

FORMATION CONTINUE-ARTICLE DE SYNTHÈSE

Les bois de cerf : revue de littérature scientifique

CRIGEL M-H* ; BALLIGAND M** ; HEINEN E***

* et ** Département des Sciences Cliniques des Petits Animaux,
Service de Chirurgie
Faculté de Médecine vétérinaire, Université de Liège
B44, Bd de Colonster n°20
Sart-Tilman, B-4000 Liège

*** Institut d'Histologie Humaine. Faculté de Médecine. Université de Liège.
Rue des Pitteurs, 7. B-4020 Liège.

Les auteurs remercient le FRIA (Fond pour la formation à la Recherche dans l'Industrie et l'Agriculture) pour le soutien financier.

Crigel Marie-Hélène
Département des Sciences Cliniques des Petits Animaux, Service de Chirurgie
Faculté de Médecine vétérinaire, Université de Liège, B44, Bd de Colonster n°20
Sart-Tilman, B-4000 Liège.
Tél: 00 32 (0) 4 366 42 00 - 42 22 / Fax: 00 32 (0) 4 366 42 13
E-mail: Marie-Helene.Crigel@ulg.ac.be

RESUME : Cet article de synthèse regroupe les connaissances scientifiques sur les bois de cerf. Dans le premier chapitre, les acquis de la littérature concernant les bois de cerf en général sont présentés. Après une brève note sur la part qu'ils prennent dans l'histoire, ils sont décrits sur les plans de la taxonomie, l'anatomie, la composition et la fonction. Dans le deuxième chapitre, le cycle de croissance et son contrôle ainsi que l'histologie de la croissance des bois de cerf sont détaillés. Enfin, dans le troisième chapitre, les diverses utilisations du bois de cerf par l'homme sont présentées. Au travers cet article, l'originalité du tissu osseux ainsi que des velours de la ramure des cervidés est mise en exergue.

INTRODUCTION

Les cervidés, hormis l'hydropote et le cerf porte-musc, sont les seuls mammifères à posséder des bois et cette caractéristique définit leur famille. Les bois sont des organes annuellement caduques constitués d'os et dont les caractéristiques anatomiques, histologiques et physiologiques sont particulières. Le but de cet article est de regrouper les connaissances scientifiques sur les bois de cerf. Dans le premier chapitre, les acquis de la littérature concernant les bois de cerf en général sont présentés. Dans le deuxième chapitre, le cycle de croissance et son contrôle ainsi que l'aspect histologique de la croissance des bois de cerf sont décrits. Enfin, dans le troisième chapitre, les diverses uti-

lisations du bois de cerf par l'homme sont présentées.

GENERALITES SUR LES BOIS DE CERF

Avant de décrire en détail leur croissance, il semble intéressant de situer les connaissances générales sur les bois de cerf dans leur contexte scientifique. Après une brève note sur la part qu'ils prennent dans l'histoire, ils sont décrits sur des plans divers comme la taxonomie, l'anatomie, leur composition et leur fonction.

Le cerf dans l'histoire

Il existe de nombreuses représentations du cerf au cours des âges.

Drouard (1980), dans une thèse intitulée "Les bois du cerf élaphe", a décrit les œuvres maîtresses des différentes époques et en a tiré une évolution globale. Il a classé ces œuvres en deux grandes catégories. La première regroupe les représentations à caractère essentiellement informatif comme les scènes de chasse des grottes préhistoriques, les peintures animalières et les photographies du XXe siècle. La deuxième rassemble les œuvres à caractère symbolique où la présence du cerf est souvent liée à une légende. Depuis les temps préhistoriques et de manière différente selon les époques, les hommes n'ont cessé de dessiner le cerf, de le graver, de le sculpter dans la pierre ou dans le bronze, de le peindre, de le dresser

aux portes des châteaux, de l'inclure dans les objets de décoration et d'en illuminer des manuscrits.

Les scientifiques se sont intéressés très rapidement aux bois de cerf. Il y a 2300 ans, Aristote décrit leurs propriétés dans *Historia Animalum* et d'anciens textes chinois les décrivent en détail. En 1576, Turbeville édita un livre sur la chasse "The noble art of venerie or hunting" dans lequel figure un large chapitre consacré aux bois de cerfs. De multiples observations anecdotiques et scientifiques à propos de la croissance des bois et de son contrôle apparaissent dans la littérature. Au travers de ce siècle, de nombreuses publications et quatre livres sont parus à leur sujet.

Taxonomie

Le cerf est un mammifère appartenant à l'ordre des ongulés, sous-ordre des ruminants et famille des cervidés. Il existe 17 genres et 41 espèces de mammifères apparentés au cerf. La famille est définie par la présence de bois, protubérances osseuses annuellement caduques. Seuls les mâles portent ces bois. Cependant, les mâles chez l'hydropote et le cerf porte-musc en sont dépourvus et chez le renne, les femelles possèdent ces appendices (Lincon, 1992). Il arrive que des femelles d'une espèce autre que le renne possèdent des bois. Elles ont, le plus souvent, des anomalies chromosomiques ou endocriniennes, ou alors, subi un traumatisme au niveau du crâne (Haigh et Hudson, 1993). S'il existe une absence de bois chez le mâle, celle-ci a souvent pour cause une sous-alimentation (Li et Suttie, 1994) ou un taux de testostérone anormal au cours du jeune âge.

La ramure (Legendre, 1980)

L'apparition des bois chez le cerf, selon les observations, serait corrélée à la régression des importantes canines du *Dicroceros* (ancêtre des cervidés). Chez le cerf élaphe, lequel possède des bois au maximum de leur complexité (figure 1), ces canines subsistent sous forme abortive, et sont appelées "cros".

La morphologie des bois étant déterminée par le patrimoine génétique, il apparaît très improbable de rencontrer deux cerfs aux ramures identiques. Néanmoins, il nous est possible de décrire un bois de cerf par

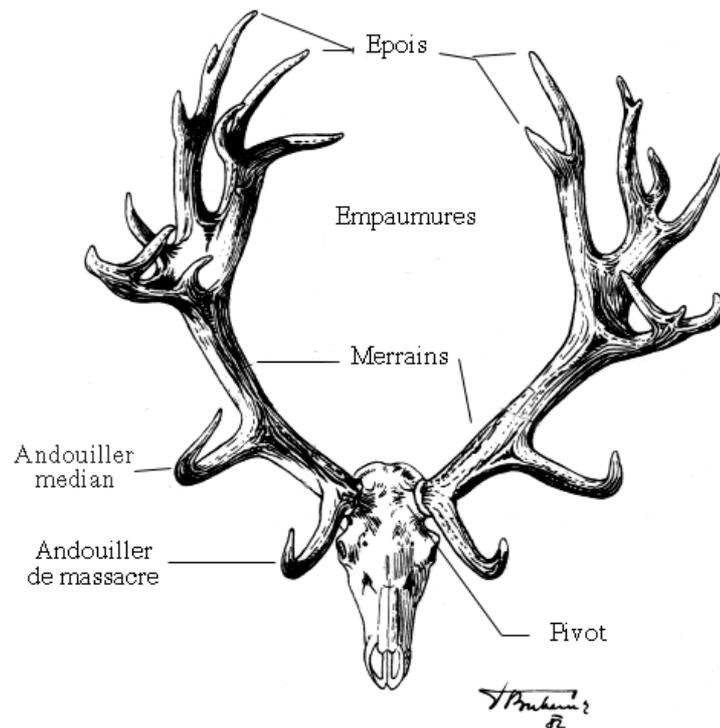


Figure 1 : Ramure d'un Cerf rouge (*Cervus elaphus*). Adapté de Haigh et Hudson, 1993.

une série d'éléments constants :

- le merrain compose l'axe des bois et est directement en prolongement avec la protubérance osseuse frontale (pivot).
- la meule est la jonction entre le pivot et le bois.
- les andouillers, ou cors, se détachent le long du merrain, ont une disposition constante et se dirigent généralement vers l'avant. A l'extrémité supérieure, le bois peut présenter plusieurs types d'andouillers: soit une en grande pointe, soit deux formant une enfourchure, soit au moins trois cors qui forment ainsi une empaimure. Les cors sont alors nommés épois. La forme de l'empaimure contribue à la beauté du trophée, symbolisant la "poussée vers le haut". Cette forme varie beaucoup selon la disposition des épois qui se placent en "U", en "V" ou en cœur.

L'aspect extérieur du bois est également sujet à des variations qui portent également sur les différentes "têtes" successives du même animal au cours de sa vie. Les granulations qui parsèment sa surface (ou grain) et sa couleur permettent de caractériser un bois, et en font également sa valeur et sa beauté.

Le poids du trophée (la ramure) arri-

vant à maturité, sur un bon animal, représente 4 à 5 % du poids total de l'animal, soit 4 à 6 kg par bois pour une longueur de 0,80 à 1 mètre. L'accroissement annuel de la ramure se poursuit alors que la croissance du cerf est terminée. Elle ralentit vers 8-10 ans et se stabilise vers 12 ans.

Les velours

Les bois sont des organes particuliers constitués d'un tissu osseux recouvert, au cours de leur croissance, d'un tégument appelé "velours". Les velours sont constitués d'un épiderme et d'un derme possédant, entre autres, des glandes sébacées, des poils, des vaisseaux sanguins et des nerfs. Ils sont séparés du tissu osseux en croissance par un tissu apparenté à un périoste. Il n'existe pas de tissu sous-cutané lâche (hypoderme).

Vascularisation et innervation

Les bois en croissance ont une vascularisation et une innervation riche. La vascularisation superficielle des bois, située dans les velours, provient des artères et des veines temporales superficielles. Celles-ci possèdent des branches qui fournissent la vascularisation des parties médiales et laté-

rales des bois (Adams, 1979). La vascularisation interne se fait au travers du pivot. Le drainage lymphatique se réalise en périphérie, des bois vers le ganglion parotidien puis les ganglions rétropharyngés (Barrel et al., 1990). L'innervation provient principalement des branches infratrochléaire et zygomatocemporale du nerf trijumeau. Il peut cependant y avoir une innervation secondaire provenant de la branche dorsale du nerf auriculopalpébral (Adams, 1979; Woodbury et Haigh, 1996). Rayner et Ewen (1981) ont montré qu'il n'existe pas d'innervation sympathique.

