

| | |
|--|----|
| 2.1. Phase biochimique..... | 15 |
| 2.2. Phase électrophysiologique..... | 16 |
| 2.3. Naissance de l'influx nerveux..... | 16 |
| 3. La conduction du message visuel et le cortex visuel..... | 18 |
| 3.1. Le nerf optique..... | 18 |
| 3.2. Le chiasma optique..... | 18 |
| 3.3. Les corps genouillés..... | 18 |
| 3.4. Le cortex visuel..... | 19 |
| PRINCIPES DE BASE ET INTERPRETATION DE L'ERG..... | 21 |
| A. Principes de base..... | 22 |
| 1. Modélisation de Granit..... | 22 |
| 2. Les ondes de l'ERG..... | 24 |
| 2.1. Les ondes principales..... | 24 |
| 2.1.1. L'onde « a »..... | 24 |
| 2.1.2. L'onde « b »..... | 24 |
| 2.1.3. L'onde « b' »..... | 25 |
| 2.1.4. L'onde « c »..... | 25 |
| 2.2. Les ondes surajoutées..... | 25 |
| 2.2.1. Potentiels précoces de récepteur..... | 25 |
| 2.2.2. Potentiels oscillatoires ou ondes « e »..... | 25 |
| 2.3. Origine cellulaire..... | 27 |
| 3. Les facteurs influençant l'ERG..... | 29 |
| 3.1. Les facteurs intrinsèques..... | 29 |
| 3.1.1. Variations individuelles..... | 29 |
| 3.1.2. Age..... | 29 |
| 3.1.3. Transparence des milieux et intégrité rétinienne..... | 29 |
| 3.1.4. Vascularisation rétinienne..... | 29 |
| 3.1.5. Etat d'adaptation de la rétine..... | 29 |
| 3.1.6. Dilatation pupillaire..... | 29 |
| 3.2. Les facteurs extrinsèques..... | 30 |
| 3.2.1. Dispositifs de stimulation et d'enregistrement..... | 30 |
| 3.2.2. Les électrodes..... | 30 |
| 3.2.3. Les paramètres d'enregistrement..... | 30 |
| 3.2.4. Influence de l'anesthésie..... | 30 |

INTRODUCTION

L'ophtalmologie vétérinaire s'est développée depuis une vingtaine d'année. Le recours au examen complémentaire est de plus en plus fréquent, notamment dans l'exploration fonctionnelle de la rétine.

L'électrorétinogramme ou ERG est un examen électrophysiologique qui mesure les variations de potentiel électrique de la rétine en réponse à diverses stimulations lumineuses. Il permet d'apprécier l'intégrité fonctionnelle de la rétine.

La réalisation de cet examen nécessite le recours à différentes électrodes. Nous nous proposons d'étudier l'utilisation possible d'une nouvelle électrode DTL sur différentes espèces d'animaux domestiques.

Dans une première partie, nous évoquerons un rappel d'anatomie, d'histologie et de physiologie de la rétine.

Dans un second temps, nous présenterons les méthodes de réalisation de l'examen électrorétinographique ainsi que les bases de son interprétation.

La troisième partie sera consacrée à la partie expérimentale de notre étude à savoir la mise au point et l'essai de notre nouvelle électrode.

ANATOMIE-HISTOLOGIE-PHYSIOLOGIE DE LA RETINE

I. Anatomie-histologie-physiologie de la rétine:

A. Anatomie de la rétine

La rétine correspond à la tunique nerveuse de l'œil. Elle comprend une partie aveugle et une partie optique, trois à quatre fois plus épaisse, les deux étant séparées par l'ora serrata. Elle est reliée au cerveau par le nerf optique.

1. Développement :

Embryologiquement, la rétine dérive de la cupule optique. Cette cupule correspond à une invagination du neuroectoderme issue du diencephale. Elle présente une double paroi au vingt-cinquième jour de la gestation. Le feuillet externe donne l'épithélium pigmentaire. Le feuillet interne donne les autres couches formant la neurorétine. Le développement de la rétine n'est pas terminé à la naissance chez les carnivores domestiques. Il est total chez le chien à l'âge de six semaines.

2. Histologie de la rétine :

La partie optique de la rétine est formée de dix couches dont la plus externe, la couche épithéliale, n'est pas pigmentée sur toute son étendue. La rétine sensorielle est formée par neuf couches cellulaires.

On rencontre successivement de l'extérieur vers l'intérieur :

2.1. L'épithélium pigmentaire

Cet épithélium doit son nom au fait que ses cellules renferment des pigments mélaniques dans la zone sans tapis. Toutefois les cellules qui sont situées dans la zone du tapis (ou tapis clair) sont dépourvues de pigments ce qui rend la rétine transparente à cet endroit : la lumière se réfléchit sur le tapis et peut en retour impressionner une seconde fois les cellules photosensibles de la rétine. Ceci représente une adaptation à la vision crépusculaire.

L'épithélium pigmentaire est formé d'une seule couche de cellules de formes cubiques.

La face basale de ces cellules comporte de nombreux replis membranaires au niveau desquels ont lieu les échanges entre choroïde et épithélium pigmentaire.

Les faces latérales sont régulières. L'espace entre les cellules est très étroit, il est fermé par la présence de jonctions intercellulaires qui en assurent l'étanchéité (zonula adherens et zonula occludens). Ces jonctions empêchent non seulement le passage des grosses molécules par l'espace extracellulaire mais elles assurent également le couplage électrique des cellules entre elles. C'est à ce niveau que se situe la « barrière hémato-rétinienne externe »

La face apicale est en rapport avec les segments externes des photorécepteurs. Elle comprend de nombreuses franges cytoplasmiques qui sont impliquées dans la phagocytose des éléments distaux des segments externes des photorécepteurs.

Le noyau des cellules de l'épithélium pigmentaire est volumineux. Les mitochondries sont nombreuses au pôle basal ce qui témoigne d'un métabolisme important et d'un transport actif.

L'épithélium pigmentaire joue un rôle important dans la physiologie de la rétine. Il contribue à la nutrition des photorécepteurs en participant au transfert actif des métabolites au niveau de la barrière hématorétinienne externe. Il participe également au renouvellement des photorécepteurs grâce à la phagocytose constante des disques les plus anciens des segments externes des cônes et des bâtonnets.

Les mélanosomes sont nombreux au pôle apical. La migration des pigments mélaniques, régulée par la quantité de lumière, permet la protection des segments externes des photorécepteurs vis à vis d'un éclaircissement trop intense. Ces mêmes pigments migrent vers le pôle basal des cellules épithéliales permettant ainsi une exposition des segments externes au moindre rayonnement lumineux.

L'épithélium pigmentaire est responsable du potentiel électrique rétinien de repos.

2.2. Les photorécepteurs

On distingue morphologiquement deux types de cellules : les cônes qui forment le système photopique (vision en lumière vive) et les bâtonnets qui forment le système scotopique (vision en lumière atténuée). Les cônes sont plus courts et plus volumineux que les bâtonnets. Chez les animaux domestiques, les bâtonnets sont plus nombreux que les cônes, on estime que chez le chien les cônes représentent 5% des photorécepteurs. La rétine du chien est plus riche en cônes dans la zone centrale située dorso-latéralement par rapport au disque optique. Contrairement à la rétine humaine, cette espèce ne présente pas de région dépourvue de bâtonnets telle que la fovéa, ou tache jaune, responsable de la discrimination spatiale fine.

2.3. La membrane limitante externe

Cette membrane apparaît comme une ligne fine, perpendiculaires aux photorécepteurs, à la base du segment interne. Elle est formée par la jonction des membranes des bâtonnets, cônes et cellules de Müller. Les cellules de Müller s'étendent de la limitante interne à la limitante externe et constituent le squelette structural de la rétine.

2.4. La couche nucléaire externe

Cette couche cellulaire externe regroupe les noyaux des cônes et des bâtonnets. Elle est appelée couche granuleuse externe.

2.5. La couche plexiforme externe

Elle contient les axones des photorécepteurs enveloppés dans le cytoplasme des cellules de Müller. Cette couche est une couche synaptique dans laquelle les axones des photorécepteurs sont en rapport avec les cellules bipolaires.

2.6. La couche nucléaire interne

Cette couche rétinienne contient les noyaux des cellules horizontales, bipolaires, amacrines et gliales (cellules de Müller). La cellule bipolaire est la première des cellules nerveuses à acheminer l'information visuelle jusqu'au cortex occipital. Une seule cellule bipolaire s'articule avec plusieurs sphérules de bâtonnets. Les cellules gliales participent au maintien de l'homéostasie des zones intercellulaires en réabsorbant médiateurs chimiques et potassium. Le potassium réabsorbé est ensuite relâché au niveau du pied de la cellule. Ce relargage serait à l'origine de l'onde « b » de l'électrorétinogramme. Les cellules horizontales assurent la liaison entre les photorécepteurs, tandis que les cellules amacrines relient les cellules bipolaires entre elles et assurent également des connexions avec les cellules ganglionnaires.

2.7. La couche plexiforme interne

Cette couche est la région des synapses entre le premier et le deuxième neurone. Cette couche réticulée interne est constituée par les axones des cellules bipolaires horizontales et amacrines, ainsi que par les dendrites des cellules ganglionnaires.

2.8. La couche des cellules ganglionnaires

Cette couche épaisse est constituée d'un nombre réduit de cellules chez le chien. Elle est composée des corps cellulaires des cellules ganglionnaires et de ses dendrites.

2.9. La couche des fibres nerveuses

Cette région correspond à l'assemblage des axones des cellules ganglionnaires. Ces axones ne sont pas myélinisés jusqu'au disque optique. Les fibres se myélinisent après avoir traversé la lamina cribosa et forment le nerf optique.

2.10. La membrane limitante interne

Cette dixième couche n'est pas une véritable membrane. Elle est formée par l'expansion basale des cellules de Müller et par la condensation des fibrilles vitréennes.

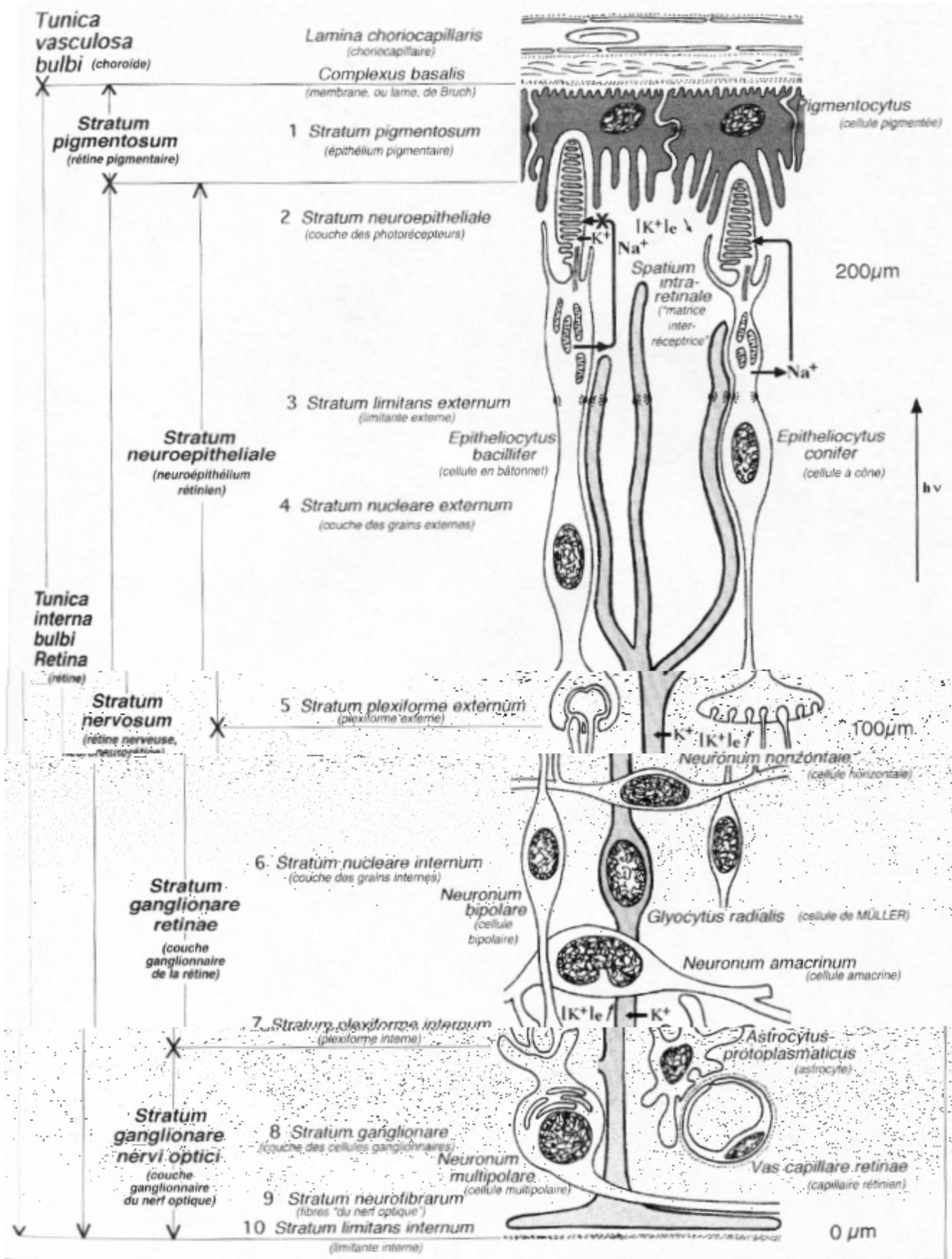


Figure n°1 : Structure de la rétine (d'après Lignereux (19))

B. Etude spécifique des photorécepteurs :

La présence de deux types de photorécepteurs : cônes et bâtonnets, entraîne une dualité de structure. Les cônes permettent une vision photopique (c'est à dire dans les conditions lumineuses normales) alors que les bâtonnets permettent une vision scotopique (c'est à dire en lumière atténuée).

La rétine des animaux est plus riche en bâtonnets qu'en cônes.

Le message visuel prend naissance au niveau des photorécepteurs.

Les photorécepteurs ont une structure de base similaire avec un segment externe, un segment interne et une zone intermédiaire. Le corps des photorécepteurs dont le noyau est situé dans la couche nucléaire externe possède un prolongement synaptique qui est un large pédicule pour les cônes et une sphérule pour les bâtonnets.

1. L'expansion externe :

1.1. Le segment externe :

Les cônes ont un segment externe de forme conique alors que celui des bâtonnets est plus étroit et tubulaire. La membrane plasmique des segments externes contient des disques ou segments. Ces disques sont formés par des invaginations successives de la membrane cytoplasmique. Les pigments visuels tel que la rhodopsine se situent dans cet empilement membr

2. L'expansion interne :

Elle est constituée par le noyau, l'axone et la terminaison synaptique.

2.1. Le corps ou couche nucléaire externe :

Le corps des photorécepteurs est surtout occupé par le noyau. Les noyaux des bâtonnets sont plus nombreux, plus distincts et plus petits que les noyaux des cônes.

2.2. La terminaison synaptique ou pied :

Elle s'articule avec les cellules bipolaires et horizontales dans la couche plexiforme interne.

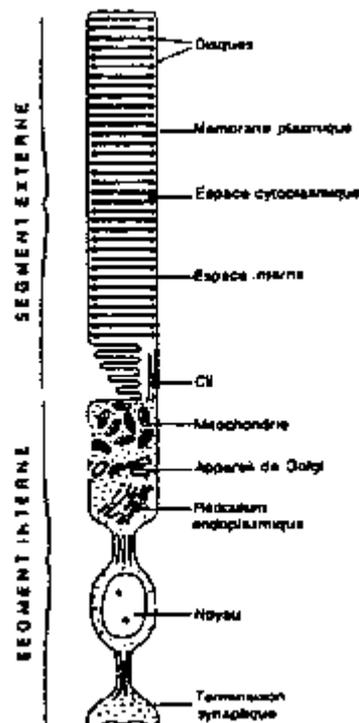


Figure n°2 : Ultra structure d'un bâtonnet d'après (12)

C. Physiologie rétinienne :

La fonction essentielle de la rétine est la transduction visuelle. Les photorécepteurs traduisent l'énergie lumineuse en énergie électrique. Cette transduction visuelle a pour support les photopigments et se déroule en deux phases, une phase biochimique et une phase électrophysiologique.

1. Physiologie rétinienne :

Tous les pigments rétiens, qui absorbent la lumière, sont des chromo protéines. Leurs caractéristiques se définissent par leur absorption spectrale (λ max) et par leur cinétique de décomposition à la lumière et de re synthèse à l'obscurité.

Les pigments des photorécepteurs sont capables selon leur nature d'absorber toutes les longueurs d'onde comprises entre 400 et 700 nm.

Ces pigments sont synthétisés dans l'article interne des photorécepteurs. Ils migrent ensuite vers le segment externe où on les retrouve impliqués dans la structure membranaire des saccules superposés.

Les différents pigments ont en commun une même structure moléculaire de base. Ils sont en effet tous constitués par un groupement chromophore dérivé de la vitamine A, le réténène ou cis-rétinal combiné à une protéine appelée opsine.

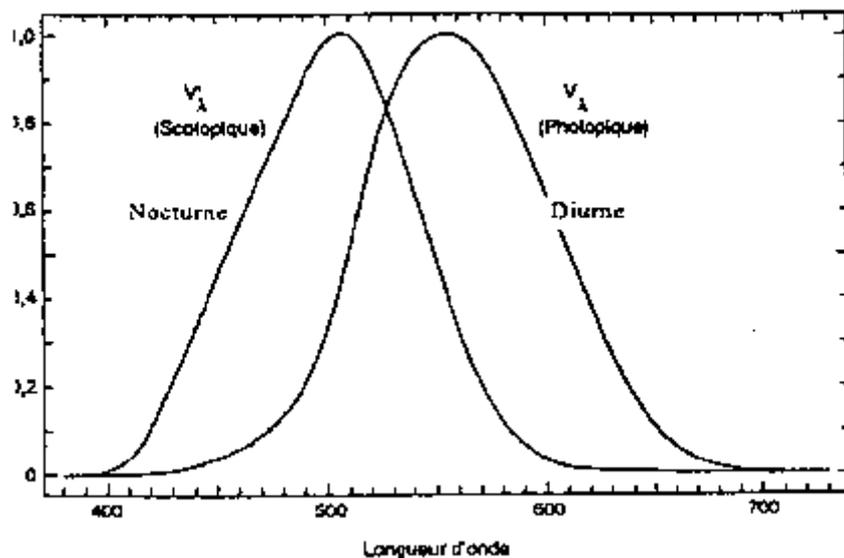


Figure n°3 : Spectre d'absorption des photopigments d'après (37)

1.1 La rhodopsine :

Il s'agit du pigment des bâtonnets. Ses pics d'absorption maximale se situent dans l'ultraviolet et autour de 500 nm (bleu-vert). Elle est cependant sensible à toutes les longueurs d'onde, ce qui n'est pas le cas des iodopsines.

La rhodopsine est constituée par l'association d'une protéine, l'opsine et d'un chromophore, le rétinol qui est un aldéhyde de la vitamine A. C'est l'isomère 11 cis du rétinol qui est lié à l'opsine. Elle est localisée au niveau de la membrane des saccules ou disques empilés à l'intérieur du segment externe des photorécepteurs.

1.2 Les iodopsines :

Les analyses microspectrophotométriques ont montré qu'il existait chez l'homme trois types de pigments correspondants plus ou moins à la perception des couleurs verte, rouge et bleu.

Chaque cône ne contient qu'un seul type de pigment :

- L'érythrochrome sensible au rouge
- Le cyanochrome sensible au bleu
- Le chromochrome sensible au vert

On distingue ainsi trois types de cônes S, M et L.

Chez le chien, on distingue deux types de cônes, en fonction de leur absorption spectrale, sensibles au bleu et au vert.

2. La transduction visuelle :

La lumière, après avoir traversé les différents milieux transparents de l'œil, atteint la rétine où elle décompose les pigments photosensibles.

La transduction, qui correspond à la transformation du signal qui excite le récepteur en message nerveux, résulte de la modification de structure spatiale du rétinol.

Cette modification déforme une protéine membranaire du photorécepteur, d'où migration ionique entraînant un changement de polarisation. L'énergie libérée par la décomposition du pigment aboutit à l'apparition d'un potentiel d'action nerveux. Ce n'est pas un simple transfert d'énergie, car l'énergie apportée par le rayonnement lumineux est très faible par rapport à ce qui est nécessaire pour déclencher le potentiel d'action. Il y a eu intervention d'un dispositif d'amplification, rôle joué ici par la membrane du photorécepteur.

La décomposition du pigment ne nécessite pas d'autre énergie que celle apportée par le photon, alors que sa reconstitution, qui s'effectue à l'obscurité, demande un apport énergétique externe et de la vitamine A.

