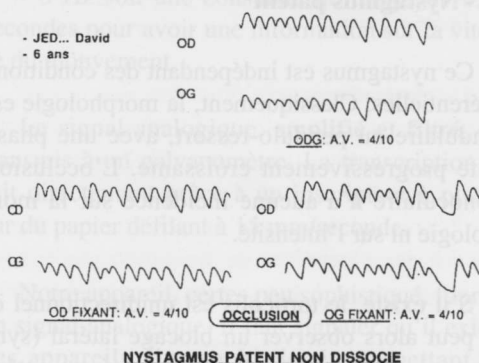


Figure 5a

Enregistrements en position primaire d'un patient
présentant un nystagmus patent, non dissocié.
Nystagmus pendulaire.

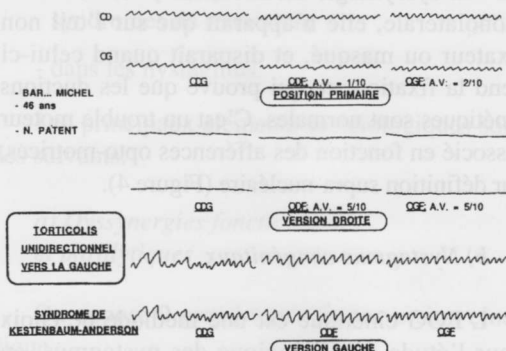


Figure 5b

Enregistrement statique en version droite et gauche :
mise en évidence du blocage en version droite
(Syndrome de KESTENBAUM-ANDERSON).

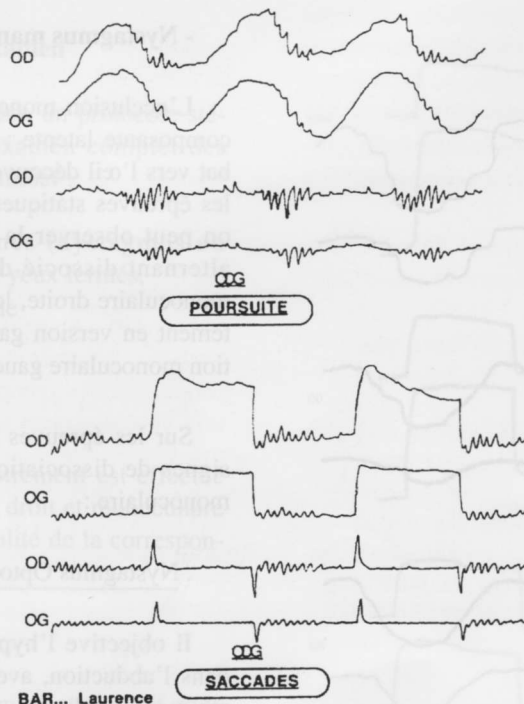


Figure 5c

Enregistrement cinétique (poursuite et saccades) : mise en évidence du blocage en version droite
(Syndrome de KESTENBAUM-ANDERSON).

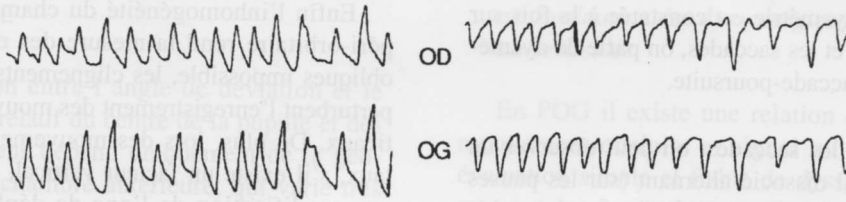
- ATH... Jérôme
- 10 ans

OD

- EXO. 8 d.
- N.M.L.