Composition

Les bois de cerf sont constitués d'un tissu osseux recouvert de velours au cours de leur croissance. Ce tissu osseux est décrit dans la littérature comme étant formé d'os spongieux au centre et d'os compact en périphérie (Goss et al., 1992; Bubenick, 1982; Lees, 1982; Chapman, 1981; Hyvärinen et al., 1977) (figure 2). Rolf et Enderle (1999) ont défini quatre zones histologiques différentes sur une coupe transversale, organisées de la périphérie vers le centre. Une première zone, sous les velours, faite d' "ostéïde"; une deuxième zone appelée "os ostéonique" faite d'os compact lamellaire; une troisième zone dite de "transition" entre l'os ostéonique et l'os trabéculaire; et enfin, une quatrième zone, centrale, constituée d'os trabéculaire.

La deuxième zone, également appelée zone corticale compacte, est majoritairement décrite dans la littérature comme étant formée d'os haversien (présence de remodelage et description d'ostéons haversiens; Rolf et Enderle, 1999; Lees S, 1982; Rajaram et Ramanathan, 1982).

Lees S (1987) a mesuré la densité et le contenu minéral et organique de l'os des bois de cerf. La figure 3 rend compte de sa faible densité par rapport aux autres tissus minéralisés du règne animal. Les mesures de densité du bois de cerf varient selon les études d'environ 0.96 à 1.44 g/ml (Hyvärinen et al., 1977) à 1,74 g/cm³ (Lees S, 1982). Ces variations sont dues aux espèces, âges et statuts nutritifs différents des animaux étudiés. Le contenu minéral est princi-

palement constitué par de l'hydroxyapatite (Sayegh et al., 1974).

Propriétés biomécaniques

Plusieurs auteurs ont étudié les propriétés biomécaniques du tissu osseux compact des bois de cerf. Seules les propriétés matérielles (par opposition aux propriétés structurales) ont été testées. Ils ont réalisé des tests monotoniques en tension et en flexion, des tests de fluage et des tests de fatigue (Currey, 1987; Rajaram et Ramanathan, 1982; Currey, 1989; Brear et al., 1990; Mauch et al., 1992; Zioupos P et al., 1994 et 1996; Spatz et al., 1996). La comparaison des propriétés biomécaniques des différents os compacts du règne animal montre qu'elles varient en fonction du taux de minéralisation des tissus, de leur porosité et de leur organisation. Les bois de cerf sont constitués d'une abondante matrice faiblement minéralisée. Les études ont montré que les bois de cerf ont un faible module d'élasticité et une zone de déformation plastique large. Les tests en tension montrent que la déformation plastique au moment de la fracture (déformation maximale) est de 2.5-5 %, ce qui représente une valeur élevée en comparaison aux autres tissus hautement minéralisés qui se déforment de 1-3 %. Ces mêmes tests montrent que la contrainte exercée au point de déformation maximale est de deux tiers supérieure à celle qui est exercée pour atteindre la limite d'élasticité. Elle n'est que de 10 % supérieure pour les tissus hautement minéralisés. Le bois de cerf posséderait la capacité de limiter l'extension des microfractures apparaissant dans la zone de défor-

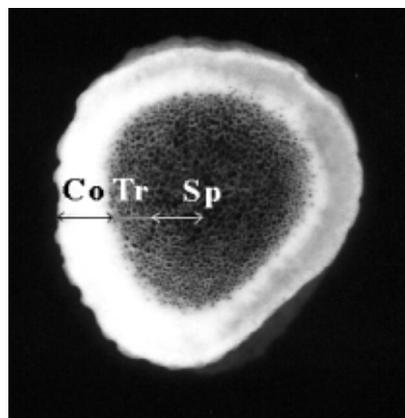


Figure 2 : Coupe transversale au niveau du merain d'un bois de cerf. Trois zones sont visibles : la zone corticale d'os compact (Co), la zone de transition (Tr) et la zone d'os spongieux (Sp).

mation plastique et de retarder la fracture finale. Ce matériau est donc capable d'absorber une grande quantité d'énergie avant rupture. Il est très résistant aux chocs et possède une résilience élevée.

Fonction des bois

La fonction des bois est sujette à de nombreuses spéculations. Ils servent principalement à l'expression du statut social, aux combats (entre les cerfs mâles ou contre les prédateurs) et comme organe dissipateur des phéromones. Ils sont accessoirement utilisés pour faire tomber les fruits des arbres et se gratter le dos par exemple. Le rôle potentiel de la ramure dans le contrôle de la température corporelle a été démenti par plusieurs études (Hove et Steen, 1978; Rayner et Ewen, 1981).

CYCLE, CONTROLE ET HISTOLOGIE DE LA CROISSANCE DES BOIS DE CERF

Organes particuliers, les bois de cerf représentent un modèle d'étude de la croissance osseuse pour de nombreux scientifiques. Si le cycle de croissance des bois a été décrit depuis longtemps, plusieurs équipes de chercheurs ont, depuis, approfondi les connaissances sur le contrôle et la nature histologique de leur croissance.

Cycle de la croissance

Chez les mammifères, les bois de cervidés représentent le seul organe capable de se régénérer entièrement. Dans les pays tempérés où les différentes saisons sont bien distinctes, les bois tombent et se régèrent une fois par an. Pendant la croissance, il est remarquable que le tissu osseux ainsi que les différents tissus constituant les velours, et notamment les nerfs, croissent à une vitesse de plus d'un centimètre par jour (Gray et al., 1992). Le cycle de croissance des bois est représenté à la figure 4. Plusieurs étapes majeures se distinguent : la croissance du pivot chez le jeune cerf, la croissance des premiers bois, la perte des velours, la perte des premiers bois et la régénération des bois suivants. La croissance annuelle de la ramure résulte d'une régénération des bois à partir de leur base. Deux années sont nécessaires au jeune cerf pour que le cycle devienne régulier.

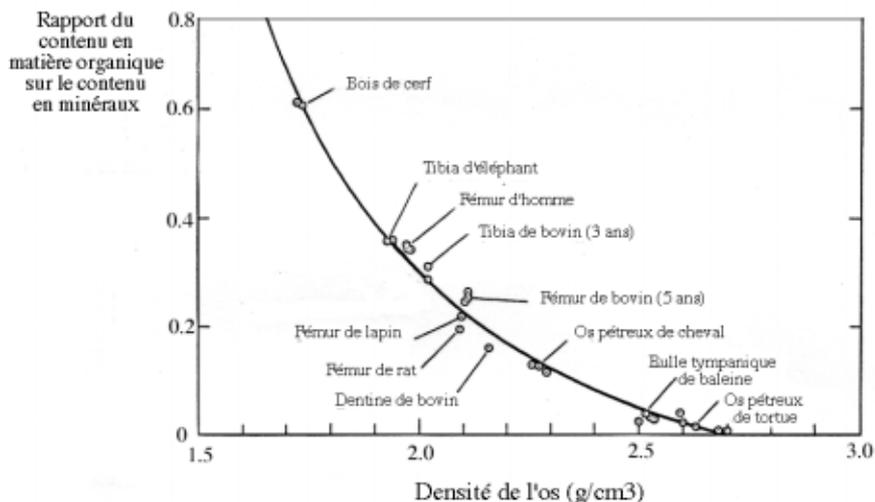


Figure 3 : Densité de différents tissus minéralisés et rapport du contenu en matière organique sur le contenu en matière minérale. Adapté de Lees et al., 1987.

Le pivot ou protubérance frontale

Les bois, chez le jeune mâle comme chez l'adulte, croissent à partir des pivots qui sont des excroissances osseuses permanentes au niveau de l'os frontal. Ces pivots ont pour origine un périoste particulier qui recouvre l'os frontal dans la région de croissance des bois. Le pivot est présent chez le mâle et chez la femelle et fait partie de la croissance de la crête frontale latérale. Cette croissance commence au cours de la vie fœtale. Les pivots deviennent palpables 3 à 5 mois après la naissance chez le mâle et 14 mois chez la femelle. Chez le mâle, au fur et à mesure de la croissance des bois, le pivot s'élargit chaque année par une apposition régulière d'os concentrique, mais sa hauteur diminue. La croissance du pivot dépend de facteurs de croissance locaux et d'hormones. Le statut nutritif de l'animal est important car la sous-alimentation et la maladie entraînent un retard de croissance (Li et Suttie, 1994).

La croissance et l'élongation des premiers bois.

Quand le cerf arrive à sa maturité sexuelle et que les pivots atteignent une taille de 5 à 6 cm, la croissance des bois débute par le biais d'une transition histologique graduelle de leur région apicale. Cette transition, d'une structure osseuse permanente vers une structure osseuse déciduale est un phénomène unique chez les mammifères (Goss, 1983). Contrairement aux ramures adultes, chez le jeune cerf, les premiers bois ne peuvent être considérés comme une structure en régénéra-

tion puisqu'ils apparaissent pour la première fois. Le début de la croissance des bois correspond à l'âge de la maturité chez le jeune cerf car leur initiation nécessite une stimulation androgène suffisante (Wislocki et al., 1947; Bubenik, 1982 ; Jaweczwski, 1982). Cette observation explique l'absence de bois chez la femelle. Une fois l'ébauche des bois établie, leur élongation commence. La première ramure est souvent petite et les bois ne possèdent pas de couronne (communément appelée meule) à leur base.

En raison de la forte demande en calcium, la croissance des bois (premiers bois ainsi que les bois suivants) s'accompagne d'une forme d'ostéoporose physiologique réversible au niveau des os du squelette. Ce phénomène s'observe également chez la femelle du renne (Baksi et Newbrey, 1989). En effet, certains auteurs ont étudié les changements des caractéristiques du tissu osseux cortical squelettique (Hillman et al., 1973 ; Banks et al., 1968 ; Brown et al., 1978 ; Brockstedt-Rasmussen et al., 1987) notamment à l'aide de marqueurs du remodelage osseux (Van der Eems et al., 1988) pendant la croissance des bois chez l'adulte. Baxter et al. (1999) ont établi une corrélation entre les changements observés au niveau du squelette et les phases de croissance des bois. Ils ont défini deux périodes : une première de croissance osseuse spongieuse et d'élongation des bois et une deuxième de formation d'os compact et de fin de minéralisation de la ramure. Ils ont observé une phase d'ostéoporose réversible au niveau des os du squelette pendant la première période de croissance des bois, et une phase de dépôt osseux simultané au niveau de la ramure et du squelette au cours de la deuxième période.

