

Anatomie comparée de l'angle irido-cornéen du chien et de l'homme

T. DULAURENT^{1*}, I. RAYMOND LETRON²

¹ Département des sciences cliniques, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, 23 Chemin des Capelles, 31076 Toulouse Cedex 03. FRANCE

² Département des sciences fondamentales, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, 23 Chemin des Capelles, 31076 Toulouse Cedex 03. FRANCE

Auteur chargé de la correspondance : E-mail : t.dulaurent@envt.fr

RÉSUMÉ

L'angle irido-cornéen est la structure oculaire responsable du drainage de l'humeur aqueuse. Situé à la jonction entre la cornée, la sclère et la périphérie de l'iris, l'angle irido-cornéen présente une architecture variable selon les espèces. Chez le Chien, il est inclus dans la fente ciliaire et constitué du ligament pectiné et des réseaux trabéculaires uvéal et cornéo-scléral. Le drainage se poursuit par les plexus aqueux et veineux de la sclère. Chez l'Homme, l'angle irido-cornéen est positionné hors de la racine de l'iris et constitué des réseaux trabéculaires uvéal, cornéo-scléral et cribriforme. Vient ensuite le canal de Schlemm, structure propre aux primates et inexistante chez le Chien. Ces différences anatomiques expliquent la relative inefficacité des techniques chirurgicales de lutte contre le glaucome chez le Chien, alors qu'elle sont éprouvées chez l'Homme.

Mots-clés : Angle irido-cornéen, œil, anatomie, anatomie comparée, chien, homme.

SUMMARY

Compared anatomy of the canine and human irido-corneal angle.

The irido-corneal angle is the ocular structure responsible for the drainage of the aqueous humor. Located between the cornea, the sclera and the iris at the periphery of the eye, the irido-corneal angle shows an inconstant architecture among species. In the dog, it is included in the ciliary cleft and made of the pectinate ligament and uveal and corneo-scleral trabecular meshworks. The aqueous humour flows through the aqueous and veinous scleral plexuses. In humans, the irido-corneal angle is outside the iris root and consists of the uveal, corneo-scleral and cribriform trabecular meshworks. These meshworks drain into the Schlemm's canal, a structure specific to primates. These anatomic differences underline the inefficiency of the surgical antiglaucomatous techniques in the dog, whereas they are common in humans.

Keywords : Iridocorneal angle, eye, anatomy, compared anatomy, dog, human.

Introduction

L'angle irido-cornéen (*Angulus iridocornealis*) (AIC), anciennement "angle caméculaire" ou "angle de filtration", est la structure située sur toute la circonférence du bulbe de l'œil entre la jonction cornéo-sclérale et la racine de l'iris. Son rôle est de drainer l'humeur aqueuse (*Humor aquosus*) produite par le corps ciliaire (*Corpus ciliare*) à la faveur de mécanismes d'ultra-filtration et de synthèse active [15].

Il est aujourd'hui admis que l'angle irido-cornéen a évolué parallèlement avec l'évolution de la taille des bulbes oculaires des différentes espèces de mammifères, et les capacités d'accommodation de chacune. Ces différents facteurs ont été associés aux mœurs de ces espèces. Ainsi les prédateurs, représentés par les carnivores et les primates, ont des capacités d'accommodation relativement importantes et des yeux proportionnellement de petite taille, tandis que les herbivores dont les capacités d'accommodation sont médiocres, possèdent des yeux proportionnellement plus volumineux. Les facultés d'accommodation sont liées au développement du muscle ciliaire (*Musculus ciliaris*). Or, plus le muscle ciliaire est développé, plus il déborde sur les structures antérieures de l'œil et modifie ces dernières. Ainsi sont apparus différents "modèles" d'angle irido-cornéen, classés en relation avec le développement du muscle ciliaire [18].

L'équilibre de la pression intra-oculaire est un facteur indispensable pour le maintien de l'intégrité des structures anatomiques de l'œil et de leur fonction (cornée (*Cornea*), choroïde (*Choroidea*) et surtout rétine (*Retina*)). La pression

intra-oculaire procède de l'égalité entre la quantité d'humeur aqueuse sécrétée par les procès ciliaires (*Processus ciliares*) et celle drainée par le système veineux [15].

Par ailleurs, la différence entre les pressions du segment antérieur (15 millimètres de mercure, noté mm Hg) et du système veineux collecteur (8 à 12 mm Hg) s'explique par la présence d'une structure complexe appartenant à l'AIC. Cette structure doit permettre de réguler le drainage de l'humeur aqueuse en faisant en partie obstacle à son écoulement, afin de maintenir le différentiel des pressions [8].

Lorsque le système de drainage de l'humeur aqueuse, pour des raisons diverses, devient déficient, la pression intra-oculaire augmente et provoque le glaucome. Véritable acteur du maintien de la pression intra-oculaire, l'AIC intervient dans les mécanismes physio-pathologiques de cette affection tant chez l'Homme (*Homo sapiens sapiens*) que chez le Chien (*Lupus familiaris*). Néanmoins, de nombreuses différences anatomiques et physiologiques existent entre l'AIC du Chien et de l'Homme, différences qui pourraient expliquer la relative inefficacité des traitements médicaux et chirurgicaux du glaucome chez le Chien, pourtant usuels chez l'Homme.

Par souci de clarté et dans le but d'homogénéiser les termes anatomiques nombreux, propres à l'organe visuel, nous utiliserons les termes de la nomenclature officielle publiée dans les *Nomina Anatomica Veterinaria* et les *Nomina Histologica*. Les termes latins sont ainsi mentionnés en italique et entre parenthèses. Cependant, certaines structures anatomiques de l'angle irido-cornéen ne sont pas mentionnées dans ces réfé-

rences et portent des noms parfois différents selon les auteurs; pour celles-ci, nous utiliserons dans la mesure du possible les termes qui nous paraissent les plus justes. Aussi la légende des différents schémas présentés dans ce développement propose les termes latins lorsqu'ils existent - ils sont mentionnés en italique - et les termes usuels dans le cas contraire - ils sont mentionnés en caractère normal.

Développement normal de l'A.I.C.

Le développement embryonnaire de l'AIC répond à des mécanismes comparables chez l'Homme et le Chien. Cependant, chez le Chien, espèce nidicole, le développement de l'AIC se poursuit dans les quelques jours après la naissance, alors qu'il est presque complet à la naissance chez l'Homme [2]. D'autre part, la durée de gestation étant différente dans les deux espèces, les délais d'apparition des constituants de l'œil divergent logiquement.

FORMATION DE LA CHAMBRE ANTÉRIEURE

Sur l'embryon humain de 12 mm vers la cinquième semaine, et sur l'embryon canin de moins de sept semaines, apparaissent des cellules mésenchymateuses d'origine mésodermique entre l'ectoderme et la vésicule cristallinienne. Le mésenchyme comble alors l'espace compris entre le cristallin et l'ectoderme superficiel. S'en suivent une cavitation du mésenchyme par clivage ou dégénérescence, et une différenciation des cellules mésenchymateuses en trois vagues. Les deux premières vagues aboutissent à la formation de la cornée (endothélium-stroma), l'épithélium cornéen dérivant de la différenciation de l'ectoderme superficiel; la troisième aboutit à la formation de l'iris.

