

Étude radiologique comparative de l'appareil stato-acoustique chez les vertébrés

Publication d'un travail rédigé en 1976, et réalisé à la Clinique de Radiologie de l'Hôpital Universitaire Saint-Pierre - Bruxelles, et au laboratoire d'Anthropologie de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique.

André BOLLAERT †, Simon KLEINER †,
Francine HOTTON †, Claire SCHMITZ-CUSNIR,
François TWIESELMANN † & Stéphane LOURYAN

AVANT-PROPOS

En 1976, les regrettés Francine Hotton, Simon Kleiner et André Bollaert, du service de radiologie de l'hôpital Universitaire Saint-Pierre (ULB) publiaient avec François Twiesselmann (Louryan, 2010) un article consacré à la radio-anatomie de l'os temporal des Néandertaliens de Spy (Hotton *et al.*, 1976).

C'était à l'époque une grande première, qui jetait les bases d'une discipline que plus tard nous eûmes l'audace d'appeler « paléo-radiologie » (Hotton *et al.*, 1984), et ce bien avant que des synthèses savantes fussent consacrées à ce type de recherche (Spoor *et al.*, 2000).

Toutefois, ce travail s'intégrait au départ dans un projet plus vaste. Il était en effet prévu d'élargir l'exploration à l'os temporal de divers vertébrés, dont les crânes avaient été fournis par le zoo d'Anvers.

Ce projet initial s'inscrivait dans une vaste perspective. L'imagerie « en coupes » était encore une technique nouvelle, et pouvait ainsi offrir ses services aux anatomistes, afin de révéler les détails cachés, sans devoir abîmer de précieux spécimens par des découpes intempestives.

Véritable dissection virtuelle, l'imagerie allait pouvoir révéler ce qui, dans l'appareil stato-acoustique de l'Homme – et aussi du Néandertalien – était commun ou pas à ce que l'on pouvait trouver chez d'autres espèces de vertébrés, suscitant ainsi une sorte de fil directeur phylogénétique basé sur la morphologie de cette région si importante pour la vie relationnelle des êtres vivants.

Cependant, le projet « Spy » fut individualisé et fit l'objet d'une publication séparée, et le reste du texte déjà rédigé séjournait plus de 30 ans dans des tiroirs. Ayant en charge la gestion de l'héritage scientifique du Dr Francine Hotton, le laboratoire d'Anatomie, Biomécanique et Organogénèse a longtemps gardé le manuscrit ; et nous estimons maintenant que l'heure est venue de le rendre public dans sa version initiale.

L'objectif est à la fois de rendre hommage à un travail de pionniers et de diffuser auprès du public des images rares qui peuvent constituer de précieux documents scientifiques.

Certes, les techniques d'imagerie utilisées sont obsolètes et très loin des

prouesses actuelles de la tomodesitométrie hélicoïdale. Les images sont néanmoins inédites. Le texte a été légèrement remanié pour le rendre conforme aux concepts et aux règles de publication actuelles.

1. INTRODUCTION

Les progrès considérables réalisés dans l'étude radiologique du rocher normal et pathologique, grâce à la tomographie, nous ont incités à appliquer cette technique d'examen à l'étude du rocher chez les vertébrés.

Nous avons été motivés dans le choix de cette étude qui sort résolument du domaine clinique, par le désir de faire connaître à nos collègues des sciences fondamentales les possibilités des moyens d'investigations dont nous disposons, ce faisant, nous sommes d'ailleurs tout à fait dans notre rôle de laboratoire de radiologie universitaire.

Déjà en octobre 1971, nous avons eu l'occasion d'exposer aux « 7^{èmes} Journées des Anthropologistes de Langue Française » à Bordeaux, une première étude comparative du rocher chez l'*Homo sapiens* et l'*Homo neandertalensis*.

Nous avons pu disposer en effet des crânes néandertaliens découverts à Spy au XIX^{ème} siècle, grâce à notre collègue, le Professeur Twiesselmann, anthropologiste de notre Faculté et chef de la section d'Anthropologie et de Préhistoire à l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique où sont conservés les fossiles de Spy.

2. MATÉRIEL D'ÉTUDE

Nos recherches ont porté sur des crânes et plus spécialement des rochers des espèces suivantes : *Homo sapiens*, *Homo neanderthalensis*, chimpanzé, gorille, singes primitifs, ours, cervidés, rongeurs, reptiles et oiseaux (Tableau 1).