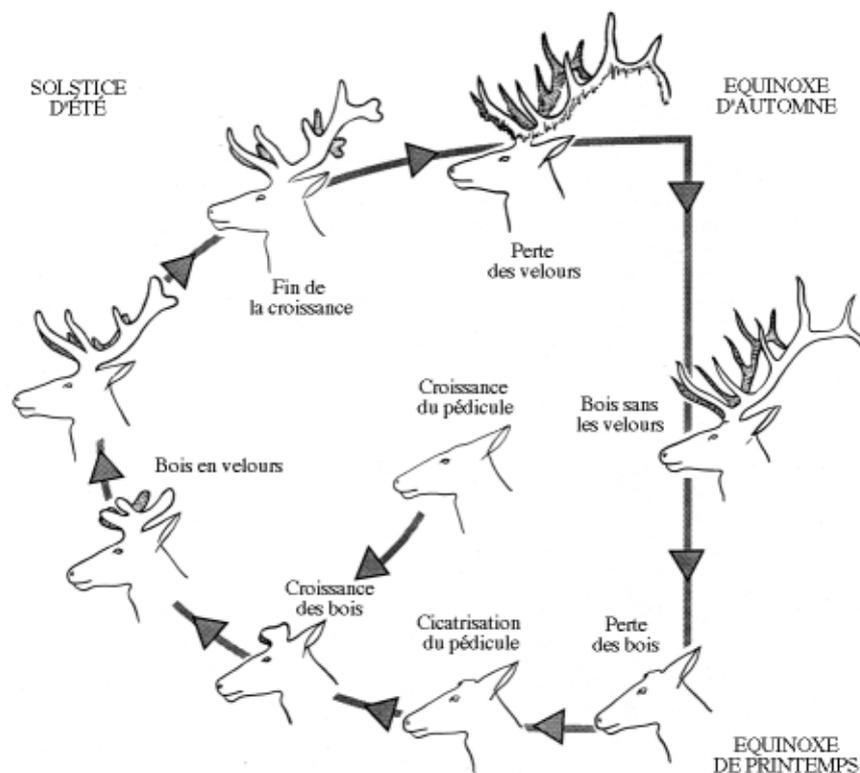


Figure 4 : Cycle de croissance des bois de Cerf. Adapté de Haigh et Hudson, 1993.

La perte des velours

À la fin de la croissance des bois (juillet-août parfois jusqu'en octobre en fonction de l'âge de l'animal), l'augmentation du taux de testostérone entraîne un arrêt de la vascularisation de la ramure et la perte des velours (Rolf et Fischer, 1996). L'arrêt de la vascularisation survient suite à la constriction des artères. Celle-ci serait due soit à une baisse préalable du métabolisme tissulaire, soit à un mécanisme direct de constriction des artères irriguant les bois qui possèdent des parois musculaires particulièrement larges apparemment adaptées au phénomène. Dès que les velours commencent à se dessécher, les cerfs frottent leur ramure contre des troncs d'arbres pour s'en débarrasser.

Les bois sans les velours

La période pendant laquelle le cerf porte ses bois débarrassés des velours correspond à la période hivernale (septembre à mars). Le mâle se sert de ses bois comme arme en particulier pendant le rut (septembre-octobre).

Pendant de nombreuses années, les scientifiques ont considéré qu'après la nécrose spontanée des bois, marquée par la chute des velours, il restait sur la tête des cerfs une structure morte (Wislocki, 1942 ; Goss et al., 1992, Goss, 1995). Il semblait, en effet, que la majorité de la vascularisation de la ramure venait des velours et non pas de la vascularisation interne des bois (Wislocki, 1942). Pourtant, Cowan et al. (1968) et Brown et al. (1975) ont mis en évidence l'existence d'un dépôt minéral dans la ramure après la perte des velours. Ils supposaient, alors, qu'il subsistait une vascularisation interne pendant cette période. En 1999, Rolf et Fischer ont montré, par une étude histologique, qu'il existe une vascularisation bien développée au centre de la ramure (tissu osseux spongieux) par des vaisseaux sanguins venant de la base. Ils ont mis en évidence la présence d'ostéocytes et d'ostéoblastes actifs déposant une matrice ostéoïde, ainsi que la formation de microcals trabéculaires à un stade peu avancé, ce qui indiquerait l'existence d'un remodelage osseux selon ces auteurs.

La perte des bois (Goss RJ et al., 1992)

Les cerfs perdent leurs bois peu avant l'équinoxe de printemps (mars-avril)

quand la testostérone atteint son taux le plus bas. De manière générale, le jeune cerf perd ses bois plus tard que l'adulte. La perte des bois résulte d'une érosion ostéoclastique de l'apex du pivot osseux. Celui-ci devient plus vascularisé et des sinus de résorption osseuse apparaissent et tendent à fusionner. La peau du pivot devient enflammée et œdémateuse juste avant la chute. L'ancrage des bois reste cependant très ferme jusqu'à peine quelques jours avant celle-ci. Quand les bois tombent, un bref épisode hémorragique se produit, suivi de la cicatrisation de la plaie qui permet la régénération des bois suivants.

La croissance des bois suivants

La croissance des bois suivants se fait à partir des pivots en adoptant le même type de croissance osseuse que les premiers bois et selon un cycle qui devient régulier. Les ramures sont de plus en plus longues et massives. La croissance des bois chez l'adulte se réalise en 120 à 150 jours en fonction des espèces. Quand le cerf atteint un âge avancé, la ramure commence à perdre de l'ampleur, on dit que " le cerf ravale ".

Contrôle de la croissance

L'initiation de la croissance et le cycle des bois est sous l'influence de plusieurs facteurs (figure 5). Il est directement en relation avec les

variations hormonales sexuelles chez le cerf. Dans les espèces vivant au niveau des régions tempérées, le cycle est directement influencé par les variations photopériodiques qui agissent sur la sécrétion des hormones stéroïdiennes sexuelles et de l'hormone de croissance.

La croissance du pivot et l'initiation de la croissance des bois

La croissance du pivot et des bois passe par 4 types d'ossification (voir le chapitre Histologie de la croissance): intramembranaire (IMO), transitionnelle (OPC), endochondrale du pivot (pECO) et endochondrale des bois (aECO).

Le mécanisme précis par lequel les hormones androgènes et les facteurs de croissance contrôlent la croissance du pivot et des bois n'est pas précisément connu, malgré les études déjà réalisées sur l'influence de la testostérone (Jaczewski, 1982; Goss 1983; Suttie et al., 1985 et 1995a). Pourtant, Li et al. (1999) ont réalisé une étude qui montre que le facteur de croissance IGF-1 (Insulin-Like Growth factor 1) stimule la croissance osseuse des 4 types d'ossification. Il montre également qu'en présence d'IGF-1, la testostérone permet la phase de transition et donc l'initiation de la croissance des premiers bois chez le jeune cerf, alors qu'elle joue un rôle régulateur négatif au cours du cycle de croissance des bois suivants

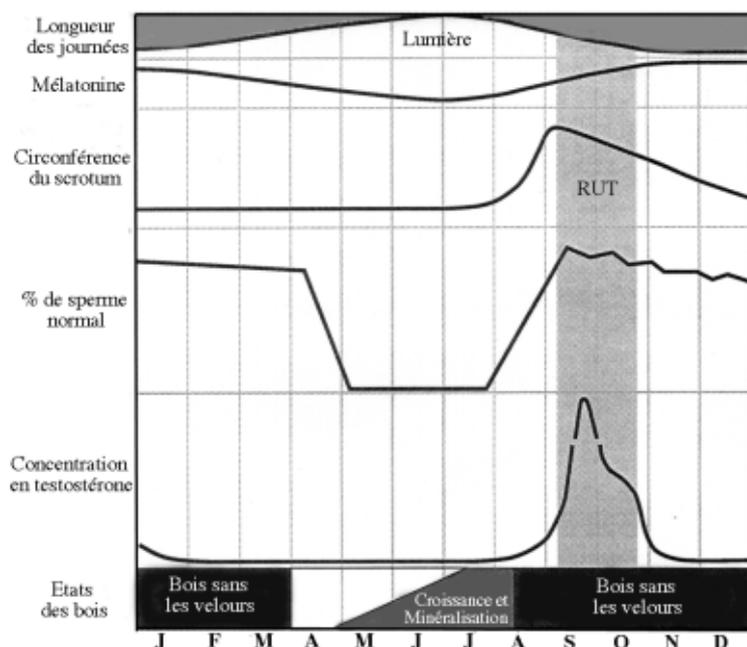


Figure 5 : Cycle des bois et variation de la concentration en testostérone, du pourcentage de sperme normal, de la concentration en mélatonine et de la longueur des journées. Adapté de Haigh et Hudson, 1993.

(voir effet de la testostérone). Li et al. (1990) ont montré par ailleurs que le tissu en croissance de l'apex du pivot osseux est sensible à la testostérone.

La croissance des bois

- La lumière joue un rôle crucial dans le contrôle du cycle de croissance des bois. La variation photopériodique annuelle entraîne deux phases de 6 mois dans ce cycle. Si on double la fréquence du rythme annuel, on double le cycle et il résulte une croissance de deux ramures par an. Si on triple ou quadruple la fréquence, il résulte une croissance (incomplète) de 3 et 4 ramures respectivement. Si la fréquence devient supérieure à 4 par an, le cycle de croissance revient à un rythme annuel. Si par contre le rythme s'étend sur deux années, les adultes gardent un cycle annuel, mais les jeunes cerfs allongent leur cycle de croissance.
- L'étude du dosage des profils hormonaux, des effets de la castration et des effets d'implants de testostérone prouvent la relation entre les taux de testostérone et le cycle de croissance des bois de cerf. Des hormones sexuelles, seule la testostérone présente des variations saisonnières significatives (Bubenik et al., 1991). Chez le jeune cerf, la testostérone est indispensable à l'initiation de la croissance des bois à partir du pivot osseux. Chez la femelle, qui possède le même pivot, mais qui ne développe pas de ramure, une administration expérimentale de testostérone entraîne cette même initiation. Chez le mâle adulte, le cycle de croissance des bois commence quand il perd la ramure précédente. L'étude des profils hormonaux a montré que lorsque que le taux de testostérone est au plus bas, aux alentours de l'équinoxe de printemps (mars-avril), les bois tombent et une nouvelle ramure se développe immédiatement (Wisloski et al., 1947 ; Goss, 1983). Contrairement à l'initiation de la croissance chez le jeune, la croissance et l'élongation de la ramure ont lieu quand le taux de testostérone est bas. Celui-ci reste bas jusqu'à la fin du printemps, voire le début de l'été, et permet la

croissance rapide et complète de la ramure (Muir et al., 1988). Après le solstice d'été (mai-juin), le taux de testostérone commence à augmenter et entraîne un dépôt d'os cortical en périphérie de la ramure (Muir et al., 1988). Peu avant le rut (juillet-août), le taux atteint presque son apogée et la minéralisation se complète (Goss, 1983 ; Muir et al., 1988). Ce changement de statut hormonal entraîne un arrêt de la vascularisation des bois, les tissus mous se nécrosent et les velours tombent. Le cerf garde ses bois débarrassés des velours jusqu'au printemps.