Entre la cornée et l'iris se délimite alors un espace qui deviendra la chambre antérieure à partir du 45^e jour de gestation chez le Chien, et avant le 56^e jour de gestation chez l'Homme. L'AIC n'est pas encore délimité à ce stade de développement [1, 15, 17, 22].

FORMATION DE L'ANGLE IRIDO-CORNÉEN

Le schéma général de la formation de l'angle irido-cornéen est comparable chez les deux espèces. Cependant, les délais divergent dans la mesure où le développement se poursuit jusqu'à plusieurs mois après la naissance chez le Chien tandis qu'il est presque complet à la naissance chez l'Homme.

L'ensemble des structures qui comblent l'AIC provient de deux feuillettes d'origine mésodermique qui se mettent en place successivement.

Chez le Chien, à partir de la cinquième semaine de gestation se tend un feuillet unicellulaire entre l'endothélium cornéen et l'épithélium de la face antérieure de l'iris au sein de l'angle. Ce feuillet est ensuite recouvert d'un fin filet de fibrilles au 53^e jour de gestation. Au 62^e jour, le feuillet unicellulaire primitif devient discontinu par raréfaction cellulaire, et se perce de trous séparés par des brins de faible calibre. Le filet de fibrilles, apparu au 53^e jour, continue de progresser postérieurement. Vingt quatre heures après la naissance, le filet couvre la majorité de l'angle et s'attache de façon diffuse à l'iris tandis que les points d'ancrage cornéens sont regroupés en "paquets". A ce stade, des veines trabéculaires sont visibles à hauteur de la partie la plus externe du futur réseau tra-

béculaire cornéo-scléral. Elles possèdent de larges vacuoles enchâssées dans l'endothélium, attestant déjà de la fonctionnalité du système de drainage [19]. Le filet de fibrilles se perforé à son tour 5 jours après la naissance. Les trous sont bordés par des ligaments qui semblent renforcer le filet. Tout le filet est ajouré 14 jours après la naissance. Les ligaments sont alors épaissis et forment le ligament pectiné de l'AIC (*Lig. pectinatum anguli iridocornealis*), inconstant chez l'Homme. Les fibres du ligament s'élargissent et deviennent plus robustes dans les premiers mois suivant la naissance [11, 19]. Les réseaux trabéculaires uvéal et cornéoscléral s'individualisent nettement 19 jours après la naissance, alors que jusqu'à la première semaine au moins, ces deux structures étaient confondues. Après le 19^e jour, les espaces inter-trabéculaires s'élargissent peu à peu pour trouver un développement définitif après quelques mois [20]. L'élargissement des espaces se fait par des phénomènes de nécrose cellulaire et de phagocytose par des macrophages [7].

Le plexus veineux de la sclère (*Plexus venosus sclerae*) est mature à la quatrième semaine [22]. La disposition et la forme générales de l'angle irido-cornéen du Chien à la fin de son développement sont montrées sur la photographie 1.

Sur l'embryon humain de 25 mm, vers la huitième semaine, l'angle se forme progressivement. Deux théories s'affrontent pour expliquer sa formation [21]. Selon la première théorie, l'angle se formerait par résorption progressive du tissu mésodermique tandis que la chambre antérieure se forme. Selon la deuxième, l'angle serait formé par clivage entre deux couches de tissu mésodermique. L'apparition de cette fente au sein de ce tissu serait due à la croissance inégale des éléments du segment antérieur (croissance relativement rapide de la cornée par rapport aux autres structures).

Au septième mois, le sommet de l'angle est à hauteur du réseau trabéculaire. Le "canal de Schlemm" (*Sinus venosus sclerae*), inexistant chez le Chien, apparaît vers le quatrième mois, sous forme d'un plexus vasculaire situé loin derrière l'angle. Les aspects de vacuolisation de la couche endothéliale apparaissent au cinquième mois. Ils sont contemporains de la différenciation du corps ciliaire et de la circulation de l'humeur aqueuse. La différenciation du réseau trabéculaire se fait entre le quatrième et le huitième mois avec l'apparition progressive de fibres de collagène et de fibres élastiques. L'éperon scléral, absent chez le Chien, apparaît au quatrième mois alors que se différencient réseaux trabéculaires cornéo-scléral et uvéal. A la naissance, le sommet de l'angle a atteint l'extrémité postérieure du réseau trabéculaire [17]. L'AIC de l'Homme continue d'évoluer quelques mois après la naissance même si son architecture générale est acquise dès les premiers moments de la vie. L'évolution post-partum intéresse principalement le calibre des constituants [3, 14].

La forme et la disposition du ligament pectiné chez le Chien et celles du réseau trabéculaire chez le Chien et l'Homme semblent être induits par des facteurs mécaniques notamment représentés par la pression exercée par l'humeur aqueuse sur ces structures [17, 22].

La disposition et la forme générales de l'angle irido-cornéen du Singe à la fin de son développement, assimilées à celle de l'Homme, sont montrées sur la photographie 2.

Architecture de l'angle irido-cornéen

Chez l'Homme comme chez le Chien, l'angle irido-cornéen est délimité en avant par la région du limbe cornéen et en arrière par le corps ciliaire et la racine de l'iris (*Margo ciliaris*). Cependant, l'espace ménagé par ces structures n'est pas organisé de façon similaire chez les deux espèces [3, 12].

JONCTION CORNÉO-SCLÉRALE

Cette zone appelée limbe cornéen représente la transition entre les structures cornéennes et sclérales. Elle varie sensiblement entre le Chien et l'Homme.

Dans l'espèce canine, le limbe est taillé en biseau, la cornée s'incrétant dans la sclère à la manière d'un "verre de montre". Il possède deux bandes pigmentées, une superficielle le long de la zone de jonction scléro-cornéenne, et une profonde, entre la lame limitante interne de la cornée (membrane de Descemet) (*Lamina limitans posterior*) et la substance propre de la cornée (stroma) (*Substantia propria corneae*), zone d'insertion du ligament pectiné [5, 22].

Chez l'Homme, cette zone de transition est plus complexe [17]. Elle est constitué d'avant en arrière par le versant cornéen puis le versant scléral. Le versant cornéen est principalement représenté par l'anneau de Schwalbe, condensation de la lame limitante interne de la cornée. Cet anneau est la partie la plus antérieure de l'AIC de l'Homme. Il apparaît sous forme d'une ligne translucide faisant discrètement saillie dans la chambre antérieure. Cet anneau est recouvert par l'épithélium postérieur de la cornée (endothélium cornéen) (*Epithelium posterius corneae*). Il sert de repère à l'analyse gonioscopique de l'angle irido-cornéen en ophtalmologie humaine. Le versant scléral comporte deux éléments annulaires en relief, le septum scléral en avant et l'éperon scléral en arrière, délimités par la gouttière sclérale. Le septum scléral représente la lèvre interne de la rainure sclérale dans laquelle vient s'enchâsser la périphérie de la cornée. La gouttière sclérale est une encoche annulaire creusée dans la sclère et dans laquelle chemine le "canal de Schlemm". L'éperon scléral est un renflement annulaire dont le sommet est pointé vers la chambre antérieure. Il est situé postérieurement à la gouttière sclérale. Les fibres radiales du muscle ciliaire viennent s'insérer sur son versant postérieur. Son versant antérieur sert de point d'ancrage au réseau trabéculaire cornéo-scléral tandis que son sommet est recouvert du réseau trabéculaire uvéal.

