

ACTUALITÉS EN OPHTALMOLOGIE DES REPTILES

NEWS IN REPTILE OPHTHALMOLOGY

Par Franck RIVAL¹

(Communication présentée le 11 mars 2021, manuscrit accepté le 11 juin 2021)

RÉSUMÉ

Résumé : Les Reptiles, comme tous les animaux présentés dans nos structures vétérinaires, bénéficient des progrès constants en ophtalmologie. Après un bref rappel des spécificités oculaires de ces espèces, 4 exemples d'actualités dans ce domaine sont présentés dans cet exposé. Tout d'abord, actualité concernant l'anatomo-physiologie avec la mise en évidence, sans préparation, sur l'animal vigile, de la vascularisation de la lunette des Ophidiens. Puis actualité concernant une méthode d'examen oculaire avec l'utilisation de l'OCT (Optical Coherence Tomography = Tomographie par Cohérence Optique) chez les Reptiles. Ensuite, actualité concernant les affections oculaires avec un exemple de description d'un cas d'ankyloblépharon chez un Saurien. Pour finir, actualité concernant la thérapeutique avec l'étude d'une technique de reconstruction après énucléation chez un Ophidien.

Mots-clés : Reptile, Herpétologie, Ophtalmologie, Œil, Lunette, OCT, Ankyloblépharon, Enucléation.

ABSTRACT

Reptiles, like all animals presented in our veterinary structures, benefit from constant progress in ophthalmology. After a brief reminder of the ocular specificities of these species, 4 examples of current events in this field are presented in this presentation. First of all, news in anatomo-physiology, displaying of the spectacle vascularization in Ophidians without preparation, in non sedated animals. Then, updating in eye examination with the use of OCT (Optical Coherence Tomography) in Reptiles. Next, news about eye diseases with an original description of a case of ankyloblepharon in a Saurian. Finally, news in surgical treatment with the study of a reconstruction technique after enucleation in an Ophidian.

Key-Words: Reptile, Herpetology, Ophthalmology, Eye, Spectacle, OCT, Ankyloblepharon, Enucleation.

INTRODUCTION

Les Reptiles, par leur origine commune (Sauropsidés), présentent certaines similitudes anatomiques avec les Oiseaux. Les variations anatomiques oculaires sont importantes selon les espèces concernées. Les affections oculaires représentent 5,9% des motifs de consultation (Zwart & Korbel, 2014). Les Reptiles, comme tous les animaux présentés dans nos structures vétérinaires, bénéficient des progrès constants en ophtalmologie. Cet article de communication décrit quatre actualités récentes en ophtalmologie des Reptiles. La première actualité concerne l'anatomo-physiologie avec la mise en évidence, sans préparation, sur l'animal vigile, de la vascularisation de la lunette des Ophidiens. Cette étude, menée conjointement avec deux de mes confrères et amis les docteurs Balland et Dulaurent, a permis d'obtenir des clichés inédits des vaisseaux présents dans cette lunette sans impact sur la santé des animaux.

La seconde actualité concerne une méthode d'examen oculaire avec l'utilisation de l'OCT (Optical Coherence Tomography = Tomographie par Cohérence Optique) chez les Reptiles. Cette technique d'imagerie, très utile et très utilisée en médecine humaine, permet l'acquisition d'images proches d'une coupe histologique des tissus, sans anesthésie et sans aucun effet secondaire pour les animaux. La troisième actualité concerne les affections oculaires avec un exemple de description d'un cas d'ankyloblépharon chez un Saurien. Ce cas clinique, décrit pour la première fois chez un lézard, nous montre les progrès considérables réalisés en pratique vétérinaire herpétologique. La dernière actualité concerne la thérapeutique avec l'étude d'une technique de reconstruction après énucléation chez un Ophidien. L'utilisation des biomatériaux est aussi possible chez les reptiles et ce cas en montre l'intérêt.

¹ DVM, CES Ophtalmologie, 238 Chemin du Petit Montalivet, 26760 Montéleger. Courriel : frival26@gmail.com, Site web : www.vetnac.com.



RAPPELS ANATOMIQUES

La classe des Reptiles se divise en quatre ordres dont trois seulement nous intéressent. Il s'agit de l'ordre des Squamates comprenant les Sauriens (ou lézards) et les Ophidiens (ou serpents). Vient ensuite l'ordre des Crocodyliens, non concerné par cette étude. Enfin, l'ordre des Chéloniens (ou tortues), largement représenté en consultation herpétologique. La très grande diversité des espèces rencontrées se retrouve au niveau de la diversité anatomique des yeux et de la diversité de la pathologie (Rival, 2007).

Les yeux des Reptiles sont en général bien développés et situés en position latérale. Les espèces à activité crépusculaire ou nocturne ont fréquemment une pupille en fente verticale tandis que les espèces diurnes ont plutôt une pupille de forme circulaire, mais des exceptions existent et une relation entre la forme de la pupille et le mode de prédation est émise (Brischoux *et al.* 2010). La qualité de la vision est mauvaise chez les Ophidiens qui perçoivent plus les mouvements que les formes exactes mais assez bonne chez les Sauriens et Chéloniens également dotés d'une vision binoculaire réduite. Le réflexe consensuel est peu ou pas développé. Tous les types d'yeux ont un caractère histologique commun : la musculature interne de l'œil est striée, comme chez les oiseaux, tandis qu'elle est lisse chez les autres vertébrés. Chez toutes les espèces, la glande de Harder est en général bien développée. Chez les Ophidiens, embryologiquement, les paupières ont fusionné et ont formé la lunette qui est transparente. Cette lunette remplacée à chaque mue, joue un rôle de barrière et de protection. Elle est vascularisée alors que la cornée ne l'est pas. Chez les Ophidiens toujours, la glande de Harder évacue ses sécrétions lubrifiantes dans l'espace cornée-lunette puis vers la bouche à côté de l'organe de Jacobson. L'acuité visuelle des Reptiles est variable selon les espèces, précise chez certaines (lézards) jusqu'à nulle (serpents fouisseurs : Typhlopides). Chez les serpents, la vision est complétée par d'autres fonctions comme la thermo-réception, système thermosensible permettant à l'animal de distinguer la chaleur de l'animal en mouvement de celle de son environnement. Cette perception est possible grâce aux fossettes thermo-réceptrices chez les Pythoninés ou les fossettes loréales chez les Crotalinés. Une autre fonction est la fonction voméronasale grâce à l'organe de Jacobson. Situé dans la cavité nasale, cet organe s'ouvre au niveau du plafond de la cavité buccale par deux orifices. Les cellules de cet organe réagissent au contact de molécules chimiques apportées par la langue bifide, par des influx nerveux gagnant les bulbes olfactifs accessoires (Millichamp *et al.* 1983).

