

# ÉTUDE COMPARATIVE DES ENREGISTREMENTS ÉLECTRO-OCULOGRAPHIQUES ET PHOTO-OCULOGRAPHIQUES

S. TOUCAS, M.-A. QUERE\*, C. BUQUET, J. CHARLIER\*\* (Nantes, Lille)

*Mots clés : mouvements oculaires enregistrement, électro-oculographie, photo-oculographie, versions, vergences.*

*Key words : eye movement recording, electro-oculography, photo-oculography, versions, vergences.*

## RÉSUMÉ

*Les auteurs présentent les résultats de l'application clinique d'une méthode d'enregistrement des mouvements oculaires par traitement d'images. Il s'agit d'une technique optique de calcul de la direction du regard à partir de la position relative de 5 reflets cornéens et de l'image de la pupille. Se basant sur l'analyse de 110 enregistrements simultanés P.O.G. - E.O.G. de sujets normaux ou présentant divers dérèglements oculo-moteurs, ils montrent la supériorité incontestable de cette nouvelle méthode qui permet d'avoir une mesure absolue de la position des globes référencée à une ligne de base quel qu'en soit le type ou l'axe de déplacement. Une évaluation quantitative de tous les paramètres du mouvement est en cours de réalisation. Il reste encore à résoudre le problème des grandes déviations et du port de la correction optique durant l'examen.*

## SUMMARY

*The authors present the results of clinical application of a new invasive real time method for ocular movement recording. There is an optical system which measures the gaze direction from the video signals of five reflected corneal dots and pupil image. Their study is based upon 110 simultaneous P.O.G. - E.O.G. recordings of normal beings or patients having various oculomotor troubles. It appears that the heavy odds of such a new method is obvious. It allows to obtain an absolute measurement of eye positions in relation to the basic line whatever the pattern and axis of the moving may be. A quantitative evaluation of all movement parameters is in progress. It still remains to solve the problem of large deviations and the wearing of optical correction during the examination.*

## INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années à la Clinique Ophtalmologique Universitaire de Nantes un examen E.O.G. systématique est pratiqué chez

tous les patients présentant une pathologie oculomotrice. Cette méthode nous apporte des informations indispensables pour poser le diagnostic, suivre l'évolution, choisir le traitement, mais également pour la compréhension des divers mécanismes physiopathologiques.

---

\* Clinique Ophtalmologique Universitaire,  
Hôtel-Dieu, 44035 NANTES Cedex.  
\*\* U 279 INSERM - 1 rue du Professeur Calmette,  
59800 LILLE.  
METROVISION Triolo 59650 VILLENEUVE d'ASCQ

Cependant l'E.O.G. n'est ni précise, ni fidèle. La position et la polarisation des électrodes, l'in-homogénéité du champ électrique, les multiples artefacts électriques et bioélectriques, l'émotivité du patient sont autant de paramètres qui dimi-

## ÉTUDE COMPARATIVE DES ENREGISTREMENTS ÉLECTRO-OCULOGRAPHIQUES ET PHOTO-OCULOGRAPHIQUES

nent la fiabilité de l'examen et compliquent son interprétation (10).

La méthode Photo-oculographique mise au point par J. Charlier et C. Buquet à l'U 279 INSERM semble présenter des avantages réels sur l'E.O.G. Il s'agit d'une méthode optique de calcul de la direction du regard à partir de la position relative de 5 reflets cornéens et de l'image de la pupille (1-2-3-4) (figure 1).

Son application en clinique a soulevé de nombreux problèmes techniques et diverses adaptations ont dû être réalisées pour rendre la méthode utilisable en pratique courante (5-6-7).

### MATÉRIEL ET MÉTHODES

La mise au point de l'actuel prototype a demandé plus de deux ans de travail. La procédure d'évaluation de sa fiabilité que nous vous présentons est basée 110 enregistrements :

- Groupes de référence : 20 sujets normaux
- Vergences : 20 sujets normaux
- 70 sujets présentant une pathologie oculomotrice.

Chez tous ces patients nous avons effectué un enregistrement simultané de l'E.O.G. et en P.O.G. des séquences suivantes :

- la fixation statique en position primaire
- les 3 types de version

\* Sur 0°, 90°, 45°, 135° les saccades et la poursuite.

\* le N.O.C. horizontal vers la droite et vers la gauche ; vertical vers le haut et vers le bas.

\* Les vergences de refixation.