CORPS CILIAIRE

Situé en région postéro-externe par rapport à l'iris sur toute la circonférence de l'œil, le corps ciliaire présente un développement différent chez l'Homme et le Chien.

Chez l'Homme, espèce qui possède des capacités d'accommodation extrêmes, le corps ciliaire présente un développement maximal. Dans sa portion antérieure, il est en continuité avec l'iris ; il fait ensuite véritablement saillie vers l'intérieure du bulbe de l'œil avant de rejoindre la choroïde [16].

Chez le Chien dont les facultés d'accommodation sont bien moindres que celles de l'Homme et estimées à trois dioptries [5, 18], le corps ciliaire montre un développement plus réduit

et possède une forme plus aplaniée. La portion antérieure du corps ciliaire est dans le prolongement de l'iris. Il rejoint ensuite la choroïde après un renflement discret, beaucoup plus réduit que chez l'Homme [23].

Néanmoins, les différents constituants du corps ciliaire sont identiques chez les deux espèces. Ainsi le corps ciliaire est composé du muscle ciliaire et des procès ciliaires.

Le muscle ciliaire d'origine mésodermique, présente trois types de fibres musculaires lisses : des fibres méridiennes (*Fibrae meridionales*), des fibres circulaires (*Fibrae circulares*) et des fibres radiales (*Fibrae radiales*). Les procès ciliaires assurent quant à eux la production de l'humeur aqueuse.

FENTE CILIAIRE

La région située entre les feuillets antérieurs du corps ciliaire est appelée fente ciliaire. Parfois confondue avec l'AIC lui-même, elle ne représente en fait que la partie la plus large de ce dernier. D'autres termes existent pour décrire la fente ciliaire : sinus ciliaire, canal ciliaire, sinus cilio-scléral [18].

Chez le Chien, la fente ciliaire est profonde et se termine postérieurement entre les fibres musculaires lisses internes et externes qui forment la musculature antérieure du corps ciliaire [18].

Chez l'Homme, cette fente est très réduite du fait de son comblement presque total par la musculature du corps ciliaire qui se termine dans sa portion antérieure de façon très abrupte [18].

RACINE DE L'IRIS

L'iris sépare les chambres antérieure et postérieure. Il présente une organisation commune dans les deux espèces avec cependant une insertion périphérique propre à chacune.

Dans l'espèce canine, le développement important de la fente ciliaire offre peu de possibilités d'ancrage pour la racine de l'iris. Pour compenser la largeur et la profondeur de la fente ciliaire, une série d'expansions fibreuses attache la racine antérieure de l'iris au limbe cornéen. Ces expansions forment le ligament pectiné. Le ligament pectiné a été décrit sous le terme de ligament suspenseur de l'iris, procès iriens, ou encore piliers de l'iris [18]. Le ligament pectiné représente la portion antérieure de la fente ciliaire. Sa structure est constante quelle que soit la race considérée, avec cependant de nombreuses variations interindividuelles notamment en termes de calibre [4]. Les fibres enjambent obliquement et vers l'avant la partie antérieure de la fente ciliaire et délimitent ainsi la partie antérieure du réseau trabéculaire. Elles ont une disposition radiale et viennent s'attacher à la jonction cornéo-sclérale normalement pigmentée, sur la lame limitante postérieure de la cornée (membrane de Descemet). Le ligament trouve son origine à la racine de l'iris avec un tissu conjonctif lâche en forme d'arête circulaire étroite et irrégulière, de structure identique à celle du stroma irien. Il se divise ensuite en fibres individuelles dont certaines s'unissent latéralement, surtout du côté irien de la fente ciliaire, tandis que d'autres se divisent postérieurement pour former une deuxième ligne de fibres plus fines. Les fibres les plus antérieures sont appelées fibres primaires, tandis que les fibres secondaires, situées postérieurement, forment le ligament pectiné accessoire ou secondaire.

Chez l'Homme, l'insertion de la racine de l'iris se fait sur la base du corps ciliaire, en arrière de l'éperon scléral d'où le terme de jonction irido-ciliaire [21]. Les muscles lisses du corps ciliaire sont très développés et forment une structure pyramidale qui fournit une zone d'attache épaisse et robuste pour la racine de l'iris. La portion antérieure de ces muscles a remplacé la fente ciliaire, discrète et inconstante chez l'Homme, et le ligament pectiné, persistant à l'état vestigial sous la forme de procès iriens, également inconstants [18]. Les procès ou trabécules iriens sont des reliquats mésodermiques du réseau uvéal. Ces rares expansions doublent la face interne du réseau trabéculaire uvéal que nous décrirons plus tard. Comme chez le Chien, elles se présentent sous forme de fibres à leur insertion sur l'iris et deviennent de plus en plus graciles au fur et à mesure qu'elles se portent en avant vers l'anneau de Schwalbe. Très développées chez l'enfant, ces fibres s'atrophient avec l'âge [17].

RÉSEAU TRABÉCULAIRE

Le réseau trabéculaire est constitué de fibres à travers lesquelles chemine l'humeur aqueuse avant d'être drainée par un système complexe de vaisseaux collecteurs. Si la structure générale du réseau trabéculaire est commune à l'Homme et au Chien, sa disposition topographique est néanmoins très différente.

Nous avons vu que chez le Chien, la fente ciliaire est délimitée dans sa portion antérieure par les fibres primaires du ligament pectiné et dans sa portion postérieure par les fibres musculaires lisses du corps ciliaire. Elle est comblée par un tissu dont l'aspect d'éponge lui valu le terme "tissu spongieux" [18]. Il s'agit du réseau trabéculaire ou trabéculum, dont la forme est triangulaire en coupe sagittale. Il est composé de deux parties. La plus interne, comblant la majeure partie de la fente ciliaire depuis le corps ciliaire jusqu'au ligament pectiné, est composée de fibres dont l'organisation est plus lâche : c'est le réseau trabéculaire uvéal. La plus externe, appliquée à la face interne de la sclère, est composée de fibres densément compactées. C'est le réseau trabéculaire cornéo-scléral.