ACTUALITÉ CONCERNANT L'ANATOMO-PHYSIOLOGIE

Les serpents, certains lézards fouisseurs et presque tous les geckos possèdent un tégument fixe et transparent qui recouvre la cornée. Cette pseudo membrane, appelée lunette pré cornéenne, est vraisemblablement issue de la fusion des paupières, au cours du processus d'évolution (Dulaurent, 2014). L'anatomie et la physiologie de cette structure singulière ont stimulé l'intérêt des

biologistes depuis bientôt deux siècles. En France, André Rochon-Duvigneaud (1970) a probablement été le pionnier de la description systématique de l'anatomie des serpents au début du 20^{ème} siècle. Plus récemment, l'avènement des techniques modernes d'imagerie a permis à certains scientifiques de décrire de façon extrêmement précise la physiologie de la lunette. Le plus éminent d'entre eux est Kevin van Doorn, un biologiste canadien dont les travaux de thèse d'université ont été publiés en 2013. De nombreux éléments de ce développement sont issus de ses recherches.

Anatomie de la lunette

L'anatomie de la lunette est semblable à celle de la peau et consiste en un *stratum corneum* (l'écaille spectaculaire), un épiderme complexe et un derme. Toutefois, contrairement à la peau, sa face interne est bordée d'une couche de cellules conjonctivales cuboïdes, à la manière des paupières. La lunette n'est pas directement en contact avec la cornée. Elle en est séparée par un espace très réduit appelé espace sous-spectaculaire, rempli d'un liquide permettant les mouvements de l'œil lui-même, malgré la fixité de la lunette. La nature de ce liquide est mal connue mais elle correspondrait au film lacrymal tel que nous le connaissons. Une étude menée par Souza (2014) a montré que le fluide serait produit par une seule glande séreuse, localisée dans l'espace rétrobulbaire. Il serait ensuite acheminé vers l'espace sous spectaculaire par un réseau de canalicules, puis éliminé par un seul point lacrymal localisé en région ventro nasale et prolongé par un conduit lacrymal menant directement à la cavité buccale et s'y abouchant près du conduit de l'organe voméro nasal. L'agencement des cellules qui composent la lunette en assure la transparence, à l'exception des zones où s'étend un réseau vasculaire plus ou moins dense. Ce réseau a été mis en évidence de façon très nette par Mead (1976). En *post-mortem* immédiat, il a injecté un gel de micro silicone dans la circulation générale de serpents, ce qui a eu pour effet de marquer l'empreinte des vaisseaux spectaculaires en les dilatant considérablement. Cette étude a montré que l'orientation des vaisseaux était différente en fonction des espèces (orientation verticale ou circonferentielle). Quelques années plus tôt, Lüdicke (1969), avait déjà montré que la vascularisation spectaculaire était moins dense en regard des zones fovéales et des zones de rétine responsables de la vision binoculaire. Ces études n'avaient toutefois pas permis de déterminer de façon précise le rôle de la vascularisation de la lunette. Van Doorn a montré que le flux sanguin dans la lunette n'est pas constant et est soumis à des variations importantes. Lorsque l'individu est en phase de repos, des périodes de perfusion et de vacuité des vaisseaux spectaculaires alternent régulièrement. En phase de prédation ou de menace, la période de vacuité des vaisseaux est beaucoup plus longue. Van Doorn a émis l'hypothèse que cette vacuité limiterait la perte d'acuité visuelle dans les moments où la vision doit être la meilleure possible pour assurer la capture d'une proie, ou l'efficacité d'une fuite. Une autre étude de van Doorn a montré que le flux vasculaire spectaculaire est maximal pendant la période de mue, ce qui correspond à l'étude angiographique de Bellhorn et à son

étude OCT qui montre l'épaississement de la lunette pendant la phase de mue, et même des vaisseaux visibles en OCT durant la phase tardive de la mue. Enfin, la lunette possède aussi une innervation assurée par un réseau de fibres nerveuses qui pénètrent dans le derme de la lunette de façon radiaire à partir de l'écaille périphérique pour y former un réseau anastomotique complexe. Depuis le derme, des fibres nerveuses très fines cheminent vers la couche épithéliale à la base du *stratum corneum*.

Fonction de la lunette des serpents

La première fonction de la lunette est un rôle de protection de la cornée et du reste de l'organe visuel. La lunette des serpents a aussi un rôle optique. Elle possède en effet un pouvoir réfractif important, presque équivalent à celui du cristallin chez la majorité des Colubridés. A titre anecdotique, la lunette minimiserait la perte d'eau par évaporation depuis la cornée, et permettrait de protéger les structures oculaires contre les radiations solaires.

Physiologie de la lunette

Comme le reste du tégument, la lunette est soumise à un phénomène d'élimination et de renouvellement périodique appelé mue. La fréquence et la durée de la mue sont variables et dépendent de l'humidité, de la température ambiante, du statut hormonal du sujet, de son état corporel, de sa charge parasitaire, de la présence de maladies intercurrentes, de l'espèce et de l'âge. La mue est un phénomène complexe pendant lequel les cellules du *stratum germinativum* superficiel se multiplient et forment un épiderme à trois couches. Lorsque les nouvelles structures sont formées, de la lymphe diffuse dans la région et de l'action enzymatique locale résulte la formation d'une zone de clivage qui permet l'élimination des anciennes structures. Pendant la mue, la lunette devient opalescente et ne retrouve sa transparence que quelques heures avant l'élimination de l'ancienne lunette. Des études récentes ont montré que le flux sanguin dans les vaisseaux spectaculaires devient intense et continu pendant la mue, de façon concomitante avec une activité métabolique accrue dans la substance propre de la lunette (van Doorn, 2013). Cette activité métabolique, combinée à l'intensité du flux sanguin, permettrait certainement de faciliter la création de la nouvelle lunette et l'élimination de la précédente.

Photographie de la vascularisation de la lunette

Historiquement, une des premières photographies de cette vascularisation (voire la première) a été celle de Mead (1976). L'obtention de l'image a nécessité l'injection de microsilicone après euthanasie. Plus récemment (2013), l'important travail de van Doorn a montré cette vascularisation et son rôle en vidéo. C'est en 2016 que des photographies de qualité, sans euthanasie des animaux et sans préparation, ont été réalisées par Balland, Dulaurent et moi-même (Figure 1). Nous sommes arrivés à prendre une image de la vascularisation de la lunette (anatomie) obtenue aux différents stades possibles de la structure (physiologie), sur l'animal vivant (sans préparation) non anesthésié

(différent pour l'angiographie). Cela a été rendu possible après de nombreux essais dont les modalités précises devraient être publiés dans les mois qui viennent.

Plus récemment encore (2017 et 2018), Bellhorn a publié plusieurs magnifiques clichés de cette vascularisation par angiographie fluorescéinique sur des pythons royaux anesthésiés.

Conclusion

La lunette des serpents est un organe fascinant, au fonctionnement complexe. Les études récentes menées par van Doorn et d'autres biologistes ont permis de mieux comprendre certains mécanismes physiologiques. La grande variété des espèces de Reptiles existantes rend nécessaire la réalisation de ces études sur un plus grand nombre de sujets d'espèces différentes, afin de tirer des conclusions définitives sur la fonction de la lunette. Mieux connaître la physiologie de la lunette permettra sans doute une meilleure gestion des phénomènes pathologiques auxquels l'ophtalmologiste clinicien sera de plus en plus confronté, avec la popularisation croissante de ces nouveaux animaux.