La castration inhibe toute influence de la testostérone sur le cycle de croissance des bois. La castration d'un jeune cerf avant sa maturité supprime la croissance des bois car elle supprime le stimulus nécessaire à l'initiation de la croissance. La castration chez l'adulte portant des bois en velours entraîne la rétention d'une ramure en velours. En effet, c'est un taux bas en testostérone qui permet la croissance de la ramure (de mars à juillet-août) et son augmentation qui déterminera l'arrêt de la croissance et la perte des velours. La castration chez l'adulte portant des bois "morts" entraîne la chute de la ramure et la croissance de la suivante qui ne cessera de grandir. Quand elle atteint sa taille normale, elle s'épaissit, produit des nodules et prend une forme anormale.

- L'oestradiol est l'hormone stéroïdienne responsable de la croissance des bois et de leur contrôle chez la femelle du Renne (Lincoln et Tyler, 1999). Le cycle de croissance des bois chez la femelle est le même que celui du mâle. Les variations saisonnières de l'oestradiol suivent celle de la testostérone. Ainsi, le mâle et la femelle possèdent leur ramure, débarrassée des velours, comme, entre autres, une arme pendant les périodes de reproduction et hivernale au cours desquelles la compétition entre individus est grande.
- Autres hormones et facteurs de stimulation généraux et locaux

Les dosages (Ingram et al., 1999) du taux de cortisol circulant montrent que l'activité de la glande adrénérique change selon un rythme ultradien, circadien et saisonnier. La sensibilité de la réponse de cette glande

aux stimulations de l'ACTH varie au cours de l'année. Pendant la période de croissance des bois, contrairement à la période de reproduction, le taux de cortisol est à son taux le plus élevé et la glande surrénale est plus sensible aux stimulations de l'ACTH.

Suttie et al. (1985) ont montré que le taux circulant d'IGF-1 (Insulin-like Growth Factor-1) est significativement élevé au cours de la croissance des bois adultes. Ce taux est supérieur aux taux dosés au cours de la croissance du pivot et des premiers bois. Ils montrent également qu'il existe une corrélation positive entre la vitesse de croissance des bois et le taux circulant d'IGF-1. Francis et Suttie (1998) ont, de leur côté, démontré la présence de multiples facteurs de stimulation (IGF-1, IGF-2, TGF beta 2, c-fos, c-myc et beta-actin) dans les bois de cerf en croissance. Ils confortent l'hypothèse que la stimulation paracrine et autocrine joue un rôle important dans le contrôle de la croissance des bois. Il existe également une production locale de 1,25-(OH)2D qui contribue à l'élévation du taux sanguin en 1,25-(OH)2D au cours de la croissance des bois (Sempere et al., 1989).

Très peu d'auteurs ont réalisé jusqu'à présent des études concernant les Bone Morphogenetic Proteins (Jortikka et al., 1993; Feng et al., 1997). Il n'existe pas d'informations sur leurs caractéristiques et leur rôle éventuel particulier dans la stimulation osseuse de la croissance des bois de cerf.

Zhou et al. (1999) ont démontré la présence de polypeptides dans les velours des bois de cerf en croissance. Ces polypeptides purifiés et injectés comme facteurs de stimulation dans un modèle animal expérimental (rat) accélèrent la régénération osseuse. Ces peptides auraient un rôle de facteur de stimulation de la croissance osseuse.

Sunwoo et al. (1998) rapportent que les protéoglycans (glycoaminoglycans, GAGs, liés à une protéine) agiraient au niveau de la régulation et de la prolifération des chondrocytes. Les protéoglycans sont un ensemble majeur de protéines non-collagéniques dans le tissu cartilagineux des bois. Ces auteurs ont étudié la présence de GAGs au niveau de la ramure en croissance et concluent à la présence de chondroïtine sulfate (90%

de l'ensemble des acides uroniques) ainsi que de kératan Sulfate et d'acide hyaluronique. Cette étude pourtant ne permet pas de comprendre leur rôle dans la croissance des bois.

Kierdorf U. et Kierdorf H (1998) ainsi que Kierdorf U et Bartos (1999) ont étudié l'injection locale d'acide rétinolique au niveau d'un pivot en croissance. Ils ont montré que l'injection de ce facteur altère la séquence spatiale de croissance du pivot et des premiers bois. Ils supposent qu'il entraîne une modification de l'information au niveau des cellules responsables de la croissance des bois de cerf.

Garcia et al. (1997) ont étudié l'expression de la neurotrophin-3 (NT-3) à différents niveaux de la ramure en croissance. La NT-3 est un polypeptide nécessaire à la survie et à la différenciation des neurones sensitifs de type myélinisé proprioceptif. L'expression la plus élevée de ce polypeptide a été détectée dans les couches épidermique et dermique des velours, là où l'innervation est la plus dense, et particulièrement dans la région apicale de croissance des bois. L'existence d'une production de EGF (Epidermal Growth Factor) au niveau des velours pendant cette même période a été montrée par Ko et al. (1986).

- De toute évidence, la croissance des bois est également sous contrôle nerveux. L'inhibition de l'innervation autonome parasympathique (les bois ne possèdent pas d'innervation sympathique (Rayner et Ewen, 1981)) altère la forme des bois mais pas leur croissance. La suppression de l'innervation périphérique n'inhibe pas la croissance des bois, mais influence leur taille. Une étude de transplantation du périoste de la région de croissance des bois vers un autre endroit du corps montre la croissance d'un tissu osseux difforme à cet endroit (Goss et powel, 1985; Goss, 1985). Contrairement à celle des bois, la croissance du pivot chez le jeune peut avoir lieu en l'absence d'innervation périphérique et autonome sympathique (Suttie et al., 1995b).
- Effet d'un traumatisme: Si le pivot ou les bois, à un stade précoce de la croissance, subissent un traumatisme, les bois peuvent prendre des

formes anormales. De même, il apparaît des anomalies particulières quand un membre ou une partie du corps est blessé. Marburger et al. (1972) ont observé que lorsqu'une blessure est en voie de cicatrisation et que les bois sont en croissance, il peut apparaître une anomalie sur le bois contralatéral. Cette observation est sûrement en relation avec les nerfs sensitifs qui se croisent au niveau de la moelle épinière. Si le traumatisme a lieu au niveau du crâne, l'anomalie se développe sur le bois ipsilatéral.

- Lake et al. (1978) ont testé l'application d'un courant électrique continu de faible intensité pendant la croissance des bois de cerf. Ils ont observé la croissance d'appendices normalement inexistantes et grandissant dans des directions aberrantes. Les bois soumis aux courants électriques avaient une taille significativement plus petite par rapport aux contrôles.

Il paraît évident que d'autres facteurs interviennent dans la croissance des bois de cerf mais ils restent actuellement non identifiés.

Histologie de la croissance des bois de cerf

La croissance du pivot et des premiers bois se déroule par une succession d'événements histologiques qui sont répartis en différentes phases distinctes classées en deux divisions majeures : les changements internes (non perceptibles de l'extérieur) et les changements externes (changements palpables et visibles).

Le périoste de la région de croissance des bois

La crête latérale de l'os frontal, inférieure à 5 mm chez le tout jeune cerf, est constituée d'un os spongieux recouvert d'un périoste. Ce périoste de la région de croissance des pivots et des bois est particulier. Des expériences de déléation et de transplantations ont montré qu'il possède, de manière exclusive, le potentiel de croissance du pivot et des bois (Goss et al., 1964; Chapman et al., 1975 ; Goss et Powel, 1985; Goss, 1985).

En référence au nom anglais " antlers " traduisant les " bois ", les scientifiques (Li et al., 1998), ont

décidé d'appeler ce périoste " Antlerogenic Periostum " ou périoste antlerogénique. L'adjectif qualificatif antlerogénique remplace l'adjectif ostéogénique dans la description de la croissance des bois de cerf.

La femelle possède le même périoste. Celui-ci est à l'origine de la croissance du pivot. Mais la femelle ne développe pas de bois, car elle ne possède pas la stimulation androgène nécessaire à l'initiation de leur croissance (Wislocki et al., 1947 ; Jaczewski, 1982).

Le périoste antlerogénique est constitué d'une couche fibreuse externe et d'une couche cellulaire interne (Goss et Pauwel, 1985). Bien qu'étant de même apparence histologique et de même densité cellulaire, ces deux couches sont plus épaisses au niveau de la région de croissance des bois par rapport aux couches du périoste de la région faciale (Li et Suttie, 1994). Ainsi, pour une même surface, le périoste antlerogénique possède une capacité supérieure de formation osseuse que le périoste facial. Ce périoste est largement vascularisé. Le potentiel antlerogénique du périoste réside dans la couche cellulaire. Au cours de la croissance du pivot et des bois, de nombreuses cellules en mitose ont été exclusivement observées dans cette zone (Banks et Newbrey, 1982a). Ces cellules ont été identifiées et nommées par Li et Suttie (1998) " Initial Antlerogenic Cells " (IACs) c'est-à-dire les cellules antlerogéniques initiales.