2.1. Phase biochimique :

La rhodopsine (ou pourpre rétinien) absorbe les photons. Cette absorption entraîne une hydrolyse de la molécule par photo-isomérisation. A cette réaction, qui a lieu vers la membrane des saccules, succède une réaction membranaire. La présence de molécules messagères entre les deux membranes est nécessaire. On s'accorde actuellement à penser qu'il s'agit du monophosphate de guanosine (cGMP). Ce cGMP est dégradé par une enzyme : la

phosphodiesterase. Il y a interaction de la phosphodiesterase, de la rhodopsine et d'une troisième molécule de protéines, la transducine. Le maintien du taux normal de cGMP dans les bâtonnets est fonction de ces trois éléments.

Le taux de cGMP régit la perméabilité de la membrane plasmique aux ions sodium. A cette réaction photochimique succèdent des modifications membranaires qui constituent la phase électrophysiologique de la transduction.

2.2.Phase électrophysiologique :

Cette phase est marquée par l'hyper polarisation de la membrane plasmique du segment externe. Cette hyper polarisation est engendrée par une diminution de la perméabilité de la membrane aux ions Na^+ . Ce déséquilibre ionique est à l'origine du potentiel d'action rétinien.

2.3.Naissance de l'influx nerveux :

A l'obscurité, il existe une circulation continue des ions sodium qui sortent du segment interne du photorécepteur vers l'espace extracellulaire pour retourner ensuite dans l'espace intracellulaire par le segment externe. On dit que les canaux Na^+ sont ouverts. La concentration de cGMP est forte.

Sous l'action de la lumière, des photons, la rhodopsine et la transducine sont activées. La réaction aboutit à l'activation de la phosphodiesterase qui dégrade le cGMP. Cette dégradation fait baisser le taux de cGMP. Cette baisse de concentration entraîne la fermeture des canaux membranaires de sodium. La baisse de la perméabilité de la membrane empêche les ions Na^+ de retraverser la membrane du segment externe. Il y a alors hyper polarisation de la membrane.

La membrane des bâtonnets est dépolarisée à l'obscurité. Elle devient hyper polarisée à la lumière. En définitive, après la mise en route des réactions en chaîne, l'énergie lumineuse est transformée en impulsion électrique.

L'hyper polarisation permet la transmission, par des mécanismes encore mal connus, du message visuel aux cellules bipolaires et aux cellules ganglionnaires.

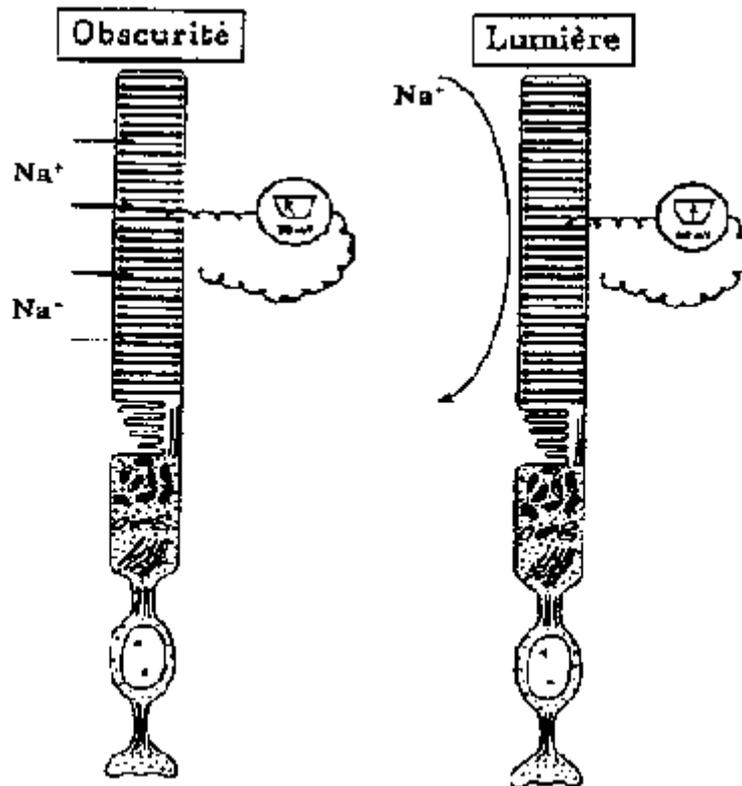


Figure n°4 : Représentation du courant d'obscurité et du photo courant au cours de la transduction d'après (32)

3. La conduction du message visuel et le cortex visuel:

3.1. Le nerf optique :

Les axones des cellules ganglionnaires se rejoignent au niveau de la papille pour former le nerf optique dont on distingue trois parties :

- Une portion intra-oculaire traversant la rétine et l'aire criblée de la sclère.
- Une portion orbitaire plus ou moins flexueuse, rejoignant le canal optique au fond de l'orbite.
- Une portion intracrânienne se terminant au chiasma optique.

3.2. Le chiasma optique :

Les trajets des fibres du nerf optique partant de l'œil droit et de celle du nerf optique partant de l'œil gauche se rejoignent en formant le chiasma optique.

Certaines fibres (les fibres nasales) issues des cellules ganglionnaires s'y entrecroisent. Les autres fibres (fibres temporales) sont appelées fibres directes.

La décussation existant au chiasma optique explique que la stimulation d'un seul œil puisse engendrer des potentiels dans les deux hémisphères cérébraux.

Après avoir passé le chiasma optique, les fibres nerveuses sensorielles forment les racines optiques hypothalamiques, qui ne sont constituées que de quelques fibres nerveuses mettant en relation les centres hypothalamiques rostraux avec la rétine, ainsi que les bandelettes optiques ou tractus.

3.3. Les corps genouillés :

Les fibres nerveuses optiques n'ayant pas rejoint les centres hypothalamiques rostraux sont ensuite relayés par d'autres fibres neuro-sensorielles. Ce relais se localise dans les corps genouillés. Le message sensoriel y est amplifié.

Par le jeu des phénomènes d'association et des cellules mono synaptiques et poly synaptiques, toutes les cellules photo réceptrices ne sont pas représentées de façon égale dans les corps genouillés. Les neurones conduisant l'influx nerveux initié par les photorécepteurs de l'aire centrale de la rétine sont proportionnellement beaucoup plus importants.

Les fibres nerveuses issues des corps genouillés, ou fibres géniculo-striées, se projettent ensuite sur le cortex visuel primaire.

3.4. Le cortex visuel :

Le cortex visuel primaire est situé dans le lobe occipital. Le message visuel est reçu par l'aire 17 de Brodman ou aire striée. Les aires 18 et 19 ne peuvent fournir une réponse à une stimulation lumineuse que si l'aire 17 est normale.

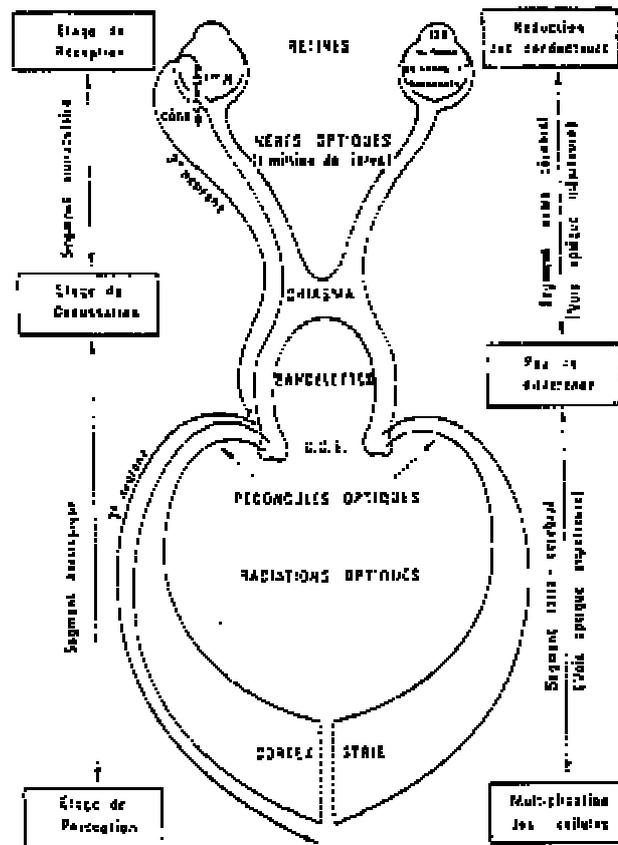


Figure n°5: Organisation générale de la voie optique sensorielle d'après (32).

**PRINCIPES DE BASE ET INTERPRETATION
DE L'ERG**

II. Principes de base et interprétation de l'ERG:

A. Principes de base :

Le principe de l'ERG repose sur la mesure des variations de potentiel électrique de la rétine en réponse à des stimulations lumineuses, par l'intermédiaire d'une électrode cornéenne et d'une électrode de référence placée sous la peau.

1. Modélisation de Granit :

Granit a émis l'hypothèse que l'ERG résulterait de la somme de trois processus P fondamentaux :

- PI : onde cornéenne positive lente
- PII : onde cornéenne positive de latence moyenne
- PIII : onde cornéenne négative et rapide

Selon ce schéma, les composantes visibles résulteraient du jeu d'additions des trois composantes fondamentales.

On retiendra que :

- L'installation de PIII est responsable de l'onde « a ». Son interruption initierait le développement de l'onde « d ».
- L'installation de PII crée l'onde « b »
- Le processus de PI, plus tardif, est essentiellement responsable de l'onde « c ».

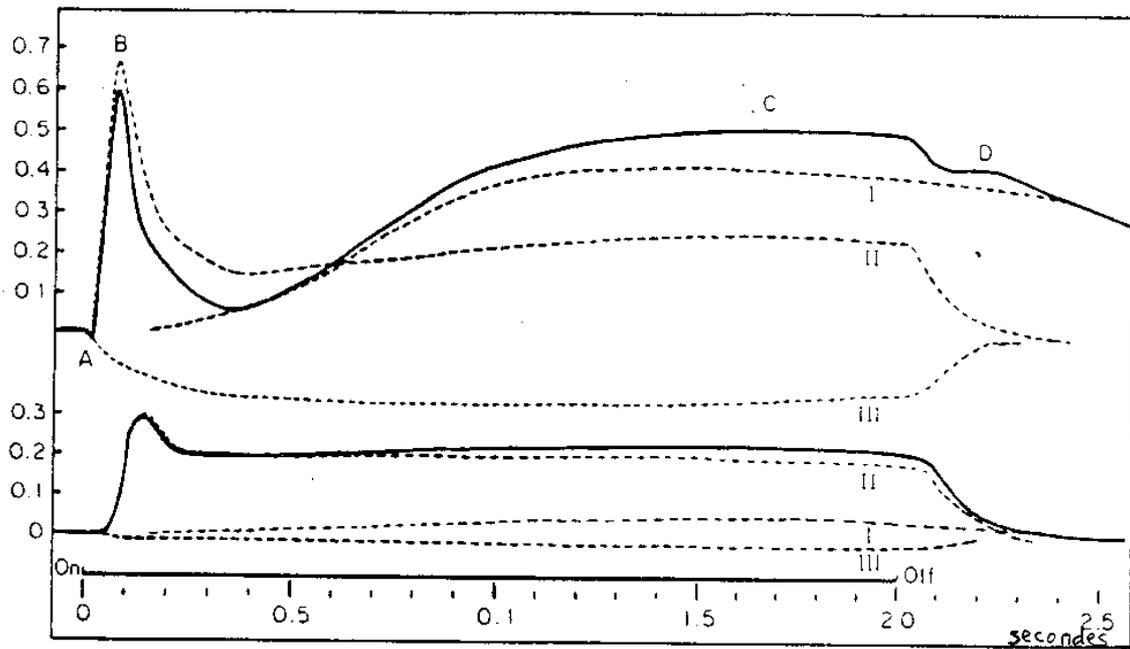


Figure n°6 :Analyse de l'électrorétinogramme selon Granit (1933) d'après (2)
 Modélisation des trois processus fondamentaux PI, PII et PIII.
 Courbe supérieure : stimulus d'intensité importante
 Courbe inférieure : stimulus d'intensité faible

2. Les ondes de l'ERG :

2.1. Les ondes principales :

Les ondes de l'ERG sont décrites pour une stimulation en lumière blanche et sont classiquement au nombre de trois. Chacune de ces ondes est caractérisée par l'amplitude, exprimée en microvolts (μV) et la latence de son point de culmination exprimée en millisecondes (ms). Ce temps correspond au temps écoulé entre le début du stimulus lumineux et le pic de l'onde.

2.1.1. L'onde « a » :

Elle correspond à la première inflexion de l'ERG. Il s'agit d'un accident intervenant généralement entre 10 et 30 millisecondes. Son amplitude est négative. On distingue normalement deux composantes :

- une composante photopique a1
- une composante scotopique a2

Au cours d'études effectuées sur des rétines de primates, Brown et Watanabe (1962) ont montré que l'onde a trouve son origine au niveau des couches rétinienne externe. C'est l'onde a qui reflète le mieux l'activité des cellules photoréceptrices. Dès 1966, Murakami et Kaneko ont en effet prouvé qu'elle est produite par l'activité électrique des segments internes des photorécepteurs à laquelle s'ajoute celle de la couche nucléaire externe. Le dédoublement de l'onde a correspondrait d'ailleurs à la dualité des photorécepteurs : la première partie de l'onde a (a1) serait due aux cônes, alors que a2 serait due aux bâtonnets. Les stimulations rouges augmentent en effet l'amplitude de l'onde a1, alors que l'onde a2 apparaît plus fréquemment en stimulation bleue.

2.1.2. L'onde « b » :

Elle correspond à la deuxième inflexion rencontrée sur la courbe. C'est une onde positive de grande amplitude. Elle se divise également en deux composantes :

- une composante photopique b1
- une composante scotopique b2

Elle apparaît après une latence de 30 à 50 millisecondes. L'onde b trouve son origine dans les couches rétinienne interne ; Miller et Dowling (1970) ont montré que l'onde b est due à l'activation des cellules de Müller (ou cellules gliales) ; cependant d'après Steinberg les cellules bipolaires participent également mais pour une plus faible part à la formation du complexe b.

2.1.3. L'onde « b' » :

La déflexion au cours de laquelle, à la suite de l'onde b, le tracé passe sous la ligne de base est appelé onde b' (ou after swing).

En 1952, Parry et al ont réalisé différentes expériences tendant à relier l'onde b' à l'activité des bâtonnets. En effet, cette onde disparaît lors de l'adaptation à la lumière et en cas d'atteintes héréditaires de la rétine elle disparaît au stade où seuls les bâtonnets sont altérés ; de plus, elle est plus facilement obtenue lorsque la longueur d'onde est courte.

2.1.4. L'onde « c » :

L'onde c est une composante encore plus tardive de l'ERG, elle n'est pas toujours facile à mettre en évidence chez l'animal et elle est donc encore plus difficile à interpréter. Elle semble cependant être le reflet du potentiel de l'épithélium pigmentaire, ainsi que l'a montré Rodieck en 1972.

Selon Parry et al, l'onde c disparaît en même temps que les bâtonnets, elle n'existerait donc pas chez les animaux ayant des rétines à cônes. Elle a cependant une sensibilité spectrale proche de celle de la rhodopsine, photopigment qui n'est présent que dans les cônes.

2.2. Les ondes surajoutées :

2.2.1. Potentiels précoces de récepteur :

Ce potentiel correspond à un accident dû à la déstabilisation des pigments des cônes et des bâtonnets. Il apparaît suite à une stimulation lumineuse très intense et avec une latence très précoce indépendante de l'ERG.

2.2.2. Potentiels oscillatoires ou ondes « e » :

Ce sont des ondes sinusoïdales, rapides qui se présentent sous forme d'oscillation, sur la partie ascendante de b1, bien qu'indépendantes de l'onde b. Il y en a généralement trois à cinq. Elles sont généralement plus fréquemment observées quand la stimulation est très brève et très intense. Elles sont plus faciles à mettre en évidence quand l'animal est adapté à l'obscurité. Elles seraient dues selon Doty et Kamora (1953) à la décharge des cellules ganglionnaires rétinienne. Selon Yonemura (1979) le premier potentiel oscillatoire rapide serait dû aux cellules horizontales et le second aux cellules amacrines. Cependant d'après Heynen et al (1985) les potentiels oscillatoires seraient dus chez les primates aux cellules bipolaires.

Les figures n° 7 à 8 représentent les ERG obtenus en théorie puis en pratique lors des différents enregistrements.

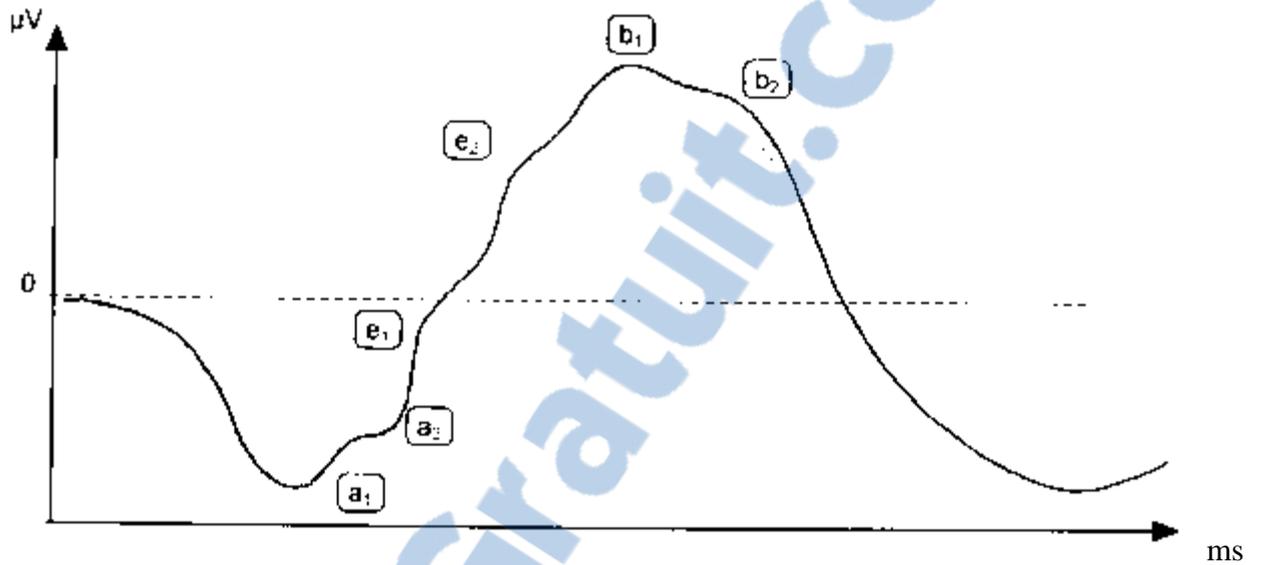


Figure n°7 :ERG photopique obtenu en théorie avec le flash sans filtre d'après (10)

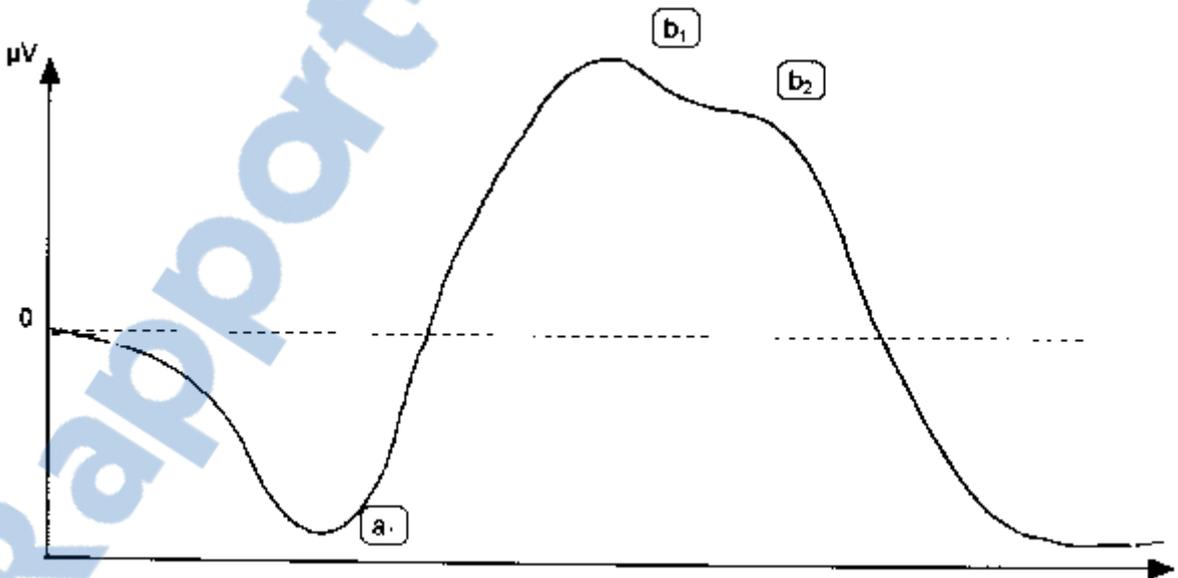


Figure n°8 : ERG photopique obtenu en pratique avec le flash sans filtre d'après (10).

L'onde a correspond à la réponse des cônes et des bâtonnets.

L'onde b correspond à la réponse des cellules de Müller, des cellules bipolaires...