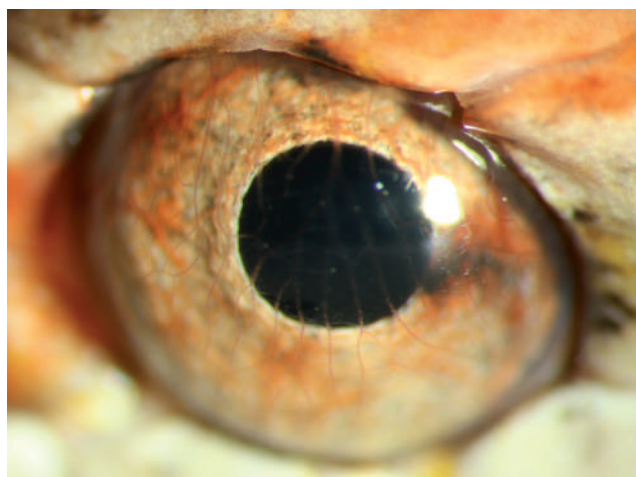


Figure 1 : Photo sans préparation de la vascularisation de la lunette d'un Ophidien (*Pantherophis guttatus*) (Crédit photo : Balland Olivier, Dulaurent Thomas, Rival Franck).

ACTUALITÉ CONCERNANT LE DIAGNOSTIC

La structure générale de l'œil des vertébrés est généralement constante. Cependant, la grande variété des milieux dans lesquels ils vivent (aériens, terrestres ou aquatiques) et leur mode de vie (nocturne ou diurne, prédateurs ou proies) peuvent avoir eu une influence subtile sur l'architecture de l'œil au cours de l'évolution. L'anatomie des yeux des Reptiles a été largement étudiée au cours des dernières décennies, mais presque toutes les études anatomiques ont été réalisées à l'aide de techniques histologiques traditionnelles. L'un des principaux inconvénients de ces techniques est que la fixation tissulaire dans le formol affecte souvent la forme des structures. L'altération de la forme des tissus interdit la biométrie et la description précise. Le but de

notre étude (Rival *et al.* 2015) était de fournir des images originales du segment antérieur de l'œil de certaines espèces d'ophidiens, chéloniens et sauriens, en utilisant la tomographie par cohérence optique (OCT). L'OCT devient un outil essentiel en ophtalmologie car il s'agit d'une procédure non invasive sûre, qui permet l'évaluation des structures du segment antérieur sans avoir besoin de sédation des patients. Elle est indiquée pour la biométrie précise et la détermination de la forme de la cornée, de la capsule antérieure du cristallin et de la chambre antérieure.

Matériel et méthodes

Animaux examinés

Quarante et un animaux adultes de 16 espèces de Reptiles (8 ophidiens, 4 chéloniens et 4 sauriens) sont examinés à l'Elapsoidea Vivarium de Meyrin (Suisse). L'espèce, le sexe, l'âge, le poids, la distance nez-cloaque et l'habitat sont recueillis pour chaque animal. Un examen général et biomicroscopique complet (Kowa SL15) est réalisé avant les mesures OCT. Une photo est faite pour chaque animal avec un appareil photo numérique DSLR, un objectif macro et un flash annulaire macro. Seuls des animaux sains sont inclus dans l'étude.

Tomographie par cohérence optique (glossaire pour les acronymes en fin d'article)

L'instrument utilisé pour cette étude est constitué d'un OCT spectral (OCT / SLO, Groupe OTI / USA ; EDC Vet, Carvin, France) avec un module cornéen spécifique. Chaque animal est soigneusement manipulé par un vétérinaire qualifié en soins aux animaux exotiques. Pour préserver le bien-être animal, seul l'œil gauche est examiné. L'œil est positionné à 5 centimètres de la lentille de l'OCT, de sorte que la ligne de balayage est positionnée au centre de l'œil, traversant la partie centrale de la région pupillaire. Une séquence vidéo est enregistrée pour chaque œil et pour chaque animal. Une image est sélectionnée dans la séquence vidéo, de manière à montrer avec précision le segment antérieur, la zone pupillaire et la capsule antérieure du cristallin. L'aspect macroscopique du segment antérieur est décrit pour chaque espèce. Quatre paramètres sont évalués pour chaque œil : (a) épaisseur cornéenne périphérique (Peripheral Corneal Thickness = PCT) (b) épaisseur cornéenne centrale (Central Corneal Thickness = CCT) (c) rapport entre le CCT et l'ACD (rapport CCT / ACD) (d) profondeur de la chambre antérieure (Anterior Chamber Depth = ACD).

La CCT est déterminée comme la distance entre l'épithélium cornéen et l'endothélium dans la région du vertex cornéen. La PCT est considérée à la même distance, mais à la périphérie cornéenne, près du limbe. L'ACD est déterminée comme la distance entre l'endothélium cornéen dans la région du sommet cornéen et le pôle antérieur du cristallin (de la surface endothéliale au contact de l'humeur aqueuse à celle de la basale de l'épithélium antérieur cristallinien). Toutes ces mesures sont réalisées avec le logiciel fourni avec la machine OCT.

Résultats

Sauriens (Tableau 1)

Le segment antérieur présente une architecture constante chez les lézards. L'organisation lamellaire de la cornée n'est visible chez aucun animal. Ni l'épithélium cornéen, ni l'endothélium et la membrane de Descemet ne se distinguent des lamelles stromales, qui se présentent sous forme de lignes échogènes, minces et superposées. La cornée est très fine, relativement à la taille des yeux. La distribution de l'épaisseur cornéenne est variable. Certaines cornées présentent une épaisseur constante tandis que chez d'autres, la cornée est plus épaisse en son centre qu'à sa périphérie. Certaines autres espèces présentent une organisation opposée. La chambre antérieure est très profonde, relativement à la taille de l'œil, chez tous les Sauriens examinés. Elle se présente sous la forme d'un large espace anéchogène, compris entre une cornée très incurvée et une capsule de lentille antérieure relativement plate, marquée par une fine ligne échogène. La lentille ne fait saillie dans la chambre antérieure chez aucun des Sauriens examinés. Le rapport entre l'épaisseur cornéenne centrale et la profondeur de la chambre antérieure (rapport CCT / ACD) est très faible en photo. L'iris apparaît comme une structure droite, fine et hautement échogène. Sa partie antérieure est irrégulière et présente un dessin en relief variable, correspondant parfois à la vascularisation iridienne, en particulier chez le gecko léopard (*Eublepharis macularius*), sur lequel le grand cercle artériel de l'iris est clairement identifié. L'angle iridocornéen est à peine visible et aucune des structures filtrantes classiques n'a été identifiée. La forme de la pupille est circulaire sauf pour *Eublepharis macularius*, chez lequel elle apparaît comme une fente verticale étroite.

Tableau 1 : Exemples de mesures effectuées sur une sélection de Sauriens (Rival *et al.* 2014).