MAMMALIA Singes Catarrhiniens	(Anthropoidea) Gorille Bonobo	<i>Gorilla gorilla</i> Savage and Wyman <i>Pan paniscus</i> Schwarz
Platyrrhiniens	Singe laineux	<i>Lagothrix humboldti</i> Geoffroy
Lémuriens	Maki mongoz	<i>Eulemur mongoz</i> Linnaeus
Rodentia	Paca	<i>Cuniculus paca</i> Linnaeus
Carnivora	Ours à collier	<i>Ursus thibetanus</i> Cuvier
Tubulidentata	Oryctérope	<i>Orycteropus afer</i> Pallas
AVES	Jabiru d'Afrique	<i>Ephippiorhynchus senegalensis</i> Shaw
REPTILIA	Alligator	<i>Alligator mississippiensis</i> Daudin

Tableau 1 — Espèces explorées (*Homo* exclu)

3. TECHNIQUE

Nous avons effectué des clichés standard en incidence de Hirtz et des tomographies en incidences de face, de profil, en Stenvers et en horizontale. Le balayage utilisé pour la tomographie est hypocycloïdal ou spiralé ; les seules qui permettent l'étude de structures osseuses fines et d'autant plus difficiles à reconnaître que l'on remonte plus loin dans la phylogénèse.

4. ETUDE COMPARATIVE DES ROCHERS

4.1. Mammifères

4.1.1. Rocher de l'*Homo sapiens neanderthalensis*

À l'inspection, nous avons été frappés par le bon état de conservation des crânes de Néandertaliens de Spy, vieux de 40.000 ans.

Le temporal du Néandertalien se distingue essentiellement de celui de l'homme moderne par une écaille plus petite, surtout en hauteur, une apophyse mastoïdienne plus réduite, une hypertrophie de l'arcade zygomatique et du tubercule zygomatique.

L'examen tomographique du rocher néandertalien (Fig. 1) permet de retrouver le conduit auditif interne, la cochlée avec ses deux tours et demi de spire, le vestibule, les canaux semi-circulaires.

Toutes ces structures sont identiques à celles de l'homme actuel à tout point de vue.