Egalement nommé réseau trabéculaire ciliaire, réseau uvéal interne, trabeculum uvéal, ou encore réseau réticulaire, le réseau trabéculaire uvéal jouxte les fibres du ligament pectiné accessoire postérieurement. Certains auteurs [18] considèrent les fibres du réseau trabéculaire uvéal comme des extensions postérieures des fibres du ligament pectiné accessoire. En outre, des analyses immunocytochimiques et histochimiques récentes ont fait état d'une proche parenté entre ces deux types de fibres [18, 20]. Les fibres du réseau trabéculaire uvéal ont une forme cylindrique et prennent un aspect de cordon. Elles ont un diamètre de 4 μm à 10 μm , et présentent une disposition radiaire jusqu'à la sclère. Ces fibres ménagent des espaces allant de 25 μm à 200 μm appelés espaces de Fontana (*Spatia anguli iridocornealis*). Certaines des fibres du réseau trabéculaire uvéal les plus antérieures se lient avec les fibres du ligament pectiné accessoire.

Egalement nommé trabeculum scléral, ligament cribri-forme, réseau scléral, réseau cornéo-scléral ou encore réseau trabéculaire uvéo-scléral [4], le réseau trabéculaire cornéo-scléral consiste en un réseau de fibres trabéculaires aplaties,

anastomosées et situées parallèlement à la face interne de la sclère. Les espaces entre les fibres, contrairement au réseau trabéculaire uvéal, sont réduits [18]. Il s'agit d'une zone de résistance majeure à l'écoulement de l'humeur aqueuse. Ainsi chez le Chien, le réseau trabéculaire, dans son entier, comble un large espace compris entre le limbe, la racine de l'iris, et la portion antérieure du muscle ciliaire. Son organisation et celle du ligament pectiné sont montrées sur les photographies 3 et 4.

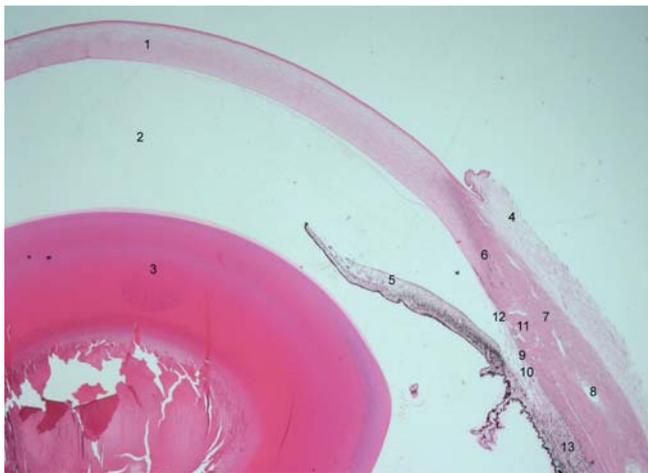
Chez l'Homme, le réseau trabéculaire peut être scindé en trois zones d'importance. Les deux premières forment la portion lamellaire du réseau trabéculaire. Cette portion est constituée d'une partie interne, le réseau trabéculaire uvéal, s'étendant de la cornée jusqu'au corps ciliaire ou à la racine de l'iris, et d'une partie plus périphérique, le réseau trabéculaire cornéo-scléral, s'étendant de la cornée à l'éperon scléral. Une troisième portion, non décrite chez le Chien, présente une structure non lamellaire et forme le réseau juxta-canaliculaire, partie du mur interne du "canal de Schlemm" [10].

Le réseau trabéculaire uvéal est constitué de fibres dont l'entrecroisement forme des mailles irrégulières. Ces fibres ont un diamètre de 5 μm à 12 μm , soit un calibre comparable à celles du Chien. Leur attache cornéenne se fait sur l'anneau de Schwalbe. Elles cheminent postérieurement suivant un trajet oblique et prennent relais à hauteur de l'éperon scléral pour atteindre le muscle ciliaire ou la racine de l'iris. Ces fibres ont une direction générale perpendiculaire à la cornée et ménagent des espaces relativement larges entre elles. Les fibres du réseau trabéculaire uvéal seraient des expansions antérieures des tendons du muscle ciliaire [6, 17]. Les fibres sont enchâssées dans une substance contenant des chondroïtine-sulfates et des glycosaminoglycane [17].

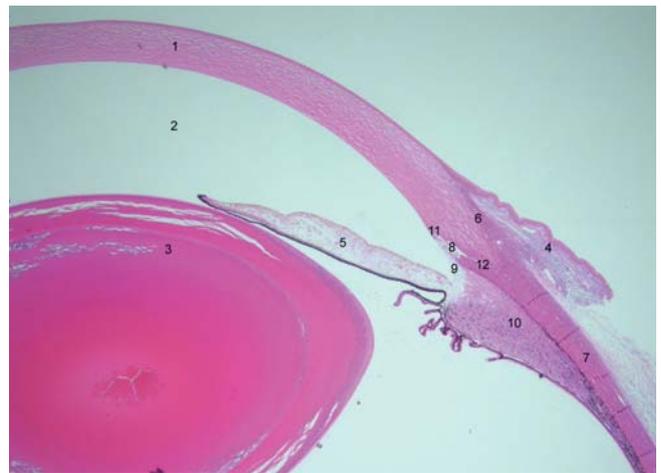
Le réseau trabéculaire cornéo-scléral est formé de feuillets conjonctifs superposés et perforés. L'insertion antérieure du réseau trabéculaire cornéo-scléral se fait sur l'anneau de Schwalbe. Ici, les feuillets s'empilent sur trois ou quatre couches. Les feuillets augmentent progressivement en nombre à mesure qu'ils cheminent postérieurement, pour atteindre un empilement de quinze à vingt couches à hauteur de leur terminaison sur l'éperon scléral. Ici, l'épaisseur du réseau trabéculaire cornéo-scléral est de 120 μm environ. La direction générale des fibres du réseau trabéculaire cornéo-scléral est parallèle à la cornée. Les feuillets, d'une épaisseur de 5 μm , s'amincissent en se rapprochant du "canal de Schlemm", de même que les espaces interlamellaires, qui passent de 5 μm à 1 μm [17, 21].

Le réseau trabéculaire cribri-forme est une structure non lamellaire située entre le mur interne du "canal de Schlemm" et le réseau trabéculaire cornéo-scléral. Constitué d'un tissu conjonctif lâche dont l'épaisseur ne dépasse pas 10 μm , il est en contact avec la paroi interne du "canal de Schlemm" dont les cellules forment une couche monocellulaire [17].

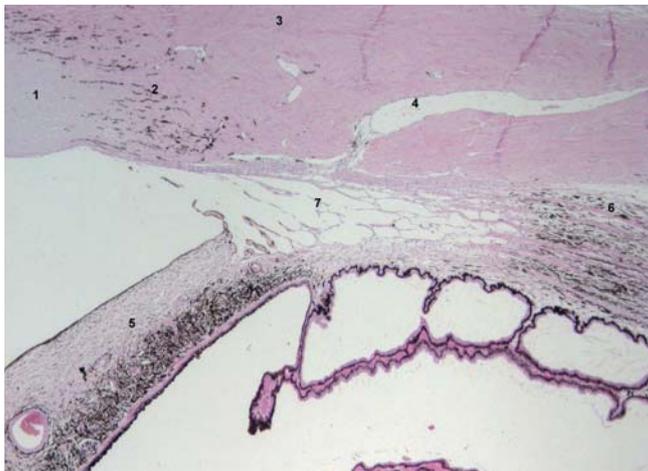
Ainsi chez l'Homme, le réseau trabéculaire est situé postérieurement à l'anneau de Schwalbe et comble surtout la portion la plus périphérique de l'AIC. Seuls quelques fibres du réseau trabéculaire uvéal s'irradient plus profondément vers la racine de l'iris.



