

METHODES DE STIMULATION EN ELECTROPHYSIOLOGIE VISUELLE

Y. GRALL, J.-F. LEGARGASSON, J. CHARLIER et F. VERNIER

Service de biophysique et médecine nucléaire, Hôpital Lariboisière, 2, rue Ambroise Paré, F-75475 Paris Cedex 10

SUMMARY

Stimulation methods in visual electrophysiology

After introducing physical and physiological stimulation parameters, the authors present different techniques and discuss their clinical usefulness for the investigation of the visual system:

— *flashes: chiefly 'ganzfeld' stimulators (whole field or local stimulation). A solution using optic fibres incorporated in a sclero-corneal electrode built in our laboratory is presented;*

— *patterns: bars or chekerboards, especially on TV screens. Advantages and inconveniences of video images are discussed;*

— *other techniques: essentially endocular laser interference fringes, electrical stimulations, high level flashes for ERP and binocular studies, particularly dynamic random dot pattern EVP.*

In conclusion, the necessity for the careful control of stimulation characteristics and for a strategy suitable for clinical examination is discussed.

RÉSUMÉ

Après une introduction consacrée aux paramètres physiques et physiologiques intéressant la stimulation, les auteurs présentent différentes techniques:

— les flashes: échelons brusques de luminance, réalisés soit en champ total (ganzfeld) soit en stimulations localisées. Une solution utilisant une électrode spéciale reliée au générateur de lumière par des fibres optiques et développée dans notre laboratoire est proposée;

— les stimulations structurées («patterns»): barres ou damiers sont générés de diverses façons selon les auteurs, mais une majorité utilise les écrans cathodiques. Les avantages et les inconvénients de l'usage de l'image vidéo sont discutés;

— les autres méthodes: interférences laser ou stimulations électriques pour s'affranchir des opacités antérieures éventuelles de l'oeil, stimulations à haut niveau de luminance («ERP») et études de vision binoculaire.

En conclusion, la nécessité d'une vérification soigneuse des caractéristiques du stimulateur et la conception d'une stratégie d'exploration adaptée sont évoquées.

INTRODUCTION

L'interprétation des résultats des examens électrophysiologiques dépend avant tout de la qualité et de la constance des stimulations qui leur ont donné naissance.

C'est pourquoi il convient d'être très attentif, lors de la mise au point ou de la vérification d'une installation, aux paramètres physiques du phénomène stimulant. On doit étudier la distribution spatiale, mais aussi temporelle et énergétique des lumières utilisées, ainsi que l'ambiance lumineuse de l'environnement.

Il faut également, avant de se préoccuper du diagnostic éventuel, considérer les paramètres physiologiques qui peuvent influencer sur la stimulation.

Celle-ci doit être bien évidemment calibrée au niveau de son point d'impact, généralement la rétine. Or, des interférences importantes peuvent se produire au niveau du système oculaire. Transparence du cristallin et du vitré qui évoluent avec l'âge, direction du regard, état de l'accommodation sont autant de facteurs qu'il faut connaître pour les maîtriser ou au moins tenir compte de leur influence.

Il est donc nécessaire, avant tout enregistrement électrophysiologique concernant les voies visuelles, de procéder à une étude suffisamment approfondie de l'oeil examiné, et de disposer d'une large gamme de stimulations à la fois:

- adaptées aux renseignements cherchés;
- calibrées de façon soignée;
- et vérifiées régulièrement grâce à une méthodologie précise.

Nous présenterons donc successivement les principales stimulations actuellement utilisées, ainsi que leur intérêt clinique, en commençant par les plus courantes que sont les flashes et les stimulations structurées, colorées ou non. Nous terminerons par un rapide panorama de quelques techniques particulières qui nous ont semblé tout spécialement fructueuses. Enfin, nous nous bornerons dans les différents cas à indiquer brièvement le ou les types d'examen plus particulièrement concernés, et notamment les électro-rétinogrammes (ERG) et les potentiels évoqués visuels (PEV).

LES STIMULATIONS PAR ECHELONS DE LUMINANCE

Ce sont des stimulations de durée généralement brève, obtenues soit par voie électronique (décharge dans une lampe à gaz) soit par voie mécanique (obturateurs découvrant un faisceau pendant un temps plus ou moins long). Elles surviennent la plupart du temps quand le sujet est dans l'obscurité, ou adapté à une luminance faible (niveau mésopique franc, largement inférieur à 10 cd.m^{-2}), et constituent par conséquent un échelon brusque de luminance associé à un contraste élevé. Les caractéristiques physiques à considérer dans un tel cas sont donc avant tout:

- la durée: on distingue les flashes de courte durée (inférieure à quelques msec en général) et les échelons lumineux de longue durée (de l'ordre de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de msec). Ces derniers sont seuls susceptibles d'entraîner une réponse «off» discernable et sont responsables de l'onde «c» de l'ERG (WIOLAND et BONAVENTURE, 1982);

- l'intensité, souvent liée d'ailleurs à la durée: on préfère à ce moment apprécier l'énergie globale émise par le flash (généralement de quelques dixièmes de J à quelques J);

- la localisation spatiale du flash dans le champ visuel qui permet de stimuler soit la région fovéale, soit la région périphérique, chacune induisant des réponses caractéristiques tant en ERG qu'en PEV.