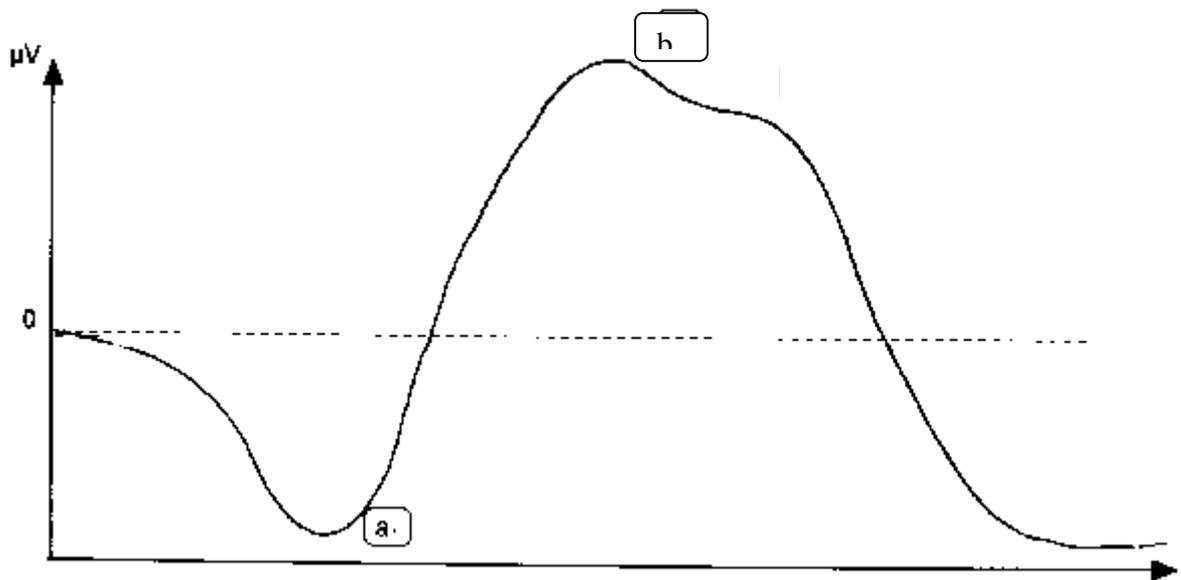


Figure n° 9: ERG scotopique obtenu avec le flash avec filtre.

L'onde b correspond à la réponse des photorécepteurs : les bâtonnets.

_____ :

Diverses expériences ont permis de clarifier l'origine des composantes de l'ERG. Il en ressort actuellement :

- L'onde « a » correspondrait à une perturbation induite par la lumière dans les éléments externes des photorécepteurs. Cette onde révèle directement la réponse des photorécepteurs à la lumière.
- L'onde « b » résulterait de l'activité des cellules bipolaires et des cellules de Müller. Celles-ci fixeraient le potassium produit par l'activité rétinienne et le relargueraient dans le vitré. Ce relargage serait en grande partie responsable de l'onde « b ». Cette onde serait donc la composante la plus étroitement liée au fonctionnement des récepteurs et du réseau rétinien.
- L'onde « c », la plus tardive, correspond à la dépolarisation de l'épithélium pigmentaire. Elle est induite par la chute du taux extracellulaire de potassium produite par la réponse des photorécepteurs à la lumière.

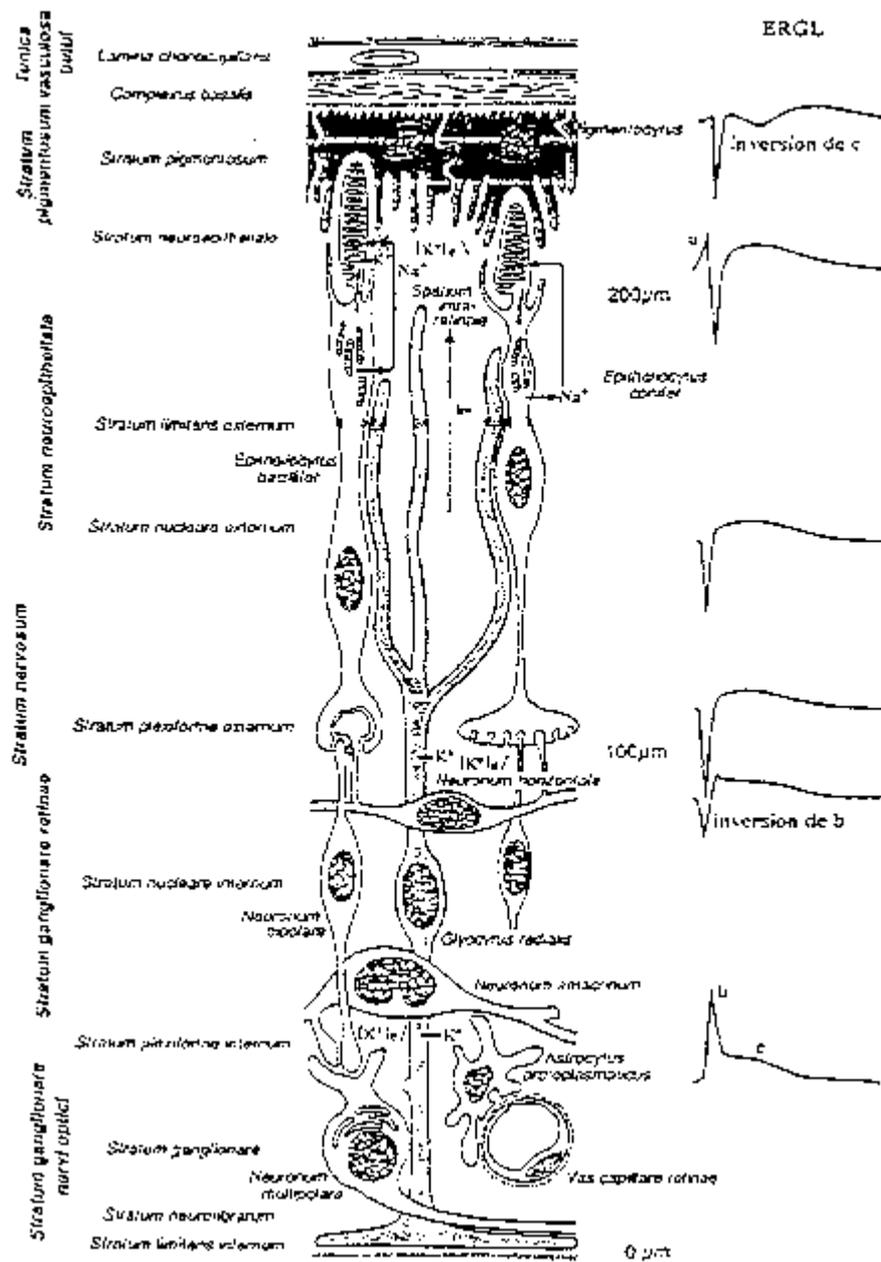


Figure n°10 : Relations entre les composantes des couches rétiniennes et les ondes de l'ERG d'après (32)

3. Les différents facteurs influençant l'ERG :

3.1. Les facteurs intrinsèques :

3.1.1. Variations individuelles :

Les amplitudes et les latences peuvent varier d'un individu à l'autre. Il n'a pas été démontré d'influence de la race ou du sexe.

3.1.2. Age :

Les premiers enregistrements d'ERG sont possibles à partir de la deuxième semaine de vie chez le chien, qui correspond à l'ouverture des paupières. L'ERG a sa forme normale à 3 semaines. Il est identique à celui de l'adulte à 9 semaines.

Chez les animaux de plus de 7 ans on note une certaine diminution de l'amplitude de b.

3.1.3. Transparence des milieux et intégrité rétinienne :

La perte de transparence des milieux oculaires peut gêner voir rendre impossible l'examen ophtalmoscopique du fond d'œil. L'ERG est alors le seul moyen d'apprécier la fonction rétinienne et il semble peu influencé par la présence d'une kératite, d'un œdème cornéen ou d'une cataracte.

Par contre une uvéite, une pathologie de la rétine donne des tracés modifiés.

3.1.4. Vascularisation rétinienne :

Toute altération de la vascularisation rétinienne, même faible, affecte l'onde b et peut conduire à son extinction totale. L'onde a n'est modifiée qu'en cas d'ischémie très importante.

3.1.5. Etat d'adaptation de la rétine :

C'est un facteur important pour le recueil de l'ERG. Une adaptation à l'obscurité de 60 minutes augmente l'amplitude de l'onde b de plus de 80 % chez le chien. Cependant une adaptation à l'obscurité satisfaisante peut être obtenue en 20 à 30 minutes s'il n'y a pas eu d'éblouissement préalable.

L'ERG dynamique est une technique qui consiste à recueillir un ERG toutes les 2 minutes, au cours de l'adaptation à l'obscurité, après un éblouissement préalable en lumière blanche. Cet examen n'est pas utilisé en routine en ophtalmologie vétérinaire.

3.1.6. Dilatation pupillaire :

La mydriase améliore la réponse électrorétinographique. Premièrement elle augmente la quantité de lumière parvenant à la rétine et le nombre de cellules photoréceptrices stimulées. Deuxièmement elle supprime les artefacts causés par la contraction de l'iris sous l'effet des flashes lumineux. On profite donc des 20 minutes d'adaptation à l'obscurité pour provoquer une mydriase grâce à l'instillation de tropicamide à 0.5 %.

3.2. Les facteurs extrinsèques :

3.2.1. Dispositifs de stimulation et d'enregistrement :

Dans certaines pathologies localisées de la rétine, il existe des zones atteintes de manières plus sévères que d'autres. Si la stimulation concerne plus particulièrement cette zone endommagée (par exemple avec un stimulus conduit par une fibre optique au centre de la cornée), on peut obtenir un ERG très déprimé, alors qu'un stimulus plus diffus pourra entraîner une réponse quasi normale.

La durée et l'intensité du stimulus peuvent faire varier la réponse électrorétinographique. En augmentant l'intensité du flash, on augmente l'amplitude des ondes obtenues et on met en jeu le système des cônes.

La couleur du stimulus permet de séparer la réponse des cônes et celle des bâtonnets ? Les bâtonnets du chien ont le maximum de sensibilité à 506 nm, les cônes à 550 nm. Leurs courbes de sensibilité se chevauchent un peu mais si l'on parle de sensibilité relative on peut dire que :

- ❖ La sensibilité différentielle des bâtonnets (c'est à dire par rapport aux cônes) est maximal dans les courtes longueurs d'onde, donc dans le bleu.
- ❖ La sensibilité différentielle des cônes (par rapport aux bâtonnets) est maximale dans les grandes longueurs d'onde, et donc le rouge.

3.2.2. Les électrodes :

La position des électrodes est variable selon les auteurs. Il est important de choisir une fois pour toutes un positionnement précis.

La nature des électrodes influence l'amplitude des ondes enregistrées. Les coques sclérales permettent d'obtenir des amplitudes 4 fois plus importantes que les électrodes palpébrales. Il est important de veiller au bon entretien des jets électrodes car les zones de contact doivent rester étanches sinon la corrosion peut être à l'origine d'artefacts.

3.2.3. Les paramètres d'enregistrement :

La bande passante de l'amplificateur est un facteur déterminant. Si la fréquence minimale est trop élevée, on peut faire disparaître totalement les ondes de l'ERG et n'enregistrer que les potentiels oscillatoires. Il convient donc de sélectionner avec soin le filtre et la constante de temps adéquats sous peine d'altérer gravement certaines parties du tracé.

3.2.4. Influence de l'anesthésie :

Le stimulus, pour être toujours identique, doit être proposé à la même distance et dans l'alignement de l'œil. On doit empêcher tout mouvement pour éviter d'enregistrer l'activité musculaire. De nombreux auteurs ont étudiés l'influence des différents anesthésiques sur l'ERG. L'anesthésie augmente la qualité du signal en diminuant nettement les interférences. Cependant, il faut surveiller la ventilation de l'animal car les cellules visuelles, et surtout les bâtonnets, sont très sensibles à l'hypoxie. Celle-ci provoque de manière constante une forte diminution de l'onde b.

Comme on peut le constater, les facteurs de variation de l'ERG sont très nombreux. Pour essayer de les maîtriser au maximum, chaque expérimentateur doit élaborer, et respecter, un protocole précis qui lui permettra d'établir des normes d'amplitude et de latence. La connaissance de ces valeurs standards est un préalable à toute interprétation d'un ERG.

**REALISATION DES ELECTRORETINOGRAMMES SUR
DIFFERENTES ESPECES D'ANIMAUX DOMESTIQUES**

III. Principes de base et interprétation de l'ERG:

B. Matériels :

1. Matériels d'électrorétinographie :

1.1. Le système d'enregistrement :

L'appareil utilisé dans cette étude est celui du service d'ophtalmologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort. Cet appareil permet le recueil, le moyennage et l'analyse des électrorétinogrammes obtenus. L'unité centrale est connectée à un écran, une imprimante un clavier et à un préamplificateur. Il s'agit du modèle Neuropack 2 (MEB-7102 ; Nikon Kolden, Saalburgstraße, Germany). Un curseur permet de placer les amplitudes et les temps de culminations qui sont nommés latence sur les courbes obtenues. Le calcul de la différence d'amplitude s'effectue automatiquement.

1.2. Les électrodes :

Nous utilisons plusieurs types d'électrodes dans cette étude :

- Une électrode de masse qui peut être soit une électrode aiguille, soit une palette métallique qui se pose sur la langue ou sur les babines supérieures. L'ensemble des ERG a été recueilli avec une électrode aiguille comme électrode de masse.
- Une électrode de référence, en forme d'aiguille qui se place sur la paupière supérieure, à trois millimètres du bord libre de cette paupière.
- Deux électrodes actives : une jet électrode (Jet électrode ; Universo Plastique SA, Le crêt du Loche, Suisse) et une électrode DTL (Dawson-Trick-Litzkow électrode ; 27/7 X Static silver conductive nylon yan, Sauquoit industrie, Scranton, PA). La fibre DTL est reliée à l'amplificateur avec le même fil conducteur que la JET électrode. D'après La Chapelle, la résistance moyenne de la fibre DTL est de $4,8\Omega/\text{cm}$. Les électrodes sont reliées au préamplificateur qui possède une bande passante allant de 1 à 500 Hz pour enregistrer les ERG standards. Afin de limiter les fréquences parasites qui ne sont pas représentatives des courbes enregistrées lors de l'examen, il convient de limiter la bande passante de l'amplificateur, c'est ce que l'on appelle le filtrage.

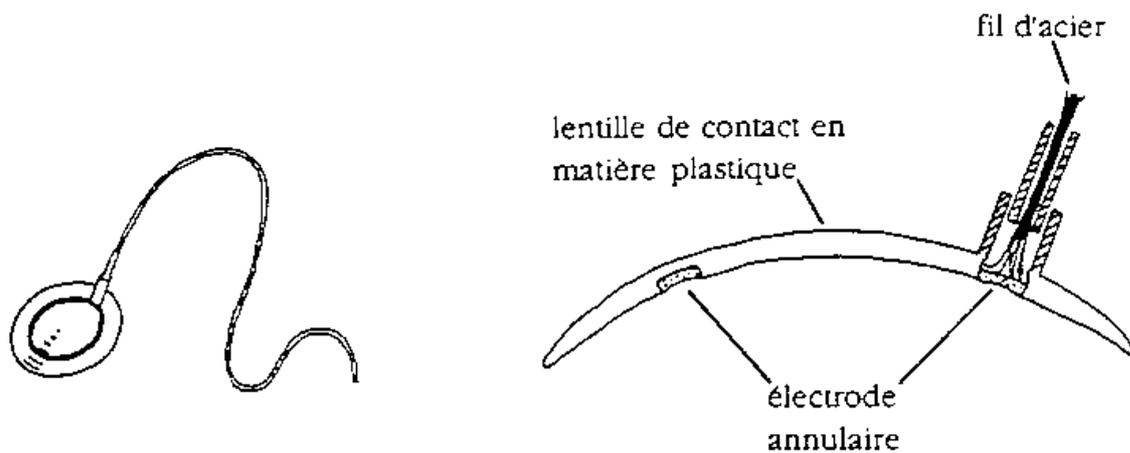


Figure n°11 : Jet électrode et sa coupe transversale d'après (42)

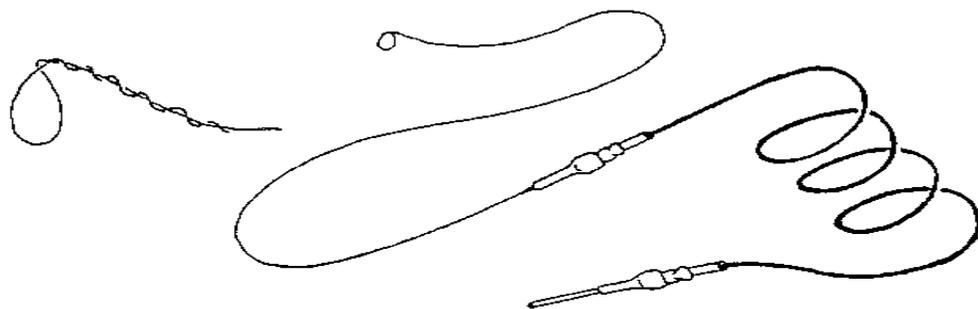


Figure n°12 : DTL électrode d'après (41).

Cette électrode DTL est réalisée à partir d'une Jet électrode dont l'extrémité a été ôtée et que l'on a partiellement dénudé et relié à du fil DTL.

1.3.La source lumineuse :

La stimulation lumineuse est réalisée grâce à un stimulateur qui déclenche un certain nombre de flashes dont on peut définir la fréquence (Flash stimulator SLS 3100 ; Nikon Kohden, Saalburgstraße, Allemagne). Le stimulateur est relié à un tube au xénon (Flash lamp LS 700, Nikon Kohden, Saalburgstraße, Allemagne) qui possède une luminance de 2.027 Cd.s/m².

Un filtre est également utilisé lors de la stimulation en lumière blanche des bâtonnets (Kodak Wratten filter 96 ; Eastman Kodak, Rochester NY, USA) qui diminue la luminance du flash de $-2,5 \log$.

2. Les animaux :

Les électrorétinogrammes ont été réalisés sur différentes espèces d'animaux.

- Les chiens : il s'agit de chiens qui venaient en consultation d'ophtalmologie pour lesquels un ERG était nécessaire (soit avant une opération de cataracte, soit dans le cadre de dépistage de tares oculaires ou dans une recherche de la cause d'une cécité). Plusieurs races de chiens sont ainsi représentées dans cette étude (Golden retriever, caniche, berger de brie...). Nous avons recueilli 28 Erg interprétables, c'est à dire pour lesquels il existait une réponse de la rétine, base indispensable à toute comparaison de courbes ultérieures. En effet un certain nombre de chiens testés est atteint de rétinopathies et ont un ERG plat.
- Les microcèbes du museum d'histoire naturelle : 2 ERG ont été recueillis sur ces animaux. Aucune analyse statistique ne sera réalisée, ils ont dans cette étude une valeur illustrative.
- Les lapins : 8 Erg ont été recueillis sur les yeux de ces lapins.
- Les rats : seule l'électrode DTL a été utilisée dans cette espèce, car nous ne disposions pas d'électrode de cornée JET suffisamment petite pour pouvoir être appliquée sur les cornée de rats. Cet ERG est aussi à considérer comme une illustration de l'utilisation possible de cette nouvelle électrode.

C. Protocole expérimental :

Préparation des animaux :

1.1. Dilatation :

Les pupilles des yeux de tous les animaux sont dilatés avec une instillation de tropicamide à 1% en collyre (Mydriaticum ; Merck.Sharp & Dohme-Chibret, Paris, France). Ce collyre permet d'obtenir une mydriase en 20 minutes. Cette dilatation est un préalable indispensable avant la réalisation d'un ERG.

1.2. Anesthésie générale

- Les chiens : On met en place un abord veineux sur chaque animal anesthésié. L'anesthésie est obtenue en quelques minutes après l'injection intraveineuse de médétomidine (Domitor ND) à la posologie recommandée par le fabricant soit 40 µg/kg chez le chien. Cette sédation est complétée par une injection de kétamine (Imalgène ND) réalisée 10 minutes après celle de médétomidine.

Intérêt de ce protocole : La médétomidine est un produit α_2 agoniste qui agit sur le système nerveux central en stimulant les récepteurs α_2 adrénergiques pré synaptiques. La noradrénaline est bloquée et la transmission de l'influx nerveux est ainsi stoppée. Les effets de la médétomidine sont donc la sédation et la myorelaxation ce qui est intéressant car cela limite le mouvement des paupières. Les effets oculaires de la médétomidine sont très faibles à la posologie employée, les paupières restent ouvertes et le globe bascule rarement ce qui rend l'injection rétro bulbaire exceptionnelle. Le seul effet observé sur le tracé ERG est une légère augmentation des temps de latence des ondes a et b. La kétamine

est un agent anesthésique qui produit un état de dissociation dans le cortex cérébral en bloquant les réponses aux stimuli d'environnement. Elle ne peut être employée seule à cause de ses effets indésirables, à savoir un nystagmus et une activité musculaire involontaire (trémulations) qui interfèrent sur les potentiels d'action de la rétine et provoquent ainsi des artefacts sur la ligne de base de l'ERG. Employée en association avec la médétomidine, les latences demeurent inchangées, seule l'amplitude de l'onde a est un peu augmentée. La médétomidine permet de diminuer la posologie de la kétamine dont elle potentialise l'action. Elle permet aussi de réduire, voire d'annuler les mouvements involontaires de l'œil et les trémulations musculaires. L'anesthésie obtenue est de bonne qualité et l'on obtient un enregistrement avec une ligne de base exempte d'irrégularités et très peu de dépression dans l'amplitude des ondes.