OG

ODG : A.V. = 5/10



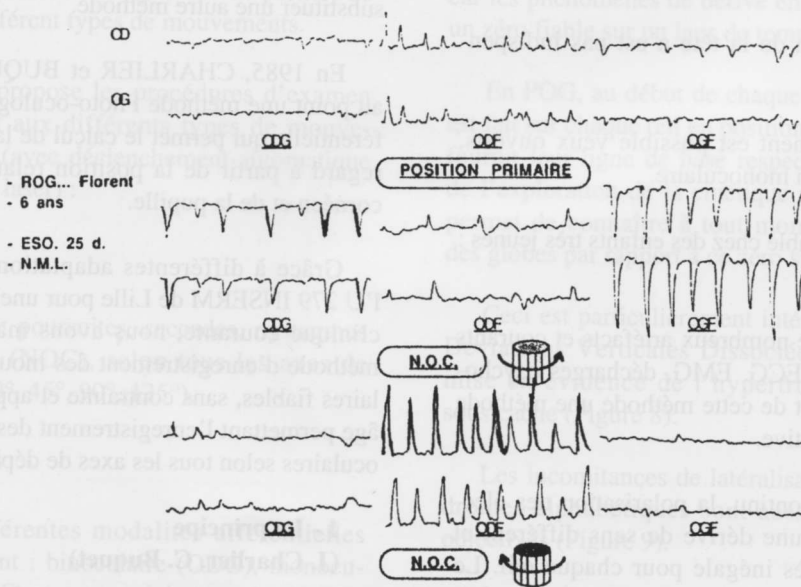
OD FIXANT: A.V. = 2/10

OCCCLUSION

OG FIXANT: A.V. = 3/10

Figure 6

Nystagmus manifeste latent (NML) : apparition de la composante latente en occlusion monolatérale.
Le nystagmus bat vers l'œil découvert.



- ROG... Florent
- 6 ans

- ESO. 25 d.
- N.M.L.

Figure 7

NML : Inexcitabilité optocinétique dans l'abduction.

. Poursuite et saccades

L'étude des versions peut permettre de mettre en évidence la "dysmétrie dissociée alternante" : en fixation monoculaire droite, on notera une dysmétrie (aspect saccadé) de la poursuite dans le regard vers la droite alors que sur les saccades cette dysmétrie existe dans le regard à gauche (et inversement en fixation monoculaire gauche). Quand cette dysmétrie est constatée à la fois sur les poursuites et les saccades, on parle de dysmétrie couplée saccade-poursuite.

Enfin, sur les saccades, on peut observer un blocage latéral dissocié alternant (sur les pauses latérales gauches l'œil droit fixant et sur les pauses latérales droites l'œil gauche fixant).

4 - Avantages et limites de l'EOG cinétique

La méthode électro-oculographique est donc une méthode indolore, peu invasive et simple.

La contention de la tête n'est pas indispensable.

L'enregistrement est possible yeux ouverts, yeux fermés et en monoculaire.

Elle est utilisable chez des enfants très jeunes : 3-4 ans.

Cependant de nombreux artéfacts et courants parasites (EEG, ECG, EMG, décharges psychogalvaniques) font de cette méthode une méthode purement qualitative.

En courant continu, la polarisation des électrodes entraîne une dérive de sens différent et d'importance très inégale pour chaque œil. Le phénomène de dérive (grande amplitude, fréquence basse) n'est pas très gênant pour des décharges rapides et de faible amplitude : flutter, nystagmus... Par contre l'analyse des mouve-

ments lents de grande amplitude (poursuite) est difficile : les tracés sont perturbés par de larges ondulations.

On recourt donc le plus souvent à l'amplification en courant alternatif. Selon la constante de temps, le tracé sera plus ou moins déformé et la dérive plus ou moins éliminée.

Enfin l'inhomogénéité du champ électrique péri-orbitaire rend la mesure des mouvements obliques impossible, les clignements palpébraux perturbent l'enregistrement des mouvements verticaux. De plus, lors des mouvements horizontaux, s'il existe un facteur vertical, il se produit une modification de l'axe de déplacement de l'œil non fixateur, donc une modification aléatoire du potentiel capté et des erreurs de quantification.

B) LA PHOTO-OCULOGRAPHIE

Depuis longtemps nous désirions donc lui substituer une autre méthode.

En 1985, CHARLIER et BUQUET ont mis au point une méthode Photo-oculographique différentielle qui permet le calcul de la direction du regard à partir de la position relative du reflet cornéen et de la pupille.

Grâce à différentes adaptations réalisées à l'U 279 INSERM de Lille pour une utilisation en clinique courante, nous avons maintenant une méthode d'enregistrement des mouvements oculaires fiables, sans contrainte et applicable à tout âge permettant l'enregistrement des mouvements oculaires selon tous les axes de déplacement.

1 - Le principe (J. Charlier, C. Buquet)

La méthode consiste à mesurer à partir de l'image vidéo de l'œil la position relative de l'image d'une source lumineuse réfléchie sur la

cornée : le reflet cornéen et de l'image de la pupille vue par réfraction au travers du dioptré cornéen.