Espèce	Nom commun	CCT (µm)	PCT (µm)	ACD (µm)	CCT/ACD ratio
<i>Eublepharis macularius</i>	Gecko léopard	50-120	50-110	940-2000	0,035-0,08
<i>Iguana iguana</i>	Iguane vert	200	180	2200	0,09
<i>Tiliqua scincoides</i>	Scinque à langue bleue	40-80	50-90	770-1300	0,04-0,07
<i>Physignathus cocincinus</i>	Dragon d'eau	110	110	2100	0,05

Ophidiens (Tableau 2)

L'architecture du segment antérieur est assez similaire chez tous les serpents, mais les différences sont plus évidentes que chez les Sauriens. L'organisation stratifiée de la cornée est facilement visible. L'épithélium apparaît comme une seule ligne très échogène, à l'exception du python birman (*Python molurus bivittatus*) et du python royal (*Python regius*), chez lesquels la

lunette est visible et apparaît comme une ligne échogène lumineuse séparée de l'épithélium cornéen échogène épais par un très mince espace non échogène. Les lamelles stromales sous-jacentes sont visibles chez tous les animaux alors que la membrane de Descemet et l'endothélium cornéen sont plus discrets et souvent mal identifiés. L'épaisseur de la cornée était presque constante chez les *Boidae* (python royal, python birman, boa émeraude et python vert) alors que le CCT est supérieur au PCT chez les *Colubridae* (Corn Snake, Neslon's Milksnake et California Kingsnake) formant une sorte de rouleau au centre de la cornée. La chambre antérieure est très étroite et comprise entre la cornée incurvée et une grande lentille sphérique positionnée antérieurement. Le cristallin fait même saillie dans la chambre antérieure, se projetant à travers la zone pupillaire chez les *Colubridae* alors qu'il reste derrière la projection de l'iris chez les *Boidae*. Les courbures de la cornée et du cristallin sont grossièrement parallèles. Le ratio CCT / ACD est très élevé par rapport aux Sauriens. L'iris apparaît sous la forme d'une fine ligne hautement échogène. Chez les *Boidae*, la région de la racine de l'iris présente une forme concave, alternant avec une forme convexe sur la photo de la région pupillaire. Chez les *Colubridae*, l'iris est plus droit ou présente une forme légèrement concave. La région antérieure de l'iris est beaucoup plus régulière que chez les Sauriens. L'angle iridocornéen est à peine visible. La forme de la pupille est circulaire chez les *Colubridae* alors que c'est une fente verticale chez les *Boidae*.

Tableau 2 : Exemples de mesures effectuées sur une sélection d'Ophidiens (Rival et al. 2014).

Espèce	Nom commun	CCT (µm)	PCT (µm)	ACD (µm)	CCT/ACD ratio
<i>Morelia viridis</i>	Python vert	280	260	1100	0,25
<i>Python regius</i>	Python royal	270	260	580	0,47
<i>Pantherophis guttatus</i>	Serpent des blés	270-290	220-240	230-260	1,12
<i>Lampropeltis triangulum</i>	Couleuvre faux corail	450	370	280	1,6

Chéloniens (Tableau 3)

L'organisation du segment antérieur est similaire chez les tortues. Les lamelles stromales sont visibles chez tous les animaux, tandis que l'épithélium cornéen, l'endothélium et la membrane de Descemet sont plus discrets (structures un peu plus échogènes) ou invisibles. La cornée est plus fine en son centre qu'à sa périphérie chez toutes les espèces examinées. La chambre antérieure présente une profondeur intermédiaire, par rapport aux Ophidiens et aux Sauriens. La courbure cornéenne est plus importante que celle de la capsule antérieure du cristallin. La forme de la chambre antérieure ressemble davantage à celle des Sauriens qu'à celle des Ophidiens. Le rapport CCT / ACD est intermédiaire entre les deux autres

groupes. La capsule antérieure du cristallin se présente sous la forme d'une ligne échogène convexe. La lentille ne fait pas saillie dans la chambre antérieure. L'iris est épais et relativement court. Il est apparu comme un tissu hautement échogène, avec peu de reliefs, en particulier pour l'espèce *Kinixys erosa*. Les structures angulaires irido-cornéennes sont à peine discernables. La forme de la pupille est circulaire chez tous les animaux.

Tableau 3 : Exemples de mesures effectuées sur une sélection de Chéloniens (Rival et al. 2014).

Espèce	Nom commun	CCT (µm)	PCT (µm)	ACD (µm)	CCT/ACD ratio
<i>Testudo hermanni</i>	Tortue d'Hermann	100-120	120-140	600-700	0,16-0,18
<i>Testudo graeca</i>	Tortue grecque	120-230	140-250	640-740	0,19-0,31
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	Tortue charbonnière	120-160	200-260	780-1100	0,2-0,22
<i>Kinixys erosa</i>	Tortue de forêt à carapace articulée	210	250	900	0,23

Discussion

La conception de base de tous les yeux de vertébrés est similaire. Cependant, l'évolution a conduit à de subtiles modifications de l'organisation et de la fonctionnalité de certaines structures oculaires. L'œil des Reptiles a atteint un haut niveau de développement anatomique et fonctionnel, beaucoup plus complexe que celui des amphibiens. L'anatomie précise de l'œil des Reptiles a été largement décrite au début des années soixante-dix. Il présente une chambre hémisphérique, une lentille biconvexe et une cornée à courbure prononcée. Cependant, les spécimens étudiés l'ont souvent été grâce à des techniques histologiques conventionnelles pouvant avoir une influence sur la fiabilité des données collectées (artefacts de fixation). L'objectif de la présente étude est de décrire le segment antérieur d'espèces de Reptiles sélectionnées à l'aide de l'OCT et de collecter des données normatives. L'OCT est une méthode précise pour explorer le segment antérieur chez l'homme et les animaux (Famose, 2014). C'est une méthode non invasive sûre qui peut être utilisée sans stress sur l'animal vigile. La classe des Reptiles est composée de quatre types d'yeux, correspondant aux quatre ordres (Crocodiliens, Sauriens, Chéloniens et Ophidiens). Les crocodiliens ne sont pas représentés dans cette étude en raison de la difficulté de manipulation de ces animaux en toute sécurité. Malgré une architecture similaire, les structures du segment antérieur des 3 groupes étudiés présentent des différences intéressantes. Les serpents, certains geckos et lézards fouisseurs ont des paupières complètement fusionnées qui sont ensuite devenues transparentes. Cette structure se

nomme la lunette. Dans notre étude, la lunette n'est visible que par l'OCT chez le python molure et le python royal. Chez les serpents, elle est physiologiquement séparée de la cornée par un espace invisible. La difficulté à observer la lunette en dehors de la période de mue avec l'OCT est probablement due aux contacts étroits qu'elle a avec la cornée sous-jacente. De notre expérience, la lunette n'est clairement visible que dans des conditions pathologiques telles que la rétention de lunette (données non publiées). L'architecture de la cornée est lamellaire chez tous les animaux que nous avons examinés mais elle est apparue beaucoup plus épaisse chez les Ophidiens que chez les Sauriens et les Chéloniens. La distribution de l'épaisseur cornéenne (CCT par rapport à PCT) est variable dans les trois groupes. Chez les Chéloniens, le PCT est supérieur au CCT chez tous les animaux étudiés malgré divers milieux de vie et comportements alimentaires. Toutes les combinaisons ont été identifiées chez les Sauriens. Chez les Ophidiens, chez les *Boidae* (*Python regius*, *Python molurus bivittatus*, *Corallus caninus* et *Morelia viridis*), l'épaisseur cornéenne est sensiblement la même en son centre et à sa périphérie. Chez les *Colubridae* (*Pantherophis guttatus* (Figure 2), *Lampropeltis triangulum nelsoni* et *Lampropeltis getulus californiae*), la cornée est beaucoup plus épaisse en son centre par rapport à sa périphérie.