Chacune de ces séquences a été effectuée en binoculaire, monoculaire droit et monoculaire gauche.

### RÉSULTATS

#### A) ENREGISTREMENTS DES VERSIONS

##### 1 - Les sujets normaux

D'après la loi de Hering les deux yeux ont des

déplacements conjugués toujours équivalents. Avec toute méthode d'enregistrement on doit donc trouver :

$$\frac{\text{Amp. OD} - \text{Amp. OG}}{\text{Amp. la + faible}} * 100 \# 0$$

L'examen comparatif des tracés de saccade et de poursuite horizontale, verticale et oblique révèle d'emblée la qualité de l'enregistrement P.O.G. par rapport à l'enregistrement E.O.G.

Sur toutes les diapositives d'enregistrement simultané que nous vous présentons, les tracés P.O.G. sont à gauche et les tracés E.O.G. à droite.

Quel que soit le type de mouvement (poursuite ou saccade) et son axe (horizontal, vertical ou oblique) la supériorité de la P.O.G. par rapport à l'E.O.G. est d'emblée évidente.

- **Sur l'axe horizontal.** On note une stricte congruence des déflexions P.O.G. alors qu'elle est très relative en E.O.G. La quantification suivant le précédent rapport donne pour les 20 cas une moyenne de 2% en P.O.G. contre 22% en E.O.G. Chez ces sujets normaux, avec cette méthode, la perfection de la correspondance motrice est par conséquent objectivée. (figure 1).

- **Sur l'axe vertical.** On sait que les tracés E.O.G. sont souvent perturbés par les mouvements palpébraux et les clignements. Au contraire en P.O.G. si les clignements sont rapides ils ne modifient pas le tracé ; sinon ils donnent une interruption qui ne pose aucun problème d'interprétation (figure 2).

- **Sur les axes obliques.** Avec l'E.O.G. l'inhomogénéité du champ électrique péri-orbitaire donne des déflexions électro-oculographiques toujours très inégales rendant toute exploitation impossible. Au contraire en P.O.G. on retrouve leur parfaite congruence car il existe une relation directe entre le mouvement oculaire et le signal qui dépend uniquement de la géométrie de la chambre antérieure (figure 3).

Par conséquent quel que soit l'axe de déplacement on obtient une mesure absolue de la direction du regard qui est référencée à la ligne de base correspondant au plan des tests présentés.

On comprend qu'avec cette technique il est facile d'objectiver toute impotence ou altération de la correspondance motrice.

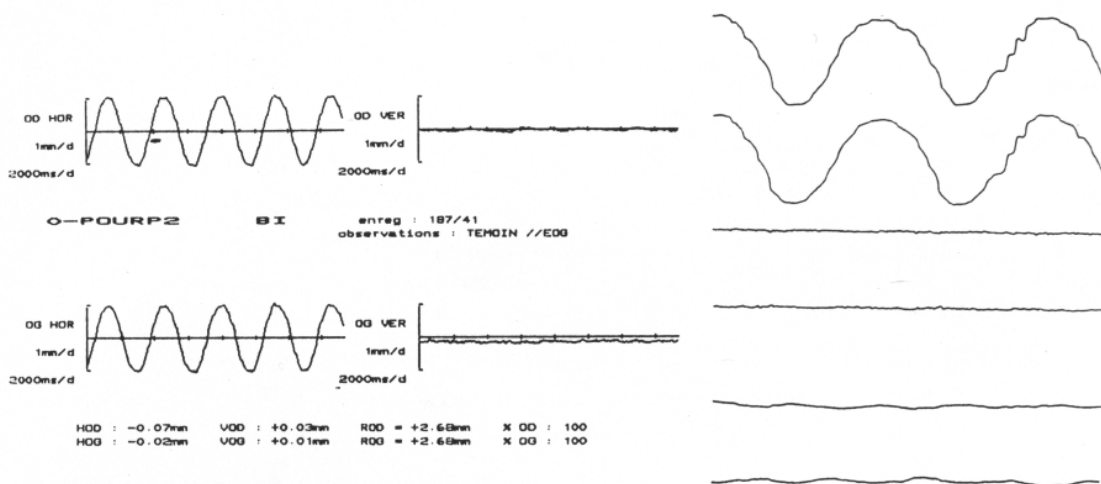


Figure 1

Poursuite horizontale physiologique P.O.G. - E.O.G. enregistrement simultané. Tracé P.O.G. à gauche, tracé E.O.G. à droite (2 pistes supérieures horizontales et 2 pistes inférieures verticales - A.C. Cte de temps 10 secondes).