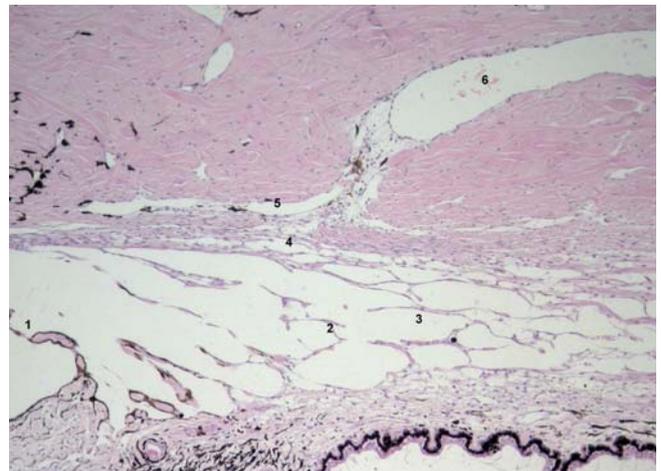
PHOTOGRAPHIE 1



PHOTOGRAPHIE 2



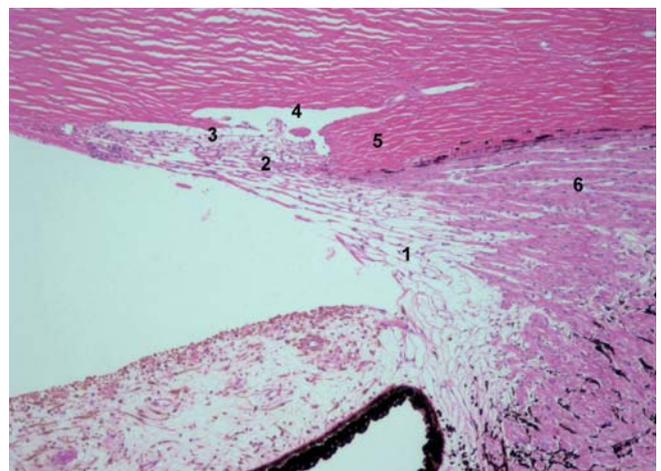
PHOTOGRAPHIE 3



PHOTOGRAPHIE 4



PHOTOGRAPHIE 5



PHOTOGRAPHIE 6

PHOTOGRAPHIE 1 : Région de l'angle irido-cornéen du Chien
Coloration standard Hémalun Eosine x10

Photographie I. RAYMOND

- 1 - Cornea
- 2 - *Humor aquosus*
- 3 - *Lens*
- 4 - *Tunica conjunctiva bulbi*
- 5 - *Iris*
- 6 - *Limbus sclerae*
- 7 - *Sclera*
- 8 - *Plexus venosus sclerae*
- 9 - Réseau trabéculaire : portion cornéosclérale
- 10 - Réseau trabéculaire : portion uvéale
- 11 - Plexus aqueux
- 12 - *Lig. Pectinatum anguli*
- 13 - *Musculus ciliaris*

PHOTOGRAPHIE 2 : Région de l'angle irido-cornéen des Primates
Coloration standard Hémalun Eosine x10

Photographie I. RAYMOND

- 1 - Cornea
- 2 - *Humor aquosus*
- 3 - *Lens*
- 4 - *Tunica conjunctiva bulbi*
- 5 - *Iris*
- 6 - *Limbus sclerae*
- 7 - *Sclera*
- 8 - « Canal de Schlemm »
- 9 - Réseau trabéculaire
- 10 - *Musculus ciliaris*
- 11 - Anneau de Schwalbe
- 12 - Eperon scléral

PHOTOGRAPHIE 3 : Angle irido-cornéen du Chien Coloration
standard Hémalun Eosine x40

Photographie I. RAYMOND

- 1 - Cornea
- 2 - *Limbus corneae*
- 3 - *Sclera*
- 4 - *Plexus venosus sclerae*
- 5 - *Iris*
- 6 - *Musculus ciliaris*
- 7 - Réseau trabéculaire

PHOTOGRAPHIE 4 : Ligament pectiné et réseau trabéculaire du Chien
Coloration standard Hémalun Eosine x100

Photographie I. RAYMOND

- 1 - *Lig. pectinatum anguli*
- 2 - Réseau trabéculaire uvéal
- 3 - *Spatia anguli iridocornealis*
- 4 - Réseau trabéculaire cornéo-scléral
- 5 - Plexus aqueux
- 6 - *Plexus venosus sclerae*

PHOTOGRAPHIE 5 : Angle irido-cornéen des Primates Coloration
standard Hémalun Eosine x40

Photographie I. RAYMOND

- 1 - Cornea
- 2 - *Limbus corneae*
- 3 - *Sclera*
- 4 - "Canal de Schlemm"
- 5 - *Iris*
- 6 - *Musculus ciliaris*
- 7 - Réseau trabéculaire

PHOTOGRAPHIE 6 : Réseau trabéculaire et "canal de Schlemm" des
Primates Coloration standard Hémalun Eosine x100

Photographie I. RAYMOND

- 1 - Réseau trabéculaire uvéal
- 2 - Réseau trabéculaire cornéo-scléral
- 3 - Réseau trabéculaire cribriforme
- 4 - "Canal de Schlemm"
- 5 - Eperon scléral
- 6 - *Musculus ciliaris*