Mais on cherchera le plus souvent à faire diffuser uniformément la lumière sur la rétine (BRUNETTE, 1973). En effet, sauf cas particulier comme signalé ci-dessus, des éclaircissements inégaux des différentes portions de rétine produisent une réponse d'interpré-

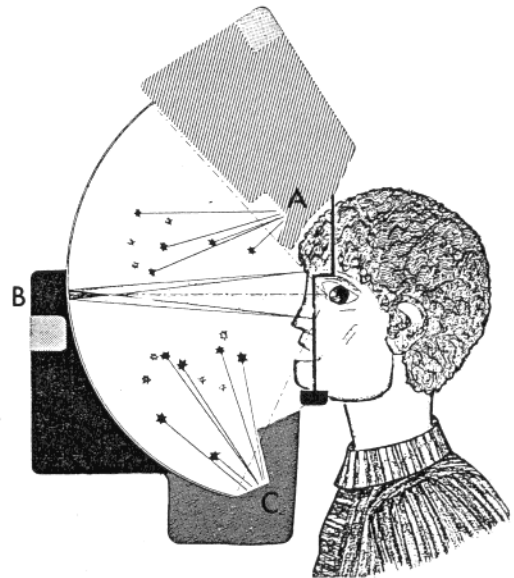


FIG. 1. — Système de stimulation et de présentation de tests en «coupole». A: source de lumière intermittente, localisée ou diffuse. B: système de contrôle de la position de l'œil et de la fixation; mesure de la surface pupillaire. C: système d'éclairage d'ambiance.

System for ganzfeld or local illumination of retina. A: flashing light source. B: electronic system for controlling eye position, fixation and pupillary surface. C: diffuse continuous light source.

tation difficile, somme de réponses élémentaires de caractéristiques différentes. C'est pourquoi de nombreux systèmes utilisent actuellement des «coupoles» (Fig. 1) qui, largement utilisées en dehors de l'électro-physiologie pour les études du champ visuel, constituent donc un matériel de choix pour les diverses explorations visuelles, en autorisant un contrôle précis du niveau lumineux ambiant et par conséquent de l'état d'adaptation de la rétine. De plus, elles permettent:

- soit une stimulation «champ total» ou «ganzfeld» (GUNKEL *et al.*, 1976). Dans ce cas, le flash induit à l'intérieur de l'hémicoupe entraîne, grâce aux propriétés intégrantes de la demi-sphère, un éclaircissement diffus et uniforme de la quasi-totalité de la rétine;

- soit une stimulation «localisée», par projection en divers endroits du champ, et notamment en périphérie, de tests localisés pouvant induire soit des réponses ERG (HENKES et VAN LITH, 1974), soit des PEV (CHARLIER, 1980; CHARLIER et HACHE, 1981, qui ont montré que l'amplitude des PEV décroissait rapidement avec l'excentricité de la stimulation).

Toutefois, la physiologie propre de l'organe visuel n'est pas sans intervenir lors de l'utilisation de ce type de stimulation.

On sait en effet que le flash, s'il est aisé à produire et facile d'emploi, réclame, pour être efficace, des niveaux de luminance élevés (correspondant à un éclairage de plusieurs milliers de lx au niveau de la pupille) qui le rendent parfois peu discriminant. De plus, son usage se complique de la variabilité physiologique des perceptions d'un éclair bref, à énergie égale, en fonction de la fréquence, phénomène connu sous le nom d'effet «Broca-Sulzer». Pour certaines fréquences critiques (vers 6 à 12 Hz), et au-delà d'un certain niveau d'énergie, il se manifeste une sensation de luminance apparente de la lumière intermittente supérieure à la luminance réelle de la même source présentée de façon fixe. Cet effet, expliqué généralement par un entraînement synchrone des phénomènes électrophysiologiques rétinien et corticaux, peut créer une forte gêne au niveau du sujet et perturber les enregistrements. Il conviendra donc de se situer de préférence hors de son domaine d'action.

L'usage du flash est généralement associé à celui de filtres colorés (filtres «Wratten» à bande passante large — filtres interférentiels à bande passante étroite mais réduisant beaucoup la luminance transmise) qui permettent de sélectionner diverses longueurs d'onde stimulantes. On sait que celles qui se situent dans le rouge (au-delà de 640 nm) excitent électivement la rétine «photopique» à cônes, alors que celles qui se situent dans le bleu (généralement vers 420 à 460 nm) agissent préférentiellement sur la rétine «scotopique» à majorité de bâtonnets. Cette discrimination s'est évidemment révélée d'un puissant intérêt clinique (ALFIERI et SOLE, 1971; SOLE *et al.*, 1984).