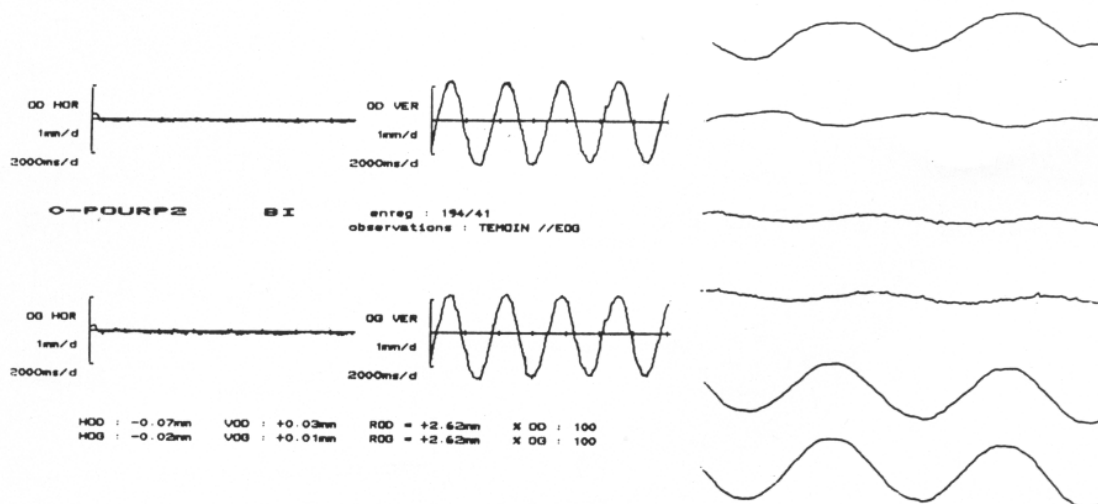


Figure 2

Poursuite verticale physiologique P.O.G. - E.O.G. enregistrement simultané. Tracé P.O.G. à gauche, tracé E.O.G. à droite (2 pistes supérieures horizontales - 2 pistes inférieures verticales).

**ÉTUDE COMPARATIVE DES ENREGISTREMENTS  
ÉLECTRO-OCULOGRAPHIQUES ET PHOTO-OCULOGRAPHIQUES**

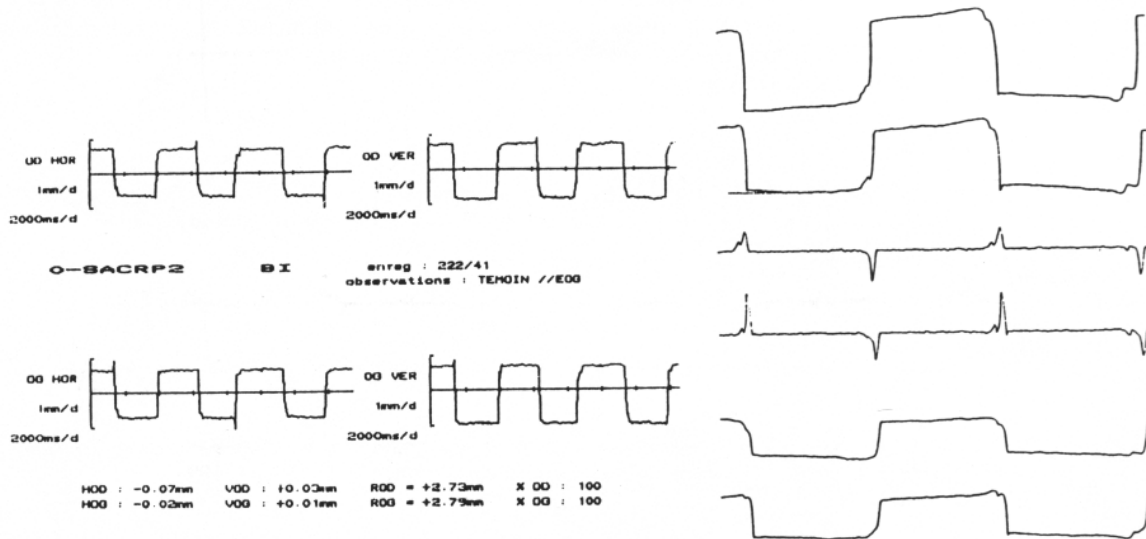


Figure 3

*Saccades obliques physiologiques sur 45° P.O.G. - E.O.G. enregistrement simultané. Tracé P.O.G. à gauche, tracé E.O.G. à droite. Noter la parfaite congruence des déflexions respectives des deux yeux sur les dérivationes horizontales et verticales en P.O.G. Au contraire leur incongruence manifeste en E.O.G. (2 pistes supérieures horizontales - 2 pistes inférieures verticales).*