- Les rats : ils sont anesthésiés avec une injection intra péritonéale de médétomine (Domitor ND) à la posologie de 40 µg/kg et de kétamine (Imalgène ND) à la posologie de 75 mg/kg. L'anesthésie ainsi obtenue produit les mêmes effets que chez le chien.
- Les lapins : ils sont anesthésiés avec une injection intramusculaire de médétomine (Domitor ND), de kétamine (Imalgène ND) et de diazepam (Valium ND). L'anesthésie ainsi obtenue produit les mêmes effets que chez le chien.
- Les microcèbes : ils sont anesthésiés avec une injection intrapéritonéale de kétamine (Imalgène ND)

1.3. Installation du patient :

L'animal endormi est placé dans la salle d'examen sur la table en décubitus latéral gauche. Une instillation de collyre anesthésique est ensuite réalisée (Novésine ND). Les électrodes de masse et de référence sont mises en place. La lumière de la salle est éteinte et l'examen peut commencer après une période d'adaptation à l'obscurité.

Protocole expérimental :

2.1. Stimulations :

La stimulation

Nous stimulons successivement l'œil droit puis l'œil gauche. La première électrode mise en place est l'électrode JET qui sert de référence dans notre étude. La première stimulation se fait sur l'œil droit avec le filtre, nous stimulons ainsi les bâtonnets. Puis nous mettons en place l'électrode DTL et nous réalisons une seconde série de stimulation de 5 flashs avec le filtre.

Ensuite nous stimulons l'œil droit sans filtre avec 5 flashs blancs avec l'électrode DTL, puis avec l'électrode JET.

Nous réalisons la même séquence de stimulation et de mesure sur l'œil gauche.

2.2. Programmes :

Chaque stimulation est préréglée dans un programme « standard » couramment utilisé en clinique avant les opérations de cataractes.

Les données préréglées sont regroupées dans le tableau suivant:

| | | |
|-----------|--------------|----------|
| Amplitude | Sens 1 canal | 25uV/div |
| | F-PH | 1Hz |
| | F-PB | 500Hz |
| ACQ | T.d'analyse | 100ms |
| | Retard | - 2 div |
| | T. | |

| CHIEN | AGE | SEXE | ŒIL GAUCHE AVEC FILTRE | | | | A1 | A2 | Diff Amplitude | % Rapport |
|----------|-----|------|------------------------|-------|------------|------------|--------|--------|----------------|-----------|
| | | | L1 | L2 | Rapport L1 | Rapport L2 | | | | |
| 00-6794 | 11 | M | 24,80 | 58,40 | | | -1,48 | 79,50 | 80,98 | |
| | | | 24,40 | 49,00 | | | -2,66 | 59,30 | 61,96 | |
| | | | | | 101,64 | 119,18 | | | | 130,70 |
| 00-7427 | 12 | M | 13,80 | 54,80 | | | -1,20 | 25,10 | 26,30 | |
| | | | 13,80 | 48,40 | | | -0,16 | 26,20 | 26,36 | |
| | | | | | 100,00 | 113,22 | | | | 99,77 |
| 00-5733 | 5 | M | 15,00 | 48,10 | | | -1,25 | 21,70 | 22,95 | |
| | | | 15,20 | 41,00 | | | -0,86 | 26,50 | 27,36 | |
| | | | | | 98,68 | 117,32 | | | | 83,88 |
| 00-5690 | 7 | F | 20,80 | 48,40 | | | -1,07 | 14,40 | 15,47 | |
| | | | 11,60 | 45,00 | | | -1,64 | 32,30 | 33,94 | |
| | | | | | 179,31 | 107,56 | | | | 45,58 |
| LEFEBVRE | 11 | F | 15,90 | 46,10 | | | -0,90 | 21,30 | 22,20 | |
| | | | 16,80 | 49,60 | | | -1,26 | 31,60 | 32,86 | |
| | | | | | 94,64 | 92,94 | | | | 67,56 |
| LUGASSY | 11 | M | 10,00 | 45,40 | | | -3,67 | 54,30 | 57,97 | |
| | | | 10,00 | 46,20 | | | -6,61 | 126,00 | 132,61 | |
| | | | | | 100,00 | 98,27 | | | | 43,71 |
| 01-/7482 | | F | 11,00 | 43,20 | | | -6,38 | 50,60 | 56,98 | |
| | | | 11,40 | 45,40 | | | -5,08 | 60,20 | 65,28 | |
| | | | | | 96,49 | 95,15 | | | | 87,29 |
| TERRIER | 8 | F | 16,80 | 43,20 | | | -6,38 | 32,10 | 38,48 | |
| | | | 18,20 | 40,00 | | | -9,56 | 37,10 | 46,66 | |
| | | | | | 92,31 | 108,00 | | | | 82,47 |
| 01-/8666 | 3 | F | 10,20 | 48,30 | | | -4,17 | 11,10 | 15,27 | |
| | | | 10,20 | 46,00 | | | -10,10 | 10,90 | 21,00 | |
| | | | | | 100,00 | 105,00 | | | | 72,71 |
| 01-/9493 | 14 | F | 14,60 | 40,00 | | | -2,99 | 64,00 | 66,99 | |
| | | | 13,20 | 42,40 | | | -1,98 | 75,70 | 77,68 | |
| | | | | | 110,61 | 94,34 | | | | 86,24 |
| 02-/0676 | 10 | M | 26,80 | 56,60 | | | 0,16 | 54,20 | 54,04 | |
| | | | 20,00 | 51,60 | | | 0,29 | 57,30 | 57,01 | |
| | | | | | 134,00 | 109,69 | | | | 94,79 |
| 01-/9915 | 2 | M | 13,80 | 51,00 | | | 1,77 | 55,10 | 53,33 | |
| | | | 17,00 | 52,00 | | | -2,55 | 62,40 | 64,95 | |
| | | | | | 81,18 | 98,08 | | 0,00 | | 82,11 |
| 01-/9916 | 2 | F | 15,00 | 50,80 | | | -0,78 | 37,90 | 38,68 | |
| | | | 16,20 | 50,40 | | | -1,12 | 53,20 | 54,32 | |
| | | | | | 92,59 | 100,79 | | | | 71,21 |
| 01-/9412 | 5 | F | 23,00 | 48,80 | | | 0,94 | 68,90 | 67,96 | |
| | | | 20,80 | 47,80 | | | 2,01 | 118,00 | 115,99 | |
| | | | | | 110,58 | 102,09 | | | | 58,59 |

Tableau n°I : Résultats des ERG obtenus sur l'œil gauche en ambiance scotopique, avec une stimulation « -2.5log SF ».

| CHIEN | AGE | SEXE | ŒIL DROIT AVEC FILTRE | | | Rapport L2 | A1 | A2 | Diff Amplitude | % Rapport |
|----------|-----|------|--------------------------|-------|---------------|------------|--------|--------|----------------|--------------|
| | | | L1 | L2 | Rapport L1 | | | | | |
| 00-6794 | 11 | M | 0,00 | 0,00 | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| | | | 0,00 | 0,00 | | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| | | | | | | | | | | 0,00 |
| 00-7427 | 12 | M | 14,80 | 47,60 | | | -0,94 | 95,00 | 95,94 | |
| | | | 14,60 | 47,80 | | | -1,41 | 60,90 | 62,31 | |
| | | | | | 101,37 | 99,58 | | | | 153,97 |
| 00-5733 | 5 | M | 13,40 | 43,00 | | | -2,01 | 15,70 | 17,71 | |
| | | | 16,00 | 50,40 | | | -1,25 | 27,70 | 28,95 | |
| | | | | | 83,75 | 85,32 | | | | 61,17 |
| 00-5690 | 7 | F | 20,00 | 46,20 | | | -3,26 | 17,20 | 20,46 | |
| | | | 12,80 | 43,00 | | | -1,12 | 52,20 | 53,32 | |
| | | | | | 156,25 | 107,44 | | | | 38,37 |
| 00-5694 | 11 | F | 19,60 | 46,60 | | | -1,20 | 59,80 | 61,00 | |
| | | | 18,20 | 39,80 | | | -5,44 | 92,90 | 98,34 | |
| | | | | | 107,69 | 117,09 | | | | 62,03 |
| LUGASSY | 11 | M | 9,20 | 43,00 | | | -1,51 | 88,80 | 90,31 | |
| | | | 9,20 | 41,40 | | | -0,08 | 118,00 | 118,08 | |
| | | | | | 100,00 | 103,86 | | | | 76,48 |
| 01-/7482 | | F | 18,60 | 43,20 | | | -11,10 | 70,20 | 81,30 | |
| | | | 16,60 | 36,60 | | | -3,23 | 59,40 | 62,63 | |
| | | | | | 112,05 | 118,03 | | | | 129,81 |
| TERRIER | 8 | F | 12,60 | 49,80 | | | -5,14 | 29,20 | 34,34 | |
| | | | 12,40 | 45,60 | | | -6,20 | 44,50 | 50,70 | |
| | | | | | 101,61 | 109,21 | | | | 67,73 |
| 01-/8666 | 3 | F | 11,70 | 47,60 | | | -1,90 | 2,70 | 4,60 | |
| | | | 10,20 | 45,00 | | | -2,10 | 4,50 | 6,60 | |
| | | | | | 114,71 | 105,78 | | | | 69,70 |
| 01-/9493 | 14 | F | 18,20 | 49,00 | | | -2,11 | 56,20 | 58,31 | |
| | | | 16,60 | 40,60 | | | -2,03 | 72,00 | 74,03 | |
| | | | | | 109,64 | 120,69 | | | | 78,77 |
| 02-/0676 | 10 | M | 19,80 | 54,80 | | | 5,29 | 74,30 | 69,01 | |
| | | | 10,20 | 43,80 | | | -1,35 | 112,00 | 113,35 | |
| | | | | | 194,12 | 125,11 | | | | 60,88 |
| 01-/9915 | 2 | M | 9,80 | 54,40 | | | -3,59 | 65,70 | 69,29 | |
| | | | 18,40 | 49,40 | | | -4,01 | 82,60 | 86,61 | |
| | | | | | 53,26 | 110,12 | | | | 80,00 |
| 01-/9916 | 2 | F | 21,20 | 57,20 | | | -2,50 | 93,50 | 96,00 | |
| | | | 19,60 | 55,40 | | | 0,13 | 93,40 | 93,27 | |
| | | | | | 108,16 | 103,25 | | | | 102,93 |
| 01-/9412 | 5 | F | 19,00 | 44,80 | | | -5,44 | 158,00 | 163,44 | |
| | | | 20,20 | 45,00 | | | -7,29 | 172,00 | 179,29 | |
| | | | | | 94,06 | 99,56 | | | | 91,16 |

Tableau n°II : Résultats des ERG obtenus sur l'œil droit en ambiance scotopique, avec une stimulation « -2.5log SF ».

| CHIEN | AGE | SEXE | ŒIL GAUCHE SANS FILTRE | | | | A1 | A2 | Diff Amplitude | % Rapport |
|-------------|-----|------|------------------------|-------|------------|------------|---------|--------|----------------|-----------|
| | | | L1 | L2 | Rapport L1 | Rapport L2 | | | | |
| 00-6794 | 11 | M | 9,40 | 28,60 | | | -66,00 | 88,30 | 154,30 | |
| | | | 9,20 | 27,40 | | | -100,00 | 114,00 | 214,00 | |
| | | | | | 102,17 | 104,38 | | | | 72,10 |
| 00-7427 | 12 | M | 13,80 | 32,20 | | | -36,70 | 19,20 | 55,90 | |
| | | | 13,80 | 31,00 | | | -45,70 | 38,30 | 84,00 | |
| | | | | | 100,00 | 103,87 | | | | 66,55 |
| 00-5733 | 5 | M | 11,60 | 31,60 | | | -34,40 | 31,20 | 65,60 | |
| | | | 13,20 | 28,80 | | | -47,50 | 40,80 | 88,30 | |
| | | | | | 87,88 | 109,72 | | | | 74,29 |
| 00-5690 | 7 | F | 11,60 | 30,40 | | | -21,70 | 23,60 | 45,30 | |
| | | | 12,40 | 30,20 | | | -38,30 | 45,80 | 84,10 | |
| | | | | | 93,55 | 100,66 | | | | 53,86 |
| LEFEBVRE | 11 | F | 12,50 | 28,70 | | | -20,10 | 2,70 | 22,80 | |
| | | | 12,80 | 29,60 | | | -32,60 | 1,67 | 34,27 | |
| | | | | | 97,66 | 96,96 | | | | 66,53 |
| LUGASSY | 11 | M | 11,00 | 30,00 | | | -84,20 | 48,10 | 132,30 | |
| | | | 11,20 | 30,40 | | | -102,00 | 64,10 | 166,10 | |
| | | | | | 98,21 | 98,68 | | | | 79,65 |
| 01-/7482 | | F | 10,80 | 31,20 | | | -47,80 | 73,50 | 121,30 | |
| | | | 11,60 | 31,00 | | | -47,10 | 70,90 | 118,00 | |
| | | | | | 93,10 | 100,65 | | | | 102,80 |
| TERRIER TIB | 8 | F | 13,10 | 31,20 | | | -26,90 | 73,50 | 100,40 | |
| | | | 13,60 | 32,60 | | | -38,00 | 99,00 | 137,00 | |
| | | | | | 96,32 | 95,71 | | | | 73,28 |
| 01-/8666 | 3 | F | 11,00 | 32,00 | | | -26,50 | 1,17 | 27,67 | |
| | | | 10,80 | 35,00 | | | -19,30 | 16,00 | 35,30 | |
| | | | | | 101,85 | 91,43 | | | | 78,39 |
| 01-/9493 | 14 | F | 11,60 | 24,40 | | | -85,50 | 40,90 | 126,40 | |
| | | | 11,40 | 24,20 | | | -94,60 | 43,00 | 137,60 | |
| | | | | | 101,75 | 100,83 | | | | 91,86 |
| 02-/0676 | 10 | M | 14,20 | 33,00 | | | -68,40 | 104,00 | 172,40 | |
| | | | 16,00 | 34,00 | | | -83,70 | 139,00 | 222,70 | |
| | | | | | 88,75 | 97,06 | | | | 77,41 |
| 01-/9915 | 2 | M | 11,80 | 27,80 | | | -48,90 | 105,00 | 153,90 | |
| | | | 10,80 | 27,60 | | | -51,70 | 105,00 | 156,70 | |
| | | | | | 109,26 | 100,72 | | | | 98,21 |
| 01-/9916 | 2 | F | 12,00 | 30,40 | | | -30,90 | 84,00 | 114,90 | |
| | | | 11,60 | 30,00 | | | -42,10 | 95,90 | 138,00 | |
| | | | | | 103,45 | 101,33 | | | | 83,26 |
| 01-/9412 | 5 | F | 11,80 | 31,00 | | | -98,20 | 84,10 | 182,30 | |
| | | | 12,60 | 31,40 | | | -111,00 | 89,40 | 200,40 | |
| | | | | | 93,65 | 98,73 | | | | 90,97 |

Tableau n°III : Résultats des ERG obtenus sur l'œil gauche en ambiance scotopique, avec une stimulation « flash sans filtre SF».

| AGE | SEXE | ŒIL DROIT SANS FILTRE | | | Rapport L2 | A1 | A2 | Diff Amplitude | % Rapport |
|-----|------|-----------------------|-------|------------|------------|---------|--------|----------------|-----------|
| | | L1 | L2 | Rapport L1 | | | | | |
| 11 | M | 11,60 | 30,20 | | | -24,00 | 39,30 | 63,30 | |
| | | 12,80 | 29,00 | | | -35,70 | 68,30 | 104,00 | |
| | | | | 90,63 | 104,14 | | | | 60,87 |
| 12 | M | 12,60 | 31,60 | | | -56,60 | 54,00 | 110,60 | |
| | | 12,20 | 31,00 | | | -73,30 | 56,40 | 129,70 | |
| | | | | 103,28 | 101,94 | | | | 85,27 |
| 5 | M | 13,20 | 30,20 | | | -53,00 | 88,00 | 141,00 | |
| | | 13,00 | 22,80 | | | -71,90 | 42,70 | 114,60 | |
| | | | | 101,54 | 132,46 | | | | 123,04 |
| 7 | F | 14,40 | 30,60 | | | -33,10 | 64,20 | 97,30 | |
| | | 13,40 | 30,20 | | | -48,00 | 82,00 | 130,00 | |
| | | | | 107,46 | 101,32 | | | | 74,85 |
| 11 | F | 12,00 | 29,60 | | | -67,50 | 35,80 | 103,30 | |
| | | 12,40 | 29,00 | | | -56,70 | 18,30 | 75,00 | |
| | | | | 96,77 | 102,07 | | | | 137,73 |
| 11 | M | 11,20 | 29,80 | | | -67,30 | 36,70 | 104,00 | |
| | | 11,00 | 29,60 | | | -81,30 | 48,40 | 129,70 | |
| | | | | 101,82 | 100,68 | | | | 80,19 |
| | F | 12,40 | 32,40 | | | -26,30 | 70,70 | 97,00 | |
| | | 12,04 | 32,60 | | | -32,00 | 86,00 | 118,00 | |
| | | | | 102,99 | 99,39 | | | | 82,20 |
| 8 | F | 13,80 | 32,60 | | | -27,00 | 95,30 | 122,30 | |
| | | 12,20 | 31,80 | | | -45,30 | 110,00 | 155,30 | |
| | | | | 113,11 | 102,52 | | | | 78,75 |
| 3 | F | 12,60 | 31,60 | | | -29,30 | -2,37 | 26,93 | |
| | | 10,40 | 29,00 | | | -27,00 | 3,65 | 35,30 | |
| | | | | 121,15 | 108,97 | | | | 76,29 |
| 14 | F | 12,60 | 24,20 | | | -76,80 | 64,20 | 141,00 | |
| | | 11,00 | 24,00 | | | -108,00 | 73,90 | 181,90 | |
| | | | | 114,55 | 100,83 | | | | 77,52 |
| 10 | M | 14,00 | 32,40 | | | -64,00 | 85,30 | 149,30 | |
| | | 12,00 | 31,80 | | | -92,80 | 95,80 | 188,60 | |
| | | | | 116,67 | 101,89 | | | | 79,16 |
| 2 | M | 14,80 | 32,60 | | | -32,90 | 67,10 | 100,00 | |
| | | 12,00 | 27,60 | | | -63,80 | 108,00 | 171,80 | |
| | | | | 123,33 | 118,12 | | | | 58,21 |
| 2 | F | 12,00 | 34,80 | | | -51,10 | 91,90 | 143,00 | |
| | | 11,80 | 29,60 | | | -63,00 | 144,00 | 207,00 | |
| | | | | 101,69 | 117,57 | | | | 69,08 |
| 5 | F | 11,20 | 30,80 | | | -92,70 | 78,30 | 171,00 | |
| | | 12,40 | 30,60 | | | -135,00 | 147,00 | 282,00 | |
| | | | | 90,32 | 100,65 | | | | 60,64 |

Tableau n°IV : Résultats des ERG obtenus sur l'œil droit en ambiance scotopique, avec une stimulation « flash sans filtreSF »

Statistique descriptive :

3.1. Présentation des résultats :

La représentativité globale est respectée puisque les animaux qui se présentaient en consultation n'étaient pas choisis au départ mais appartenaient à l'ensemble des animaux venant en consultation d'ophtalmologie.

Dès lors que leur état de santé nécessitait un ERG comme examen complémentaire, l'électrode DTL était systématiquement testée.

Les tableaux n° V et VI reprennent les valeurs obtenues lors des enregistrements, le calcul des médianes, moyennes, écart-types pour chaque paramètre étudié.

Des graphiques représentent la distribution de chaque valeur.

Les figures n°13 et 14 illustrent la faible dispersion qu'il existe entre les moyennes et les médianes pour les deux types de stimulation entre les deux électrodes.