Ces deux images étant dans 2 plans optiques différents, la mesure de leur position relative fournit l'angle de rotation de l'œil indépendamment de sa translation. Cette mesure n'est donc pas modifiée lors d'éventuels mouvements de la tête du patient.

La relation entre l'angle de déviation et le déplacement relatif du centre de la pupille et des reflets cornéens dépend uniquement de la géométrie de la chambre antérieure, qui varie très peu chez un même sujet.

2 - L'appareil

L'appareil de photo-oculographie comprend deux capteurs d'images reliés à un processeur maître qui pilote l'examen. Un stimulateur laser, couplé à l'appareil d'enregistrement permet de générer les différents types de mouvements.

Un menu propose les procédures d'examen correspondant aux différents types de mouvements étudiés (avec déclenchement automatique du stimulateur laser) :

. Fixation

. Versions : poursuites, saccades, nystagmus optocinétique (NOC), selon tous les axes de déplacement (0° , 45° , 90° , 135°).

. Vergences

et aux différentes modalités afférentielles d'enregistrement : binoculaire (ODG), monoculaire droit (ODF) et monoculaire gauche (OGF). Un cache ne transmettant pas la lumière visible et laissant passer l'infrarouge permet les enregistrements en monoculaire.

On obtient 2 courbes en fonction du temps (composante horizontale et composante verticale du mouvement) pour chaque œil.

Un second mode de visualisation permet d'obtenir une représentation en X/Y des tracés.

3 - Intérêt clinique

a) *Evaluation des dyssynergies horizontales ou verticales*

En POG il existe une relation directe entre mouvement oculaire et signal qui permet une évaluation simple et fiable de dyssynergies. On retrouve les 2 grands types de perversion cinétique mais selon tous les axes de déplacement : dyssynergie fonctionnelle ou paralytique.

b) *Mesure absolue de la position du globe*

En EOG, même courant continu, la détermination de la position du globe reste très relative, car les phénomènes de dérive empêchent d'avoir un zéro fiable sur un laps de temps suffisant.

En POG, au début de chaque examen le zéro est fait sur chaque œil en position primaire ce qui fournit leur ligne de base respective. Aussi lors de l'exploration de la cinétique oculaire celle-ci permet de connaître à tout moment la position des globes par rapport à ce zéro spatial.

Ceci est particulièrement intéressant dans les Déviations Verticales Dissociées (DVD) avec mise en évidence de l'hypertropie alternante sous cache (Figure 8).

Les incomitances de latéralisation et les syndromes alphabétiques sont aussi parfaitement objectivés (Figure 9).

c) *Etude des dérèglements verticaux*

En EOG, cette étude est difficile sur l'axe vertical, impossible sur les axes obliques.

LES MÉTHODES D'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS OCULAIRES : AVANTAGES ET LIMITES

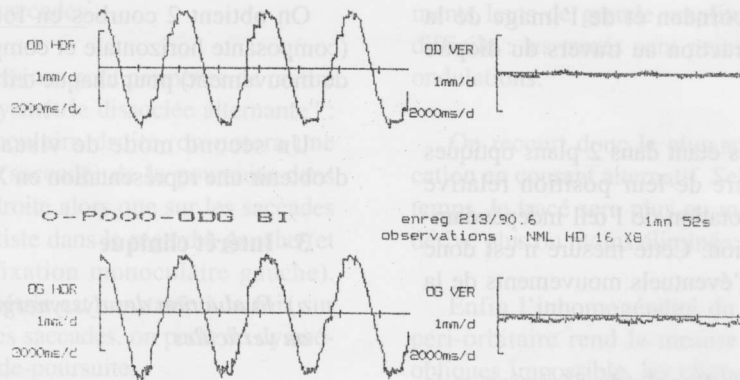


Figure 8a : OGD : peu de déviation verticale.

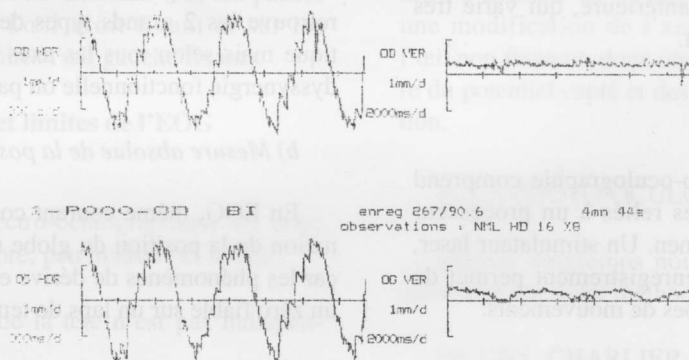


Figure 8b : Œil droit fixateur (œil gauche masqué) : hypertropie OG.