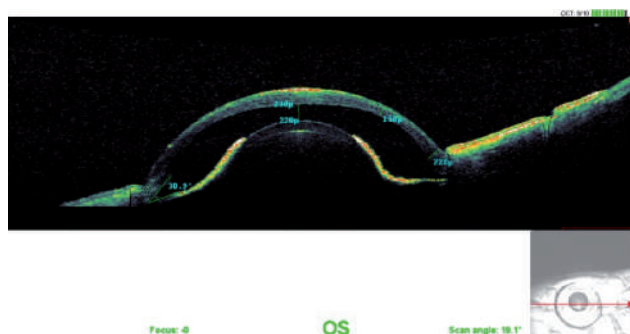


Figure 2 : Exemple d'image d'OCT d'Ophidien (*Pantherophis guttatus*)

La biologie des *Boidae* et des *Colubridae* est différente. Les premiers vivent dans divers biotopes humides (terrestres, aquatiques, arboricoles), tandis que les seconds évoluent en milieu sec avec un comportement généralement plus fouisseur. La topographie cornéenne a une influence sur la vision mais il est difficile d'extrapoler l'influence du biotope et des habitudes alimentaires sur la distribution de l'épaisseur cornéenne. Cependant El-Bakry (2011) a démontré une influence du milieu sur la micro-anatomie de l'épithélium cornéen chez les Reptiles, comme une adaptation à l'hygrométrie. La forme et l'organisation de la chambre antérieure sont similaires chez les Chéloniens et les Sauriens, avec un espace profond compris entre la cornée courbée et l'iris plat prolongé par la capsule antérieure plate du cristallin. La courbure de la capsule antérieure est apparue plus élevée chez les tortues que chez les lézards, avec une chambre antérieure par conséquent plus profonde dans les formes, par rapport à la taille des yeux, comme l'illustre un très

petit rapport CCT / ACD chez les Sauriens (Figure 3), et intermédiaire chez les Chéloniens (Figure 4).

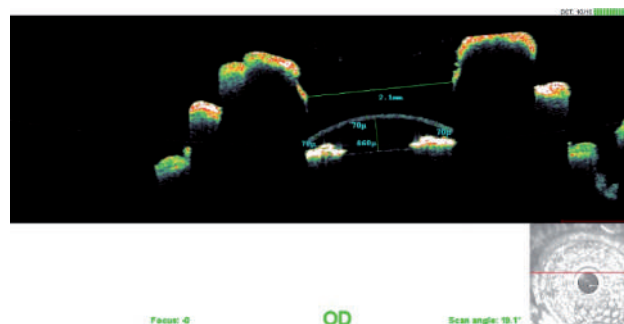


Figure 3 : Exemple d'image d'OCT de Saurien (*Chamaeleo calytratus*)

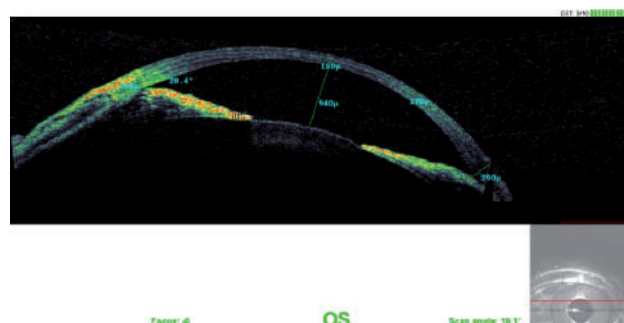


Figure 4 : Exemple d'image d'OCT de Chélonien (*Trachemys scripta*) (Crédit photos : Dulaurent Thomas, CHV St Martin).

L'ACD est évidemment plus petit dans la région de la racine d'iris. Chez les Ophidiens, le cristallin est beaucoup plus positionné en avant que dans les deux autres groupes. La chambre antérieure est alors considérablement plus étroite dans la région centrale que dans la région de la racine de l'iris. Chez les *Colubridae*, le cristallin fait même saillie dans la chambre antérieure, passant au-dessus de la marge de l'iris, alors qu'il reste derrière l'iris et son prolongement virtuel chez les *Boidae*. Il est maintenant admis que les serpents ont évolué à partir du lézard mais ont des yeux différents, compte tenu principalement des structures impliquées dans la focalisation d'une image sur la rétine. Dans notre étude, l'observation d'une lentille sphérique positionnée antérieurement implique une faible capacité à se déformer chez les Ophidiens. L'accommodation nécessite donc d'autres mécanismes tels que la contraction des muscles iriens qui applique une pression sur le corps vitré, poussant vers l'avant la lentille sphérique rigide. Chez les Sauriens, la forme lenticulaire du cristallin permet sa délimitation par la contraction des muscles ciliaires via un coussin annulaire. Chez les Chéloniens, les deux mécanismes peuvent être représentés, permettant soit une déformation du cristallin souple, soit un déplacement antéro-postérieur. Notre étude ne nous a pas permis de mettre en évidence ces mécanismes chez les Chéloniens. La forme de la pupille était toujours circulaire chez les Chéloniens, verticale ou circulaire à la fois chez les

Sauriens et les Ophidiens. A l'exception de *Pantherophis guttatus* (Ophidien) et *Kinixys erosa* (Chélonien), tous les animaux crépusculaires ou nocturnes de notre étude présentaient une pupille verticale fendue. Par conséquent, tous les Reptiles diurnes examinés avaient une zone pupillaire circulaire. Il a été montré qu'une pupille fendue tend à améliorer la mise au point dans la direction perpendiculaire à la fente (Silva *et al.* 2016). Ainsi, une pupille verticale offre la meilleure vue du méridien horizontal par rapport à la tête de l'animal. Malmström *et al.* 2005, ont démontré que les pupilles fendues ne sont présentes que chez les vertébrés terrestres ayant un système optique multifocal, en notant que certains animaux rares avec un système optique multifocal ont des pupilles circulaires comme le serpent ratier de Taiwan (*Orthriophis taeniurus friesi*). Ils suggèrent que la pupille fendue peut être une adaptation à un système optique multifocal, visant à optimiser les propriétés optiques de l'œil. Notre étude confirme que la pupille à fente verticale est associée à des modes de vie crépusculaires ou nocturnes, mais ne permet pas de proposer de nouvelles théories. Cette étude fournit des données biométriques quantitatives du segment antérieur chez certaines espèces de Reptiles. Cependant, l'examen OCT nécessite une grande immobilité du patient, ce qui est parfois difficile à obtenir chez les animaux sauvages. C'est pourquoi un seul œil a été examiné dans notre étude, alors qu'une comparaison des deux yeux aurait été intéressante. De plus, l'OCT que nous avons utilisé est dédié à l'ophtalmologie humaine. La taille du globe oculaire est beaucoup plus petite chez les Reptiles, de sorte que le segment postérieur (vitré postérieur et rétine) n'est pas accessible avec un OCT conventionnel.