Mais il subsiste que les mouvements aléatoires de la tête et des yeux, ainsi que les variations du diamètre pupillaire, peuvent modifier considérablement (dans un facteur de 1 à 10 ou même plus) la quantité de lumière parvenant à la rétine. C'est pourquoi nous avons personnellement développé (GRALL *et al.*, 1980) un verre de contact scléro-cornéen opaque et léger, comportant une partie en résine conductrice servant d'électrode et relié à la source lumineuse par une fibre optique souple (Fig. 2). Les avantages d'un tel système sont les suivants:

- indépendance totale entre la position du stimulateur et celle du sujet, qui peut être assis ou couché, et même bouger sans modifier les conditions de l'éclairage rétinien. Naturellement, les mouvements des paupières sont également sans influence sur la lumière transmise;

- concentration du faisceau lumineux sur l'entrée

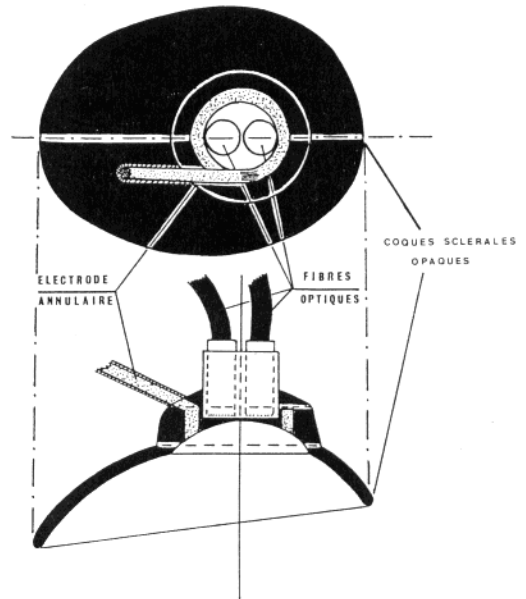


FIG. 2. — Lentille de contact pour ERG comportant dans la même coque opaque (autorisant l'adaptation à l'obscurité même en lumière ambiante élevée): l'arrivée de la lumière guidée par les fibres optiques et le recueil des signaux par les résines métalliques incorporées faisant office d'électrode.

Contact lens for ERG: the scleral opaque lens allows dark adaptation in any conditions: the light is guided by optic fibers and metal particles mixed with resin make the contact electrode.

des fibres optiques, ce qui permet d'utiliser des filtres de dimensions réduites et d'obtenir des niveaux d'éclairage importants qui sont transmis quasi-intégralement au contact de la cornée. Ceci autorise de plus une égalisation aisée des luminances, quelle que soit leur chromaticité;

- possibilité enfin de contrôler à volonté les luminances d'adaptation quelle que soit la luminance d'ambiance de la salle d'examen (compte-tenu de l'opacité des coques) et de stimuler les deux yeux ensemble ou séparément, et ce éventuellement à l'insu du sujet.

Bien que plus anciennement utilisé et actuellement largement complété par les autres techniques que nous décrivons ci-dessous, le flash est encore très loin d'être abandonné. Il reste en effet la stimulation de référence en ERG et constitue toujours, en PEV, un moyen de dépistage qui peut donner rapidement des indications indispensables à l'orientation du reste des examens. Par exemple, en cas d'opacité des milieux antérieurs (cataracte chez l'enfant notamment), la persistance des PEV (en particulier en stimulation rouge) peut constituer une précieuse indication en

faveur de l'acte chirurgical. Inversement, il est certain que l'absence totale de PEV discernables lors des diverses stimulations au flash conduira la plupart du temps à abandonner pour ce cas les stimulations complémentaires, telles que les stimulations structurées que nous allons envisager maintenant.

LES STIMULATIONS STRUCTUREES

En liaison avec les échelons de luminance purs que nous venons de décrire, des tentatives ont eu lieu depuis longtemps pour éclairer par des flashes, non plus des surfaces diffusantes uniformes, mais des images «morphoscopiques», généralement des damiers dont le contenu et la taille des cases pouvait varier de diverses façons.

Les résultats obtenus, sensiblement identiques en ERG, ont toutefois fourni des PEV différents de ceux induits par les flashes simples, et très rapidement de nombreux auteurs ont proposé des structures de damiers ou de barres «inversibles» réalisés selon des technologies variées que nous analyserons plus loin. Ces systèmes fournissent à nouveau des PEV spécifiques et il est évident que le grand intérêt de ce type de stimulations consiste à travailler à luminance constante, opérant ainsi de façon plus physiologique que par l'échelon de luminance brusque (KINNEY *et al.*, 1972; BEHRMAN *et al.*, 1972; MAUGUIÈRE *et al.*, 1979). On peut de plus dans la plupart des cas faire varier par degrés aussi réduits qu'on peut le souhaiter:

— la luminance, explorant ainsi un vaste domaine allant du photopique franc au mésopique bas;

— la taille des barres ou des cases du damier, d'où des méthodes d'appréciation objective de l'acuité visuelle, par détermination du point de disparition des PEV en fonction du diamètre angulaire des détails stimulants présentés (GRALL *et al.*, 1976; BARTL *et al.*, 1978; STADLER et MULLER, 1982). La précision obtenue n'est bien sûr pas absolue, compte-tenu des critères «d'extinction» des PEV, mais permet une appréciation cliniquement utile du pouvoir séparateur de l'oeil examiné, se traduisant généralement par une incertitude en acuité de l'ordre de 1 à 2 dixièmes (Fig. 3). Les méthodologies proposées consistent à utiliser une gamme de stimulations correspondant à des diamètres angulaires croissants (de 2 à 5 min pour les plus petits damiers jusqu'à 30 ou 40, voire 1°, selon les auteurs — la technique d'analyse des PEV et les critères retenus pour déterminer l'apparition ou la disparition des PEV sont évidemment importants dans ce cas). Pour relier ces enregistrements aux valeurs d'acuité visuelle, on étalonnera la technique