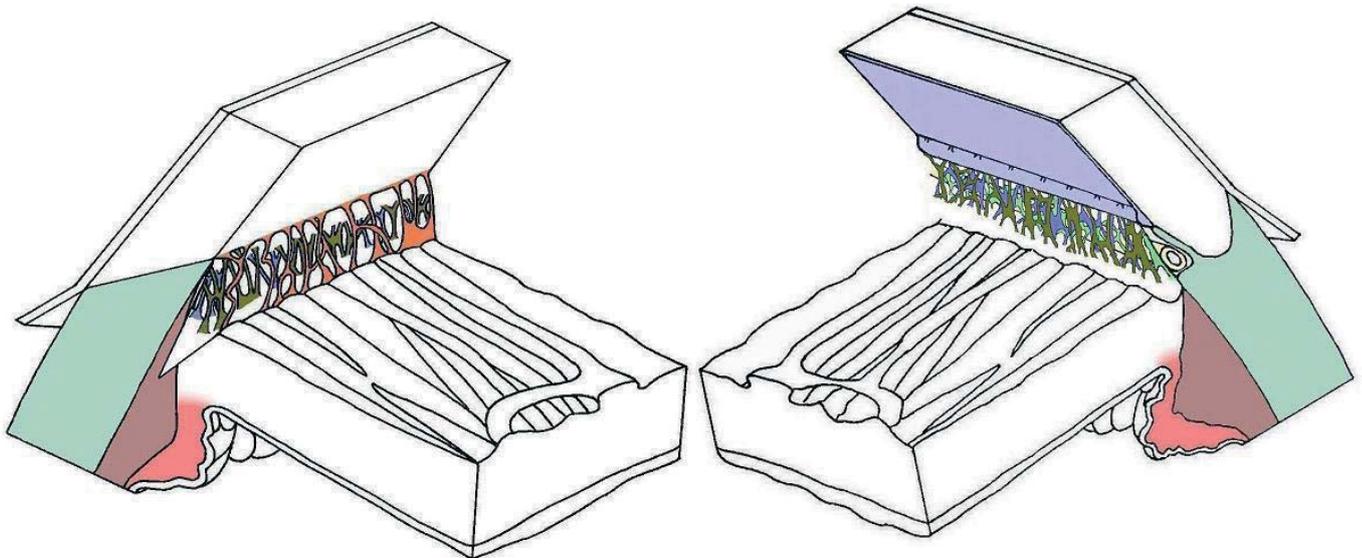


FIGURE 2 : Comparaison de l'architecture de l'AIC chez l'Homme et le Chien (d'après [17])

- : *Sclera*
- : *Epithelium posterius corneae*
- : *Musculus ciliaris*
- : *Processus ciliaris*
- : *Lig. pectinatum anguli*

- : Réseau trabéculaire uvéal
- : Réseau trabéculaire cornéo-scléral
- : Réseau trabéculaire cribriforme
- : "Canal de Schlemm"

Sur le plan constitutionnel, nous avons vu que le réseau trabéculaire présente de fortes analogies chez l'Homme et le Chien. La disposition de ce réseau est néanmoins très différente dans la mesure où chez le Chien, ce dernier comble un territoire beaucoup plus étendu, notamment en profondeur.

L'organisation de l'angle irido-cornéen et le détail du réseau trabéculaire des primates sont montrés sur les photographies 5 et 6.

LES VOIES SCLÉRALES DE DRAINAGE

Le système de drainage de l'humeur aqueuse, partie intégrante de l'angle irido-cornéen, est probablement la structure qui diffère le plus entre les primates, représentés ici par l'Homme, et les autres espèces dont le Chien. Ainsi, l'évolution a vu apparaître chez les primates un élément bien individualisé, absent chez les autres espèces et responsable de la majeure partie du drainage de l'humeur aqueuse, le "canal de Schlemm".

LES PLEXUS SCLÉRAUX DU CHIEN

Le drainage de l'humeur aqueuse est assuré par un système de vaisseaux appelé plexus aqueux, puis par les sinus veineux de la sclère (*Sinus venosus sclerae*) formant le plexus veineux de la sclère (*Plexus venosus sclerae*), aussi dénommé plexus veineux intrascléral [4].

Le plexus aqueux est un système de vaisseaux décrit par Bedford [4]. Il est situé entre la partie externe du réseau trabéculaire cornéo-scléral et la face interne des lamelles sclérales. En coupe longitudinale, ce plexus est constitué d'une série de vaisseaux aplatis et allongés à disposition radiaire. Les vaisseaux sont reliés entre eux par un réseau d'anastomoses complexes. De très nombreuses variations sont décrites dans les limites et la conformation générale du plexus aqueux, au sein d'un même œil. Le plexus aqueux est connecté au plexus veineux de la sclère par des vaisseaux de petit calibre, appelées veines trabéculaires, qui correspondent aux collecteurs internes décrits chez l'Homme [4].

Le plexus veineux de la sclère est un système de vaisseaux localisés entre le plexus aqueux et les lamelles les plus internes de la sclère. Ils siègent dans sa partie antérieure, juste derrière le limbe scléro-cornéen. Les vaisseaux formant le plexus sont aplatis et allongés, et leur grand axe est parallèle au limbe. Il existe de nombreuses variations dans les limites et la conformation générale du plexus au sein d'un même œil. Ainsi, latéralement et médialement au bulbe de l'œil, le plexus ne comprend que deux vaisseaux placés à 1,5 mm du limbe cornéen, tandis que dorsalement et ventralement, il en possède quatre, situés 3 à 4 mm en arrière du limbe [22]. Les vaisseaux individuels sont situés les uns derrière les autres et sont connectés entre eux par un réseau complexe d'anastomoses à disposition le plus souvent radiaire, perpendiculaire aux vaisseaux qu'elles lient. Les dimensions de la lumière de ces vaisseaux varient de 0,4 à 1,2 mm pour l'axe longitudinal, et de 0,01 à 0,04 mm pour l'axe opposé. Les deux vaisseaux les plus antérieurs reçoivent en profondeur les veines trabéculaires qui collectent l'humeur aqueuse à travers le réseau trabéculaire cornéo-scléral et font relais au sein du plexus aqueux

[22]. En région superficielle, les vaisseaux formant le plexus veineux de la sclère reçoivent les boucles veineuses épisclérales, prolongement des veines ciliaires antérieures et des veines conjonctivales antérieures et postérieures.

LE CANAL DE SCHLEMM CHEZ L'HOMME ET LES PRIMATES

Le drainage de l'humeur aqueuse est assuré en premier lieu par une structure singulière, inexistante chez le Chien [9], le "canal de Schlemm" poursuivi par des plexus veineux et des veines aqueuses jusqu'aux veines épisclérales.

Le "canal de Schlemm" (Figure 1) est une structure annulaire longue de 36 à 40 mm, disposée dans la partie postérieure de la gouttière sclérale parallèlement au limbe. Son diamètre est de 0,25 mm en moyenne et il présente une forme arrondie ou triangulaire en coupe transversale. Sur sa portion externe s'implantent les canaux collecteurs efférents tandis que sa portion interne, encore appelée mur interne, jouxte le réseau trabéculaire cribriforme [17]. La lumière du "canal de Schlemm" n'est pas uniforme et ménage parfois des trajets doubles ou triples, séparés entre eux par une fine membrane [22]. Le "canal de Schlemm" présente une organisation histologique comparable à celle d'un vaisseau avec cependant des variations en fonction du versant considéré [17].

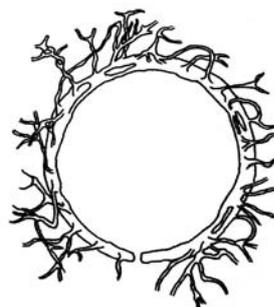


FIGURE 1 : Représentation du "canal de Schlemm" et de ses efférents (d'après [21])

Noter la forme annulaire du canal, les nombreux efférents qui ménagent parfois entre eux des anastomoses et enfin les zones où le canal se divise et possède deux voire trois lumières.

La paroi externe qui donne naissance aux vaisseaux collecteurs comporte une couche de cellules endothéliales à noyaux peu saillants. Elle est en relation avec les plexus veineux scléraux.