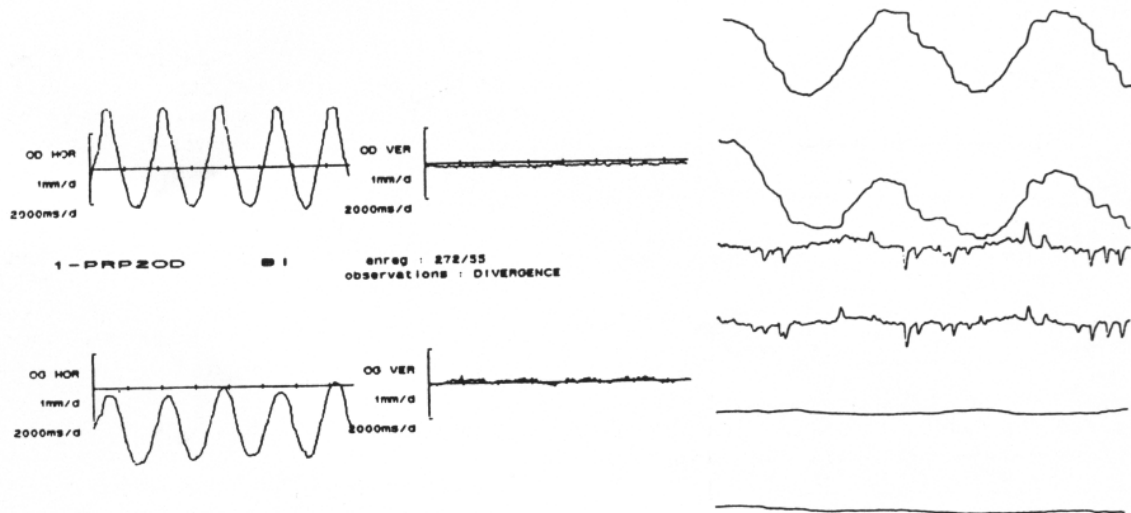


Figure 4

*Poursuite horizontale en fixation droite P.O.G. - E.O.G. enregistrement simultané. A gauche sur le tracé P.O.G. l'exodéviations de l'oeil gauche et sa dyssynergie sont évidentes. A droite la dyssynergie gauche est simplement ébauchée et les conditions d'enregistrement ne permettent pas de révéler l'exodéviations.*

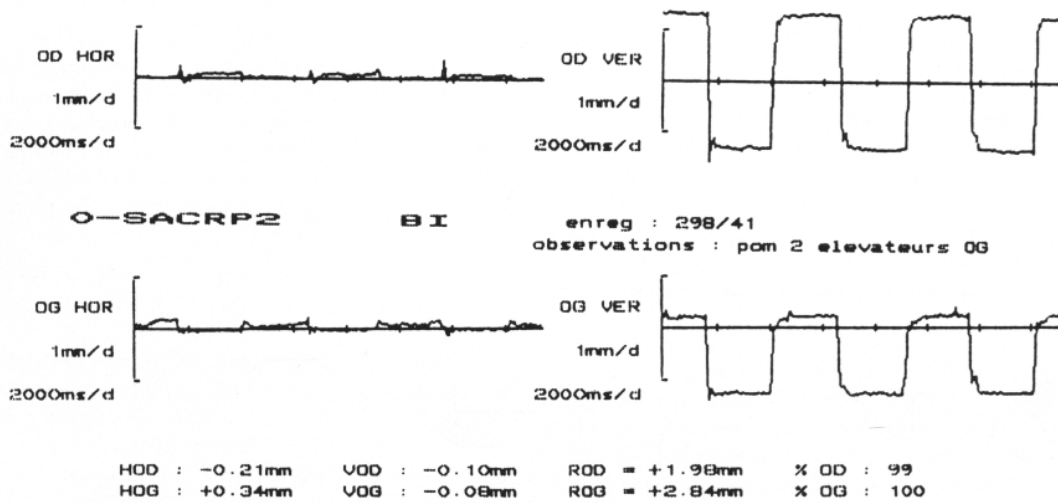


Figure 5

Saccades verticales. P.O.G. Fixation ODG. Sur les dérivations verticales l'impotence et l'hypotropie de l'œil gauche sont parfaitement objectivées.