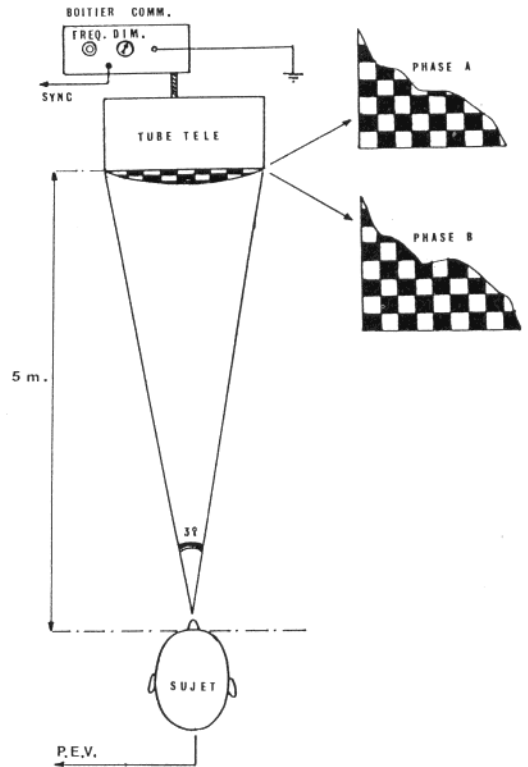


FIG. 3. — Principe de mesure objective du pouvoir séparateur de l'oeil. Le stimulateur est constitué d'un damier alternant (phase A suivie de phase B avec une fréquence de 1 Hz). Les PEV ne sont recueillis que si le détail stimulant (taille d'une case) est perçu. La stimulation est essentiellement fovéale et la technique d'analyse conditionne le niveau de seuil d'obtention des PEV.

Principle of objective measurement of visual acuity. A reversible pattern, such as checkerboard, appears on the TV screen (phase A and then phase B). VEP's are analysed: if they are present, the visual acuity depends on dimensions of the stimulating pattern. The problem with this technique is in the determination of the VEP's threshold.

par rapport à des sujets normaux ayant subi des «brouillages optiques» de niveau contrôlé grâce à des tables d'optotypes. Les damiers retenus correspondront par exemple (et pour une installation donnée de recueil et de traitement des PEV) aux PEV «seuils» apparaissant chez les sujets normaux pour des acuités de 1, 2, 4, 7 et 10/10èmes, la discrimination étant importante surtout dans le domaine des faibles acuités.

— le contraste de l'image, d'où une exploration fine de la sensibilité à ce paramètre, avec fréquemment des conclusions intéressantes la neuro-pathologie (CHELVA et VAN LITH, 1982);

— l'emplacement dans le champ, uniforme ou lui-même structuré, de la surface stimulante, seule mobile de façon synchrone avec l'enregistrement des potentiels biologiques. Ceci autorise par exemple des études objectives de champ visuel (LESEVRE, 1982);

— la couleur enfin, qui permet, soit de colorer les cases claires d'un damier «classique», soit de réaliser des damiers bicolores à luminance rigoureusement constante (et éventuellement égalisée subjectivement par chaque sujet). Ce domaine de la transmission des informations concernant la couleur est encore loin d'avoir été totalement exploré quant aux applications cliniques qui pourraient en découler (GRALL *et al.*, 1984).

L'intérêt clinique de ce type de stimulations est attesté par le grand nombre de travaux qui y sont consacrés. Il s'agit actuellement de l'instrumentation la plus répandue pour l'étude des PEV. Citons par exemple les études concernant la névrite rétrobulbaire (BEHRMAN *et al.*, 1972), les lésions des voies optiques (BLUMHARDT *et al.*, 1982), l'épilepsie (JEAVONS *et al.*, 1972), les maladies démyélinisantes et les atteintes corticales (CELESIA, 1982; LESEVRE, 1982; MAUGUIÈRE *et al.*, 1979; NEETENS *et al.*, 1979) ainsi que de très nombreuses autres publications.

De plus, depuis quelques années, plusieurs recherches sont consacrées à l'exploration de la rétine centrale par des mires structurées («pattern-ERG») avec des résultats, qui, bien que nécessitant des techniques particulières souvent délicates au niveau de la conception des électrodes notamment, apportent désormais des informations d'un grand intérêt (ARDEN *et al.*, 1982; BLOOM et SOKOL, 1977; FIORENTINI *et al.*, 1982; KORTH, 1980; NELSON *et al.*, 1979). Les dernières publications à ce propos (LAWILL, 1984) montrent en effet que la réponse semble originaire des couches les plus internes de la rétine et que les stimulations de basse fréquence (spatiale et temporelle) induiraient plutôt une composante due à la luminance, alors que les hautes fréquences exploreraient la sensibilité au contraste, et seraient de plus affectées par les atteintes du nerf optique.

La présentation de damiers ou de barres inversibles est réalisable de plusieurs façons: projection de diapositives par l'intermédiaire de miroirs mobiles, utilisation de matrices de diodes électro-luminescentes, mires fixes et polariseurs tournants pour des modulations sinusoïdales, etc. Néanmoins, ces techniques ont comme principal inconvénient leur relative rigidité d'emploi (gamme pré-déterminée et souvent limitée de possibilités), aussi la tendance actuelle consiste-t-elle à se servir de plus en plus d'écrans cathodiques de type télévision (CLEMETT *et al.*, 1977;

ADACHI et MORITA, 1978; BARTL *et al.*, 1978; CHIBA et KURODA, 1980). On peut donc valablement se poser la question de l'intérêt de cette technologie, et tenter de déterminer avantages et inconvénients de l'utilisation de l'image vidéo comme stimulation visuelle.