La paroi interne comporte une couche de cellules endothéliales reposant sur une membrane basale ; elles sont unies entre elles par des jonctions étroites : les zonulae occludentes. Cette paroi interne est en relation avec la chambre antérieure. Les canaux efférents du "canal de Schlemm" sont appelés collecteurs. On distingue les collecteurs internes et externes.

Les collecteurs externes sont au nombre de 20 à 30 et émergent de la paroi externe du "canal de Schlemm". Ils semblent plus nombreux du côté nasal. Leur calibre varie de celui d'un fin capillaire à celui d'un vaisseau plus large, de la taille d'une veine épisclérale. A la sortie du "canal de Schlemm", la plupart des collecteurs s'anastomose en un plexus de type veineux formé de très nombreux rameaux qui s'enchevêtrent sans

organisation précise : c'est le plexus intrascléral profond. Ce plexus se draine dans un plexus intrascléral superficiel, ou plexus épiscléral, par des rameaux communicants en nombre relativement restreint. Ces rameaux traversent obliquement la sclère et leur diamètre s'amointri avant l'arrivée aux veines épisclérales [21]. Les collecteurs externes peuvent également gagner directement la surface du bulbe de l'œil par les veines aqueuses qui se jettent à leur tour dans les veines épisclérales. Ces veines aqueuses sont fréquentes et rencontrées chez 95% des sujets. Elles sont particulièrement fréquentes dans le quadrant nasal. Leur contenu est transparent et laisse conjecturer leur rôle dans le drainage de l'humeur aqueuse [21].

Les collecteurs internes, mis en évidence par Sondermann rejoignent le "canal de Schlemm" à angle droit. Ils semblent n'être que des expansions borgnes, véritables diverticules du "canal de Schlemm". Ils sont constitués d'un endothélium et d'une adventice, et font communiquer directement les espaces inter-trabéculaires avec le "canal de Schlemm". Leur rôle exact dans la circulation de l'humeur aqueuse n'a pas encore été déterminé avec précision et reste discuté [17].

Vascularisation

L'AIC ne possède pas de vascularisation propre dans la mesure où il représente un carrefour sur lequel convergent de nombreuses autres structures. Cette vascularisation, déterminée par la région de l'AIC, est néanmoins comparable pour les deux espèces.

ARTÈRES

Les artères irriguant l'AIC proviennent des structures périphériques. Chez le Chien, l'apport sanguin est assuré dans la région postérieure par les artères ciliaires antérieures issues des rameaux musculaires des muscles droits qui cheminent en région limbique, ainsi que par les artères épisclérales et les artères postérieures longues qui convergent vers le grand cercle artériel de l'iris. Dans la région la plus antérieure, l'apport sanguin est assuré par les artères conjonctivales qui proviennent également des rameaux musculaires [24]. Chez l'Homme, l'apport sanguin en région limbique est aussi sous la dépendance des branches des artères ciliaires antérieures [17]. Ces dernières cheminent dans les couches superficielles de la sclère en direction du limbe et se divisent à environ 3 mm de ce dernier pour donner les rameaux perforants de la sclère et les artères conjonctivales antérieures [13].

VEINES

Le système de drainage de l'humeur aqueuse entre en communication avec le drainage veineux de la région. Chez le Chien, du plexus veineux de la sclère partent les veines épisclérales qui se poursuivent par les veines conjonctivales postérieures et antérieures. Les veines conjonctivales antérieures donnent naissance aux veines ciliaires antérieures. La jonction entre veines épisclérales et conjonctivales voit aussi la naissance de boucles marginales qui cheminent près du limbe. Chez l'Homme, des plexus veineux intra-scléraux nés du "canal de Schlemm" s'échappent les veines épisclérales qui rejoignent les veines conjonctivales antérieures et posté-

rieures. Comme chez le Chien, les veines conjonctivales antérieures donnent les veines ciliaires antérieures.

Par ailleurs, à partir des veines épisclérales issues du vaisseau le plus postérieur du plexus veineux de la sclère chez le Chien, et à partir des veines épisclérales nées du plexus intrascléral superficiel et des veines aqueuses chez l'Homme, le retour veineux se poursuit par les veines vortiqueuses encore appelées veines vorticineuses. Ces veines irradient la partie postérieure du bulbe de l'œil [24].

Innervation

Elle dépend des nerfs ciliaires longs et courts issus du nerf trijumeau. Ils traversent la sclère pour former un plexus péri-cornéen ou plexus ciliaire, à la surface du limbe. Ils comportent des cellules ganglionnaires et des anastomoses entre nerfs ciliaires courts et longs. Ils renferment des fibres vasomotrices, motrices, proprioceptives et sensibles [4]. Des rameaux nerveux pénètrent la sclère en avant du limbe. Chez l'Homme, des fibres myélinisées se dirigent vers l'éperon scléral et deviennent amyéliniques en abordant le réseau trabéculaire. Ces fibres se retrouvent au sein du ligament pectiné et du réseau trabéculaire chez le Chien [4]. Des terminaisons nerveuses sont aussi présentes dans les espaces inter-trabéculaires. Certaines pourraient être sensibles aux variations de pression intra-oculaire [17].

Terminologie

Nous avons vu que les termes utilisés pour décrire certains constituants de l'AIC sont nombreux. Une structure peut porter plusieurs noms, ce qui ajoute à la complexité de la terminologie de l'AIC.

Les termes décrivant la même structure sont rapportés dans le tableau I. Pour chaque structure sont mentionnés le terme latin issu des *Nomina Anatomica* en italique, le terme utilisé dans notre développement en gras et les différents termes trouvés dans la littérature en caractère normal.

Conclusion

L'AIC est une région anatomique d'intérêt de par sa fonction, mais aussi de par le fait qu'il représente le carrefour entre tunique vasculaire et tunique fibreuse. Malgré de nombreuses similitudes, trois éléments majeurs différencient l'anatomie de l'AIC de l'Homme et du Chien. La jonction cornéo-sclérale qui chez l'Homme, est beaucoup plus complexe que chez le chien et s'organise en rapport avec le système collecteur (gouttière sclérale, "canal de Schlemm"), le réseau trabéculaire qui s'étend plus postérieurement et plus profondément chez le Chien que chez l'Homme et comble un espace beaucoup plus important, et enfin le système de drainage avec le plexus aqueux et le plexus veineux chez le Chien, et le "canal de Schlemm" chez l'Homme.

La figure 2 récapitule les différences majeures qui existent entre l'AIC de l'Homme et du Chien.