Le stade pré-pivot

La croissance du pivot commence au cours de la vie fœtale. Elle fait partie de la croissance de la crête frontale latérale chez le mâle et la femelle (Li et Suttie, 1994). Le périoste de la région de croissance du pivot recouvre de l'os spongieux contrairement au périoste de la région faciale qui recouvre de l'os compact. Ce périoste antlerogénique, au moment de la croissance du pivot, est hyperplasié alors que le périoste de la région faciale est au repos. Les cellules antlerogéniques se différencient en ostéoblastes et forment directement l'os. Cet os, spongieux, se forme en région apicale par une croissance intramembranaire (IMO) typique (Banks et al., 1983 a, b). La zone du périoste en contact avec l'os formé se distingue de celui-ci par la présence majoritaire de cellules de type pré-ostéoblaste. Les

auteurs observent l'absence d'ostéoclastes dans l'os spongieux ainsi que l'absence de fibres élastiques et de cartilage. Le pré-pivot est donc composé de trois parties, (figure 6) : le revêtement cutané (épiderme et derme), le périoste fibrillaire et cellulaire, et l'os spongieux.

Le pivot et la transition de la croissance osseuse intramembranaire vers une croissance osseuse endochondrale du pivot

Au cours de la croissance du pivot, quand sa hauteur atteint 5 à 15 mm et qu'il devient palpable, des groupes isogéniques de chondrocytes matures apparaissent au niveau des trabécules osseuses dans leur zone distale. En effet, certaines cellules souches se trouvant à l'extrémité de ces trabécules, se transforment en chondroblastes plutôt qu'en ostéoblastes. Li et al. (1995) ont montré par des expériences de culture de cellules en chambre de diffusion, que les cellules souches ont tendance à se différencier en ostéoblastes et à former du tissu osseux spongieux. Ils postulent que la voie de différenciation cellulaire par laquelle les cellules souches se transforment en chondroblastes plutôt qu'en ostéoblastes, apparaît suite à un stimulus extrinsèque. La pression locale faible en oxygène et la tension mécanique seraient en partie responsables du changement dans la voie de différenciation des cellules souches. Un tel phénomène s'observe dans le cas de la cicatrisation des fractures où l'interruption de la vascularisation favorise l'apparition de cellules cartilagineuses par rapport aux cellules osseuses. Au niveau du pivot, l'étude histologique montre que l'apparition des chondroblastes se fait dans une région apicale de forte croissance osseuse. La zone apicale des trabécules est séparée par des espaces constitués de tissu fibreux dans laquelle les auteurs notent l'absence de cellules sanguines. En effet, à ce stade de la croissance, le tissu osseux croît plus vite que les vaisseaux sanguins. Ce tissu osseux, situé en zone distale du pivot, est alors appelé ostéocartilagineux. L'apparition du tissu ostéocartilagineux marque le début de la transition d'une croissance osseuse intramembranaire vers une croissance osseuse endochondrale (Endochondral ossification : ECO).

C'est la phase d'OPC (Ossification Pattern Change). Suttie et al. (1991) ont démontré que la phase d'OPC est induite par la testostérone dès l'âge de la maturité chez le jeune cerf. Chez la femelle, la croissance du pivot s'arrête avant cette phase par manque de stimulation androgénique. Li et al. (1990) ont montré que le tissu en croissance de l'apex du pivot osseux est un organe cible de la testostérone (cf chap. Contrôle de la croissance). Le pivot est alors formé de 4 parties (figure 6) : le revêtement cutané, le périoste, le tissu ostéocartilagineux et le tissu osseux spongieux.

Quand le pivot devient visible (20 mm de hauteur), la région ostéocartilagineuse s'élargit et se divise en deux parties superposées : une zone distale ostéocartilagineuse et une zone proximale osseuse.

Quand le pivot atteint 25 à 40 mm de hauteur, la région ostéocartilagineuse s'agrandit encore et il apparaît une région apicale cartilagineuse qui s'organise en travées parallèles au grand axe (colonnes cartilagineuses) sous la couche cellulaire du périoste. Les cellules cartilagineuses proviennent des cellules IACs en division du périoste. Elles ne subissent plus, elles mêmes, de division par la suite mais seulement une hypertrophie, contrairement au cartilage somatique. Ainsi, les cellules en division du périoste donnent naissance à des chondroblastes qui s'organisent en colonnes et s'hypertrophient en chondrocytes. Ceux-ci sécrètent une matrice cartilagineuse intercellulaire qui se calcifie très vite. Quand les chondrocytes dégèrent, ils laissent les travées calcifiées (trabécules) qui se couvrent d'ostéoblastes (Rønning et al., 1990) qui déposent un tissu osseux spon-

gieux. Ce tissu spongieux possède une orientation longitudinale.

Les cellules en division du périoste de la région apicale sont responsables de l'élongation du pivot et des bois (ECO), alors que celles du périoste périphérique sont responsables de leur croissance (moins importante) en largeur (IMO).

Le pivot est alors formé de cinq parties (figure 6) : le revêtement cutané, le périoste, le tissu cartilagineux, le tissu ostéocartilagineux et le tissu osseux.

Szuwart et al. (1995) a divisé le pivot en croissance d'une manière encore plus précise : le revêtement cutané, le périoste, la zone de formation du cartilage, la zone d'hypertrophie du cartilage, la zone de minéralisation du cartilage, la zone de dégénérescence du cartilage, la zone primaire d'os spongieux et la zone secondaire d'os spongieux (avec dépôt d'os lamellaire).

A ce stade, les études histologiques montrent que la croissance du pivot, celle des premiers bois ainsi que l'élongation de ceux-ci, se réalisent par une croissance osseuse de type endochondral (ECO : Endochondral ossification). Tous les changements du type de croissance osseuse ne se remarquent pas de l'extérieur car le revêtement cutané de la région de croissance des bois est le même que celui du crâne.

Quand le pivot atteint 60 mm de hauteur, la peau prend l'aspect typique des velours des bois. Cette transformation se voit de l'extérieur et signale le début de la croissance des bois (changement externe). Or, du point de vue des changements internes, à ce stade, les changements histologiques du type de croissance osseuse se sont déjà opérés.

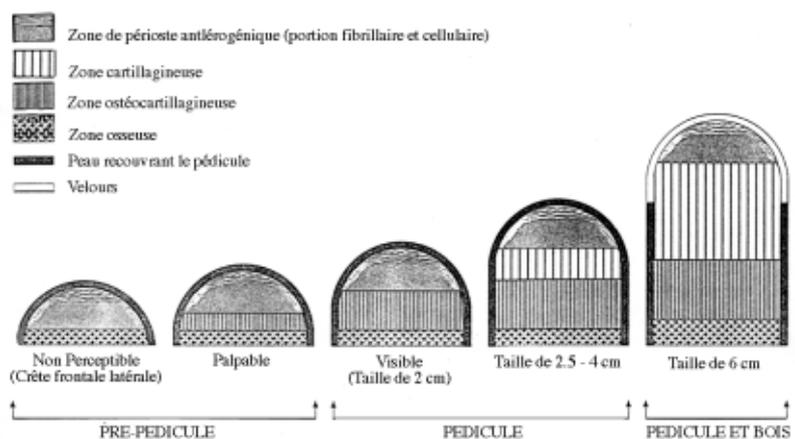


Figure 6 : Les différents stades histologiques de la croissance du pédicule à la croissance des bois. Adapté de Li et Suttie, 1994.

En résumé, l'histogénèse du pivot osseux et des premiers bois a pour origine les cellules antilégéniques du périoste de la région de croissance des bois, et se caractérise par deux phases distinctes :

- une phase interne au cours de laquelle le pivot se forme (avec successivement les phases de croissance osseuse intramembranaire (IMO), transitionnelle (OPC) et endochondrale du pivot (pECO) et
- une phase externe de croissance osseuse endochondrale des bois qui signale le début de leur croissance (aECO).

La croissance osseuse endochondrale et la croissance des bois

La croissance du pivot, l'élongation des premiers bois (Li et Suttie, 1994), ainsi que la croissance des bois suivants (Banks et al., 1983a,b) semble être, selon les études histologiques, de type endochondrale. À l'origine, certains auteurs s'interrogeaient sur l'existence réelle d'une zone de tissu cartilagineux étant donné la forte vascularisation de la zone "cartilagineuse et ostéocartilagineuse". Kuhlman et al., (1963), Frazier et al., (1975) et Banks et al. (1983a,b) ont très vite démontré par des études histologiques ultrastructurales et histo-chimiques sa nature cartilagineuse. D'autres études histo-chimiques, plus récentes (Szuwart et al., 1994, Szuwart et al., 1995; Barling et al., 1999), ont démontré la similarité de la croissance osseuse des bois à celle des os du squelette. L'activité de la phosphatase alcaline (ALPase) et de la phosphodiesterase I (PDE I), sources de phosphate pour le processus de minéralisation, augmente dans les zones en minéralisation et reflète ainsi la formation et la maturation du tissu osseux. Ils ont également montré que d'autres phosphohydrolases (5'-nucleotidase et nucleoside triphosphate pyrophosphohydrolase) sont associées à ce processus de minéralisation en étant particulièrement actives. Ces études histo-chimiques ont montré en outre que l'activité de la phosphatase alcaline est largement supérieure à celle qui est dosée au niveau des plaques de croissance des os du squelette. Ce qui prouve que la formation osseuse est intense au niveau des bois. Malgré

cette similarité à la croissance osseuse endochondrale certaines caractéristiques de la croissance des bois, comme la vascularisation riche du tissu cartilagineux, mettent en évidence le caractère particulier de cette croissance osseuse. Rucklidge et al. (1997) prétendent que les études biochimiques déjà réalisées (Banks et al., 1983; Newbrey et Banks, 1983; Price et al., 1996) prouvent la nature cartilagineuse de la croissance des bois de cerf mais ne convainquent pas de la similarité à la croissance endochondrale. Ils ont réalisé une immunodentification des différents types de collagène et ils affirment qu'il ne s'agit pas d'une croissance osseuse endochondrale typique. En effet, contrairement aux plaques de croissance, il ne leur a pas été possible de localiser les différents types de collagène (I, II, IX, X et XII) en fonction des zones de croissance bien qu'ils soient tous présents dans les tissus.