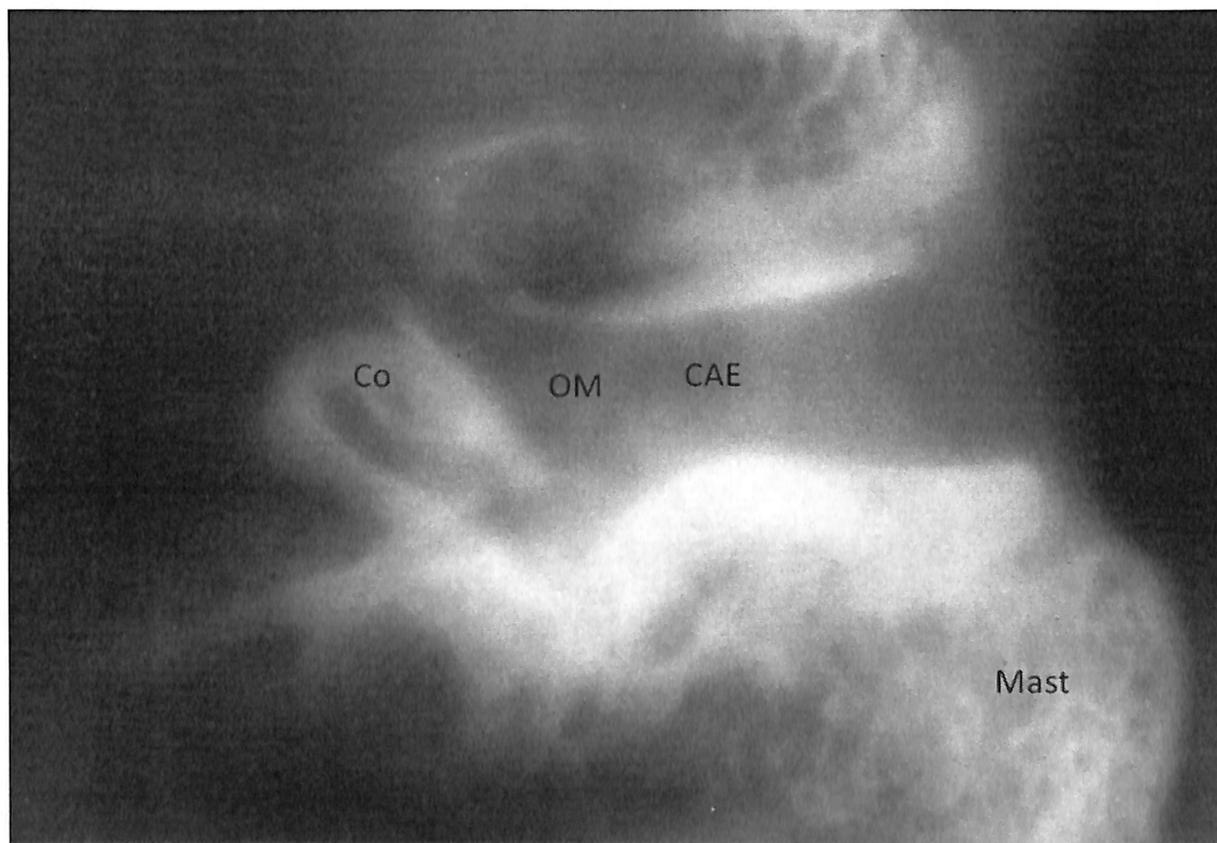


Fig. 1 — *Homo sapiens neanderthalensis* (Spy). Tomographie horizontale, démontrant le conduit auditif externe, suivi par l'oreille moyenne et par la cochlée. En arrière, le processus mastoïdien.

Par contre, au niveau de l'oreille moyenne et de l'oreille externe, des différences sensibles apparaissent.

L'apophyse mastoïde est normalement développée et bien pneumatisée mais plus petite.

En arrière du conduit auditif externe, un massif osseux très dense s'observe. Il est sans doute assimilable au « massif de Gelle » ou « lame arquée pré-mastoïdienne de Chipault » ou encore à notre « mur du facial ».

L'oreille externe est topographiquement liée à un puissant appareil masticateur. La longueur du conduit auditif externe et sa largeur sont comparables à celles du conduit de l'homme actuel.

La caisse du tympan est en situation normale. Ses dimensions sont comparables à celles du rocher actuel. Toutefois, elle se prolonge vers le bas et vers l'arrière, constituant une sorte de récessus hypotympanal sous la partie antérieure de l'oreille interne.

4.1.2. Rocher des singes Catharrhiniens (*Anthropoïdes*)

Notons d'abord que les primates, tout comme l'*Homo sapiens* et l'*Homo sapiens neandertalensis* d'ailleurs, ne présentent pas la bulle tympanique caractéristique chez les mammifères.

Chimpanzé

Les tomographies effectuées en incidence antéro-postérieure démontrent la similitude des structures de l'oreille interne (Fig. 2).