En conclusion, notre étude fournit des images OCT illustrant l'anatomie normale du segment antérieur de certaines espèces de Reptiles. Malgré un schéma constant, l'œil des Reptiles présente des différences importantes qui doivent être associées à l'environnement et au mode de vie. Les résultats de cette étude peuvent aider les vétérinaires à diagnostiquer les affections du segment antérieur chez ces espèces.

ACTUALITÉ CONCERNANT LES AFFECTIONS OCULAIRES

Cette actualité est illustrée par un cas clinique rare, un ankyloblépharon congénital chez un gecko léopard (*Eublepharis macularius*). Les Reptiles peuvent être divisés en 2 groupes : ceux qui ont des paupières fonctionnelles et ceux possédant des paupières immobiles et fusionnées. Les Chéloniens et les Crocodiliens ont des paupières fonctionnelles, les Ophidiens ont des paupières fusionnées en une lunette pré-cornéenne. Chez les Sauriens, on rencontre les deux formes anatomiques de paupières (Lawton, 2006). Certaines espèces ont des paupières séparées, avec un bord libre et mobile qui permet la distribution du film lacrymal (*Eublepharis* spp., *Iguana* spp., *Pogona* spp.). D'autres espèces, comme *Gekko* spp., ont une lunette pré-cornéenne. Différentes anomalies des paupières ont été signalées. Le terme «symblépharon» fait référence à une adhérence entre les surfaces conjonctivales adjacentes ou entre

la cornée et la conjonctive (Maggs *et al.* 2008). Le terme «ankyloblépharon» ou «blépharosynéchie» fait référence à l'adhérence des bords palpébraux, en raison d'une défaillance retardée ou complète de l'ouverture palpébrale (Gelatt, 2011). Nous rapportons, dans cette étude, le premier cas, à notre connaissance, d'une fusion congénitale, unilatérale et partielle des paupières (ankyloblépharon), ainsi que sa correction chirurgicale chez un gecko léopard âgé de 6 mois.

Cas clinique

Un gecko léopard de 6 mois est présenté à la consultation d'ophtalmologie pour une anomalie oculaire gauche présente depuis la naissance et difficultés à attraper sa proie (Figure 5).



Figure 5 : Aspect du gecko léopard (*Eublepharis macularius*) en consultation

Le lézard est par ailleurs en bonne condition générale, et conserve un appétit correct. Cependant, la prise de nourriture diminue depuis un mois, et il montre une difficulté accrue à attraper ses grillons. Les deux yeux sont examinés en ophtalmoscopie directe et à l'aide d'une lampe à fente. L'œil droit est normal. Les lésions oculaires de l'œil gauche touchent les 2/3 latéraux des marges palpébrales. La taille du globe est normale pour les deux yeux. Les paupières sont fusionnées sur leur bord libre, et aucune adhérence avec le globe n'est notée.

Un diagnostic d'ankyloblépharon congénital est alors porté. Il est alors supposé que l'ankyloblépharon unilatéral peut expliquer la difficulté de détection et de capture des proies lorsqu'elles sont situées sur le côté gauche. La décision est prise, pour améliorer l'ouverture palpébrale, de pratiquer une intervention chirurgicale. Après prémédication au butorphanol (Dolorex®, Intervet, Boxmeer, Pays-Bas) par voie intramusculaire à la dose de 2 mg / kg, l'anesthésie générale est réalisée avec l'alfaxalone, (Alfaxan®, Vetoquinol, Paris, France) à la dose de 10 mg / kg IM dans le triceps brachial.

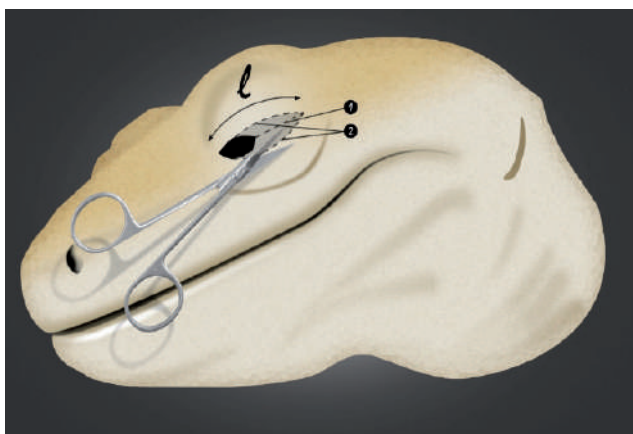


Figure 6 : Schéma de la technique chirurgicale

Dix minutes après l'injection, les paramètres anesthésiques sont bons, l'animal est placé sur un tapis chauffant spécifique NAC, et la région palpébrale gauche est préparée pour la microchirurgie ophtalmique aseptique. Les mesures de référence de la courbure et de la longueur des paupières supérieures et inférieures controlatérales normales sont notées et utilisées pour corriger l'œil atteint (Longueur I sur la Figure 6). Une incision chirurgicale de la zone palpébrale concernée est réalisée à l'aide de ciseaux de Metzenbaum droits (Incision 1 sur la Figure 6). Le tissu palpébral en excès est retiré en pleine épaisseur pour obtenir une marge palpébrale fonctionnelle (Incision 2 sur la Figure 6). Le saignement minimal est contrôlé par compression à l'aide d'écouvillons stériles. Aucune adhérence cornéenne ou nictitante n'est observée et la mobilité des paupières semble normale après incisions. Trois points en U transfixiants sont placés sur les paupières supérieures et inférieures à l'aide d'un fil de suture non résorbable en polypropylène 9-0 (Prolene TM, Ethicon, Auneau (France)) (Figure 7).



Figure 7 : Aspect de la zone chirurgicale au réveil de l'animal

Les soins postopératoires consistent en l'application d'une pommade ophtalmique à base d'acide fusidique (Isathal®, Dechra Veterinary Products, Suresnes, France) deux fois par jour pendant 10 jours. Les soins pratiqués ensuite par le propriétaire consistent à irriguer l'œil avec une solution saline pour lisser les cicatrices afin d'éviter la rétraction de la paupière. Tout substrat potentiellement capable de se coller à la plaie chirurgicale est retiré du terrarium. Les paupières ont montré une activité motrice normale immédiatement après l'opération. La capacité de l'animal à attraper des proies est revenue à la normale immédiatement après la chirurgie. La réévaluation est effectuée à 8, 15 et 30 jours. Au trentième jour (Figure 8), les fils sont retirés, l'aspect des paupières est parfaitement normal et l'animal a retrouvé un excellent état général.