En contraste avec le type de croissance osseuse endochondrale somatique, Banks et Newbrey et banks (1983) ont nommé la croissance osseuse des bois de cerf : croissance osseuse endochondrale modifiée des mammifères (modified mammalian endochondral ossification). Rucklidge et al. (1997) la caractériseraient de "autrement modifiée". Concernant la vascularisation, Li et Suttie (1994) émettent l'hypothèse que cette croissance osseuse endochondrale modifiée aurait probablement évolué pour permettre une croissance rapide des bois. En effet, si le cartilage, qui connaît une forte croissance, n'était pas hautement vascularisé, les cellules cartilagineuses du centre manqueraient de nutriments et le tissu ne pourrait croître.

Ce chapitre rend bien compte de l'originalité du tissu osseux des bois de cerf par rapport aux os du squelette. Les bois ont un cycle de croissance annuel unique et les aspects histologiques de leur croissance sont originaux.

UTILISATION DU BOIS DE CERF

Objet de nombreuses études, les bois de cerf ont trouvé de multiples usages. La médecine traditionnelle orientale en consomme de grandes quantités. Les scientifiques se sont servi des ramures et de leur cycle

annuel particulier comme marqueur de la pollution de l'environnement. Ils se sont également servis de ce tissu osseux et de cette croissance particulière pour élaborer de nouveaux modèles d'études. Enfin, la géométrie, les propriétés mécaniques et la composition en font un matériau exploitable en médecine humaine et vétérinaire.

Médecine traditionnelle

Dans de nombreux pays comme la nouvelle Zélande, l'Amérique du Nord, la Russie et la Chine, les bois de cerf sont récoltés pendant leur pleine croissance au moment où l'innervation et la vascularisation sont abondantes et que la quantité d'os compact est minime. Ces bois en velours fournissent une substance très prisée en pharmacologie chinoise et coréenne depuis des siècles et leur popularité croît dans les pays occidentaux. Elle est vendue principalement comme aphrodisiaque, mais également comme remède à de nombreux troubles du corps humain tels que la "sciatique", les douleurs aux épaules, l'infertilité féminine, les maladies hépatiques, les varices, l'eczéma, l'hypertension et bien d'autres encore... (Dalefield et Oehme, 1999). Quelques rapports existent (Suh et al., 1999) sur les extraits de bois de cerf comme ayant des effets anti-âge, androgène/gonadotrophique, prostaglandin-like, hématopoïétique, régulateur de l'immunité, protecteur vis à vis des radiations et régulateur du taux de glucose sanguin. Pourtant, il existe un manque évident d'informations dans la littérature scientifique internationale pour confirmer leurs effets, ainsi que pour évaluer les risques toxicologiques. Ces risques sont, entre autres, la présence de résidus, les effets délétères androgéniques sur les fœtus et les nouveau-nés, ainsi que les réactions allergiques des substances administrées (Dalefield et Oehme, 1999). Seulement quelques études scientifiques ont été réalisées, mais elles n'offrent pas de réponse aux observations effectuées.

L'activité biologique de l'extrait bois de cerf a été décrite comme provenant des gangliosides qu'ils contiennent. La médecine traditionnelle orientale considère que la qualité de l'extrait de bois de cerf dépend de son contenu en gangliosides. Les gangliosides sont

des glycosphingolipides contenant de l'acide sialique. Certains auteurs supposent qu'ils jouent un rôle important dans la croissance, la différenciation et la transformation maligne cellulaire. Très peu de données scientifiques sont disponibles, mais certaines équipes travaillent sur le sujet. Yoo et al. (1993) ont élaboré une méthode de détection des gangliosides dans différents tissus, y compris dans celui des bois de cerf. Jhon et al. (1999) ont déterminé la structure de cinq gangliosides contenus dans des extraits de bois.

Les bois de cerfs ont été décrits comme pouvant améliorer l'immunité cellulaire et humorale en stimulant la production d'anticorps ou en inhibant la croissance des hyphes de *Candida albicans*. Pour tester une hypothétique action sur le système immunitaire, Suh et al. (1999) ont étudié l'effet de l'extrait alcoolique de bois de cerf sur l'activité phagocytaire des macrophages péritonéaux de souris. Ils ont montré l'augmentation de l'activité phagocytaire via la suppression de la production d'oxyde nitrique et l'augmentation de la concentration intracellulaire en Ca^{2+} . Zhao et al. (1992) ont isolé un protéoglycan et ont démontré son activité anti-complément.

Kim et Lim (1999) et Kim et al. (1999) ont montré que l'extrait aqueux des velours possède une activité anti-narcotique. Ils suggèrent son utilisation pour prévenir et traiter les effets secondaires de la morphine, particulièrement dans les cas d'utilisations thérapeutiques répétées.

Huang et al. (1991) ont mis au point un modèle d'étude de l'activité cellulaire myocardique et ont montré que certains extraits de bois de cerf entraînent une modification des contractions cellulaires.

Enfin, Huo et al. (1997) ont étudié le cartilage en croissance des bois pour leur contenu en facteurs de croissance. Ils ont démontré une stimulation de la croissance des fibres nerveuses et des inductions de la différenciation neuronale, similaire à celles induites par le facteur de croissance NGF (Nerve Growth Factor). D'autres études ont révélé la présence de facteurs dans les bois de cerf activant la croissance osseuse. Elles ont été décrites dans le chapitre sur le contrôle de la croissance.

Marqueurs de l'environnement

Les bois de cerf croissent et tombent tous les ans aux mêmes périodes. Plusieurs auteurs (Tataruch, 1995; Kierdorf U et al., 1997; Kierdorf H et Kierdorf U, 2000; Kierdorf U et Kierdorf H, 2000; Kierdorf U et al., 2000) ont démontré que leur récolte systématique et leur analyse représentent un moyen intéressant d'étude de la pollution de l'environnement par la détection du fluor et du plomb. Schönhofer et al. (1994), malgré la complexité du modèle, ont montré que le dosage du strontium-90 dans les bois de cerf récoltés au cours du siècle dernier en Autriche a donné une estimation des cas de contaminations sévères de l'environnement.

Modèles d'Etudes

Le bois de cerf est souvent utilisé dans les études comparatives entre les différents tissus minéralisés du règne animal. Ces études permettent d'une part, d'accroître les connaissances sur ces tissus et d'autre part, de mettre au point de nouvelles techniques d'analyses. Kierdorf U et al. (1997), Kierdorf U et al. (2000), Kierdorf H et Kierdorf U (2000) ont élaboré un modèle intéressant qui permet d'étudier les effets du fluor sur la croissance osseuse. Sayegh et al. (1974) ont valorisé les bois de cerf comme modèle biologique pour l'étude des processus de minéralisation intracellulaires et en ont décrit les particularités. Lees et Probst (1987) ont mis au point un "modèle général" pour l'étude de l'organisation spatiale du collagène. Ils ont comparé leurs résultats aux études réalisées par diffraction aux rayons-x (densité tissulaire et espacement par diffraction du collagène) et ont déterminé les valeurs particulières (contenu en minéraux, matière organique et eau) de divers tissus minéralisés et notamment celui des bois de cerf. Dans une autre étude (Lees, 1982), ils ont étudié les propriétés élastiques du collagène des tissus minéralisés par une méthode utilisant la propagation des sons au travers de ces tissus. Cette même équipe, en 1988, a déterminé, par microscopie électronique à transmission, la localisation des cristaux de minéraux par rapport au collagène toujours dans les différents tissus minéralisés du règne animal. Skalak et al. (1997) ont développé un modèle mathématique d'étude de la cinétique de croissance des surfaces. Ils

expliquent leur modèle en prenant, entre autres, pour exemple, les mesures réalisées sur les bois de cerf. Enfin, Auerbach et al. (1976) ont utilisé, par intérêt pour leur potentiel élevé de développement, des cellules souches responsables de la croissance des bois de cerf, afin d'essayer de comprendre certains processus d'angiogénèse.

Matériau / Biomatérial

La géométrie et les propriétés mécaniques des bois de cerf en font un matériau apprécié par l'artisanat. Comme il est facile à produire et aisé à façonner, il devrait permettre un usage en tant que biomatérial en orthopédie; rappelons que sa composition et sa structure sont proches de celles de l'os.

CONCLUSION

Les bois de cerf sont un organe fascinant notamment pour les scientifiques qui en étudient toutes les caractéristiques. Nous retiendrons l'originalité de ce tissu osseux tant sur le plan du cycle de croissance, de son contrôle et de son histologie particulière que sur le plan de la vitesse de croissance incomparable à tout autre tissu minéralisé du règne animal.

Bien que de nombreuses recherches aient déjà été réalisées, les sujets pour de futures études ne manquent pas (Goss, 1995). L'évolution des techniques d'investigation permettra aux scientifiques de faire progresser plus avant les connaissances, ouvrant de nouveaux horizons dans l'usage de ce remarquable matériau.

SUMMARY :