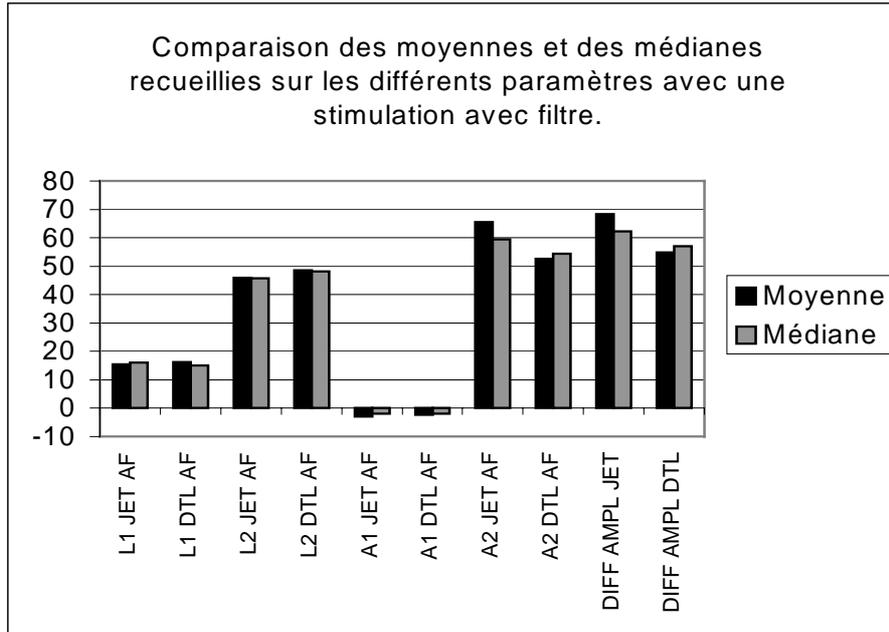


Figure n°13 : Comparaison des moyennes et des médianes obtenues pour les principaux paramètres retenus lors d'une stimulation $-2.5\log SF$.

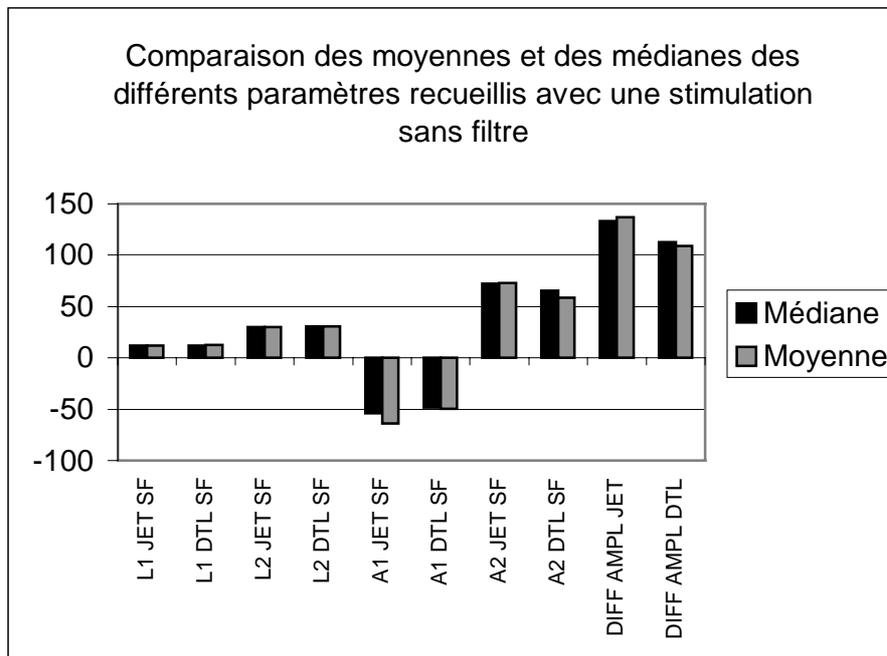


Figure n°14 : Comparaison des moyennes et des médianes obtenues pour les principaux paramètres retenus lors d'une stimulation sans filtre SF.

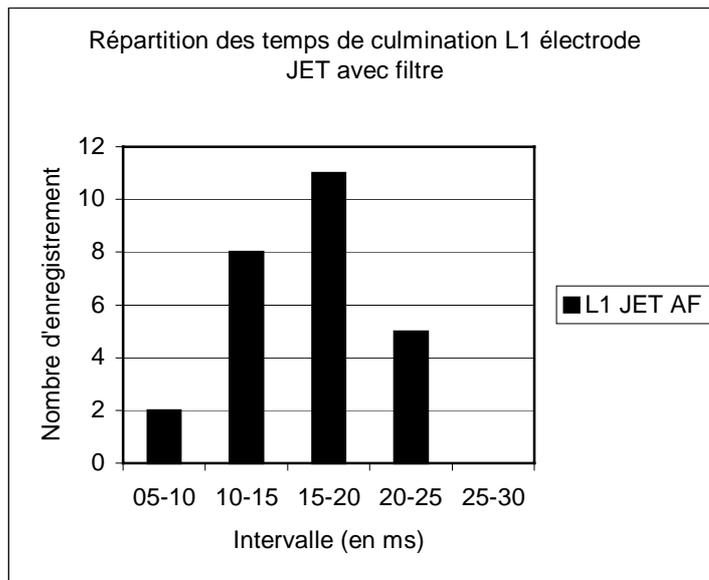


Figure n° 15 : Histogramme des latences L1 recueillies avec la JET électrode avec filtre.

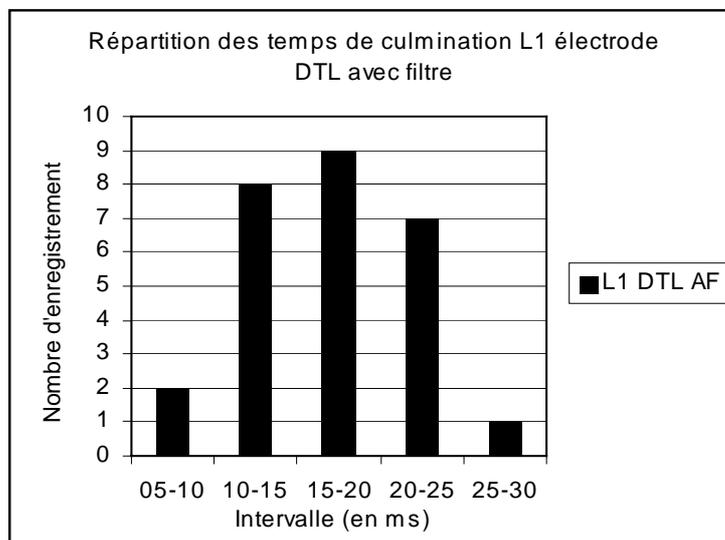


Figure n° 16: Histogramme des latences L1 recueillies avec l'électrode DTL avec filtre.

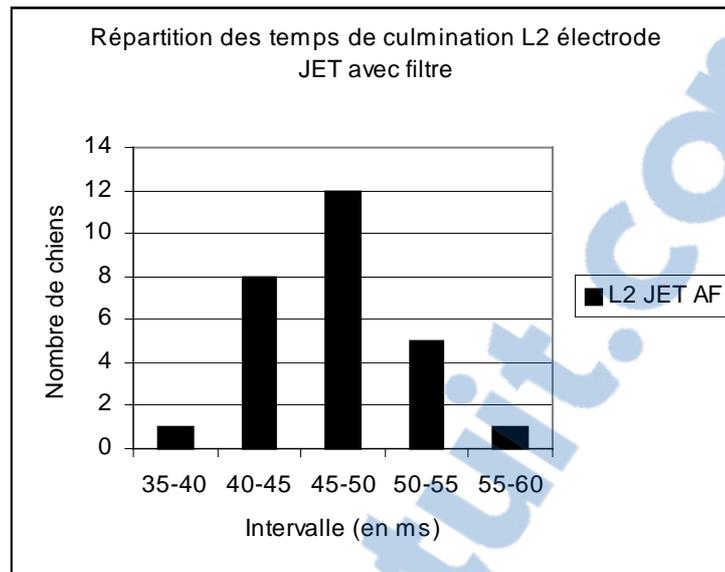


Figure n° 17 : Histogramme des latences L2 recueillies avec l'électrode JET avec filtre.

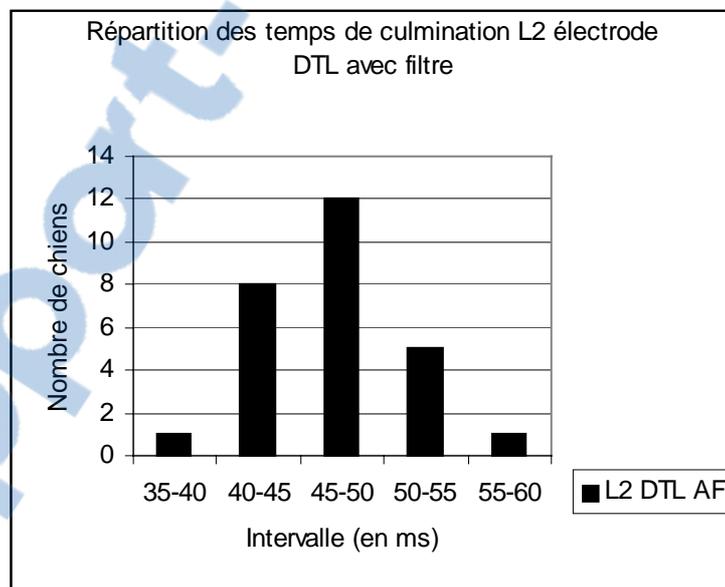


Figure n° 18 : Histogramme des latences L2 recueillies avec l'électrode DTL avec filtre.

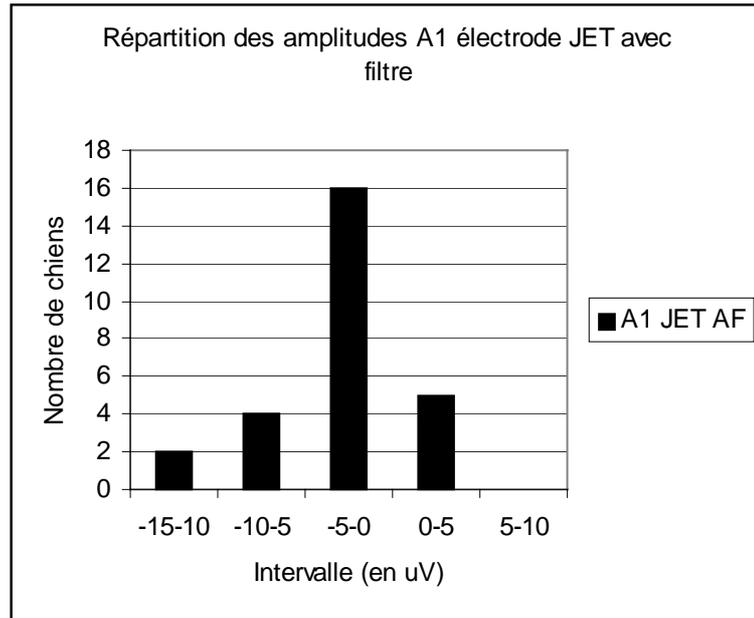


Figure n° 19 : Histogramme des amplitudes A1 recueillies avec l'électrode JET avec filtre.

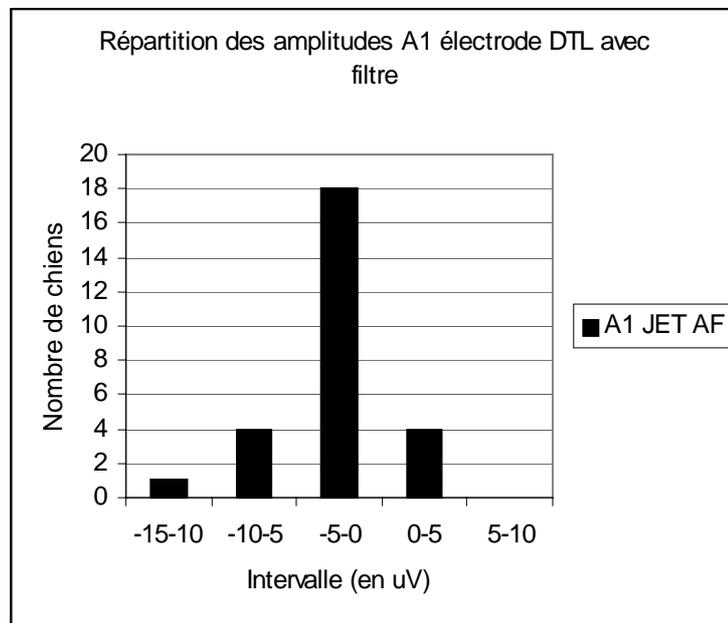


Figure n° 20 : Histogramme des amplitudes A1 recueillies avec l'électrode DTL avec filtre.

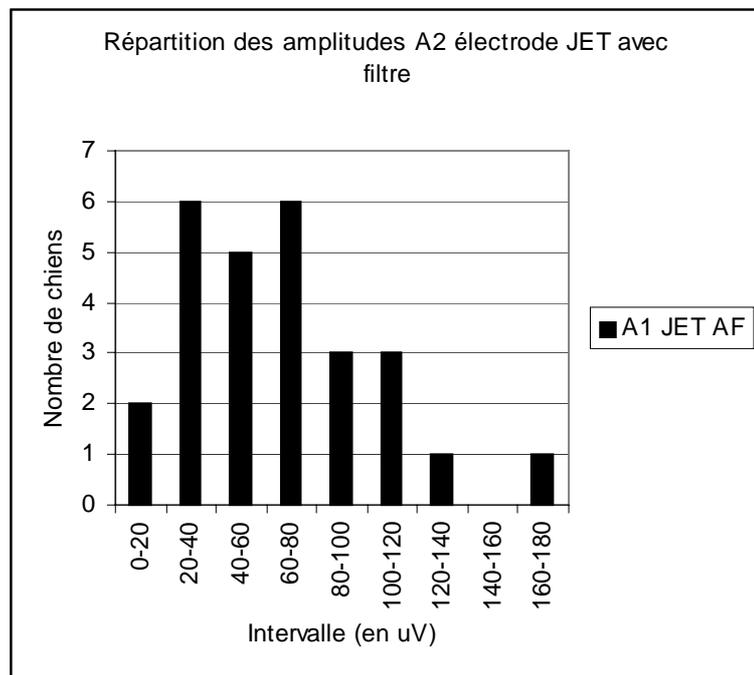


Figure n° 21 : Histogramme des amplitudes A2 recueillies avec l'électrode JET avec filtre.

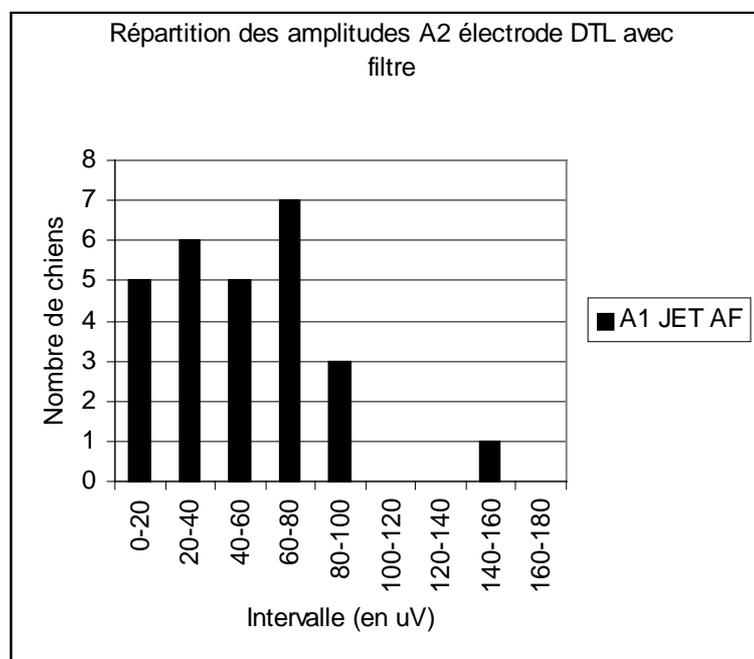


Figure n° 22 : Histogramme des amplitudes A2 recueillies avec l'électrode DTL avec filtre.

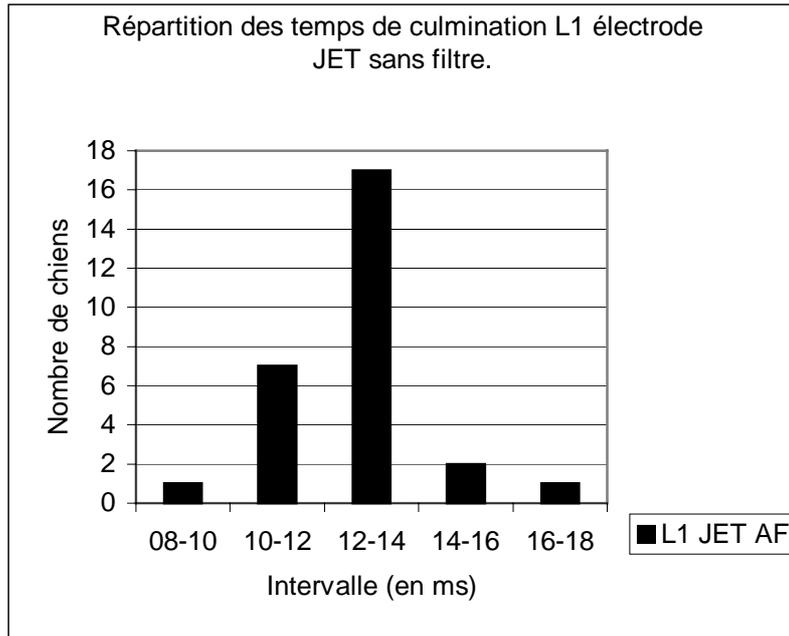


Figure n° 23 : Histogramme des latences L1 recueillies avec la JET électrode sans filtre.

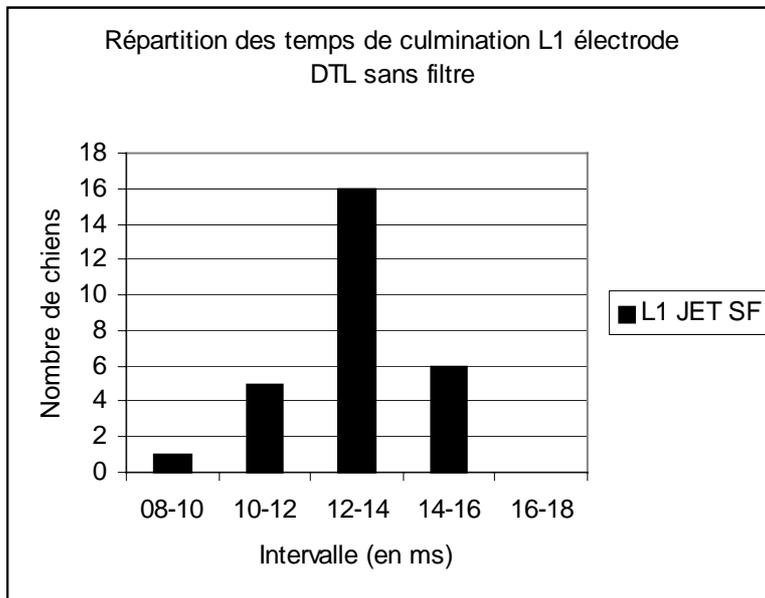


Figure n° 24 : Histogramme des latences L1 recueillies avec l'électrode DTL sans filtre.

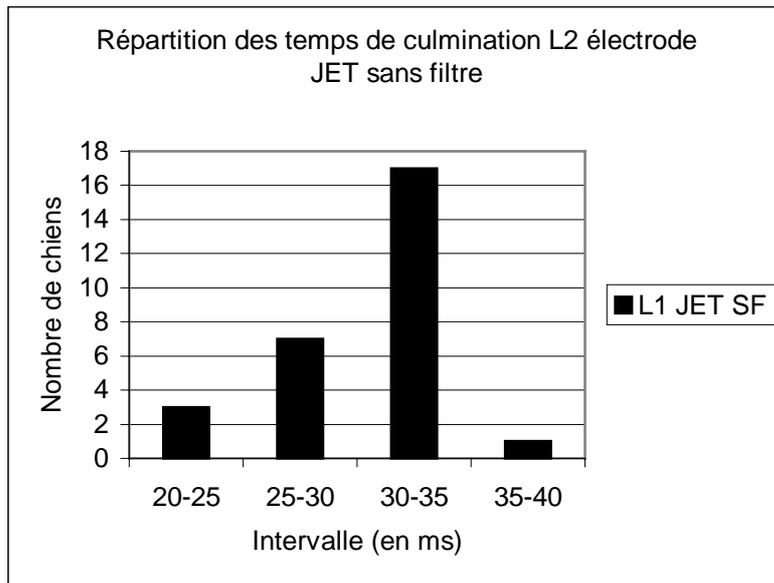


Figure n° 25: Histogramme des latences L2 recueillies avec la JET électrode sans filtre.