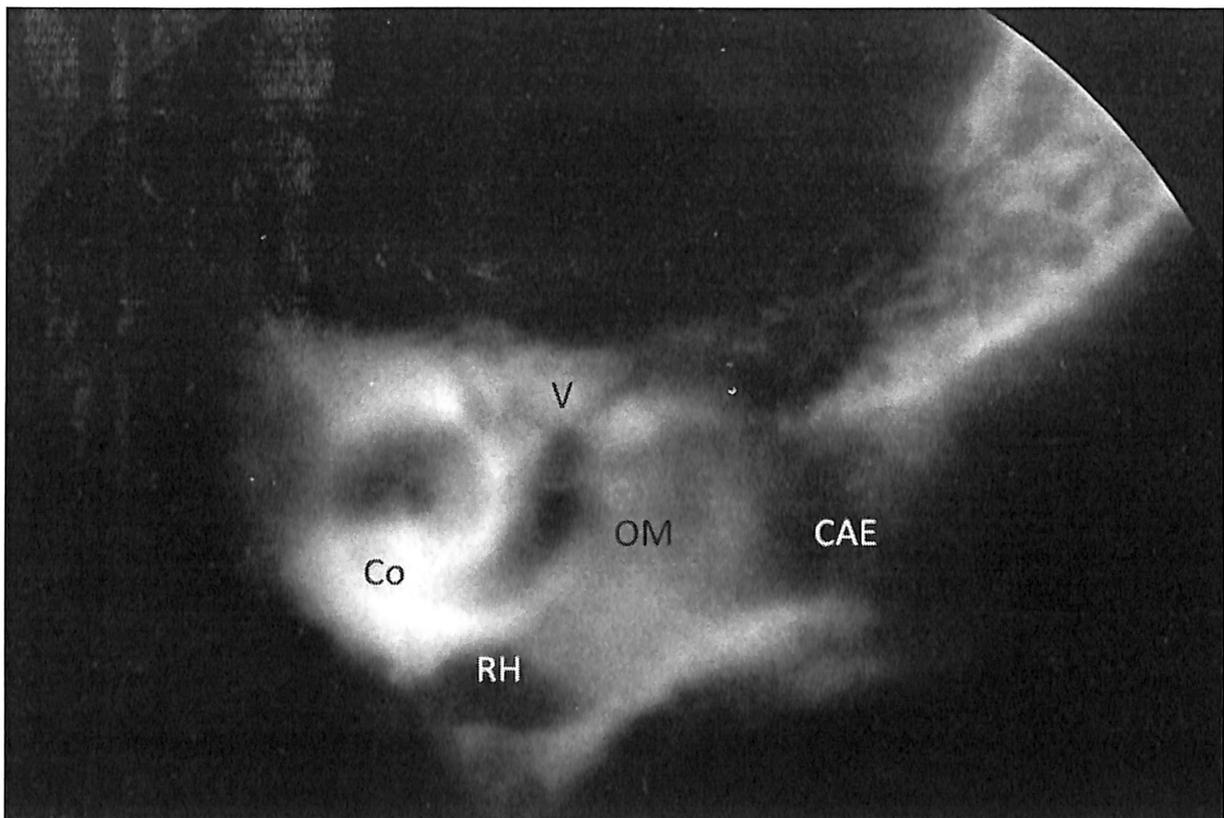


Fig. 2 — Chimpanzé. Tomographie frontale. On observe la profondeur du récessus hypotympanique.

Le conduit auditif interne, les canaux semi-circulaires, le vestibule et la cochlée présentent exactement les mêmes dispositions que chez l'homme (Fig. 1).

Par contre, des différences se manifestent au niveau de l'oreille moyenne et de l'oreille externe, la caisse du tympan est plus spacieuse : le conduit auditif est allongé, la pneumatisation mastoïdienne est peu développée.

Gorille

Le gorille est souvent comparé à l'homme, notamment parce qu'il paraît se tenir debout et qu'il n'est pas arboricole. En fait, le gorille est le terme ultime d'une lignée distincte qui a évolué pour son propre compte par le gigantisme. En incidence de Hertz, le crâne est énorme, mais allégé par

une pneumatisation intense, débordant largement les mastoïdes (Fig. 3a).

Le trou occipital est beaucoup plus postérieur que celui de l'homme. Par contraste, la cavité endocrânienne a des dimensions réduites. Il existe une intense pneumatisation de tout le crâne et du rocher en particulier.

Les tomographies effectuées en incidence antéro-postérieure montrent une oreille interne fort semblable à celle de l'homme (Fig. 3b). Les canaux semi-circulaires, la cochlée et le conduit auditif interne sont identiques. Même la crête falciforme est reconnaissable. Les différences apparaissent à nouveau dans l'oreille moyenne ; la caisse du tympan est nettement agrandie ; le conduit auditif