## 2 - Les cas pathologiques

Par rapport à l'électro-oculographie cette technique photo-oculographique a des avantages indéniables ; mais elle a également en pathologie certaines limites.

### AVANTAGES

#### 1 - Mesure absolue de la position du globe

On sait qu'avec l'E.O.G. en courant continu la détermination de la position du globe dans l'espace reste très relative, car les phénomènes de dérive empêchent d'avoir un zéro fiable, c'est-à-dire une ligne de base stable. Par définition elle ne peut exister en courant alternatif.

Au contraire en P.O.G. au début de l'examen le zéro est fait sur chaque oeil en position primaire ce qui fournit leur ligne de base respective. Aussi lors de l'exploration de la cinétique oculaire elle permet de connaître à tout moment la position des globes par rapport à ce zéro spatial.

On peut ainsi déterminer aisément les variations statiques et cinétiques de la déviation en

binoculaire, monoculaire droit et monoculaire gauche.

Deux exemples sont présentés. Ils illustrent l'intérêt de cette mesure absolue de la position des globes.

- Dans le premier cas il s'agit d'une exotropie de 40 dioptries au cover test. Sur le tracé P.O.G. on note une dyssynergie gauche et, l'œil gauche étant sous écran, sa nette exodéviations par rapport à la ligne de base lors des mouvements de poursuite (figure 4).

- L'autre cas concerne un enfant de 6 ans qui présente une exotropie nystagmique avec DVD. Les tracés objectivent d'une part la composante latente, d'autre part la D.V.D. plus marquée sur l'œil gauche que sur l'œil droit.

#### 2 - Evaluation des dyssynergies

Comme en P.O.G. il y a une relation directe entre mouvement oculaire et signal, on comprend que la mise en évidence des dyssynergies est plus facile et plus fiable ; par ailleurs leur quantification est immédiate. Le cas de cette paralysie partielle du III gauche le démontre de façon élo-

## ÉTUDE COMPARATIVE DES ENREGISTREMENTS ÉLECTRO-OCULOGRAPHIQUES ET PHOTO-OCULOGRAPHIQUES

quente. La dyssynergie paralytique de l'oeil gauche est évidente (figure 4).

### 3 - Détection des hyperactions et des impotences verticales et obliques

Nous avons vu qu'avec l'E.O.G. cette détection est difficile sur l'axe vertical, impossible sur les axes obliques. Deux exemples montrent que ces dérèglements sont parfaitement révélés par la P.O.G.

- La première diapositive concerne un patient présentant une hyperaction du droit supérieur. Le tracé E.O.G. ne montre aucune anomalie, tandis que sur l'enregistrement P.O.G. dans la poursuite horizontale la composante verticale de l'oeil droit est évidente.

- Dans le deuxième cas il s'agit cliniquement d'une parésie des deux élévateurs de l'oeil gauche avec X10 HD 18 en position primaire. Le tracé P.O.G. objective la limitation de l'élévation de l'oeil gauche dans la poursuite et les saccades verticales et obliques (figure 5).

Avec la P.O.G. nous avons par conséquent le moyen de détecter toute composante verticale et de savoir s'il s'agit d'une hyperaction ou d'une impotence.

### 1 - LIMITES

Notre technique photo-oculographique comporte malheureusement deux sérieuses limites, pour lesquelles nous n'avons pas encore trouvé de solution : les grandes déviations et la correction optique.

- les grandes déviations. Chaque fois que l'angle est supérieur à 15° l'enregistrement des mouvements est impossible car les reflets dans les positions extrêmes se font sur la sclère et la pupille devient ellipsoïdale.

- La correction optique ne peut être portée car elle provoque des reflets parasites. On conçoit l'inconvénient de cet obstacle dans les dystonies infantiles nystagmiques et strabiques où les variations angulaires réfractives sont souvent considérables.

Il y avait une dernière limite. Jusqu'à présent la fréquence d'échantillonnage ne permettait pas une analyse correcte des vitesses. Mais ce problème est en voie de solution. Il sera prochainement possible, non seulement de calculer automatiquement les vitesses, mais par un dispositif en XY de savoir à tout moment la position exacte des globes dans l'espace.