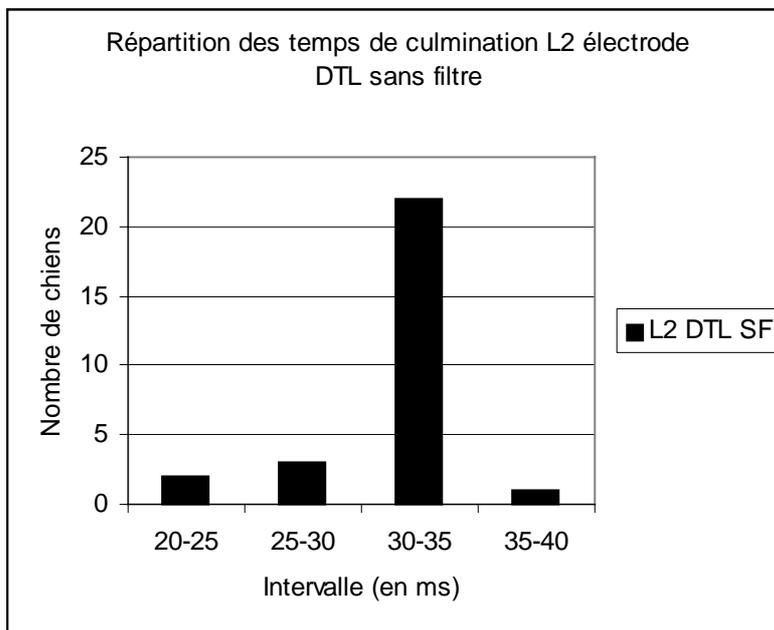


Figure n° 26 : Histogramme des latences L2 recueillies avec l'électrode DTL sans filtre.

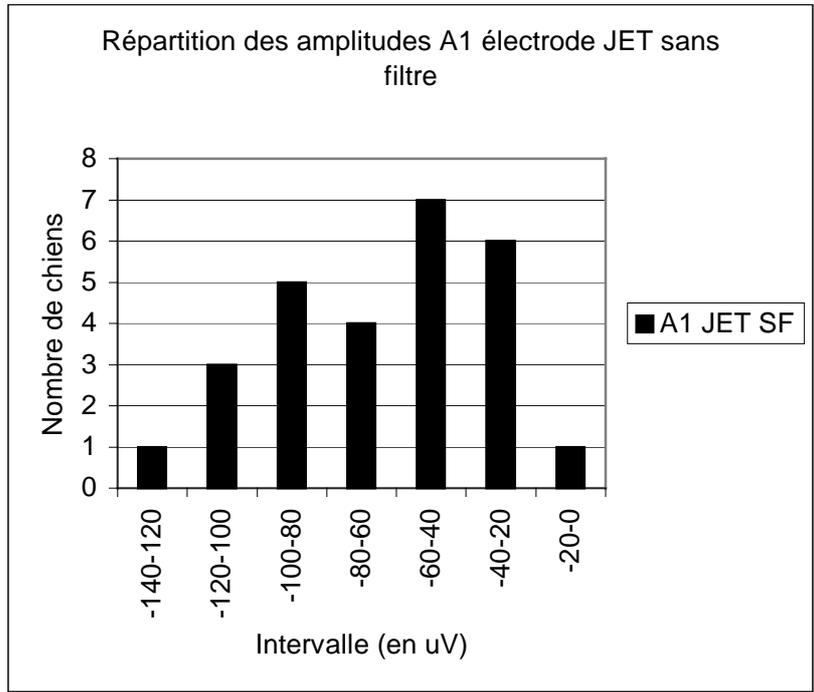


Figure n° 27 : Histogramme des amplitudes A1 recueillies avec l'électrode JET sans filtre.

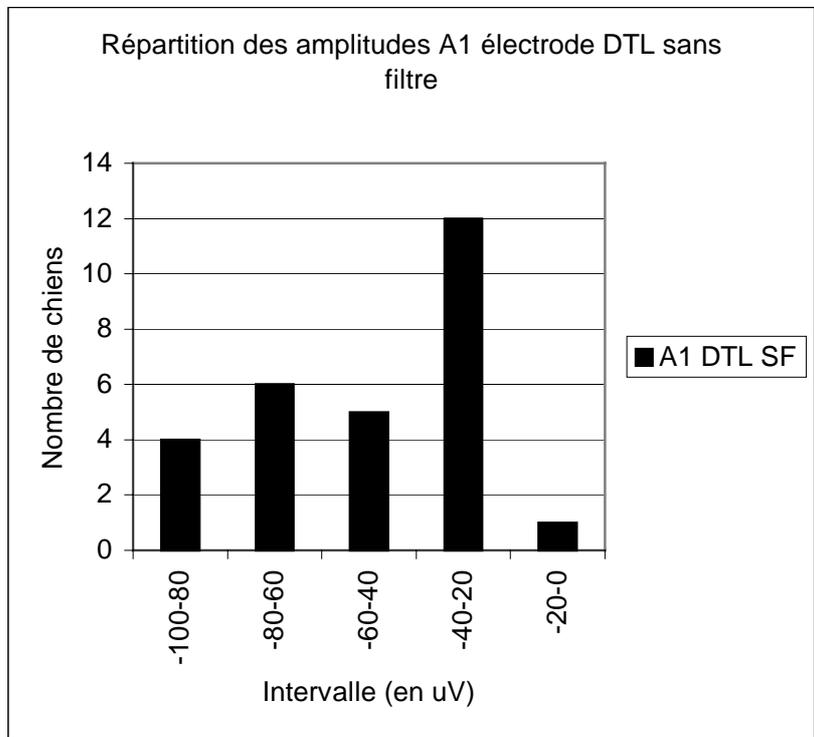


Figure n° 28 : Histogramme des amplitudes A1 recueillies avec l'électrode DTL sans filtre.

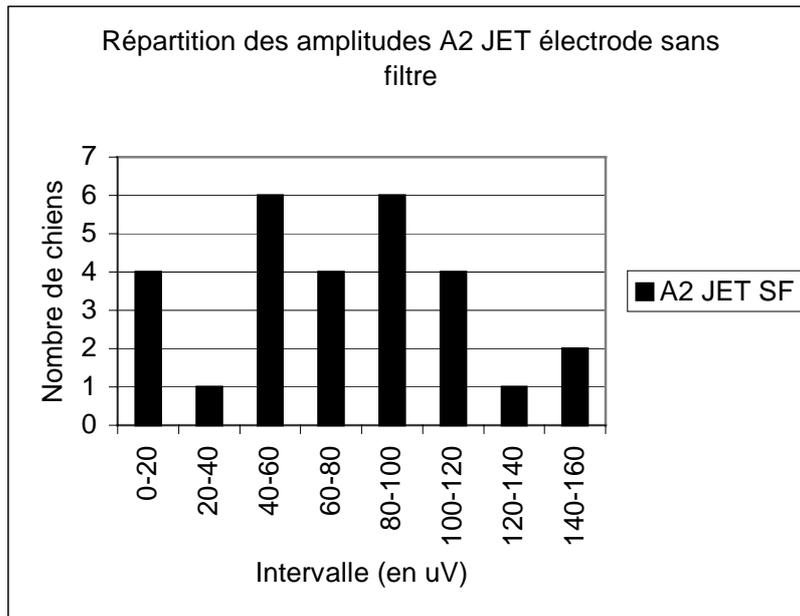


Figure n° 29 : Histogramme des amplitudes A2 recueillies avec l'électrode JET sans filtre.

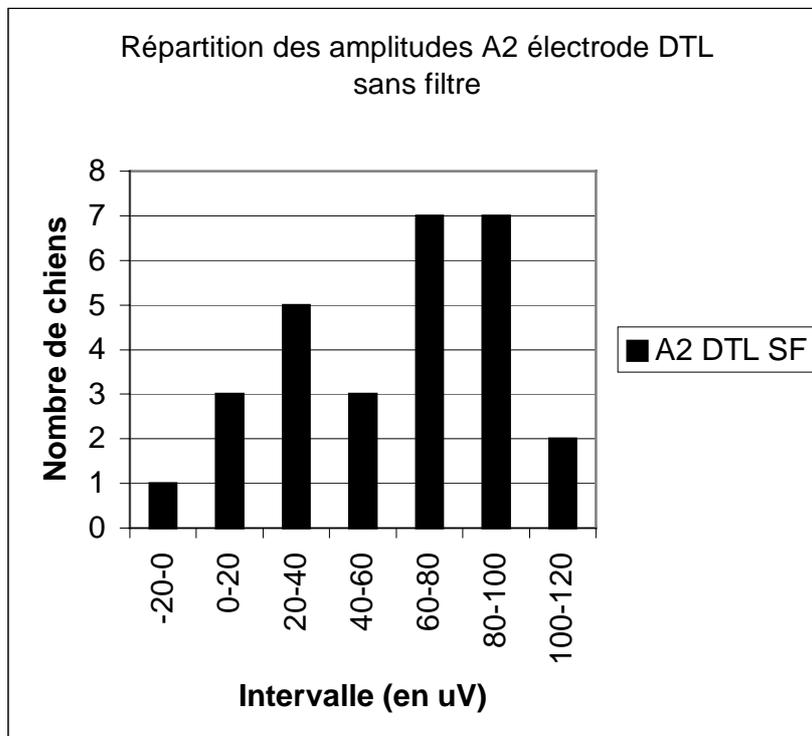


Figure n° 30 : Histogramme des amplitudes A2 recueillies avec l'électrode DTL sans filtre.

Les temps de culmination ont une distribution symétrique avec une allure de type « courbe de Gauss ». Cette symétrie se retrouve pour tous les temps de culmination L1 ou L2, que la stimulation soit réalisée avec ou sans le filtre.

Les amplitudes ont une distribution moins symétrique.

La répartition des valeurs maximales et minimales est reportée dans les tableaux n° VII et VIII.

Les figures n° 28 et 29 comparent les moyennes et les médianes observées. Globalement il n'existe pas de grandes différences entre les moyennes et les médianes. Les plus grands écarts sont observés pour les amplitudes A2 avec l'électrode Jet avec filtre et A avec l'électrode DTL sans filtre.

| ŒIL GAUCHE | | | | | | | | | | |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|
| | L1 JET AF | L1 DTL AF | L2 JET AF | L2 DTL AF | A1 JET AF | A1 DTL AF | A2 JET AF | A2 DTL AF | DIFF AMPL JET | DIFF AMPL DTL |
| Moyenne | 15 | 16 | 46 | 49 | -3 | -2 | 66 | 52 | 68 | 55 |
| Ecart-Type | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 3 | 39 | 56 | 39 | 34 |
| Médiane | 16 | 15 | 46 | 48 | -2 | -2 | 59 | 54 | 62 | 57 |
| Student | -0,78 | | -2,05 | | -0,61 | | 0,98 | | 1,34 | |
| Minimum | 9 | 9 | 37 | 40 | -10 | -11 | 5 | 3 | 7 | 5 |
| Maximum | 24 | 27 | 55 | 58 | 2 | 5 | 172 | 158 | 179 | 163 |

Tableau n° V : Paramètres statistiques recueillis pour les différentes mesures observées sur l'œil gauche.

| ŒIL DROIT | | | | | | | | | | |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|
| | L1 JET SF | L1 DTL SF | L2 JET SF | L2 DTL SF | A1 JET SF | A1 DTL SF | A2 JET SF | A2 DTL SF | DIFF AMPL JET | DIFF AMPL DTL |
| Moyenne | 12 | 12 | 30 | 31 | -64 | -50 | 73 | 59 | 137 | 109 |
| Ecart-Type | 1 | 1 | 3 | 2 | 30 | 24 | 41 | 32 | 60 | 45 |
| Médiane | 12 | 12 | 30 | 31 | -54 | -48 | 72 | 66 | 134 | 113 |
| Student | -0,51 | | -1,24 | | -1,89 | | 1,44 | | 1,95 | |
| Minimum | 9 | 9 | 23 | 24 | -135 | -98 | 2 | -2 | 31 | 23 |
| Maximum | 16 | 15 | 35 | 35 | -19 | -20 | 147 | 105 | 282 | 182 |

Tableau n° VI : Paramètres statistiques recueillis pour les différentes mesures observées sur l'œil droit.

L'analyse des coefficients de variation permet de constater que les coefficients les plus fins sont recueillis sur les données stimulées sans filtre, ainsi que pour les latences dans les deux types de stimulation.

Les coefficients de variation les plus larges sont attribués aux amplitudes notamment pour celles recueillies avec une stimulation sans filtre et cela pour les deux types d'électrode.

3.2. Comparaison des moyennes obtenues :

Nous constatons que les différentes variables étudiées suivent une loi normale. Nous pouvons donc comparer les différentes moyennes obtenues. Il s'agit de déterminer s'il existe une différence significative entre les moyennes observées pour les latences et amplitudes recueillies avec l'électrode Jet et celles recueillies avec l'électrode DTL.

Les résultats obtenus sont reportés dans les tableaux n° VII et VIII.

La ligne intitulée Student correspond à la valeur du test « t » obtenue pour chaque paramètre étudié : temps de culmination ou latence et amplitude.

Cette comparaison est effectuée à l'aide d'un test de Student (seuil $\alpha=5\%$) avec pour hypothèse H0 :

H0 : « Il n'existe pas de différence significative entre les moyennes obtenues avec les deux électrodes. »

T est la valeur du test obtenue dans les tables du test de Student.

- Si $-T < t < T$ alors on accepte H0 au seuil de risque 5%.
- Si $t > |T|$ alors on rejette H0 au seuil de risque 5%.

La valeur du test de Student obtenue dans les tables est de 2.052, l'ensemble des valeurs calculées pour chaque paramètre est inférieur à cette valeur, on peut donc accepter pour chaque paramètre l'hypothèse H0.

Il n'existe donc pas de différence significative entre les moyennes obtenues avec les deux types d'électrode.

Il est possible de conclure au seuil de risque 5% qu'il n'existe pas de différence significative entre les deux types d'électrodes. L'annexe I permet de montrer que les courbes ont la même allure avec les deux électrodes.

Les figures n°31 et 32 montrent la répartition des rapports des différences d'amplitudes entre les deux électrodes pour les deux types de stimulation. Globalement les amplitudes recueillies avec l'électrode DTL sont égales à 80% de celles recueillies avec l'électrode JET.

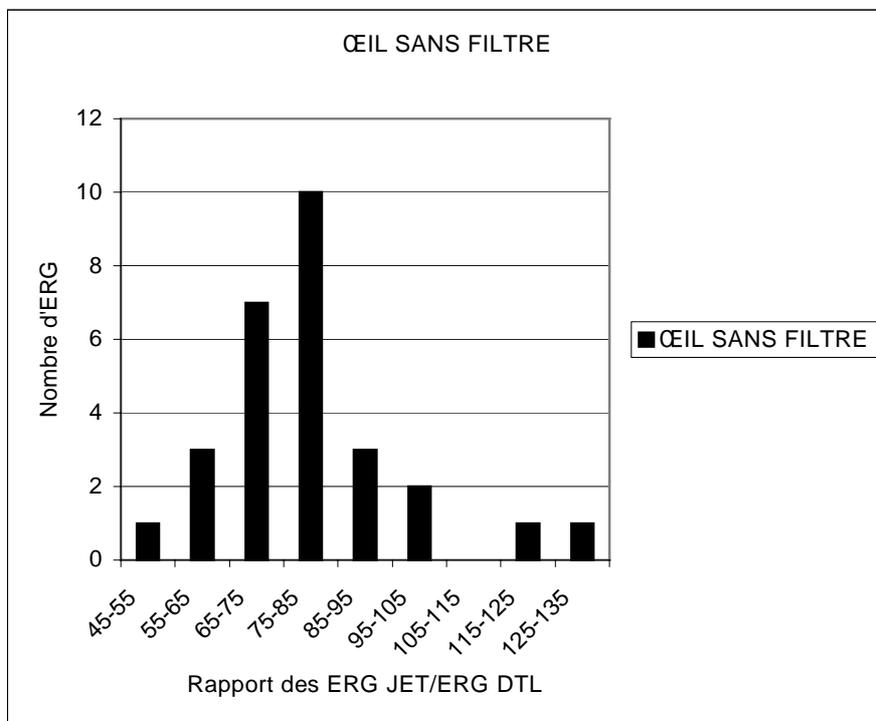


Figure n° 31 : Histogramme des rapports de différences d'amplitudes entre les ERG recueillis avec l'électrode JET et l'électrode DTL en ambiance scotopique avec une stimulation flash sans filtre.

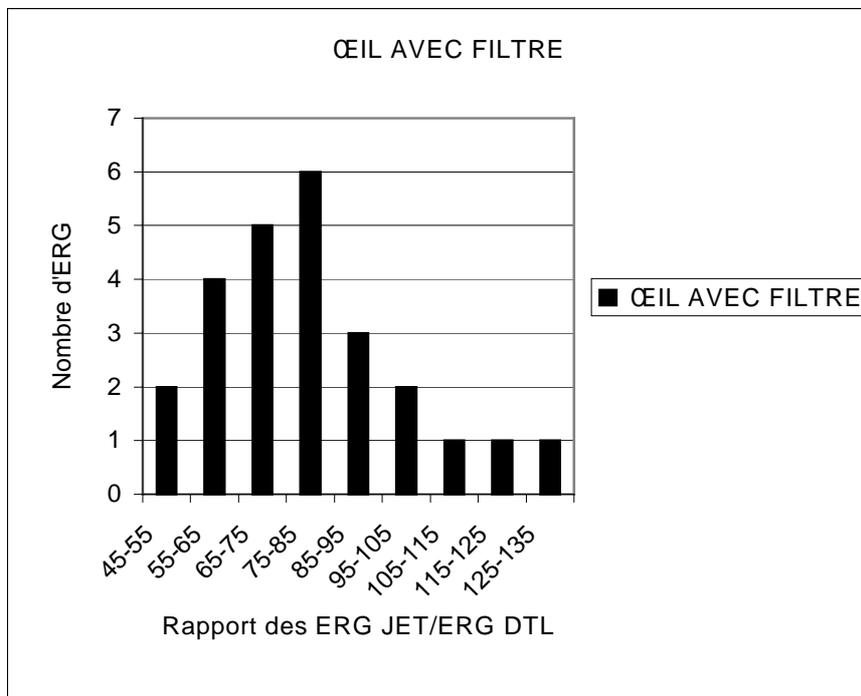


Figure n° 32 : Histogramme des rapports de différences d'amplitudes entre les ERG recueillis avec l'électrode JET et l'électrode DTL en ambiance scotopique avec une stimulation flash avec filtre.

E. Les ERG recueillis dans les autres espèces :

1. Les ERG obtenus chez les lapins :

Quelques illustrations de ces ERG se trouvent en annexe II. L'allure générale de ces ERG est classique pour les deux types de stimulation, à savoir la courbe monophasique lors d'une stimulation avec filtre et la courbe biphasique lors d'une stimulation sans filtre.

| LAPIN | AGE | ŒIL | ŒIL AVEC FILTRE | | | | Diff Amplitude | % Rapport |
|---------|-----|-----|-----------------|-------|--------|--------|----------------|-----------|
| | | | L1 | L2 | A1 | A2 | | |
| J350538 | 1 | OD | 10,20 | 36,40 | -5,68 | 80,60 | 86,28 | 130,77 |
| | | | 10,20 | 37,00 | -7,68 | 58,30 | 65,98 | |
| | | | | | | | | |
| J350538 | 1 | OG | 17,00 | 39,00 | -2,55 | 62,80 | 65,35 | 78,41 |
| | | | 18,60 | 36,80 | -4,04 | 79,30 | 83,34 | |
| | | | | | | | | |
| J350546 | 1 | OD | 10,60 | 42,20 | -6,07 | 67,30 | 73,37 | 74,64 |
| | | | 9,80 | 38,60 | -11,90 | 86,40 | 98,30 | |
| | | | | | | | | |
| J350546 | 1 | OG | 17,80 | 38,40 | -5,60 | 65,40 | 71,00 | 66,67 |
| | | | 13,20 | 41,60 | -0,49 | 106,00 | 106,49 | |
| | | | | | | | | |
| J350862 | 1 | OD | 10,80 | 37,60 | 0,55 | 102,00 | 101,45 | 45,55 |
| | | | 10,40 | 37,80 | -33,70 | 189,00 | 222,70 | |
| | | | | | | | | |
| J350862 | 1 | OG | 12,00 | 38,40 | -1,69 | 106,00 | 107,69 | 70,45 |
| | | | 11,00 | 39,80 | -2,86 | 150,00 | 152,86 | |
| | | | | | | | | |
| J350394 | 1 | OD | 10,20 | 35,80 | -5,42 | 104,00 | 109,42 | 94,79 |
| | | | 10,40 | 38,80 | -4,43 | 111,00 | 115,43 | |
| | | | | | | | | |
| J350394 | 1 | OG | 11,20 | 35,00 | -0,31 | 92,00 | 92,31 | 87,65 |
| | | | 10,60 | 39,80 | -2,32 | 103,00 | 105,32 | |
| | | | | | | | | |

Tableau n° VII : Résultats des ERG obtenus chez les lapins lors d'une stimulation avec filtre.

| LAPIN | AGE | ŒIL | ŒIL SANS FILTRE | | A1 | A2 | Diff Amplitude | % Rapport |
|---------|-----|-----|-----------------|-------|---------|--------|-------------------|-----------|
| | | | L1 | L2 | | | | |
| J350538 | 1 | OD | 13,00 | 42,40 | -70,50 | 35,50 | 106,00 | 91,46 |
| | | | 12,80 | 42,20 | -71,70 | 44,20 | 115,90 | |
| J350538 | 1 | OG | 14,20 | 35,20 | -37,10 | 28,90 | 66,00 | 89,67 |
| | | | 9,20 | 27,00 | -44,70 | 28,90 | 73,60 | |
| J350546 | 1 | OD | 11,80 | 40,40 | -52,70 | 43,90 | 96,60 | 57,47 |
| | | | 13,00 | 26,80 | -108,00 | 60,10 | 168,10 | |
| J350546 | 1 | OG | 14,00 | 29,00 | -50,00 | 48,70 | 98,70 | 97,43 |
| | | | 14,00 | 29,80 | -54,20 | 47,10 | 101,30 | |
| J350862 | 1 | OD | 10,80 | 35,80 | -81,00 | 109,00 | 190,00 | 111,96 |
| | | | 13,20 | 34,80 | -73,80 | 95,90 | 169,70 | |
| J350862 | 1 | OG | 10,80 | 33,40 | -69,60 | 98,00 | 167,60 | 102,38 |
| | | | 11,00 | 35,00 | -79,60 | 84,10 | 163,70 | |
| J350394 | 1 | OD | 11,60 | 35,60 | -66,30 | 72,00 | 138,30 | 114,30 |
| | | | 13,20 | 35,40 | -64,20 | 56,80 | 121,00 | |
| J350394 | 1 | OG | 12,80 | 34,80 | -55,90 | 50,10 | 106,00 | 78,75 |
| | | | 13,20 | 28,00 | -74,80 | 59,80 | 134,60 | |

Tableau n° VIII : Résultats des ERG obtenus chez les lapins lors d'une stimulation sans filtre.