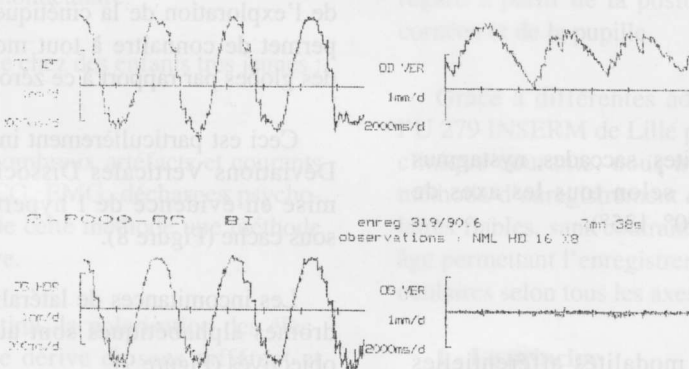


Figure 8c - Œil gauche fixateur (œil droit masqué) : hypertropie OD.

Figure 8

Exotropie nystagmique avec DVD : poursuite horizontale (Tracé en fonction du temps).

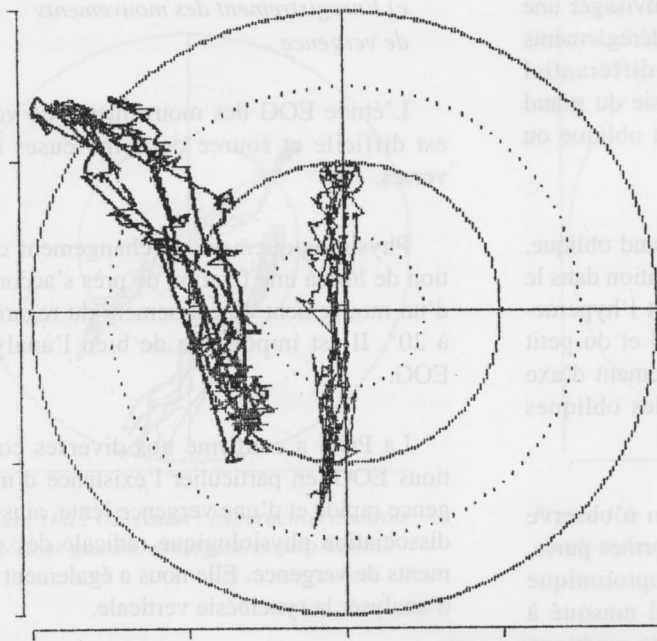


Figure 9a

OD fixant (OG masqué) :
noter l'hypertropie OG.

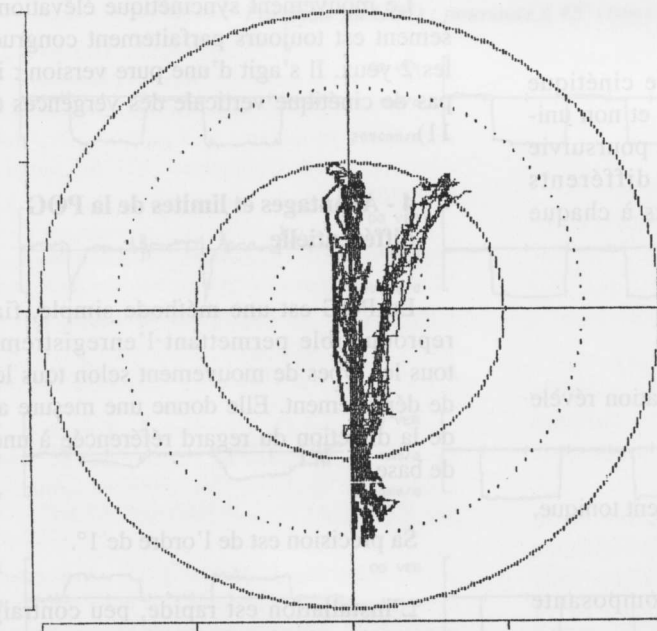


Figure 9b

OG fixant (OD masqué) :
noter l'hypertropie OD.