Nous avons nous-même pu déterminer que les potentiels évoqués obtenus par présentation de damiers inversibles sur tube cathodique étaient très proches de ceux résultant de l'utilisation de diapositives projetées (GRALL *et al.*, 1981) sous réserve naturellement d'une identité suffisante de luminance et de contraste.

Par ailleurs, et malgré les remarques de VAN LITH *et al.* (1979), il apparaît qu'à la distance habituelle de fonctionnement, le tracé EEG ne saurait être parasité de façon sensible par le générateur électrique de signaux vidéo.

Enfin, avantage non négligeable compte-tenu de la technique classique d'analyse des signaux électrophysiologiques par sommation en phase avec l'évènement stimulant, les changements d'image s'opèrent dans un silence total, évitant ainsi tout signal parasite dû à une stimulation auditive.

Toutefois, la structure même de l'image télévisée n'est pas sans poser quelques problèmes que nous voudrions rappeler brièvement ici, tant pour les images «noir et blanc» (télévision «achrome») que pour les moniteurs couleur. Ce sont:

— tout d'abord des problèmes généraux: il est évident que nous nous heurtons ici aux limites spatio-temporelles très particulières de l'image. Celle-ci a une structure séquentielle, de définition limitée (en lignes et en colonnes) et sa fréquence de répétition est souvent suffisamment basse pour qu'un papillotement apparaisse à certains endroits de l'écran. L'écran lui-même est de dimensions relativement réduites, n'occupant qu'une faible partie du champ visuel, et des distorsions d'image sont fréquentes au niveau des bords et des angles. Enfin, les niveaux de luminance possibles ne couvrent qu'une gamme allant de 1 à quelques centaines de cd.m^{-2} (au-delà et en-deçà, les phénomènes parasites prédominent), et le contraste entre le fond et les zones claires est souvent difficile à contrôler (évolution non linéaire);

— puis des problèmes liés aux luminophores: ceux-ci sont constitués de poudres chimiques de composition complexe. Le rayonnement émis dépend bien entendu de cette composition et ne peut être vraiment monochromatique compte tenu du rendement lumineux indispensable. Les problèmes sont à peu près surmontés en ce qui concerne les tubes dits «achromes», mais sont beaucoup plus ardues en matière de

tubes «couleur» à cause de l'utilisation de trois types de luminophores ayant des émissions spectrales nettement différentes pour pouvoir reconstituer un maximum de couleurs. Malgré tout, celles-ci seront en nombre limité et forcément plus ou moins désaturées. La disposition côte à côte de ces luminophores viendra par ailleurs réduire la définition spatiale, et pourra, entrant en résonance avec une fréquence d'image voisine, créer des effets parasites de type «moiré».

— enfin, qu'il soit achrome ou trichrome, le tube sera asservi à une électronique de pilotage dont la qualité et la fiabilité conditionneront le bon rendu de l'image, sa précision et sa reproductibilité. Des réglages de la géométrie du faisceau, de la finesse du spot, des convergences en télévision couleur, l'obtention d'un «blanc de référence» correct et la vérification de la stabilité des performances dans le temps seront donc à la base d'une bonne utilisation de ces générateurs d'images.

Une fois ces précautions prises, et en adjoignant s'il le faut des dispositifs complémentaires pour l'utilisation spécifique en électrophysiologie visuelle (par exemple un contrôle permanent des paramètres de stimulation par un microprocesseur annexe, une fréquence de balayage plus élevée pour supprimer toute scintillation, une zone stimulante réduite à la portion la plus performante de l'écran), on disposera d'une instrumentation possédant de nombreux avantages, et essentiellement :

— une très grande souplesse de fonctionnement, l'émission lumineuse de chaque point de l'écran étant modifiable grâce au simple changement d'un signal électrique bien codifié, d'où la possibilité de constituer des structures spatiales complexes autorisant des modes d'exploration nouveaux à peu de frais ;

— la possibilité de produire (dans les limites des capacités des luminophores d'un tube trichrome) des variations de couleur quasi continues affectant telle ou telle portion d'écran ;

— et enfin les alternances temporelles, à la fréquence choisie, de toutes les structures prédéfinies en fonction de ce que nous venons de voir.

La fréquence de ces alternances a d'ailleurs une grande importance puisqu'elle détermine deux grandes classes d'obtention des potentiels évoqués : les PEV dits «transitoires» (transient) produits par un changement quasi instantané de l'image stimulante qui reste ensuite constante, le tout à une fréquence assez lente (de 1 à 4 Hz au maximum) et les PEV dits «d'état stable» (steady state) générés par des stimulations périodiques à fréquence plus élevée. Nous n'aborderons pas ici les mérites respectifs des deux méthodes, bien analysés par ailleurs (CELESIA, 1982 ;

REGAN, 1982) mais nous rappellerons simplement de façon très schématique que l'analyse morphologique des tracés (par identification et étude des différents «pics» d'une réponse complexe) est l'apanage de la première, alors que l'exploration par les potentiels «steady-state» est essentiellement basée sur une analyse des fréquences apparaissant dans le tracé, comparées aux fréquences propres de la stimulation.