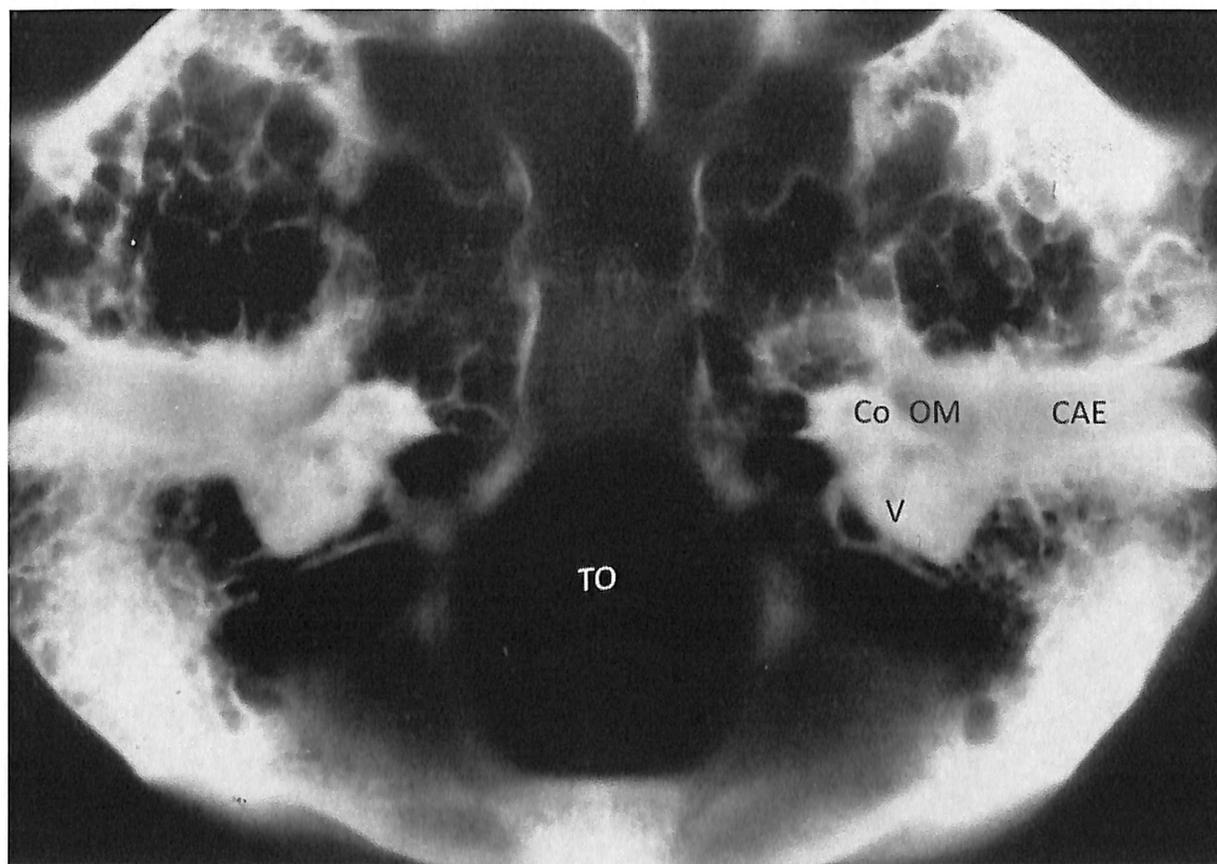


Fig. 3a — Gorille. Tomographie horizontale. On observera l'intense pneumatisation du crâne.