Figure 9

Incomitances de latéralisation et syndrome alphabétique : Syndrome V chez un patient présentant une exotropie consécutive et une DVD : poursuite verticale (tracé en X/Y).

LES MÉTHODES D'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS OCULAIRES : AVANTAGES ET LIMITES

Au contraire la POG permet d'envisager une séméiologie cinétique nouvelle des dérèglements verticaux facilitant le diagnostic différentiel entre parésie des élévateurs, paralysie du grand oblique, DVD, hyperaction du petit oblique ou du droit supérieur, etc.

Sur les tracés de Paralysie du grand oblique, par exemple, on pourra noter la limitation dans le champ d'action du grand oblique et l'hyperaction du droit inférieur contro-latéral et du petit oblique homolatéral, avec le changement d'axe caractéristique des dérèglements des obliques (Figure 10).

Dans les DVD, au contraire, on n'observe pas de changement d'axe dans les formes pures. On note bien sûr la dissociation optotonique radicale avec hypertropie de l'œil masqué à l'occlusion, et surtout une instabilité cinétique caractéristique de l'œil non fixateur.

En fait, toute cette séméiologie cinétique verticale nouvelle s'avère complexe et non univoque. Notre étude doit donc être poursuivie afin de bien individualiser les différents tableaux cinétiques correspondants à chaque pathologie.

d) Les nystagmus congénitaux

L'examen des tracés POG de fixation révèle toute une série de caractères :

- variations spatiales du tremblement tonique,
- morphologie de la phase lente,
- intensité et variation de la composante latente.

L'examen de la cinétique confirme les perversions motrices rencontrées en statique et les complète.

e) Enregistrement des mouvements de vergence

L'étude EOG des mouvements de vergence est difficile et source de nombreuses controverses.

Physiologiquement un changement de fixation de loin à une fixation de près s'accompagne d'un mouvement d'abaissement du regard de 15 à 20°. Il est impossible de bien l'analyser en EOG.

La POG a confirmé nos diverses constatations EOG, en particulier l'existence d'une vergence rapide et d'une vergence lente, ainsi que la dissociation physiologique radicale des mouvements de vergence. Elle nous a également permis d'analyser la syncinésie verticale.

Le mouvement syncinétique élévation-abaissement est toujours parfaitement congruent sur les 2 yeux. Il s'agit d'une pure version : il n'y a pas de cinétique verticale des vergences (Figure 11).

4 - Avantages et limites de la POG différentielle

La POG est une méthode simple, fiable et reproductible permettant l'enregistrement de tous les types de mouvement selon tous les axes de déplacement. Elle donne une mesure absolue de la direction du regard référencée à une ligne de base.

Sa précision est de l'ordre de 1°.

L'installation est rapide, peu contraignante (contention absolue de la tête non indispensable) et l'examen est réalisable dès l'âge de 4 ans.

Grâce à un miroir froid, l'enregistrement en monoculaire est possible.

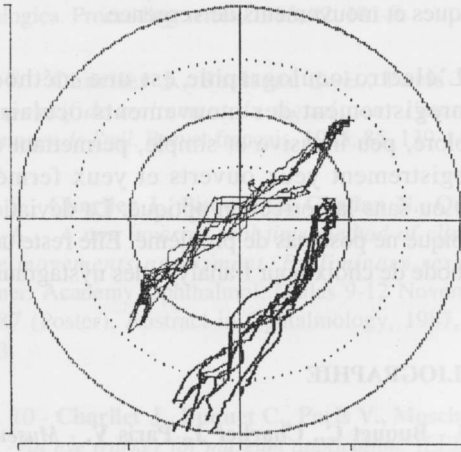


Figure 10a : OD fixant : hyperaction du droit inférieur gauche, synergiste contro-latéral.

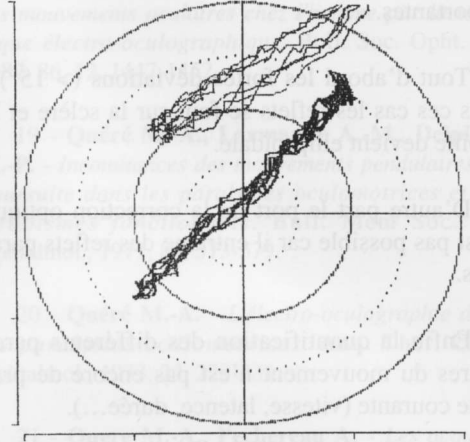


Figure 10b : OG fixant : limitation OD dans le champ d'action du grand oblique droit (en bas et à gauche).