AUTRES TYPES DE STIMULATIONS

En dehors des flashes, des barres et des damiers qui constituent actuellement la très large majorité des stimulations visuelles de routine, de nombreuses autres tentatives ont été proposées pour résoudre certains problèmes particuliers.

Certaines sont très proches des stimulations par damiers, et, gardant le principe des structures inversibles, se basent simplement sur des formes («patterns») différentes, essentiellement dans le but d'agir efficacement à la fois sur la rétine centrale et sur la rétine périphérique. Celles-ci, comme on le sait, ne répondent en effet pas de la même façon à des stimulations de taille identique, en fonction de la répartition des acuités dans le champ visuel. On peut donc envisager des stimulations concentriques ou radiales, où apparaissent de multiples fréquences spatiales (OCHS et AMINOFF, 1980 ; KIRKHAM et COUPLAN, 1982 ; RATLIFF, 1982).

D'autres ont pour but de chercher à résoudre le problème des opacités des milieux antérieurs de l'oeil, qui, modifiant plus ou moins profondément les caractéristiques du faisceau lumineux stimulant, entraînent des réponses qui ne permettent pas de se prononcer sur la fonctionnalité réelle de la rétine, des voies optiques et du cortex. Deux voies principales de travaux sont à signaler ici :

— l'utilisation du laser, notamment pour former des images structurées endoculaires par interférences, malgré la présence de tissus diffusants sur le trajet des faisceaux (DRESSLER et RASSOW, 1981 ; FUKUHARA, 1981 ; KRUGER *et al.*, 1982) ;

— l'emploi de stimulations électriques, directement appliquées sur le globe oculaire, et susceptibles d'activer de façon synchrone les cellules rétinienne, puis de déclencher une «réponse évoquée électrique» (KATO *et al.*, 1983).

On peut également citer, au niveau des stimulations destinées à l'étude des phénomènes rétinien, les réalisations concernant des modifications d'appareillages ophtalmologiques permettant de visualiser l'impact de la stimulation sur la rétine et d'en contrôler

manuellement la localisation (SANDBERG, 1977) ainsi que les essais sur le plan clinique des études de l'onde «c» de l'ERG (MARMOR et HOCK, 1982) obtenue par échelons de luminance de longue durée (plusieurs dizaines de msec) et basées sur des travaux fondamentaux sur l'animal (WIOLAND et BONAVENTURE, 1982). Notons également les techniques spéciales à très haut niveau de luminance déclenchant les «potentiels de récepteur précoces» ou «ERP» (SIEVING et FISHMAN, 1982) et autorisant ainsi directement l'étude des dégénérescences pigmentaires.

Enfin, les travaux concernant la vision binoculaire et son exploration par les potentiels évoqués ont conduit à des propositions intéressantes, en développant des stimulations stéréoscopiques actives uniquement en cas de conservation du sens du relief (TSUTSUI *et al.*, 1982; PETRIG *et al.*, 1982).

On voit donc que, loin d'être limitée à la projection rythmée de lumière au niveau de la pupille, la stimulation visuelle peut se révéler multiforme et susceptible de s'adapter efficacement à des problèmes souvent délicats.

CONCLUSION

Traiter un tel sujet de façon exhaustive risquait de conduire à une simple énumération ou à un catalogue de matériels relativement dénué d'intérêt.

Au risque d'être incomplets, nous avons donc préféré détailler certains problèmes qui nous sont apparus riches de potentialités et rappeler aussi souvent que possible les implications cliniques des techniques considérées, en signalant à chaque fois les principaux auteurs analysés auxquels il conviendra de se référer pour obtenir les précisions complémentaires souhaitées.

Nous voudrions pour conclure insister sur deux points:

— tout d'abord la nécessité d'une vérification complète, fréquente et précise des performances de la stimulation, de façon à contrôler très étroitement la fiabilité et la stabilité des paramètres affichés. Il s'agit certes d'un travail ingrat, mais dont nous ne dirons jamais assez l'absolue nécessité, sous peine de produire des résultats à tout le moins discutables;

— la très large gamme de stimulations disponibles ensuite, qui permet dans la quasi-totalité des cas une exploration adaptée, mais interdit par là-même l'application de toutes les techniques possibles au cours d'un seul examen. Ceci conduit tout naturellement à la conception d'une stratégie d'examen souple, susceptible, si les renseignements de départ sont réduits,

de fournir rapidement des indications générales puis d'orienter vers des tests plus précis seuls capables de faire un tri efficace entre les hypothèses proposées. Par exemple, en présence d'une opacification cristallinienne fournissant des tracés «plats» aux stimulations par flash, on pourra avoir recours immédiatement à des stimulations par laser ou par impulsions électriques, si bien entendu on dispose de l'infrastructure adaptée. Autre exemple: lors d'un essai d'appréciation de l'acuité visuelle, il n'est généralement pas nécessaire d'effectuer la totalité des stimulations par tailles de damiers croissantes ou décroissantes; un premier PEV en lumière rouge donnera déjà des indications intéressantes sur les réponses de la région fovéale; à partir de là, si ce test est positif, on envisagera d'emblée un damier correspondant à 7/10èmes d'acuité, puis, en cas de réponse limite, à 5/10èmes. Inversement, une réponse faible ou anormale au rouge conduira vers le test des 1 ou 2/10èmes, avec généralement une confirmation suffisante pour éviter d'allonger outre mesure l'examen. C'est essentiellement à partir de la critique et de l'adaptation de ces stratégies, enrichies bien entendu au fur et à mesure des améliorations technologiques, que pourra désormais progresser à notre sens l'électrophysiologie visuelle.