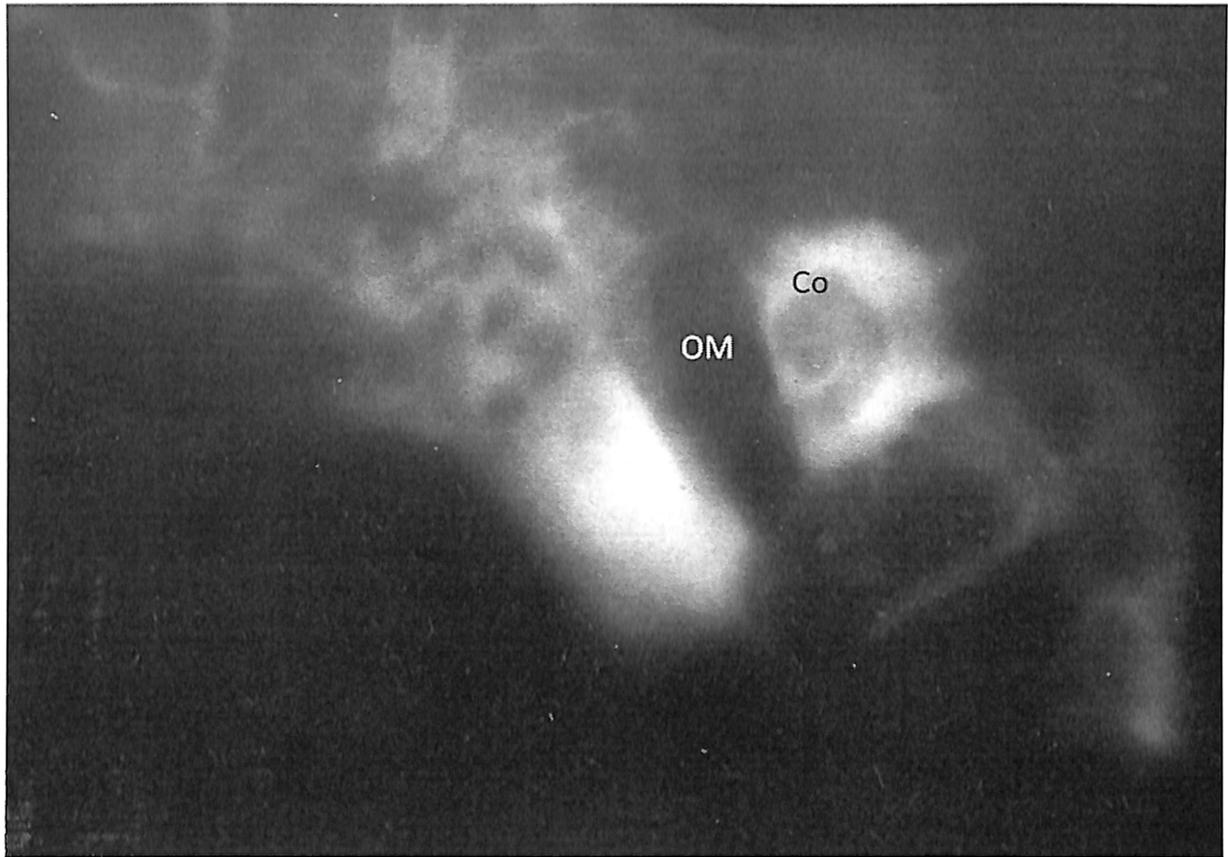


Fig. 3b — Gorille. Tomographie frontale. L'oreille moyenne est de grande taille.

externe est extrêmement allongé (Fig. 3), et en même temps étroit. Toute la partie externe du rocher est beaucoup plus développée que chez l'homme, tout comme l'appareil masticateur auquel le développement de l'oreille externe est lié. Néanmoins, le schéma topographique de disposition de l'appareil stato-acoustique est semblable à celui de l'homme.

4.1.3. Rocher des *Platyrrhiniens*

Tout le crâne du singe laineux (Fig. 4) est de dimensions beaucoup plus petites : les structures fondamentales des oreilles interne et moyenne sont remarquablement constantes par rapport aux autres primates.

4.1.4. Rocher des *lémuriens*

Les lémuriens présentent un grand intérêt en raison de la place que les zoolo-

gistes leur donnent dans l'anthropogénèse. Toutefois, les espèces actuellement vivantes sont de très petite taille. Leur appareil auditif ne montre pas de différence fondamentale par comparaison avec les autres singes. Ils possèdent encore une bulle tympanique qui les rapproche donc plus des autres mammifères que des anthropoïdes (Fig. 5a et 5b).

4.1.5. Rocher des *rongeurs*

La radiographie du crâne en incidence vertex-menton montre d'emblée l'importance des bulles tympaniques typiques des mammifères (Fig. 6). Elles sont extrêmement développées, compte tenu de la taille de l'animal et des dimensions du crâne. En tomographie horizontale (Fig. 6a) le conduit auditif externe est presque perpendiculaire à l'axe antéro-postérieur du crâne. Il forme