Figure 8 : Aspect de l'animal à J30

Discussion

Les affections congénitales des paupières peuvent être isolées ou associées à d'autres anomalies faciales. Nous pouvons les comparer avec les anomalies congénitales en médecine humaine qui ont été classées par Duke-Elder sur la base de la chronologie du développement fœtal avec tout d'abord, les anomalies du développement palpébral (cryptophtalmie, colobome et *micropalpebrae*), puis les anomalies dans la différenciation des marges palpébrales (ankyloblépharon, ectropion, et entropion) et enfin les anomalies dans la différenciation des tissus palpébraux (épiblépharon, distichiasis et euryblépharon). Les origines possibles incluent celles induites par l'exposition de l'embryon à des facteurs environnementaux inadéquats, carences nutritionnelles, toxines, agents infectieux et à des mutations génétiques. Les anomalies congénitales des paupières ont rarement été signalées chez les Reptiles hormis le colobome des paupières et l'entité clinique *micropalpebrae* (Sabater *et al.* 2013). Les troubles acquis impliquant la ou les paupières sont plus fréquemment observés chez les Reptiles, comme par exemple, la kératopathie post-hibernale chez les tortues, chez lesquelles l'accumulation potentielle de protéines sur la cornée peut provoquer une adhérence entre l'œil et la paupière, ou l'ankyloblépharon dû à des brûlures (par exemple, chez les iguanes), qui peut évoluer vers le symblépharon lorsque les tissus guérissent.

ACTUALITÉ CONCERNANT LA THÉRAPEUTIQUE

Introduction

Chez les serpents, embryologiquement, les paupières ont fusionné et ont formé la lunette qui est transparente. Cette lunette, remplacée à chaque mue, joue un rôle de barrière et empêche tout traitement local de la cornée. Elle est vascularisée alors que la cornée ne l'est pas. L'énucléation chirurgicale est plutôt rare chez les Reptiles et concerne plus fréquemment les Ophidiens. Les causes principales sont représentées par les abcès intraoculaires, les exophtalmies par traction du globe d'origine iatrogène, les infections de la lunette, la dacryocèle précornéenne. La technique chirurgicale de l'énucléation est plutôt simple à réaliser, la reconstruction est en revanche plus difficile du fait de l'absence de paupières mobiles. Le cas présenté ici concerne une technique de reconstruction à l'aide de biomatériau après énucléation chez un Ophidien.

Commémoratifs et anamnèse

Une femelle python royal appartenant à un éleveur amateur est présentée pour exophtalmie (Figure 9). Elle pèse 1,7 kg, a déjà reproduit et se trouve gestante pour la deuxième fois. L'état général est bon, les conditions de détention parfaitement maîtrisées. Au cours des deux dernières mues, la lunette n'est pas tombée. L'accumulation de ces lunettes a incité le propriétaire à tenter de les retirer lui-même. Une avulsion trop intempestive a causé une déchirure du muscle bulbaire suivi d'une uvéite et d'une exorbitation.

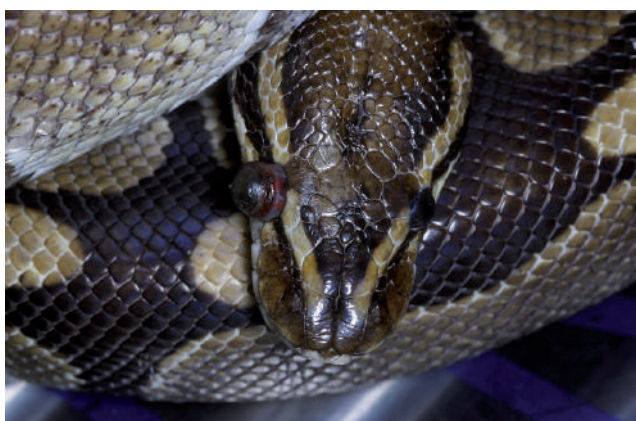


Figure 9 : Aspect de l'œil du python royal (*Python regius*) en consultation

Examen clinique, diagnostic et décision

L'examen à distance et l'examen direct de l'animal se révèlent normaux, seul l'œil droit a un aspect anormal. L'avulsion des lunettes persistantes a induit une uvéite iatrogène avec hémorragie et exophtalmie. Le diagnostic de luxation iatrogène du globe avec uvéite est posé, la seule issue thérapeutique reste l'énucléation. La reconstruction et la cicatrisation seront facilitées par l'utilisation de SIS (*Small Intestinal Submucosa*) biomatériau fabriqué à partir de sous-muqueuse d'intestin de porc et compo-

sé de collagène, protéoglycanes, glycoprotéines glycoaminoglycanes, et facteurs de croissance (FGF *Fibroblast Growth Factor*) (Laboratoire Cook Biotech).

Traitement médical et chirurgical

Un traitement anti-inflammatoire à la méthylprednisolone (Solumédrol®) à la dose de 10 mg/kg IM en 1 injection est mis en place. Le traitement chirurgical consiste en l'énucléation de l'œil suivi d'une reconstruction de l'orifice par le biomatériau. Après prémédication analgésique à l'aide de buprénorphine (Buprecare®) à la dose de 1 mg/kg IM, l'anesthésie gazeuse à l'isoflurane est réalisée après induction à l'alphaxalone (Alfaxan®) à la dose de 5 mg/kg IV.

La désinfection de la zone cutanée périphérique est réalisée à la Vétédine®, un champ stérile est posé, la conjonctive est incisée sur tout le pourtour oculaire. Après section des muscles du bulbe, le globe est fixé sur un clamp et les tissus avoisinants disséqués. Le faisceau vasculo-nerveux à la base de l'œil est ligaturé au polyglactine (Vicryl 3/0®) (Figure 10). La peau entourant l'orbite est alors désinsérée et une bande d'un millimètre découpée circulairement pour raviver la plaie à suturer.



Figure 10 : Temps chirurgical de sutures du faisceau vasculo-nerveux



Figure 11 : Mise en place du patch de SIS et sutures

Un lambeau de SIS est découpé de façon circulaire puis réhydraté 3 min dans une solution saline stérile. Positionné sur l'orbite, il est alors suturé à points séparés à la peau saine avec du polyglac-

tine (Vicryl 3/0®) (Figure 11). On peut ainsi suturer plusieurs couches pour augmenter la résistance si on le désire. Un morceau de compresse hémostatique à base de polymère d'acide uronique et de glucose (Surgicel®) est laissé dans l'orbite avant la fermeture de la plaie. Par la suite, il devra être régulièrement humidifié avec une solution de Chlorhexidine (Hibitan®), 3 fois par jour minimum. Une pommade antibiotique à base d'acide fusidique (Isathal®) est régulièrement appliquée trois fois/jour (15 jours). Le serpent est revu à J15, J30, J60 (Figure 12). Il retrouve son état normal quelques heures après l'anesthésie.