Figure 10

Paralysie du GOD : poursuite à 45° (tracé en XY).

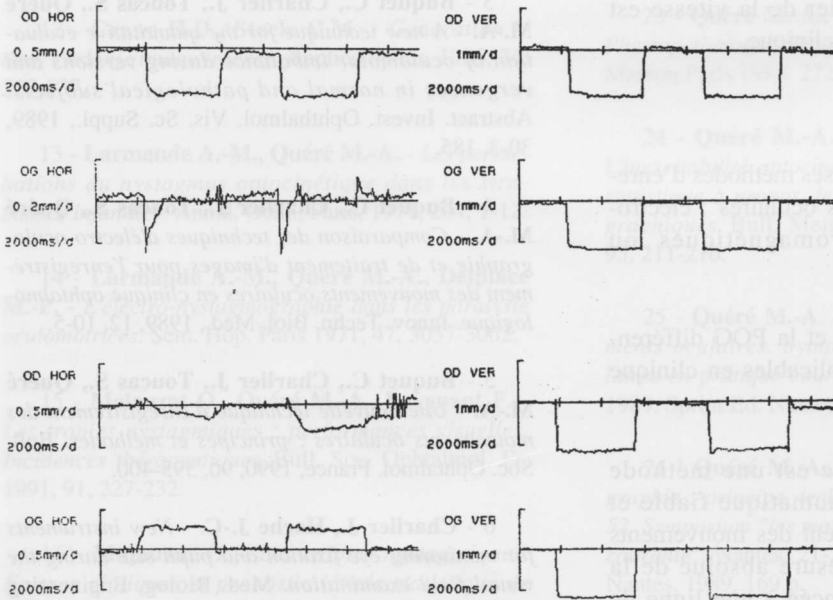


Figure 11a
OD fixant (OG masqué).

Figure 11b
OG fixant (OD masqué).

Figure 11

Vergence symétrique (tracé en fonction du temps).

Sur les dérivations horizontales, dissociation optomotrice radicale.

Sur les dérivations verticales, tracé de pure version : saccades verticales.

LES MÉTHODES D'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS OCULAIRES : AVANTAGES ET LIMITES

La POG comporte cependant des limites importantes.

Tout d'abord les fortes déviations ($> 15^\circ$) : dans ces cas les reflets se font sur la sclère et la pupille devient ellipsoïdale.

D'autre part le port de la correction optique n'est pas possible car il entraîne des reflets parasites.

Enfin la quantification des différents paramètres du mouvement n'est pas encore de pratique courante (vitesse, latence, durée...).

Les travaux portent actuellement sur la mise au point d'un système permettant l'analyse des fortes déviations, grâce à des caméras mobiles autour de la tête du patient qui est en cours de validation à la clinique de Nantes.

La quantification des derniers paramètres du mouvement et en particulier de la vitesse est aussi en cours de validation clinique.

IV - CONCLUSION

Il existe de très nombreuses méthodes d'enregistrement des mouvements oculaires : électro-oculographiques, électromagnétiques ou optiques.

Seules l'EOG cinétique et la POG différentielle sont actuellement applicables en clinique courante.

La photo-oculographie est une méthode optique différentielle atraumatique fiable et reproductible d'enregistrement des mouvements oculaires donnant une mesure absolue de la direction du regard référencée à une ligne de base. Elle permet d'analyser la cinétique oculaire suivant tous les axes et les modalités de déplacement, en particulier dans les troubles oculomoteurs qui échappent à l'enregistrement électro-

oculographique : dérèglements verticaux et obliques et mouvements de vergence.

L'électro-oculographie est une méthode d'enregistrement des mouvements oculaires indolore, peu invasive et simple, permettant un enregistrement yeux ouverts et yeux fermés, avec ou sans la correction optique. La déviation strabique ne pose pas de problème. Elle reste une méthode de choix pour l'analyse des nystagmus.

BIBLIOGRAPHIE

1 - **Buquet C., Charlier J., Paris V.** - *Museum application of an eye tracker*. Med. Biol. Engineering and computing, 1988, 26, 277-281.