### 2 - ENREGISTREMENT DES VERGENCES

Entre 1976 et 1983 notre équipe a entrepris une étude systématique de la cinétique des vergences par l'électro-oculographie (9-10-11). Elle nous a révélé une série de faits physiologiques et pathologiques essentiels. 3 chapitres de notre ouvrage publié en 1983 leur étaient consacrés. Cependant les aléas et les limites de l'E.O.G. pouvaient laisser planer certains doutes sur la validité de nos conclusions. Normalement en effet un changement de fixation de loin à une fixation de près s'accompagne d'un abaissement du regard de 15 à 20 degrés. Dans la vergence de refixation il y a un véritable mouvement oblique et nous avons vu qu'il est impossible de l'analyser avec l'E.O.G. Au contraire c'est chose très aisée avec la P.O.G.

Il nous aurait fallu plus de temps dans la présentation de ce travail préliminaire pour détailler nos résultats ; une étude exhaustive sera prochainement publiée.

La P.O.G. a déjà permis de confirmer toutes nos constatations faites en E.O.G. et de les compléter. En particulier :

- La dissociation optomotrice et l'incongruence constante des mouvements de vergence.

- L'existence d'une vergence rapide.

- La syncinésie séquentielle des réflexes rapides et lents.

- L'hétérogénéité et la fragilité de la fonction de vergence.

- Les modalités d'articulation des versions et des vergences.

Dès à présent la photo-oculographie apparaît comme un moyen clinique majeur d'investigation de cette fonction.

## CONCLUSIONS

Notre technique de P.O.G. est une méthode optique différentielle atraumatique, fiable et reproductible d'enregistrement des mouvements oculaires. Elle donne une mesure absolue de la direction du regard référencée à une ligne de base. Un indice de fiabilité facilite l'interprétation.

Elle permet d'analyser la cinétique oculaire suivant tous les axes et les modalités de déplacements, en particulier dans les troubles oculomoteurs qui échappent à l'enregistrement E.O.G., et tout spécialement les dérèglements verticaux et obliques, qu'ils soient périphériques ou supranucléaires. C'est également la méthode de choix pour étudier les mouvements de vergence.

Actuellement, il est même possible d'envisager, grâce à l'augmentation de la fréquence d'échantillonnage du système et un nouveau logiciel de calcul, de faire une étude quantitative des différents paramètres du mouvement (amplitude - vitesse) et de connaître à tout moment l'orientation exacte des globes dans l'espace.

Deux problèmes restent à résoudre ; celui des fortes déviations et du port de la correction optique. Des solutions sont en cours de validation.

## BIBLIOGRAPHIE

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

2 - 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.

3 - Charlier J., Bariseau J.-L., Chuffart V., Marsy F., Hache J.-C. - *Real time pattern recognition and feature and analysis from video signals applies to eye movement and pupillary reflex analysis*. Documenta Ophthalmologica. Proceeding series. 1985, 42, 181-189.

4 - Charlier J., Bariseau J.-L., Paris V. - *Dispositif de traitement du signal pour l'analyse d'images de l'oeil*. Brevet français 1985, 85, 139-11.

5 - Charlier J., Bucquet C., Paris V., Moschetto Y. - *An eye tracker for Museum application*. IEEE IX conference in Medicine and Biology. Boston 13-16. November 1987.

6 - 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. Proce. Series 1987, 1, 9-10.

7 - Charlier J., Bucquet C., Chadan N., Quéré M.-A. - *A non invasive real time method of clinical eye movement assessment*. Preliminary result. Amer. Academy Ophthalmol. Dallas 9-12 november 1987 (poster). Abstract in Ophthalmology 1987, 94, 153.

8 - Quéré M.-A., Pêchereau A., Pardo G., Blondeau F., Gouray A. - *L'électro-oculographie de la convergence. Aspects physiologiques et dérèglements spécifiques*. Bull. Mem. Soc. Fr. Ophtalmol., 1979, 91, 249-253.

9 - Quéré M.-A., Pêchereau A. - *Etude électro-oculographique des mouvements de vergence. I - La vergence symétrique. II - La vergence asymétrique*. Bull. Mem. Soc. Fr. Ophtalmol., 1981, 4, 25-32, 421-430.

10 - Quéré M.-A. - *Physiopathologie clinique de l'équilibre oculomoteur*. Masson Paris 1983. P. 258.