Une connaissance suffisante des méthodes, jointe à une bonne appréciation des données physio-pathologiques, permettra donc presque toujours d'obtenir rapidement les informations souhaitées, avec l'aide bien entendu des procédés informatiques modernes de traitement du signal. Mais la puissance de ces derniers est sans effet à elle seule, si un niveau comparable de qualité et de précision n'est pas atteint par le stimulateur, qui reste l'organe fondamental de tout examen d'électrophysiologie visuelle.

BIBLIOGRAPHIE

- ADACHI (E.) and MORITA (Y.) A new multipurpose television pattern generator and spatial frequency characteristics in man obtained by VECP's. *Folia ophthalmol. Jap.*, 1978, 29: 775-778.
- ALFIERI (R.) et SOLE (P.) Exploration électrophysiologique de la fonction visuelle en photostimulation monochromatique. *Sci. Méd.*, 1971, 2: 157-166.
- ARDEN (G.B.), VAEGAN and HOGG (C.R.) Clinical and experimental evidence that the pattern ERG (PERG) is generated by the innermost retinal layers. *Annals N.Y. Acad. Sci.*, 1982, 388: 580-602.
- BARTL (G.), VAN LITH (G.H.M.) and VAN MARLE (G.W.) Cortical potentials evoked by a T.V. pattern reversal stimulus with varying check sizes and stimulus field. *British J. Ophthalmol.*, 1978, 62: 216-219.