Figure 12 : Aspect de la cicatrice à J60

La reprise de l'appétit est assez rapide (10 jours). L'absence de vision d'un côté est sans aucune conséquence sur la prise de la proie, l'animal incline la tête légèrement et de toute façon le repérage des proies se fait essentiellement par détection thermique chez les *Boidae*. Les points sont enlevés au bout de 4 semaines laissant apparaître alors un tissu cicatriciel comblant l'orbite.

Discussion

Plusieurs points sont à retenir (tableau 4) :

- la technique classique de glissement cutané permettant de combler l'orifice chirurgical après énucléation est plus difficile à réaliser du fait de la non-élasticité du tissu cutané périoculaire chez

les serpents et laisse généralement une cicatrice avec plissement de la zone et légère déformation de la lèvre supérieure (Rival, 2001) - l'utilisation du SIS permet d'améliorer considérablement le temps de cicatrisation chez ces espèces où il est habituellement très long. Au bout de 15 jours, les points se retrouvent repoussés au centre du greffon alors que dans le cas d'une cicatrisation normale 4 à 6 semaines sont nécessaires.

Tableau 4 : Avantages et inconvénients de deux techniques chirurgicales

Techniques	Avantages	Inconvénients
Glissement	Peu onéreuse Soins postopératoires réduits	Pronostic esthétique imparfait Technique plus difficile
Greffes SIS	Cicatrisation rapide Pronostic esthétique parfait Facile à mettre en place	Plus onéreuse Soins postopératoires plus importants

CONCLUSION

L'ophtalmologie des NAC est en constante évolution et celle des Reptiles particulièrement.

Souhaitons que les quatre exemples exposés dans cet article contribuent à cette évolution des connaissances dans un domaine où il reste tant de choses à découvrir.

GLOSSAIRE POUR LES ACRONYMES

ACD = Anterior Chamber Depth = profondeur de la chambre antérieure

CCT = Central Corneal Thickness = épaisseur cornéenne centrale

DSLR = Digital Single Lens Reflex = appareil photographique reflex numérique

OCT = Optical Coherence Tomography = tomographie par cohérence optique

PCT = Peripheral Corneal Thickness = épaisseur cornéenne périphérique

SLO = Scanning laser ophthalmoscopy = ophtalmoscopie à balayage laser

REMERCIEMENTS

Aux Drs Olivier Balland (Lorraine Vet) et Thomas Dulaurent (CHV Saint Martin) qui ont grandement participé au travail en équipe réalisé pendant l'étude de la vascularisation de la lunette des Ophidiens et sans qui cette étude n'aurait pas pu aboutir. Remerciements également à tout le service ophtalmologie du CHV St Martin et particulièrement Thomas Dulaurent pour m'avoir intégré dans l'étude et l'article sur l'OCT des Reptiles.

BIBLIOGRAPHIE

- Bellhorn RW, Strom AR, Motta MJ, Doval J, Hawkins MG and Murphy JP. Snake spectacle vessel permeability to sodium fluorescein. *Veterinary Ophthalmology*. 2017; 1-6 and 2018; 21, 2; 119-124.
- Brischoux F, Pizzatto L, Shine R. Insights into the adaptive significance of vertical pupil shape in snakes. *Journal of Evolutionary Biology*. 2010; 23, 9: 1878-85.
- Dulaurent T, Linsart A, Rival F, Balland O, Cazalot G, Isard PF. La lunette des serpents. Congrès de la SFEROV Toulouse. 2014.
- El-Bakry AM. Comparative study of the corneal epithelium in some reptiles inhabiting different environments. *Acta Zoologica (Stockholm)*. 2011; 92: 54-61.
- Famose F. Assessment of the use of spectral domain optical coherence tomography (SD-OCT) for evaluation of the healthy and pathological cornea in dogs and cats. *Veterinary Ophthalmology*. 2014; 17: 12-22.
- Gelatt KN, Gelatt JP. *Veterinary Ophthalmic Surgery*. Saunders Elsevier, Oxford. 2011; 5, 123.
- Lawton MPC. Reptilian ophthalmology, In: *Reptile Medicine and Surgery*, 2nd ed. Mader DR, editor. St. Louis: Saunders Elsevier: 2006; 323-342.
- Lüdicke M. Die Kapillarnetze der Brille, der Iris, des Glaskörpers und der Choroidea des Auges vom Baumschnüffler *Ahaetulla nasuta* (Lacepede, 1789) [Serpentes, Colubridae]. *Zeitschrift für Morphologie der Tiere*. 1969; 64: 373-390.
- Malmström T, Kröger RHH. Pupil shapes and lens optics in the eyes of terrestrial vertebrates. *Journal of Experimental Biology*. 2005; 209: 18-25.
- Mead AW. Vascularity in the reptilian spectacle. *Invest Ophthalmol*. 1976; 15(7): 587-91.
- Millichamp NJ, Jacobson ER, Wolf ED. Diseases of the eye and ocular adnexae in reptiles. *J. Am Vet Med Assoc*. 1983; 183: 1205-12.
- Rival F. Énucléation de l'oeil chez deux serpents (*Python regius*), comparaison de deux techniques chirurgicales. *Pratique des Animaux Sauvages et Exotiques*. 2001 ; 1 : 3-6.
- Rival F. Atlas d'ophtalmologie des nouveaux animaux de compagnie. Valence, Vetnac éditions. 2007; 240 p.
- Rival F, Linsart A, Isard PF, Besson C and Dulaurent T. Anterior segment morphology and morphometry in selected reptile species using optical coherence tomography. *Veterinary Ophthalmology*. 2014 ; 18 (Suppl 1) : 53-60.
- Rival F. Congenital ankyloblepharon in a leopard gecko (*Eublepharis macularius*). *Veterinary Ophthalmology*. 2015 ; 18 :71-73.
- Rochon-Duvigneaud A. L'oeil et la vision, In : *Traité de zoologie: Anatomie, Systématique, Biologie*. Tome XIV Reptiles, caractères généraux et anatomie. Fascicule II. Grassé PP, éditeur. Paris : Masson, 1970 : pp 382-428.
- Sabater M., Perez M. Congenital ocular and adnexal disorders in reptiles. *Veterinary Ophthalmology*. 2013; 16: 47-55.
- Silva I, Crane M., Artchawakom T., Suwanwaree P., Strine CT. More than meets the eye: change in pupil shape by a mock viper. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2016, 14; 8: 453-454.
- Souza NM *et al*. Gross, histologic, and micro-computed tomographic anatomy of the lacrimal system of snakes. *Veterinary Ophthalmology*. 2014; 18 (Suppl 1): 15-22.
- Van Doorn K, Sivak G. Blood flow dynamics in the snake spectacle. *The Journal of Experimental Biology*. 2013; 216: 4190-95. doi:10.1242/jeb.093658.
- Zwart P, Korbel RT. Ophthalmology in Reptiles - Anatomy and visual perception of the reptilian eye with special attention to management and animal welfare. First meeting of the DVG Fachgruppe Vögel, Reptilien Amphibien. 2014 Mar; München, Germany.