Les rapports entre les différences d'amplitudes sont identiques à ceux recueillis chez le chien. Le rapport des amplitudes de l'électrode DTL est égal à 81% de celles de l'électrode Jet lors d'une stimulation avec filtre et de 92% lors d'une stimulation sans filtre.

L'analyse statistique n'est pas réalisée car elle ne serait pas significative étant donnée le faible nombre d'ERG enregistrés. Ils sont à considérer comme une illustration des possibilités offertes avec l'électrode DTL.

Les temps de latence sont respectivement de l'ordre de 12 et de 38 ms lors d'une stimulation avec filtre et de 12 et 34 ms lors d'une stimulation sans filtre.

2. Les ERG obtenus chez les rats :

Un ERG a été recueilli dans cette espèce. Il se trouve en annexe III. Le rat testé était d'une souche particulière et atteint d'une pathologie rétinienne. L'ERG recueilli est donc de faible amplitude. Il a une allure classique.

Aucune comparaison n'a été effectuée avec une électrode Jet car nous ne possédons pas d'électrode dont la lentille soit assez petite pour être en contact avec la cornée d'un rat.

3. Les ERG obtenus chez les microcèbes :

Dix ERG ont été recueillis dans cette espèce. Certains sont représentés en annexe IV. Leurs allures sont là aussi classiques.

Etant donné le faible diamètre de la cornée d'un microcèbe, seule l'électrode DTL a pu être utilisée.

| MICROCEBES | AGE (cycles) | ŒIL | ŒIL SANS FILTRE | | A1 | A2 | Diff amplitude |
|------------|--------------|-----|-----------------|------|--------|-------|----------------|
| | | | L1 | L2 | | | |
| 104A | 3 | OD | 19,6 | 38 | -36,7 | 52,3 | 89 |
| | | OG | 18 | 38,4 | -60,4 | 53,6 | 114 |
| 901AEA | 5 | OD | 17,4 | 38,4 | -66,2 | 49,1 | 115,3 |
| | | OG | 21,4 | 40,2 | -61,7 | 63,9 | 125,6 |
| 901AEC | 5 | OG | 11 | 40,8 | -10,6 | 37 | 47,6 |
| 813IIE | 5 | OD | 20,4 | 37,2 | -21,6 | 35,4 | 57 |
| | | OG | 18 | 36 | -18,4 | 27,6 | 46 |
| 941G | 6 | OD | 25,2 | 48,8 | -37,3 | 78 | 115,3 |
| 896AID | 4 | OD | 19,4 | 42 | -55,1 | 71,9 | 127 |
| | | OG | 22,2 | 41,2 | -36,8 | 11,5 | 48,3 |
| MOYENNE | | | 19,26 | 40,1 | -40,48 | 48,03 | 88,51 |

Tableau n° IX : Résultats des ERG obtenus chez les microcèbes lors d'une stimulation sans filtre.

Nous voyons que les temps de latence sont respectivement de 19 ms pour L1 et de 40 ms pour L2 lors d'une stimulation sans filtre et que les amplitudes sont de $-40 \mu\text{V}$ pour A1 et de $48 \mu\text{V}$ pour L2.

| MICROCEBES | AGE (cycles) | ŒIL | ŒIL AVEC FILTRE | | A1 | A2 | Diff amplitude |
|------------|--------------|-----|-----------------|-------|---------|--------|----------------|
| | | | L1 | L2 | | | |
| 104A | 3 | OD | 24 | 55,6 | -6,93 | 32,1 | 39,03 |
| | | OG | 20,4 | 44,8 | 4,95 | 21,3 | 16,35 |
| 901AEA | 5 | OD | 19,2 | 34,6 | -47,7 | -1,33 | 46,37 |
| | | OG | 21,2 | 46,4 | -61 | 29 | 90 |
| 901AEC | 5 | OG | 25 | 46 | -33 | 33,3 | 66,3 |
| 813IIE | 5 | OD | 18,6 | 36,6 | -37 | 15,7 | 52,7 |
| | | OG | 16,8 | 39,6 | -19,1 | 26,5 | 45,6 |
| 941G | 6 | OD | 33 | 56 | -13,6 | 47,4 | 61 |
| 896AID | 4 | OD | 19 | 42 | -41,2 | 22,2 | 63,4 |
| | | OG | 23,8 | 40 | -32,4 | 7,6 | 40 |
| MOYENNE | | | 22,1 | 44,16 | -28,698 | 23,377 | 52,075 |

Tableau n° X : Résultats des ERG obtenus chez les microcèbes lors d'une stimulation avec filtre.

Nous voyons que les temps de latence sont respectivement de 22 ms pour L1 et de 44 ms pour L2 lors d'une stimulation avec filtre et que les amplitudes sont de $-29 \mu\text{V}$ pour A1 et de $23 \mu\text{V}$ pour L2.

L'analyse statistique n'est pas réalisée car elle ne serait pas significative étant donnée le faible nombre d'ERG enregistrés. Ils sont à considérer comme une illustration des possibilités offertes avec l'électrode DTL.

Quelques tracés obtenus sont représentés en annexe IV.

DISCUSSION

IV. Discussion :

A . Animaux, matériels et méthodes :

1. Matériels d'électrorétinographie :

1.1. Le système d'enregistrement :

Le système d'enregistrement a toujours été le même lors du recueil des ERG. Divers essais ont été réalisés au cours du temps afin de s'assurer du bon fonctionnement de l'appareil en réalisant des enregistrements avec cet unique appareil de brancher. Cela nous permettait de vérifier qu'il n'existait pas d'onde de courant parasite qui aurait pu venir parasiter les enregistrements.

1.2. Les électrodes :

Afin d'éliminer le biais éventuel lié à la conduction du message électrique dans l'électrode, l'électrode DTL a été montée sur le même fil que la Jet électrode. La Jet électrode est la plus couramment utilisée en clinique c'est pourquoi elle a servi de référence dans notre étude. Les deux types d'électrode ont nécessité la présence d'un second opérateur pour maintenir les paupières ouvertes. Les deux électrodes étaient placées au centre de l'œil.

1.3. La source lumineuse :

Le flash était placé à 5 cm de l'œil. Ce flash est fixé sur un support articulé et permet un maintien en position fixe par rapport à l'animal anesthésié. La distance de stimulation est standardisée est standardisée à l'aide d'une jauge qui mesure 5 cm de longueur. Cela garantit une certaine reproductibilité des résultats obtenus.

La stimulation idéale qui permet d'obtenir la meilleure homogénéité dans le flash réside dans l'emploi d'un ganzfeld dont nous ne disposions pas pour cette expérience.

2. Le protocole expérimental :

2.1. L'anesthésie :

Différents protocoles anesthésiques ont été proposés dans la littérature. Le choix de l'association médétomidine-kétamine trouve sa justification pour plusieurs raisons :

- Anesthésie rapide et facile à mettre en œuvre.
- Faible effet sur le tracé et sur l'œil.
- Réversibilité de l'anesthésique.

2.2. Le positionnement de l'animal :

Les ERG sont réalisés sur les deux yeux ce qui nécessitent de placer successivement l'animal en décubitus latéral gauche puis droit. Ce double examen était nécessaire car les animaux examinés pouvaient éventuellement avoir une atteinte unilatérale de la rétine. Ce double examen nous permettait également un recueil d'ERG plus important. Il était nécessaire de repositionner les électrodes pour chaque œil. Les réponses enregistrées sur l'œil gauche sont d'une amplitude un peu plus faible car malgré des précautions d'examen une partie de la lumière envoyée lors de la stimulation de l'œil droit peut stimuler l'œil gauche.

3. Les animaux :

Tous les animaux étaient anesthésiés, immobiles et aucun mouvement de paupières n'étaient observés.

L'intérêt de cet échantillonnage de plusieurs races de chien qui allaient du Yorkshire au golden retriever était de tester les deux électrodes sur des rayons de courbure de cornée différents.

B. Résultats:

1.Valeur des résultats :

L'idéal serait d'avoir un échantillon de taille plus importante afin d'avoir une distribution des amplitudes qui tendrait davantage vers une distribution normale car il a été montré que chez le chien notamment la dispersion des amplitudes est assez importante. Le but de notre étude n'étant pas de créer des valeurs de référence dans une espèce mais de comparer deux méthodes de recueil d'électrorétinogrammes, nous pouvons donc accepter la taille de cet échantillon.

2.Discussion :

L'objet de cette étude était de voir si les tracés obtenus avec l'électrode DTL était comparable à ceux enregistrés à ceux obtenus avec l'électrode Jet. Nos résultats montrent que les ERG enregistrés avec l'électrode DTL sont semblables à ceux obtenus avec l'électrode Jet.

Les ERG obtenus avec l'électrode DTL ont la même oscillation que ceux obtenus avec l'électrode Jet (on retrouve les mêmes ondes a et b ainsi que les petites oscillations). On retrouve les mêmes temps de culmination pour chaque type d'électrode. Cette électrode DTL n'interfère en rien dans la mesure de ces temps.

La seule différence rencontrée significative est que l'amplitude des tracés obtenus avec l'électrode DTL est égale à 80% de celle obtenue avec l'électrode Jet. Lachapelle et al. avait montré dans son étude que cette réduction d'amplitude était de 50% alors que Dawson et al. dans leur première description de cette électrode ont obtenu un ratio de l'ordre de 90%.

Ces différences de rapport entre ces études tiennent dans le fait que ce ne sont pas les mêmes électrodes de références qui ont été choisis. Lachapelle et al. se servait d'une électrode de cornée de type Lovac alors que Dawson et al ont utilisé une électrode de type Burian-Allen.

Le placement de l'électrode DTL a aussi une influence sur l'amplitude de l'enregistrement. Nous nous sommes attachés à essayer de toujours placer l'électrode DTL à la même place sur l'œil à savoir du canthus externe de la cornée. Odom et al ont montré que c'était dans cette région que la variabilité des réponses étaient la moins importante et que le bruit de fonds était le plus faible.

Il faut avant tout s'assurer du parfait contact électrique entre le fil et la cornée. Le fil DTL doit être appliqué mouillé sur la cornée (avec du sérum physiologique) et on doit éviter le contact avec les canthi externe ou interne de l'œil.

Le contact électrique avec le fil de conduction doit être également vérifié.

3.Intérêts de l'utilisation de cette électrode :

- Différentes études se sont attachées à montrer la reproductibilité des enregistrements obtenus avec cette électrode DTL. Hebert et al. ont réalisés deux séries de mesure à une semaine d'intervalle et cette étude confirme la stabilité et la répétitivité des enregistrements d'ERG avec l'électrode DTL. Mohidin et al. ont aussi démontré cette stabilité et cette répétitivité des enregistrements.
- Un autre intérêt de l'utilisation de ce type d'électrode DTL réside comme le disait Lachapelle et al dans la grande la grande disponibilité et dans le faible coût de ce matériel. Il s'agit en effet d'une fibre disponible dans l'industrie textile et utilisée pour son pouvoir antistatique ;
- L'enregistrement d'ERG est possible comme l'ont montré Smith et Lamb sans anesthésie de cornée et sans pupille dilatée mais il existe cependant une assez grande variation ans les résultats obtenus. Eckstein et al ont également utilisés cette électrode dans l'enregistrement d'ERG de très jeunes enfants sans avoir eu besoin de recourir à une anesthésie générale.
- Zanlonghi et al. ont testé cette électrode sur un oeil ayant subi un trauma important. L'avantage de l'utilisation de l'électrode DTL était son caractère atraumatique et la bonne qualité de l'enregistrement obtenu.
- Nous émettrons quelques réserves par rapport à l'étude de Thompson et Drasdo qui soulignent la facilité d'utilisation de cette électrode. En effet une des difficultés rencontrée lors de notre étude était la mise en place correcte sur la cornée de ce fil.

CONCLUSION

L'électrorétinogramme est un examen de choix dans l'étude fonctionnelle de la rétine. Différentes études sont possibles grâce à l'électrode DTL sur des animaux dont la taille de la cornée n'était pas assez grande par rapport à une électrode classique de type lentille.

Nous avons vu que cette électrode DTL était fiable, que les résultats obtenus étaient reproductibles et stables.

Ce fil est largement disponible, d'un faible coût. Il ne provoque pas de lésions sur la cornée et une simple anesthésie locale peut suffire sur des animaux calmes pour recueillir un ERG.

Son utilisation plus large en clinique nécessiterait la mise au point de nouveaux référentiels de valeur standard. Nous considérons que son utilisation peut se faire assez largement dans le milieu de la recherche sur des cornées de rat ou pourquoi pas de souris.

Rapport-Gratuit.com

ANNEXES

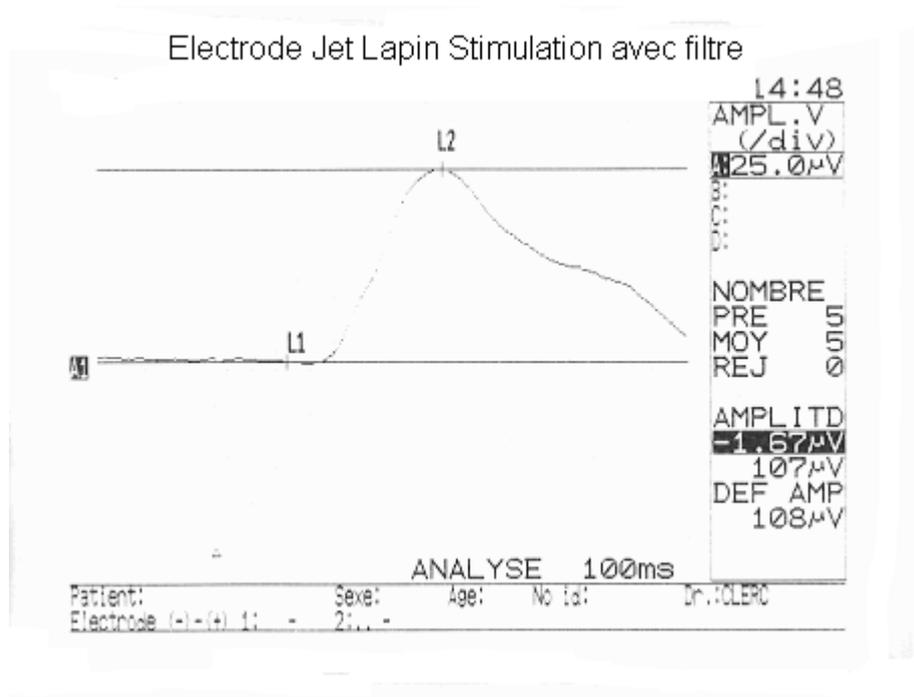


Figure n°33 : ERG recueilli chez le lapin J350862 avec une électrode JET lors d'une stimulation $-2.5 \log SF$.

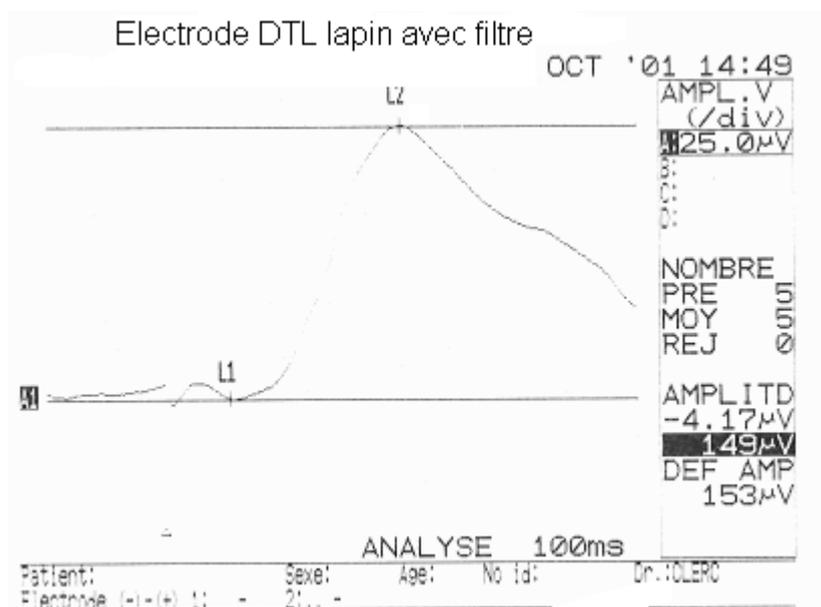


Figure n°34 : ERG recueilli chez le lapin J350862 avec une électrode DTL lors d'une stimulation $-2.5 \log SF$.

Nous remarquons que les inflexions des courbes sont les mêmes.

ERG lapin JET electrode sans filtre

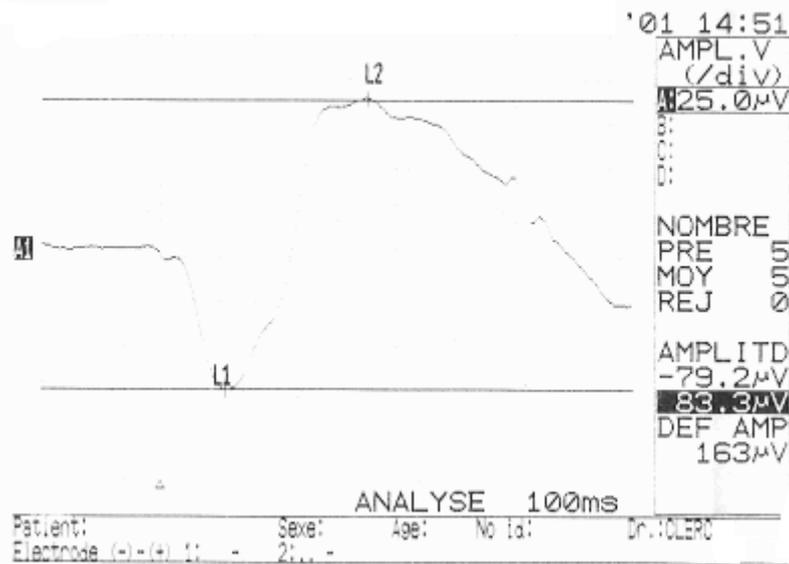


Figure n°35 : ERG recueilli chez le lapin J350862 avec une électrode JET lors d'une stimulation sans filtre.

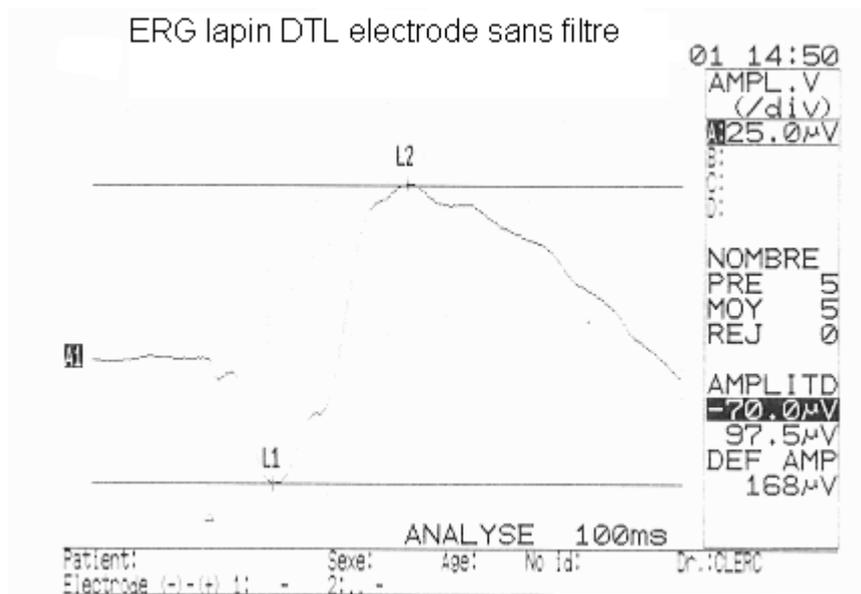


Figure n°36 : ERG recueilli chez le lapin J350862 avec une électrode DTL lors d'une stimulation sans filtre.