<p>Réseau trabéculaire uvéal Tissu spongieux Réseau trabéculaire ciliaire Réseau uvéal Réseau réticulé Espace de Fontana</p>	<p><i>Pectinatum anguli iridocornealis</i> Ligament pectiné Ligament suspenseur de l'iris Procès iriens Piliers iriens Fibres pectinées</p>
<p>Réseau trabéculaire cornéoscléral Réseau de l'angle Réseau trabéculaire Réseau scléral Réseau cornéoscléral Ligament cribriforme Tissu juxtacanaliculaire Trabeculum Réseau uvéoscléral</p>	<p>Fente ciliaire Sinus ciliaire Canal ciliaire Sinus cilioscléral</p>
<p>Réseau trabéculaire cribriforme Zone riche en cellules Tissu poreux Aire cribriforme Réseau endothélial Mur trabéculaire Plexus aqueux juxta-angulaire. Zone juxta-canaliculaire</p>	<p>“Canal de Schlemm” Veine circulaire de Schlemm Sinus aqueux de l'angle Plexus aqueux de l'angle Plexus aqueux de Schlemm Veine trabéculaire</p>
	<p><i>Plexus venosus sclerae</i> Plexus veineux de la sclère Canal trabéculaire Plexus trabéculaire Plexus veineux ciliaire Plexus veineux sous-scléral</p>

TABLEAU 1 : Terminologie des principaux constituants de l'AIC (d'après [18])

Ainsi l'angle du Chien est véritablement “internalisé”, tandis que celui de l'Homme est déjeté en périphérie, et de ce fait “externalisé”. De ces différences découle la difficulté d'adapter chez le Chien les chirurgies filtrantes et fistulisantes, pourtant d'usage dans la lutte contre le glaucome chez l'Homme. En effet, ces chirurgies sont basées sur des repères anatomiques précis (anneau de Schwalbe, éperon scléral, réseaux trabéculaires...), qui trouvent une organisation différente chez les deux espèces. On comprend aisément que la transposition simple de ces techniques est vouée à l'échec. Reste à définir de nouvelles techniques chirurgicales chez le Chien dans le traitement de cette affection, véritable défi pour le praticien en ophtalmologie vétérinaire.

References

1. - AGUIRRE, G.D., RUBIN, L.F., BISTNER, S.I.: Development of the canine eye. *Am. J. Vet. Res.*, 1972, **33**, 2399-2414.
2. - BARISHAK, Y.R.: The development of the angle of the anterior chamber in vertebrate eyes. *Doc. Ophthalmol.*, 1978, **45**, 329-360.
3. - BARISHAK, Y.R.: Editorial: Development of the angle of the anterior chamber in human and vertebrate animal's eyes. *Vet. Ophthalmol.*, 2003, **6**, 1-2.
4. - BEDFORD, P.G.C.: Aqueous drainage in the Dog. *Res. Vet. Sci.*, 1986, **41**, 172-186.
5. - CALKINS, L.L.: The aqueous filtration angle. A phylogenetic and ontogenetic comparative histo-anatomic study of mammalian eyes. *Tr. Am. Ophth. Soc.*, 1960, **58**, 364-391.
6. - CARRERAS, F.J., PORCEL, D., GONZALEZ-CABALLERO, F.: Expanding forces in aqueous outflow pathways of a nonaccommodating mammal: An approach via comparative dynamic morphology. *Comp. Biochem. Physiol.*, 1997, **117A**, 197-209.
7. - COOK, C.S.: Ocular embryology and congenital malformations. In : *Veterinary Ophthalmology*, 3^e édition, GELATT, K.N. (ed.). Philadelphia; Lippincott Williams & Wilkins, 1999, pp 3-30.
8. - LEFEBVRE, H.P.: Physiologie de l'humeur aqueuse et régulation de la pression intra-oculaire.
Document pédagogique pour le C.E.S. d'Ophtalmologie Vétérinaire 2004-2005, 29p. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, France.
9. - LESCURE, F.: Particularités de la pathologie du segment antérieur chez le Chien, le Chat, et le Cheval. *Encycl. Méd. Chir. (Paris-France), Ophtalmologie*, 21008 C²⁰, 4-1986, 5p.
10. - LUTJEN-DRECOLL, E.: Functional morphology of the trabecular meshwork in primate eyes. *Prog. Ret. Eye Res*, 1998, **18**, 91-119.
11. - MARTIN, C.L.: Development of pectinate ligament structure of the Dog: Study by Scanning Electron Microscopy. *Am. J. Vet. Res.*, 1974, **35**, 1433-1439.

12. - MARTIN, C.L.: The normal canine iridocorneal angle as viewed with the scanning electron microscope. *J. Am. An. Hosp. Assoc.*, 1975, **11**, 180-184.
13. - MAURIN, J.F., RENARD, J.P.: Anatomie de la conjonctive. *Encycl. Méd. Chir.* (Paris-France), *Ophthalmologie*, 21004 A³⁰, 9-1989, 4p.
14. - MENERATH, J.M.: Corps Ciliaire. In : *Biophtalmologie*, SOLE, P., DALENS, H., GENTOU, C. (ed.). Paris ; Masson, 1992, Livre IV, pp 3-14.
15. - MONNEREAU, L.: L'Organe visuel des mammifères domestiques. Document pédagogique du cours d'Esthésiologie. 2^o cycle, 2^o année, 2002, 83p. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, France.
16. - MOUILLON, M., ROMANET, J.P.: Anatomie de l'uvéa. *Encycl. Méd. Chir.* (Paris, France), *Ophthalmologie*, 21003 C¹⁰, 4.12.03, 16p.
17. - MOUILLON, M., ROMANET, J.P.: Anatomie de l'angle Irido-cornéen. *Encycl. Méd. Chir.* (Paris, France), *Ophthalmologie*, 21003 A⁵⁰, 4.11.04, 8p.
18. - SAMUELSON, D.A.: A Reevaluation of the comparative anatomy of the eutherian iridocorneal angle and associated ciliary body musculature. *Vet. Comp. Ophthalmol.*, 1996, **6**, 153-172.
19. - SAMUELSON, D.A., GELATT, K.N.: Aqueous outflow in beagle. I. Postnatal morphologic development of the iridocorneal angle: pectinate ligament and uveal trabecular meshwork. *Curr. Eye Res.*, 1984, **3**, 783-794.
20. - SAMUELSON, D.A., GELATT, K.N.: Aqueous outflow in beagle. II. Postnatal morphologic development of the iridocorneal angle: corneoscleral trabecular meshwork and angular aqueous plexus. *Curr. Eye Res.*, 1984, **3**, 795-807.
21. - SARAUX, H.: Région de l'Angle Irido-cornéen. In : *Anatomie et histologie de l'œil*. 2^o édition, SARAUX, H., LEMASSON, C., OFFRET, H., RENARD, G. (ed.). Paris ; Masson, 1982, pp 155-168.
22. - SAUTET, J.Y., LIGNEREUX, Y.: L'Angle irido-Cornéen. Document pédagogique pour le C.E.S. d'Ophthalmologie Vétérinaire 2004-2005, 24p. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, France.
23. - SAUTET, J.Y., LIGNEREUX, Y.: Tunique vasculaire de l'œil. Document pédagogique pour le C.E.S. d'Ophthalmologie Vétérinaire 2004-2005, 47p. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, France.
24. - SAUTET, J.Y., LIGNEREUX, Y.: Vascularisation de l'œil et des annexes. Document pédagogique pour le C.E.S. d'Ophthalmologie Vétérinaire 2004-2005, 16p. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, France.