Deer antler : scientific review

This article reviews the scientific literature of deer antler. History, taxonomy, anatomy, composition and function of deer antler are presented in the first chapter. Growth cycle, its control and its histology are described in the second chapter. Use of deer antler for science purpose is listed in the third chapter. Along this article, the originality of the antler as an organ is pointed out.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS J.L. Innervation and blood supply of the antler pedicle of red deer. *NZ Vet J*, 1979, 27, 200-201.
- AUERBACH R, KUBAI L, SIDKY Y. Angiogenesis induction by tumors, embryonic tissues, and lymphocytes. *Cancer Res*, 1976, 36, 3435-3440.
- BAKSI S.N., NEWBREY J.W. Bone metabolism during antler growth in female reindeer. *Calcif Tissue Int*, 1989, 45, 611-616.
- BANKS W.J., JR EPLING G.P., KAINER R.A., DAVIS R.W. Antler growth and osteoporosis. I. Morphological and morphometric changes in the costal compacta during the antler growth cycle. *Anat Rec*, 1968, 162, 387-398.
- BANKS W.J., EPLING JR G.P., KAINER R.A., DAVIS R.W. Antler growth and osteoporosis. II. Gravimetric and chemical changes in the costal compacta during the antler growth cycle. *Anat Rec*, 1968, 162, 399-406.
- BANKS W.J., NEWBREY J.W. Antler development as a unique modification of mammalian endochondral ossification. In BROWN R.D. (Ed): *Antler development in Cervidae*. Kingsville, Texas, Caesar Kleberg Wildlife Reserve Institute, 1983a, 279-306.
- BANKS W.J., NEWBREY J.W. Light microscopic studies of the ossification process in developing antlers. In BROWN R.D. (Ed): *Antler development in Cervidae*. Kingsville, Texas, Caesar Kleberg Wildlife Reserve Institute, 1983b, 231-260.
- BARLING P.M., GUPTA D.K., LIM C.E. Involvement of phosphodiesterase I in mineralization: histochemical studies using antler from red deer (*Cervus elaphus*) as a model. *Calcif Tissue Int*, 1999, 65, 384-389.
- BARREL G.K., SIMPSON-MORGAN M.W. Major lymph nodes of the head of fallow deer (*Dama dama*) and lymphatic drainage of antlers. *Aust Vet J*, 1990, 67, 406-407.
- BAXTER B.J., ANDREWS R.N., BARRELL G.K. Bone turnover associated with antler growth in red deer (*Cervus Elaphus*). *Anat Rec*, 1999, 256, 14-19.
- BREAR K., CURREY J.D., POND C.M., RAMSAY M.A. The mechanical properties of the dentine and cement of the tusk of the narwhal *Monodon monoceros* compared with those of other mineralized tissues. *Arch Oral Biol*, 1990, 35, 615-621.
- BROCKSTEDT-RASMUSSEN H., LETH SORENSEN P., EWALD H., MELSEN F. The rhythmic relation between antler and bone porosity in Danish deer. *Bone*, 1987, 8, 19-22.
- BROWN R.D., COWAN R.L., GRIEL L.C. Correlation between antler and long bone relative bone mass and circulating androgens in white tailed deer (*Odocoileus virginianus*). *Am J Vet Res*, 1978, 6, 39.
- BUBENIK G.A. Physiology. In Thomas J.W. and Toweil D.E. (eds.), *Elk of North America, ecology and management*. Stackpole Books, Harrisburg, Pennsylvania, 1982, 125-179.
- BUBENIK G.A., BROWN R.D. AND SCHAMS D. Antler cycle and endocrine parameters in male axis deer (*Axis axis*): seasonal levels of LH, FSH, testosterone, and prolactin and results of GnRH and ACTH challenge tests. *Comp Biochem Physiol*, 1991, 99A, 645-650.
- CHAPMAN D.I. Antlers, bones of contention. *Mammal Rev*, 1975, 5, 121-172.
- CHAPMAN D.I. Antler structure and function: a hypothesis. *J Biomech*, 1981, 14, 195-197.
- COWAN R.L., HARTSOOK E.W., WHELAN J.B. Calcium-strontium metabolism in white tailed deer as related to age and antler growth. *Proc Soc Exp Biol Med*, 1968, 129, 733-737.
- CURREY J.D. The evolution of the mechanical properties of amniote bone. *J Biomechanics*, 1987, 20, 1035-1044.
- CURREY J.D. Strain rate dependence of the mechanical properties of reindeer antler and the cumulative damage model of bone fracture. *J Biomech*, 1989, 22, 469-75.
- DALEFEILD R.R., OEHME F.W. Deer velvet antler: some unanswered questions on toxicology. *Vet Hum Toxicol*, 1999, 41, 39-41
- DROUARD B.F.G. Les bois du cerf elaphe (*Cervus elaphus* l.) Aspects scientifique et culturel. These. École Nationale vétérinaire de Toulouse. 1980.
- FENG J.Q., CHEN D., GHOSH-CHOUDHURY N., ESPARZA J., MUNDY G.R., HARRIS S.E. Bone morphogenetic protein 2 transcripts in rapidly developing deer antler tissue contain an extended 5' non-coding region arising from distal promoter. *Biochim Biophys Acta*, 1997, 1350, 47-52.
- FRANCIS S.M., SUTTIE J.M. Detection of growth factors and proto-oncogene mRNA in the growing tip of red deer (*Cervus elaphus*) antler using reverse-transcriptase polymerase chain reaction (RT-PCR). *J Exp Zool*, 1998, 281, 36-42.
- FRASIER M.B., BANKS W.J., NEWBREY J.W. Characterization of developing antler cartilage matrix. I. Selected histochemical and enzymatic assesment. *Calcif Tissue Res*, 1978, 17, 273-288.
- GARCIA R.L., SADIGHI M., FRANCIS S.M., SUTTIE J.M., FLEMING J.S. Expression of neurotrophin-3 in the growing velvet antler of the red deer *Cervus elaphus*. *J Mol Endocrinol*, 1997, 19, 173-182.
- GOSS R.J., SEVERINGHAMS C.W., FREE S. Tissue relationship in the development of pedicles and antlers in Virginia deer. *J Mammal*, 1964, 61-68.
- GOSS R.J. Deer antlers. Regeneration, function and evolution. Academic Press, New-York, 1983.
- GOSS R.J., POWEL R.S. Induction of deer antler by transplanted periosteum I. Graft size and shape. *J Exp Zool*, 1985, 235, 359-373.
- GOSS, R.J. Induction of deer antler by transplanted periosteum II. Regional competence for velvet transformation in ectopic skin. *J Exp Zool*, 1985, 244, 101-111.
- GOSS, R.J. Tissue differentiation in regenerating antlers. In: FENESEY P.F., DREW K.R. (eds), *Biology of Deer production*. Royal Soc. of New Zealand, 1985, Bull. 22, 229-238.
- GOSS R.J., VAN PRAAGH A., BREWER P. The mechanism of antler casting in fallow deer. *J Exp Zool*, 1992, 264, 429-436.
- GOSS R.J. Future direction in antler research. *Anat Rec*, 1995, 241, 291-302.
- GRAY C., HUKKANEN M., KONTTINEN Y.T., TERENGI G., ARNETT T.R., JONES S.J., BURNSTOCK G., POLAK J.M. Rapid neural growth: calcitonin gene-related peptide substance P-containing nerves attain exceptional growth rates in regenerating deer antler. *Neuroscience*, 1992, 50, 953-963.

- HAIGH J.C., HUDSON R.J. Farming wapiti and red deer. REINHARDT R.W., Missouri, 1993, 369.
- HOVE K., STEEN J.B. Blood flow, calcium deposition and heat loss in reindeer antlers. *Acta Physiol Scand*, 1978, 104, 122-128.
- HILLMAN J.R., DAVIS R.W., ABDELBAKI Y.Z. Cyclic bone remodeling in deer. *Calcif Tissue Res*, 1973, 12, 323-230.
- HUANG S.L., KAKIUCHI N., HATTORI M., NAMBA T. A new monitoring system of cultured myocardial cell motion: effect of pilose antler extract and cardioactive agents on spontaneous beating of myocardial cell sheets. *Chem Pharma Bull (Tokyo)*, 1991, 39, 384-387.
- HUO Y., SCHIRF V.R., WINTERS W.D. The differential expression of NGFS-like substance from fresh pilose antler of cervus nippon temminck. *Biomed Sci Instrum*, 1997, 33, 541-543.
- HYVARINEN H., KAY R.N., HAMILTON W.J. Variation in the weight, specific gravity and composition of the antlers of red deer (*Cervus elaphus* L.). *Br J Nutr*, 1977, 38, 301-311.
- INGRAM J.R., CROCKFORD J.N., MATTHEWS L.R. Ultradian, circadian and seasonal rhythms in cortisol secretion and adrenal responsiveness to ACTH and yarding in unres-traiend red deer (*Cervus elaphus*) stags. *J Endocrinol*, 1999, 162, 289-300.
- JACZEWSKI Z. The artificial induction of antler growth in deer. In: BROWN R.D. (ed.), *Antler development in Cervidae*. Caesar Kleberg Wildl. Res. Inst., Kingsville, TX, 1982, 279-309.
- JHON G.J., PARK S.Y., HAN S.Y., LEE S., KIM Y., CHANG Y.S. Studies of the chemical structure of gangliosides in deer antler, *Cervus nippon*. *Chem Pharm Bull (Tokyo)*, 1999, 47, 123-127.
- JORTIKKA L., MARTTINEN A., LINDHOLM S. Partially purified reindeer (*Rangifer Tarandus*) bone morphogenetic protein has a high bone-forming activity compared with some other artiodactyls. *Clin Orthop*, 1993, 297, 33-37.
- KIERDORF H., KIERDORF U. Roe deer antlers as monitoring units for assessing temporal changes in environmental pollution by fluorides and lead in a German forest area over a 67-year period. *Arch Environ Contam Toxicol*, 2000, 39, 1-6.
- KIERDORF U., RICARDS A., SEDLACEK F., KIERDORF H. Fluoride content and mineralization of red deer (*Cervus elaphus*) antlers and pedicles from fluoride polluted and uncontaminated regions. *Arch Environ Contam Toxicol*, 1997, 32, 222-227.
- KIERDORF U., KIERDORF H. Effect of retinoic acid on pedicle and first antler growth in a fallow buck (*Dama dama* L.). *Anat Anz*, 1998, 180, 373-375.
- KIERDORF U., BARTOS L. Treatment of the growing pedicle with retinoic acid increased the size of the first antlers in fallow deer (*Dama dama* L.). *Comp Biochem Physiol C Pharmacol Toxicol Endocrinol*, 1999, 124, 7-9.
- KIERDORF U., KIERDORF H. The fluoride content of antlers as an indicator of fluoride exposure in red deer (*Cervus elaphus*): A historical biomonitoring study. *Arch Environ Contam Toxicol*, 2000, 38, 121-127.
- KIERDORF U., KIERDORF H., BOYDE A. Structure and mineralisation density of antler and pedicle bone in red deer (*Cervus elaphus* L.) exposed to different levels of environmental fluorides: a quantitative backscattered electron imaging study. *J Anat*, 2000, 196, 71-83.
- KIM H.S., LIM H.K. Inhibitory effect of velvet antler water extract on morphine induced conditioned place preference and DNA receptor supersensitivity in mice. *J Ethnopharmacol*, 1999, 66, 25-31.
- KIM H.S., LIM H.K., PARK W.K. Antinarcotic effects of the velvet antler water extract on morphine in mice. *J Ethnopharmacol*, 1999, 66, 41-49.
- KO K.M., YIP T.T., TSAO S.W., KONG Y.C., FENNESSY P., BELEW M.C., PORATH J. Epidermal growth factor from deer (*Cervus elaphus*) Submaxillary gland and velvet antler. *Gen Comp Endocrinol*, 1986, 63, 431-440.
- KUHLMAN R.E., RAINEY R., O'NEILL R. Biochemical investigation of deer antler growth. II. Quantitative microchemical changes associated with antler bone formation. *J Bone and Joint Surg*, 1963, 44A, 345-350.
- LAKE F.T., DAVIS R.W., SOLOMON G.C. The effects of continuous direct current on the growth of the antler. *Am J Anat*, 1978, 153, 625-630.
- LEES S. Ultrasonic measurements of deer antler, bovine tibia and tympanic bulla. *J Biomech*, 1982, 15, 867-74.
- LEES S. Considerations regarding the structure of the mammalian mineralized osteoid from viewpoint of the generalized packing model. *Connect Tissue Res*, 1987, 16, 281-303.
- LEE S., PROSTAK K. The locus of mineral crystallites in bones. *Connect Tissue Res*, 1988, 18, 41-54.
- LEGENDRE X. Importance de l'étude de la ramure dans la gestion d'une population de cervidés en Brenne. Thèse. Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon. 1980.
- LI C., BING G., ZHANG X., ZHOU J. Measurement of testosterone specific binding (receptor) content of antlerogenic site periosteum in male and female sika deer. *Acta Vet Zootechn Sinica*, 1990, 21, 11-14.
- LI C., SUTTIE J.M. Light microscopic studies of pedicle and early first antler development in red deer (*Cervus Elaphus*). *Anat Rec* 1994, 239, 198-215.
- LI C., WALDRUP K.A., CORSON I.D., LITTLEJOHN R.P., SUTTIE J.M. Histogenesis of antlerogenic tissues cultivated in diffusion chambers in vivo in red deer (*Cervus elaphus*). *J Exp Zool*, 1995, 272, 345-355.
- LI C., SUTTIE J.M. Electron microscopic studies of antlerogenic cells from five developmental stages during pedicle and early antler formation in red deer (*Cervus elaphus*). *Anat Rec*, 1998, 252, 587-599.
- LI C., LITTLEJOHN R.P., SUTTIE J.M. Effect of insuline-like growth factor 1 and testosterone on the proloferation of antlerogenic cells in vitro. *J Exp Zool*, 1999, 284, 82-90.
- LINCOLN G.A. Biology of antlers. *J Zool*, 1992, 226, 517-528.
- LINCOLN G.A., TYLER N.J. Role of oestradiol in the regulation of the seasonal antler cycle in female reindeer, *Rangifer tarandus*. *J Reprod Fertil*, 1999, 115, 167-174.
- MARBURGER R.G., ROBINSON R.M., THOMAS J.W., ANDREGG M.J., CLARK K.A. Antler malformation produced by leg injury in white-tailed deer. *J wild dis*, 1972, 8, 311-314.
- MAUCH M., CURREY J.D., SEDMAN A.J. Creep fracture in bones with different stiffnesses. *J Biomech*, 1992, 25, 11-16.