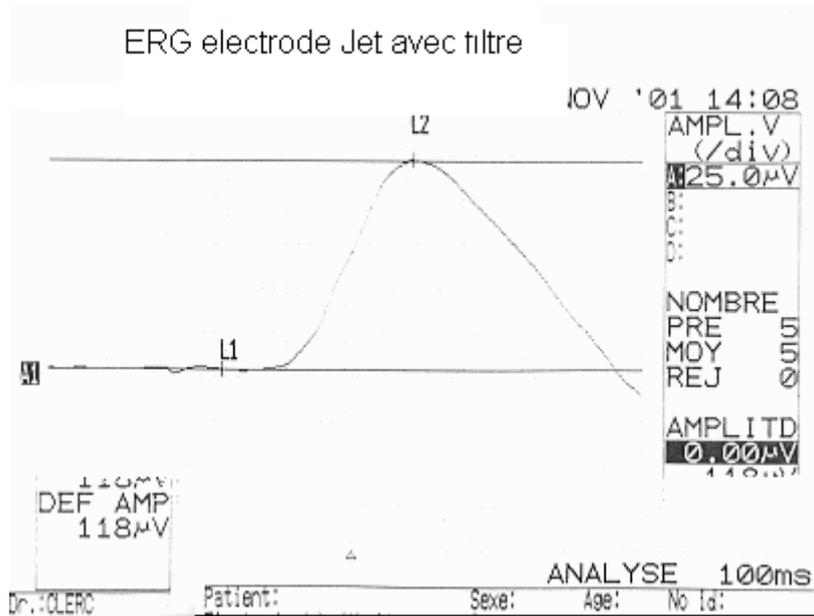


Figure n°37 : ERG recueilli chez le chien Lugassy avec une électrode JET lors d'une stimulation $-2.5 \log SF$.

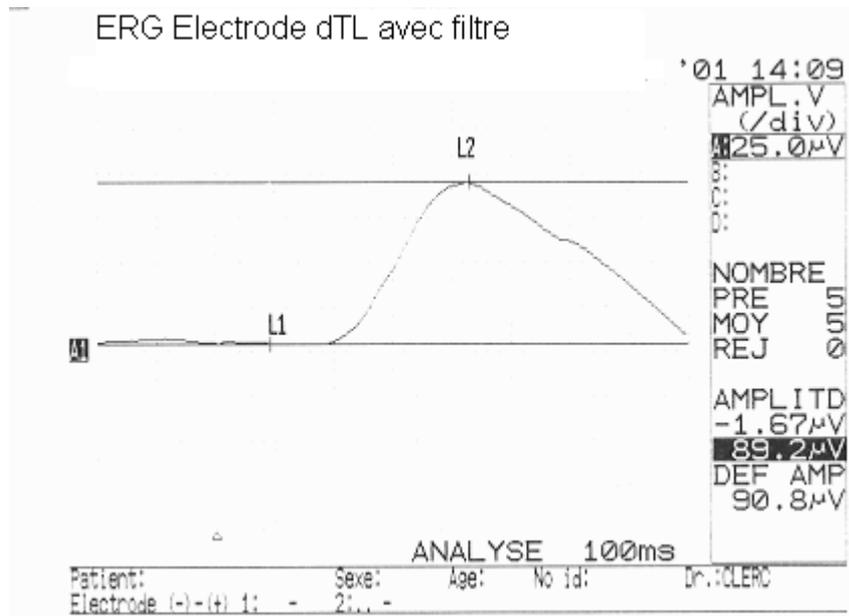


Figure n°38 : ERG recueilli chez le chien Lugassy avec une électrode DTL lors d'une stimulation $-2.5 \log SF$.

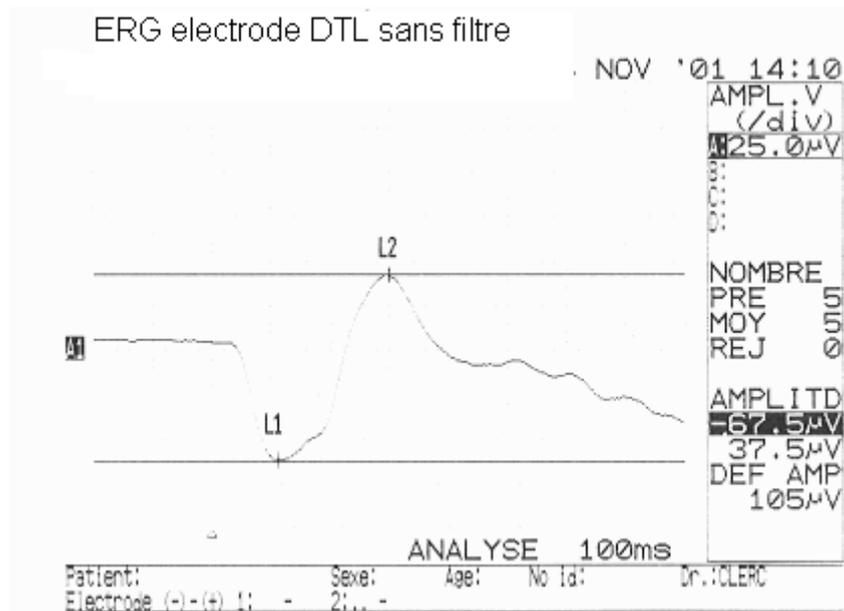


Figure n°39 : ERG recueilli chez le chien Lugassy avec une électrode JET lors d'une stimulation sans filtre .

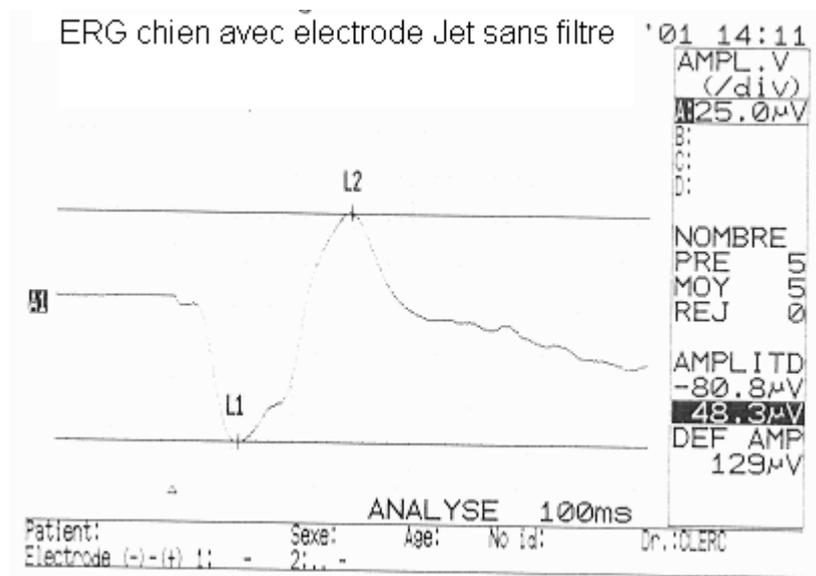


Figure n°40 : ERG recueilli chez le chien Lugassy avec une électrode JET lors d'une stimulation sans filtre.

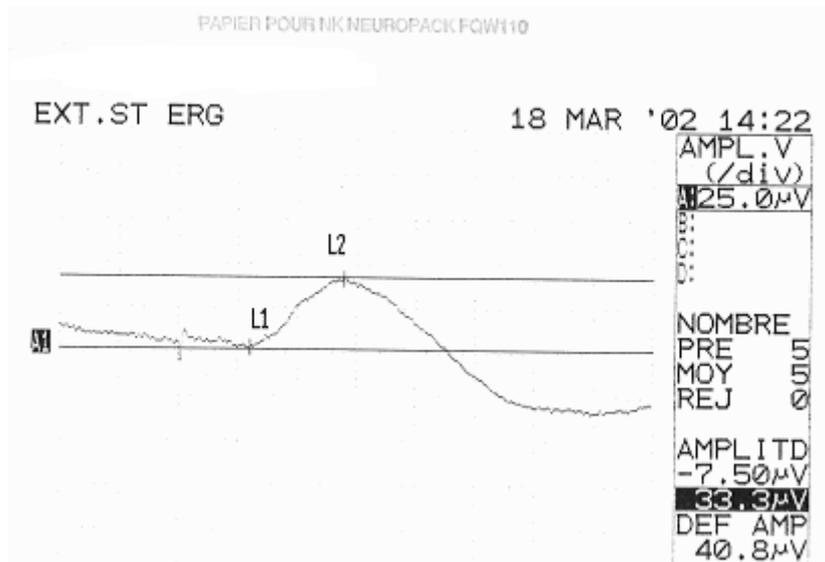


Figure n°41 : ERG recueilli chez le microcèbe avec une électrode DTL lors d'une stimulation $-2.5 \log SF$.

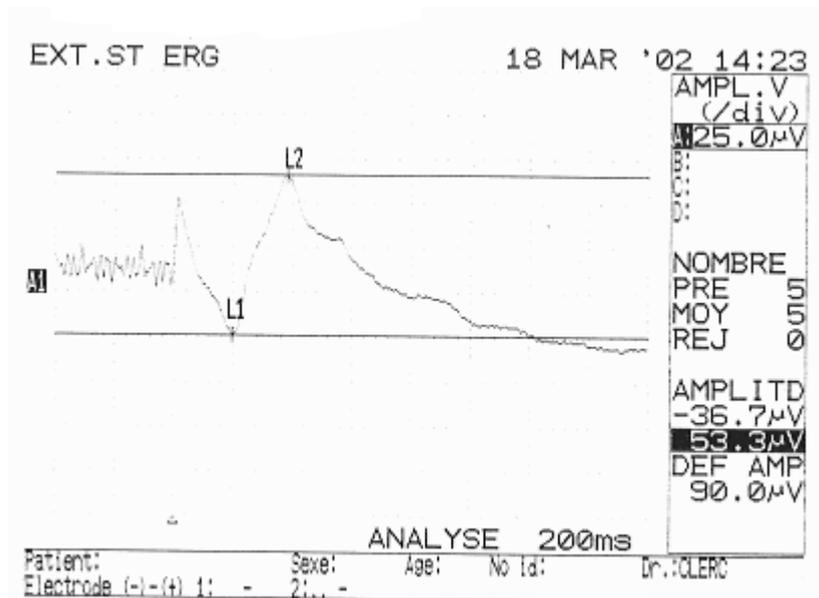


Figure n°42 : ERG recueilli chez le microcèbe avec une électrode DTL lors d'une stimulation sans filtre .

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie :

1. Aguirre G.
Electroretinography- are we missing an excellent diagnostic tool? *Veterinary and Comparative Ophthalmology*, 1995, **5 :1**, 2-3.
2. Arminton J.C.
The electroretinogram
Academic press.1974
3. Arnold H.
Pratique de l'électrorétinographie. La préparation des animaux pour l'enregistrement.
EPU. Electroretinographie, Paris-Alfort, 17 et 18 mars 1995.
4. Beltran W. ; Chahory S. ; Gnirs K. ; Escriou C. ; Blot S. ; Clerc B..
The electroretinographic phenotype of dogs with Golden Retriever muscular dystrophy. A paraître.
5. Chmielewski N.T.
Speciality boards. [Review questions on some aspects of electroretinography]. *Progress in veterinary neurology*. 1995, **6 :2**, 73-75.
6. Clerc B.
Protocoles d'électrorétinographie pour le chien. EPU. Electroretinographie, Paris-Alfort, 17 et 18 mars 1995.
7. Clerc B.
Factors influencing the retinal response. Cours du DU d'ophtalmologie d'Alfort Semaine 1 du 10 au 14 décembre 2001.
8. Coupland SG. ; Janaky M.
ERG electrode in pediatric patients :comparison of DTL fiber, PVA-gel, and non-corneal skin electrode. *Doc. Ophthalmol.* 1989 Apr ; **71(4)**, 427-433.
9. Dawson WW. ; Trick GL. ; Litzkow CA.
Improved electrode for electroretinography. *Invest. Ophthalmol. Vis Sci.* 1979 Sept ; **18(9)**, 988-991.
10. Eckstein A. ; Benoit J. ; Little JM. ;Lachapelle B.
Electroretinography study of unanesthetized young children. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 1994 Feb ; **204(2)**, 105-110.
11. Grimaud C.
Détermination expérimentale des valeurs de référence électrorétinographique chez le labrador retriever sain pour servir au dépistage précoce des dégénérescences rétiniennes.
Thèse Doc. Vét. ; Alfort, 1997.

12. Hebert M. ; Vaegan ; Lachapelle P.
Reproducibility of ERG responses obtained with the DTL electrode. Vision Research 1999 Mai ; **39 (6)**, 1069-1070.
13. Kessler I.
Intérêt en clinique de l'électrorétinographie chez le chien. (Etude dans le cadre de la consultation spécialisée d'ophtalmologie de l'école vétérinaire de Lyon). Thèse Doc. Vét., 1993.
14. Komary A.M. ; Smith P.J. ; Brooks D.E.
Electroretinography in dogs and cats. Part I: Retinal morphology and physiology. Compendium on continuing education for the practicing veterinarian. 1998, **20 :3**, 343-345, 348-350.
15. Komary A.M. ; Smith P.J. ; Brooks D.E.
Electroretinography in dogs and cats. Part II : Technique, interpretation, and indication. Compendium on continuing education for the practicing veterinarian. 1998, **20 :3**, 355-359, 362-366.
16. Kuze M. ; Uzi Y.
Comparison between Dawson, Trick and Litzkow electrode and contact lens electrode used in clinical electroretinography. Jpn J. Ophthalmol. 2000. Jul-Aug, **44 (4)**, 374-380.
17. Lachapelle P. ; Benoit J. ; Little J.M. ; Lachapelle B.
Recording the oscillatory potentials of the electroretinogram with the DTL electrode. Doc Ophthalmol. 1993 ; **83 (2)**, 119-130.
18. Le Gargasson J.F.
L'électrorétinogramme. (ERG). EPU. Electrorétinographie, Paris-Alfort, 17 et 18 mars 1995.
19. Lescure F.
Electrophysiologie oculaire. Encyclopédie vétérinaire, Paris 1992, Ophtalmologie 1700, 13p.
20. Lignereux Y.
Elements d'anatomie ophtalmique du chien. Pratique médicale et chirurgicale de l'animal de compagnie. 1997, **32 : supplément 4**, 7-20.
21. Loget B.
L'électrophysiologie sensorielle oculaire chez les animaux de laboratoire. Principe, intérêt, méthode et interprétation. Thèse Doc. Vét. Nantes, 1990.
22. Mac Culloch D.L. ; Van Boenel G.B. ; Borchet M.S.
Comparisons of contact lens, foil, fiber and skin electrodes for patterns electroretinograms. Doc. Ophthalmol. 1997-98 ; **94 (4)**, 327-340.

23. Marmor MF. ; Zrenner E.
Standard for clinical electroretinography (1994 update). Doc Ophthalmol. 1995 ; **89**, 199-210.
24. Miallon T.
Intérêt de l'électrorétinographie et des potentiels évoqués visuels dans le bilan préopératoire de la cataracte chez le chien. Thèse Doc. Vét. ; Lyon, 1990.
25. Miller T.
The uses and limitations of the electroretinogram in veterinary practice. British veterinary journal. 1993, **149** :1, 3-4.
26. Mohidin N. ;Yap M.K. ;Jacobs R.J.
The repeatability and variability of the multifocal electroretinogram for four different electrodes. Ophthalmic Physiol. Opt. 1997 Nov, **17** (6), 530-535.
27. Molvot J.L.
Contribution à l'étude de l'électrorétinographie chez le chien : évaluation des techniques de stimulation et de recueil des signaux. Thèse Doc. Vét. ; Lyon, 1990.
28. Narfström K.
Electroretinography :evaluating rod and cone function. EPU. Electrorétinographie, Paris-Alfort, 17 et 18 mars 1995.
29. Narfström K.
Late onset retinal degeneration in dogs and cats. EPU. Electrorétinographie, Paris-Alfort, 17 et 18 mars 1995.
30. Ofri R. ; Johnston D. ;Wawer T.
The electroretinogram : a powerful, yet often ignored, tool in the diagnosis of retinal diseases. Proceedings and abstracts 21ST congress of the world small animal veterinary association. WSAVA, Jerusalem, Israel, October 20-23 ; 1996.
31. Odom J.V. ; Maïda T.M. ; Dawson W.W. ; Holson R.
Pattern electroretinogram :effects of reference electrode position.
32. Rosolen S.G. ; Isard P.F. ; Lazard P. ; Rigaudière F.
Réalisation pratique de l'électrorétinogramme chez le chien. Bulletin bimestriel de la société vétérinaire pratique de France. 2000, **84** :3, 178-186.
33. Rosolen S.G. ; Rigaudière F.
Electrophysiologie sensorielle visuelle. Rappels anatomo-fonctionnels. Document de la société française d'études et de recherches en ophtalmologie. SFEROV. 32 p.
34. Roze M.
L'origine cellulaire de l'ERG. EPU. Electrorétinographie, Paris-Alfort, 17 et 18 mars 1995.
35. Roze M.
Physiologie de la rétine. Encyclopédie vétérinaire, Paris 1992, Ophtalmologie 0700, 5p.

36. Shirao Y. ;Ogawa H. ; Ohshika H.
Neural retinal contribution to the slow negative potential of the canine electroretinogram. Documenta ophtalmologica. 1998, **94 :4**, 293-306.
37. Sins M.H.
Partial masking of the canine electroretinogram by oscillatory potentials. The problem of frequency bandwidth. Journal of veterinary internal medecine. 1990, **4 :1**, 40-42.
38. Slatter D.
Fundamentals of veterinary ophtalmology. 2nd Ed ; Saunders ; 1990 ;630p.
39. Smith N.P. ; Lamb T.D.
The a wave of the human electroretinogram recorded with a minimally invasive technique. Vision research 1997 Nov ; **37 (21)**, 2943-2952.
40. Spiess B.M. ;Leber-Zucher A.C.
Oscillatory potential in the b-wave of the electroretinogram of the dogs. Schweizer archiv fur Tierheilkunde. 1992, **134 :9**, 431-443.
41. Steiss J.E. ; Storrs D.P. ; Wright J.C.
Comparison of electroretinograms recorded with a contact lens versus needle electrode in clinically normal dogs. Progress in veterinary and comparative ophtalmology. 1992, **2 :4**, 143-146.
42. Strain G.M. ; Carter J.D.
Atraumatic loop electrodes for electroretinography. Veterinary research communications ; 1987 ; **11 (1)**, 9-13.
43. Witzel D.A. ; Johnson J.H. ; Pitts D.G. ; Smith E.L.
Scleral contact lens electrodes for electroretinography in domesticated animals. Am.J. Vet Res. ; 1976 ; **37 (8)**, 983-985.
44. Yanese J. ;Ogawa H. ;Ohtshika H.
Scotopic treshold response of the electroretinogram of dogs. Am. J. Vet Res. 1996 ; **57 :3**, 361-366.
45. Yanese J. ; Ogawa H. ; Ohtsuka H.
Rod and cone components in the dog electroretinogram during and after dark adaptation. Journal of veterinary medical science. 1995, **57 : 5**, 877-881.

Contribution à la mise au point d'une électrode DTL pour le recueil de l'ERG chez différentes espèces d'animaux.

Nom : LELIEVRE DU BROEUILLE

Prénom : Arnaud

Résumé :

La première partie de cette thèse est consacrée à l'étude anatomique et histologique de la rétine. Les éléments concernant la physiologie de la rétine du chien sont ensuite abordés.

Dans la seconde partie, les principes généraux nécessaires à la réalisation et à l'interprétation d'un électrorétinogramme sont exposés.

Dans la troisième partie, un protocole expérimental destiné à comparer les enregistrements obtenus avec une électrode de référence (Jet électrode) et une nouvelle électrode (DTL) est présenté. Les résultats obtenus chez le chien sont analysés statistiquement. L'électrode DTL est ensuite testée chez le lapin, le rat et le microcèbe.

Mots-clès : ERG – Chien – Rétine – Lapin – DTL électrode – Microcèbe.

JURY :

Président : Pr

Directeur : Pr B.CLERC

Assesseur : Dr J.M. MICHAUX

Adresse de l'auteur :

47, rue Nationale
62164 AMBLETEUSE

Contribution à la mise au point d'une électrode DTL pour le recueil de l'ERG chez différentes espèces d'animaux.

Surname : LELIEVRE DU BROEUILLE

Given name : Arnaud

Summary :

In the first part of this study, the anatomy and the histology of the retina are described. Elements concerning the physiology of the retina are then exposed.

In the second part, generalities about how to realise and read an electroretinogram are presented.

In the third part, an experimental protocol intend for compare the results obtained with a jet electrode and this obtained with a DTL electrode, is made. Dog results are analysed. DTL electrode is tried on rabbit, rat and microcebus.

Mots-clès : ERG – Dog – Retina – Rabbit – DTL electrode – Microcebus.

JURY :

President : Pr

Director : Pr B.CLERC

Assessor : Dr J.M. MICHAUX

Author's Adress :

47, rue Natrionale
62164 AMBLETEUSE