2 - **Buquet C., Charlier J., Toucas S., Quéré M.-A.** - *Apports cliniques de l'analyse des mouvements oculaires par traitement d'images de l'œil*. Bull. Soc. Fr. Optique Physiol., 1988, 3, 47-57.

3 - **Buquet C., Charlier J., Toucas S., Quéré M.-A.** - *A new technique for the quantitative evaluation of oculomotor imbalance during versions and vergences in normal and pathological subjects*. Abstract. Invest. Ophthalmol. Vis. Sc. Suppl., 1989, 30-3, 185.

4 - **Buquet C., Charlier J., Toucas S., Quéré M.-A.** - *Comparaison des techniques d'électro-oculographie et de traitement d'images pour l'enregistrement des mouvements oculaires en clinique ophtalmologique*. Innov. Techn. Biol. Med., 1989, 12, 10-5.

5 - **Buquet C., Charlier J., Toucas S., Quéré M.-A.** - *Une nouvelle technique d'enregistrement des mouvements oculaires : principes et méthodes*. Bull. Soc. Ophtalmol. France, 1990, 90, 395-400.

6 - **Charlier J., Hache J.-C.** - *New instruments for monitoring eye fixation and pupil size during the visual field examination*. Med. Biolog. Engineering and Computing, 1982, 2, 23-28.

7 - **Charlier J., Bariseau J.-L., Chuffard V.** - *Real time pattern recognition and feature and analysis from video signals applies to eyes movements and*

pupillary reflex analysis. Documenta Ophthalmologica. Proceeding series, 1985, 42, 181-9.

8 - **Charlier J., Bariseau J.-L., Paris V.** - *Dispositif de traitement du signal pour l'analyse d'images de l'œil*. Brevet français, 1985, 85, 139-141.

9 - **Charlier J., Buquet C., Chadan N., Quéré M.-A.** - *A non invasive real time method of clinical eye movements assessment. Preliminary results*. Amer. Academy Ophthalmol. Dallas 9-12 November 1987 (Poster). Abstract in Ophthalmology, 1987, 94, 153.

10 - **Charlier J., Buquet C., Paris V., Moschetto V.** - *An eye tracker for museum application*. IEEE IX Conference in Medicine and Biology, Boston, 13-16 november 1987.

11 - **Charlier J., Paris V.** - *Model for the determination of gaze direction from images of the eye*. European conference on eye movements ; Gottingen, 21-24 september 1987, Proc. series 1987, 1, 9-10.

12 - **Crane H.D., Steele C.M.** - *Generation V dual Purkinje image tracker*. Applied optics, 1985, 24, 527-537.

13 - **Larmande A.-M., Quéré M.-A.** - *Les perturbations du nystagmus optocinétique dans les strabismes infantiles*. Annal. Ocul., Paris, 1971, 204, 1-12.

14 - **Larmande A.-M., Quéré M.-A., Delplace M.-P.** - *L'électro-nystagmographie dans les paralysies oculomotrices*. Sem. Hôp. Paris 1971, 47, 3057-3062.

15 - **Malauzat O., Quéré M.-A., Lavenant F.** - *Les tropies nystagmiques : performances visuelles. Incidences thérapeutiques*. Bull. Soc. Ophthalmol. Fr. 1991, 91, 227-232.

16 - **Malauzat O.** - *Les tropies nystagmiques. Formes cliniques et pronostic (étude statistique de 355 cas)*. Thèse Nantes 1990, 159 p.

17 - **Mimura O., Ogita Y., Asai Y., Shimo-Oku M.** - *Comparative study of the three eye movement recording systems*. Acta Soc. Ophth. Jap., 1980, 84, 6.

18 - **Prablanco C., Bailly G., Felissou D.** - *Etude des mouvements oculaires chez l'homme par la technique électro-oculographique*. Bull. Soc. Ophth. Fr. 1987, 86, 12, 1447-1452.

19 - **Quéré M.-A., Larmande A.-M., Delplace M.-P.** - *Incomitances des mouvements pendulaires de poursuite dans les paralysies oculomotrices et les strabismes fonctionnels*. Bull. Mem. Soc. Fr. Ophthalmol., 1971, 84, 573-579.

20 - **Quéré M.-A.** - *L'électro-oculographie dans les paralysies oculomotrices*. Ann. Ther. Clin. Ophthalmol., 1973, 24, 223-231.