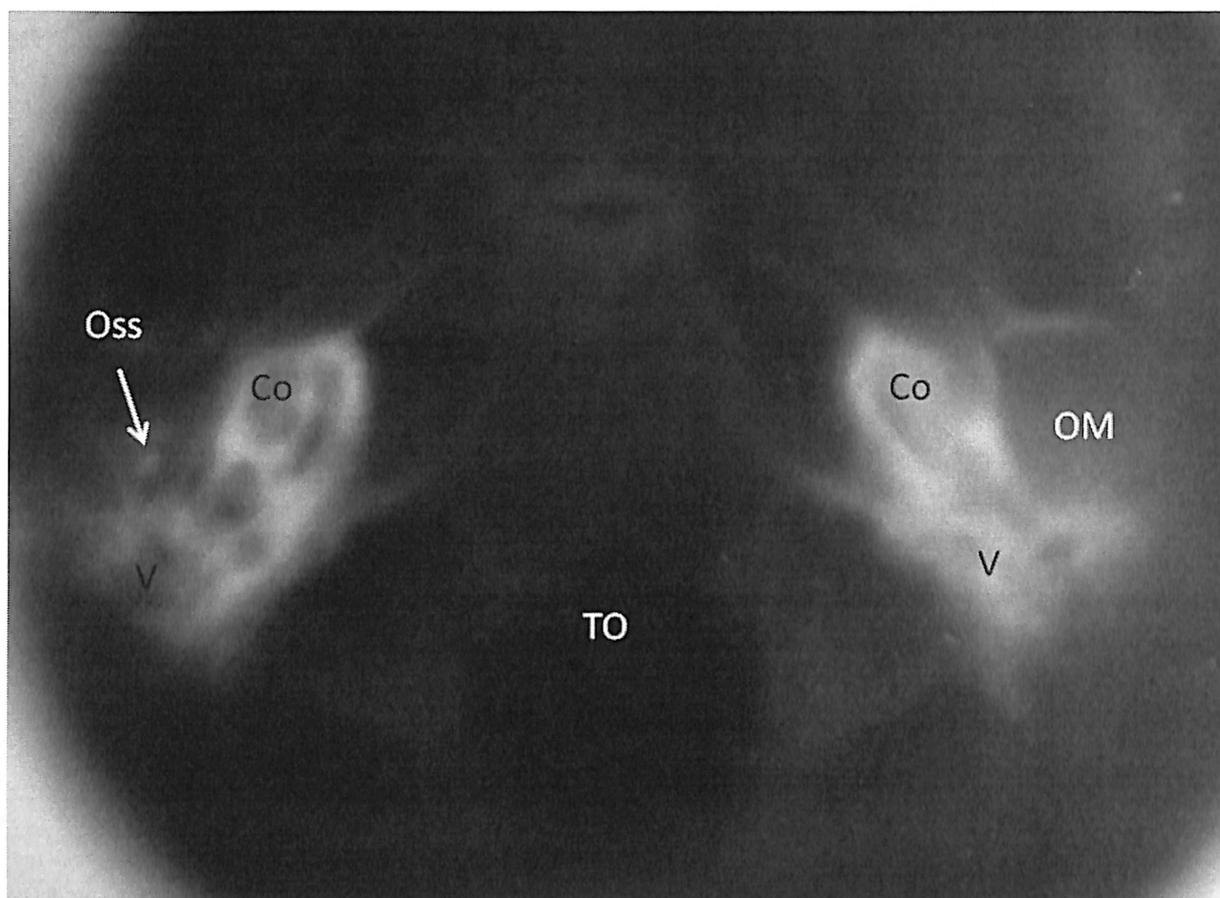


Fig. 4 — Singe laineux. Tomographie horizontale. On remarquera que l'aspect de l'organe auditif est semblable à ce qu'on observe chez les autres primates.

avec le grand axe du rocher un angle ouvert vers l'avant, inférieur à 45° . Le conduit auditif interne est peu visible du fait des superpositions d'autres structures dans cette incidence. La tomographie en incidence antéro-postérieure montre bien également le conduit auditif externe de la caisse et la bulle tympanique, la cochlée et le conduit auditif interne (Fig. 6b et 6c).

4.1.6. Rocher des carnivores : l'ours

La tomographie effectuée en incidence antéro-postérieure montre la cochlée identique aux cochlées observées ci-avant. La bulle tympanique est extrêmement développée. Le conduit auditif interne est étroit et allongé. La mastoïde est très dense (Fig. 7).

4.1.7. Rocher des Tubulidentata : l'oryctérope

L'oryctérope est un tubulidenté. En incidence de Hirtz, le trou occipital est nettement postérieur. Le conduit auditif externe est large et court. La caisse du tympan est proportionnellement agrandie (Fig. 8). La bulle hypotympanique présente est visible en incidence de Stenvers.