- BEHRMAN (J.), HALLIDAY (A.M.) and MC DONALD (W.I.) Visual evoked responses to flash and pattern in patients with retrobulbar neuritis. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 1972, 33: 445.
- BLOOM (B.H.) and SOKOL (S.) A corneal electrode for patterned stimulus electroretinography. *Amer. J. Ophthalmol.*, 1977, 83: 272-275.
- BLUMHARDT (L.D.), BARRETT (G.), KRISS (A.) and HALLIDAY (A.M.) The pattern-evoked potential in lesions of the posterior visual pathways. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1982, 388, 264-289.
- BRUNETTE (J.R.) A standardizable method for separating rod and cone response in clinical electroretinography. *Amer. J. Ophthalmol.*, 1973, 75: 833-845.
- CELESIA (G.) Steady-state and transient visual evoked potentials in clinical practice. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1982: 388: 290-305.
- CHARLIER (J.) A new instrument for automatic subjective and objective perimetry. *Med. Progr. Technol.*, 1980, 7: 125-129.
- CHARLIER (J.) and HACHE (J.C.) V.E.R. and pupillary reflex. *Doc. Ophthalmol.*, 1981, 27: 263-268.
- CHELVA (E.) and VAN LITH (G.H.M.) Influence of defocusing, absorption and scatter on evoked potentials to contrast and contour related stimuli. *Doc. Ophthalmol.*, 1982, 31: 337-344.
- CHIBA (Y.) and KURODA (N.) A new T.V. pattern stimulator (TPS 7900) for human VECPS. *Folia ophthalmol. Jap.*, 1980, 31, 5: 762-766.
- CLEMETT (R.S.), JONES (R.D.) and WALES (H.J.) Pattern evoked cortical potential employing a television pattern stimulator. *Trans Ophthalm. Soc. New Zealand*, 1977, 29: 137-140.
- DRESSLER (M.) and RASSOW (B.) Neural contrast sensitivity measurements with a laser interference system for clinical and screening application. *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.*, 1981: 737-744.
- FIorentINI (A.), MAFFEI (L.), PIRCHIO (M.), PORCIATTI (V.) and SPINELLI (D.) Pattern ERG in patients with unilateral alterations of the retinal ganglion cells. *Doc. Ophthalmol.*, 1982, 31: 131-133.
- FUKUHARA (J.) Studies on the visual evoked potentials elicited by laser speckle pattern: spatial frequency characteristics. *Folia ophthalmol. Jap.*, 1981, 32, 7: 1522-1528.
- GRALL (Y.), RIGAUDIERE (F.), DELTHIL (S.), LE GARGASSON (J.F.) and SOURDILLE (J.) Potentiels évoqués et acuité visuelle. *Vision Res.*, 1976, 16: 1007-1012.
- GRALL (Y.), DUDRAGNE (R.), KELLER (J.), MENGUY (C.) and MIHLAUD (C.) A sclero-corneal electrode for the study of the characteristics of primate vision under conditions of space flight. In: *Life Sciences and Space Research XVIII*. Pergamon Press, Oxford, 1980: 153-157.
- GRALL (Y.), KELLER (J.), LE GARGASSON (J.F.), JULOU (J.), BOITEUX (Y.) et MENGUY (C.) Potentiels évoqués et stimulations structurées. *Bull. Mém. Soc. Franç. Ophthalmol.*, 1981, 93: 345-352.
- GRALL (Y.), BOITEUX (Y.), LE GARGASSON (J.F.), SANTUCCI (G.), FROMONT (G.), KELLER (J.) et INGSTER (I.) Potentiels évoqués et stimulations structurées et colorées. *Rev. EEG Neurophysiol.*, 1984, 14: 33-38.
- GUNKEL (R.D.), BERGSMAN (D.R.) and GOURAS (P.) A Ganzfeld stimulator for electroretinography. *Arch. Ophthalmol.*, 1976, 94: 669-671.
- HENKES (H.E.) and VAN LITH (G.H.) Electroperimetry. *Ophthalmologica*, 1974, 169: 151-159.
- JEAVONS (X.), HARDING (X.), PANYATOPOULOS (X.) and DRASDO (X.) The effect of geometric patterns combined with intermittent photic stimulation in photosensitive epilepsy. *E.E.G. clin. Neurophysiol.*, 1972, 33, 221-224.
- KATO (S.), SAITO (M.) and TANINO (T.) Response of the visual system evoked by an alternating current. *Med. Biol. Eng. Comput.*, 1983, 21: 47-50.
- KINNEY (J.A.), MC KAY (C.L.), MENSCH (A.J.) and LURIA (S.M.) Techniques for analysing differences in VEPs: colored and patterned stimuli. *Vision Res.*, 1972, 12: 1733-47.
- KIRKHAM (T.H.) and COUPLAN (S.G.) Diamond versus checkerboard pattern-reversal visual evoked potentials. Evidence for orientation-specific delays in multiple sclerosis. *Doc. Ophthalmol.*, 1982, 31: 323-326.
- KORTH (M.) Luminosity functions of human electroretinogram wavelets evoked with pattern reversal stimuli. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 1980, 19: 810-816.
- KRUGER (C.J.), KUSEL (R.), BAIER (M.) and RASSOW (B.) Retinal potentials evoked by alternating laser interference fringes. *Doc. Ophthalmol.*, 1982, 31: 43-50.
- LAWWILL (T.) The Bar pattern electroretinogram. *Doc. Ophthalmol.*, 1984, 40: 1-10.
- LESEVRE (N.) Chronotopographical analysis of the human evoked potential in relation to visual fields (data from normal individuals and hemianopic patients). *Ann. of the N.Y. Acad. Sci.*, 1982, 388: 156-182.
- MARMOR (M.F.) and HOCK (P.A.) A practical method for c wave recording in man. *Doc. Ophthalmol.*, 1982, 31: 67-72.
- MAUGUIÈRE (S.), MITROU (H.) et CHALET (E.) Intérêt des potentiels évoqués visuels dans la sclérose multiloculaire. Etude comparative des résultats obtenus en stimulation par éclair lumineux et inversion de damiers. *Rev. E.E.G. Neurophysiol.*, 1979, 9: 209-220.
- NEETENS (A.), HENDRATA (Y.) and VAN ROMPAEY (J.) Pattern and flash evoked responses in disseminated and selective pathway damage. *Trans. ophthalmol. Soc. U.K.*, 1979, 99: 103-110.
- NELSON (R.), ZRENNER (E.) and GOURAS (P.) Patterned stimuli reveal spatial organisation in the electroretinogram. *Jap. J. Ophthalmol.*, 1979, 161-169.
- OCHS (A.L.) and AMINOFF (M.J.) Visual evoked potentials elicited by circular-grating. *Arch. Neurol.*, 1980, 37: 308-309.
- PETRIG (B.), JULESZ (B.), LEHMANN (D.) and LANG (J.) Assessment of stereopsis in infants and children, using dynamic randomdot pattern evoked potentials. *Doc. Ophthalmol.*, 1982, 31: 477-482.
- RATLIFF (F.) Radial spatial patterns and multifrequency temporal patterns: possible clinical applications. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1982, 388: 651-656.
- REGAN (D.) Comparison of transient and steady-state methods. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1982, 388: 45-71.
- SANDBERG (M.A.) A hand-held, two channel stimulator ophthalmoscope. *Arch. Ophthalmol.*, 1977, 95: 1881-1882.
- SIEVING (P.A.) and FISHMAN (G.A.) Rod contribution to the human early receptor potential (ERP) estimated from monochromats' data. *Doc. Ophthalmol.*, 1982, 31: 95-102.
- SOLE (P.), ALFIERI (R.), DALENS (H.) and BOIRE (J.Y.) Differential electrophysiological exploration of foveal, macular, and peripheral functions. *Doc. Ophthalmol.*, 1984, 40: 251-255.
- STADLER (G.) and MULLER (J.) Determination of visual acuity with pattern evoked cortical responses. A clinical method. *Doc. Ophthalmol.*, 1982, 31: 437-444.
- TSUTSUI (J.), KIMURA (H.) and FUKAI (S.) Binocular facilitation of VEP and binocular disparity. *Doc. Ophthalmol.*, 1982, 31: 399-406.
- VAN LITH (G.H.M.), VAN MARLE (G.M.), VIJFINKEL (A.) and BRUINENGA (S.) Interference of 50 Hz electrical cortical potentials evoked by TV systems. *Brit. J. Ophthalmol.*, 1979, 63: 779.
- WIOLAND (N.) and BONAVENTURE (N.) Both photopic and scotopic c waves are evidenced in mixed retinas of chicken and frog. Proceedings of the Vth International Congress on Eye Research, (I.S.E.R.-Veldhoven) 1982: 125.