21 - **Quere M.-A., Pechereau A.** - *Les acquisitions électro-oculographiques récentes dans le strabisme*. J. Fr. Orthopt., 1979, 12, 169-177.

22 - **Quéré M.-A., Pechereau A.** - *Etude électro-oculographique des mouvements de vergence symétrique. I - La vergence symétrique. II - La vergence asymétrique*. J. Fr. Ophthalmol., 1981, 4, 25-32, 421-430.

23 - **Quéré M.-A., Pechereau A., Lavenant F.** - *Physiopathologie clinique de l'équilibre oculo-moteur*. Masson Paris 1983. 272 p.

24 - **Quéré M.-A., Lavenant F., Plessis M.** - *L'inexcitabilité optocinétique dans l'abduction. Etude statistique à propos de 1 000 dossiers électro-oculographiques*. Bull. Mem. Soc. Fr. Ophthalmol., 1984, 95, 211-216.

25 - **Quéré M.-A.** - *L'enregistrement des mouvements oculaires. Symposium "les mouvements oculaires en pratique courante"* Nantes 21-22 septembre 1989. Sprint Ed. Nantes 1989. 169 p.

26 - **Quéré M.-A., Toucas S.** - *La photo-oculographie : principe, technique, résultats et limites*. 47-52. Symposium "les mouvements oculaires en pratique courante". Nantes. 21-22 septembre 1989. Sprint Ed. Nantes, 1989, 169 p.

27 - **Quéré M.-A., Toucas S., Buquet C., Charlier J., Lavenant F., Pechereau A.** - *Photo-oculographie différentielle des mouvements verticaux et obliques*. Ophthalmologie, 1990, 4, 109-115.

LES MÉTHODES D'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS OCULAIRES : AVANTAGES ET LIMITES

28 - **Quéré M.-A., Toucas S., Buquet C., Charlier J.** - *Analyse des mouvements de vergence par photo-oculographie différentielle*. Ophtalmologie, 1990, 4, 270-274.

29 - **Quéré M.-A., Toucas S., Buquet C., Charlier J.** - *La cinétique des insuffisances de convergence, étude électro-oculographique et photo-oculographique*. Bull. Soc. Ophtalmol. France 1990, 11, 1079-1087.

30 - **Quéré M.-A., Toucas S., Lavenant F., Pechereau A.** - *Le couplage sensorimoteur visuel. Faits cliniques et neuro-physiologiques. Le rôle du colliculus supérieur*. Revue d'ONO, 1990, 9, 27-33.

31 - **Quéré M.-A., Toucas S.** - *Photo-oculographie recording in vertical incomitant strabismus. IIIrd international symposium on strabismus*. Barcelona, 24-26 octobre 1990.

32 - **Quéré M.-A., Malauzat O., Lavenant F.** - *Tropies nystagmiques et pénalisation optique*. Bull. Soc. Ophtalmol. Fr. 1991, 91, 831-838

33 - **Quéré M.-A., Toucas S.** - *Photo-oculographie et séméiologie des divergences verticales dissociées*. Assoc. Française de strabologie, Marseille, 11-12 octobre 1991.

34 - **Quéré M.-A., Toucas S.** - *Examen de la cinétique des facteurs verticaux*. 44-55. Monographie "le praticien et les facteurs verticaux". Nantes 27-28 septembre 1991. Sprint Ed. Nantes, 1991, 184 p.

35 - **Quéré M.-A., Toucas S.** - *La loi d'équivalence opto-motrice dans les versions et les vergences*, revue d'ONO, 1992, 15, 37-42.

36 - **Reulen J.P.H., Bakker L.** - *The recording of eye movements with double magnetic induction*. IEEE Trans. BME. 1982, 29, 740-744.

37 - **Robinson D.A.** - *A method of measuring eye movements using a search coil in a magnetic field*. IEEE Trans. BME. 1963, 10, 137-147.

38 - **Toucas S., Quéré M.-A., Buquet C., Charlier J.** - *Etude comparative des enregistrements électro-oculographiques et photo-oculographiques : applications cliniques d'une méthode d'enregistrement des mouvements oculaires par traitement d'image*. Bull. Soc. Ophtalmol. France. 1990, 90, 401-407.

39 - **Young L.-R., Sheena D.** - *Survey of eye movements recording methods*. Behaviour Research Methods Instrumentation. 1975, 7, 397-429.