- MUIR P.D., SYKES A.R., BARREL G.K. Changes in blood content and histology during growth of antlers in red deer (*Cervus elaphus*) and their relationship to plasma testosterone levels. *J Anat*, 1988, 158, 31-42.
- NEWBREY J.W., BANKS W.J. Ultrastructural changes associated with the mineralisation of deer antler cartilage. *Am J Anat*, 1983, 166, 1-17.
- PRICE J.S., OYAJOB I.B.O., NALIN M.N., FRAZER A., RUSSEL R.G., SANDELL L.J. Chondrogenesis in the regenerating antler tip in red deer: expression of collagen types I, IIA, IIB, and X demonstrated by in situ nucleic acid hybridization and immunocytochemistry. *Dev dyn*, 1996, 205, 332-347.
- RAJARAM A., RAMANATHAN N. Tensile properties of antler bone. *Calcif Tissue Int*, 1982, 34, 301-305.
- RAYNER V., EWEN S.W. Do the blood vessels of the antler velvet of the red deer have an adrenergic innervation? *Q J Exp Physiol*, 1981, 66, 81-86.
- ROLF H.J., FISCHER K. Serum testosterone, 5 Dihydrotestosterone and different sex characteristics in male fallow deer (*Cervus Dama*): a long term experiment with accelerated photoperiods. *Comp Biochem Physiol*, 1996, 115A, 207-221.
- ROLF H.J., ENDERLE A. Hard fallow deer antler : a living bone till antler casting? *Anat Rec*, 1999, 255, 69-77.
- RÖNNING O., SALO L.A., LARMAS M., NIEMINEN M. Ossification of the antler in the Lapland Reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*). *Acta Anat*, 1990, 137, 359-362.
- RUCKLIDGE G.J., MILNE G., BOS K.J., FARQUHARSON C., ROBINS S.P. Deer antler does not represent a typical endochondral growth system: immunoidentification of collagen type X but little collagen type II in growing antler tissue. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol*, 1997, 118, 303-308.
- SAYEGH F.S., SOLOMON G.C., DAVIS R.W. Ultrastructure of intracellular mineralization in the deer's antler. *Clin Orthop*, 1974, 99, 267-284.
- SCHÖNHOFER F., TATARUCH F., FRIEDRICH M. Strontium-90 in antlers of red deer: an indicator of environmental contamination by strontium-90. *Sci Total Environment*, 1994, 157, 323-332.
- SEMPERE A.J., GRIMBERG R., SILVE C., TAU C., GARABEDIAN M. Evidence for external production of 1,25-dihydroxyvitamin during physiological bone growth: in vivo and in vitro production by deer antler cells. *Endocrinology*, 1989, 125, 2312-2319.
- SKALAK R., FARROW D.A., HOGER A. Kinematics of surface growth. *J Math Biol*, 1997, 35, 869-907.
- SPATZ H.C., O'LEARY E.J., VINCENT J.F. Young's moduli and shear moduli in cortical bone. *Proc R Soc Lond B Biol Sci*, 1996, 263, 287-294.
- SUH J.S., EUN J.S., SO J.N., SEO J.T., JHON G.J. Phagocytic activity of ethyl alcohol fraction of deer antler in murine peritoneal macrophage. *Biol Pharm Bull*, 1999, 22, 932-935.
- SUNWOO H.H., NAKANO T., SIM J.S. Isolation and characterization of proteoglycans from growing antlers of wapiti (*Cervus elaphus*). *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol*, 1998, 121, 437-442.
- SUTTIE J.M., GLUCKMAN P.D., BUTLER J.H., FENESEY P.F., CORSON I.D., LAAS F.J. Insulin-Like growth factor 1 (IGF-1) antler stimulating hormone? *Endocrinology*, 1985, 116, 846-848.
- SUTTIE J.M., FENESEY P.F., CROSBIE S.F., CORSON I.D., LAAS F.J., ELGAR H.J., LAPWOOD K.R. Temporal changes in LH and testosterone and their relationship with the first antler in red deer (*Cervus elaphus*) stags from 3 to 15 months of age. *J Endocrinol*, 1991, 131, 467-474.
- SUTTIE J.M., FENESEY P.F., LAPWOOD K.R., CORSON I.D. Role of steroids in antler growth of red deer stags. *J Exp Zool*, 1995a, 271, 120-130.
- SUTTIE J.M., LI C, SHEARD P.W., CORSON I.D., WALDRUP K.A. Effect of unilateral cranial sympathectomy either alone or with sensory nerve sectioning on pedicle growth in red deer (*Cervus elaphus*). *J Exp Zool*, 1995b, 271, 131-138.
- SZUWART T., GATH U., ALTHOFF J., HÖHLING H.J. Biochemical and histological study of the ossification in the early developing pedicle of the fallow deer (*Dama dama*). *Cell Tissue Res*, 1994, 277, 123-129.
- SZUWART T., KIERDORF H., KIERDORF U., ALTHOFF J., CLEMEN G. Tissue differentiation and correlated changes in enzymatic activities during primary antler development in fallow deer (*Dama dama*). *Anat Rec*, 1995, 243, 413-420.
- SZUWART T., KIERDORF H., KIERDORF U AND CLEMEN G. Ultrastructural aspects of cartilage formation, mineralization, and degeneration during primary antler growth in fallow deer. *Anat Anz*, 1998, 180, 501-510.
- TATARUCH F. Red deer antlers as biomonitors for lead contamination. *Bull Environ Contam Toxicol*, 1995, 55, 332-337.
- VAN DER EEMS K.L., BROWN R.D., GUNDBERG C.M. Circulating levels of 1.25 dihydroxyvitamin D, alkaline phosphatase, hydroxyproline and osteocalcin associated with antler growth in white-tailed deer. *Acta Endocrinologica (Copenh)*, 1988, 118, 407-414.
- WISLOCKI G.B. Studies on the growth of deer antlers I. On the structure and histogenesis of antlers of the virginia deer (*Odocoileus virginianus borealis*). *Am J Anat*, 1942, 71, 371-415.
- WISLOCKI G.B., WEATHERFORD H.L., SINGER M. Osteogenesis of antlers investigated by histological and histochemical methods. *Anat Rec*, 1947, 99, 265-284.
- WOODBURY M.R., HAIGH J.C. Innervation and anesthesia of the antler pedicle in wapiti and fallow deer. *Can Vet J*, 1996, 37, 486-489.
- YOO Y.S., KIM Y.S., JHON G.J., PARK J. Separation of gangliosides using cyclodextrin in capillary zone electrophoresis. *J Chromatogr A*, 1993, 652, 431-439.
- ZHAO Q.C., KIYOHARA H., NAGAI T., YAMADA H. Structure of the complement activating proteoglycan from the pilose antler of *Cervus nippon Temminck*. *Carbohydr Res*, 1992, 230, 361-372.
- ZHOU Q.L., GUO Y.J., WANG L.J., WANG Y., LIU Y.Q., WANG Y., WANG B.X. Velvet antler polypeptides promoted proliferation of chondrocytes and osteoblast precursors and fracture healing. *Chung Kuo Yao Li Hsueh Pao*, 1999, 20, 279-282

ZIOUPOS P., CURREY J.D., SEDMAN A.J. An examination of the micromechanics of failure of bone and antler by acoustic emission tests and Laser Scanning Confocal Microscopy. *Med Eng Phys*, 1994, 16, 203-212.

ZIOUPOS P., WANG X.T., CUREY J.D. Experimental and theoretical quantification of the development of damage in fatigue tests of bone and antler. *J Biomech*, 1996, 29, 989-1002.