4.2. Oiseaux

Les incidences utilisées sont l'incidence vertex-menton, équivalent de l'incidence de Hirtz en radio-otologie humaine, antéro-postérieure et de profil. La radiographie standard montre bien l'intense pneumatisation du crâne comme de tout le squelette d'ailleurs (Fig. 9a).

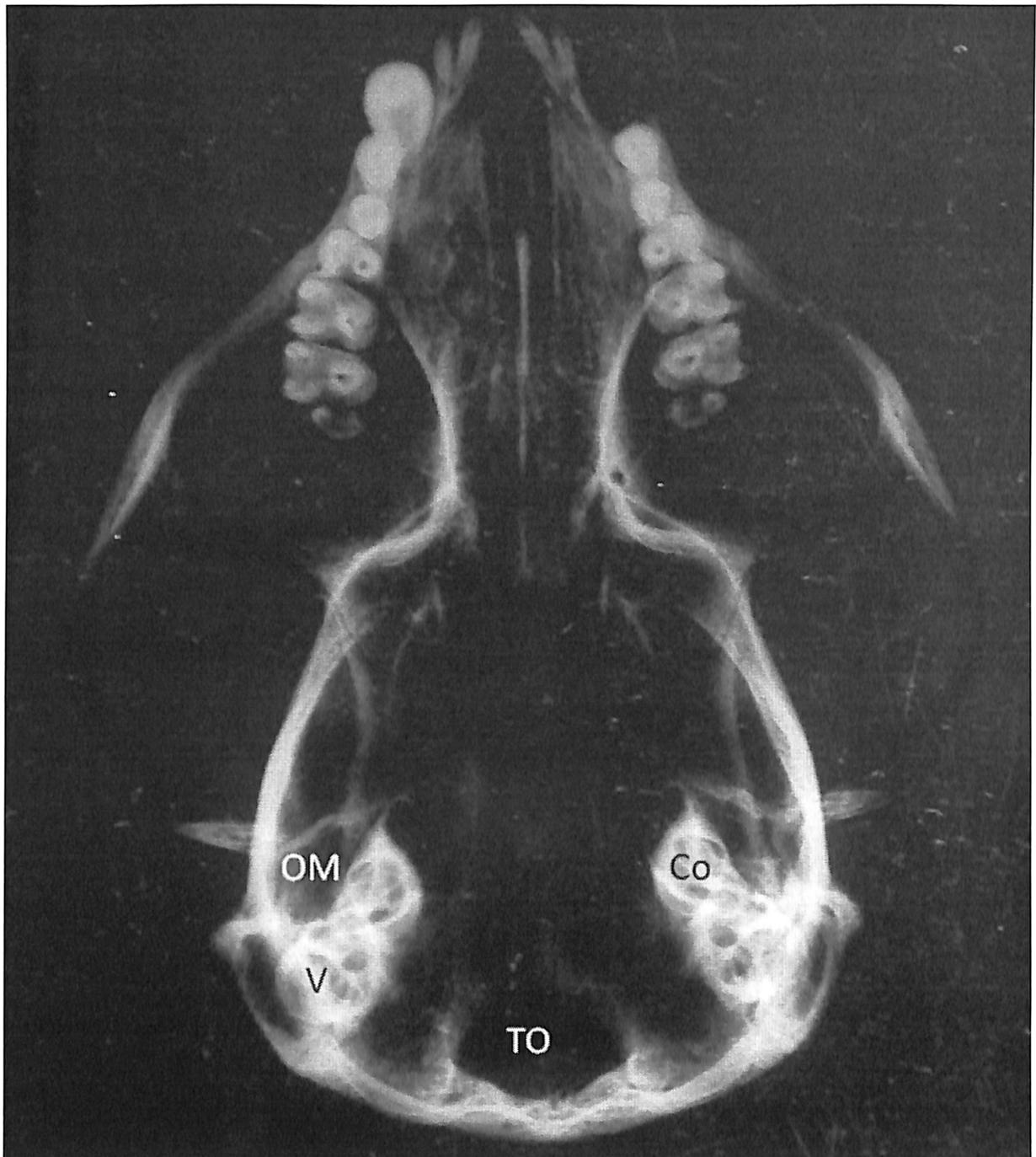


Fig. 5a — Lémur. Radiographie en incidence axiale. Le développement de l'oreille moyenne est très important.

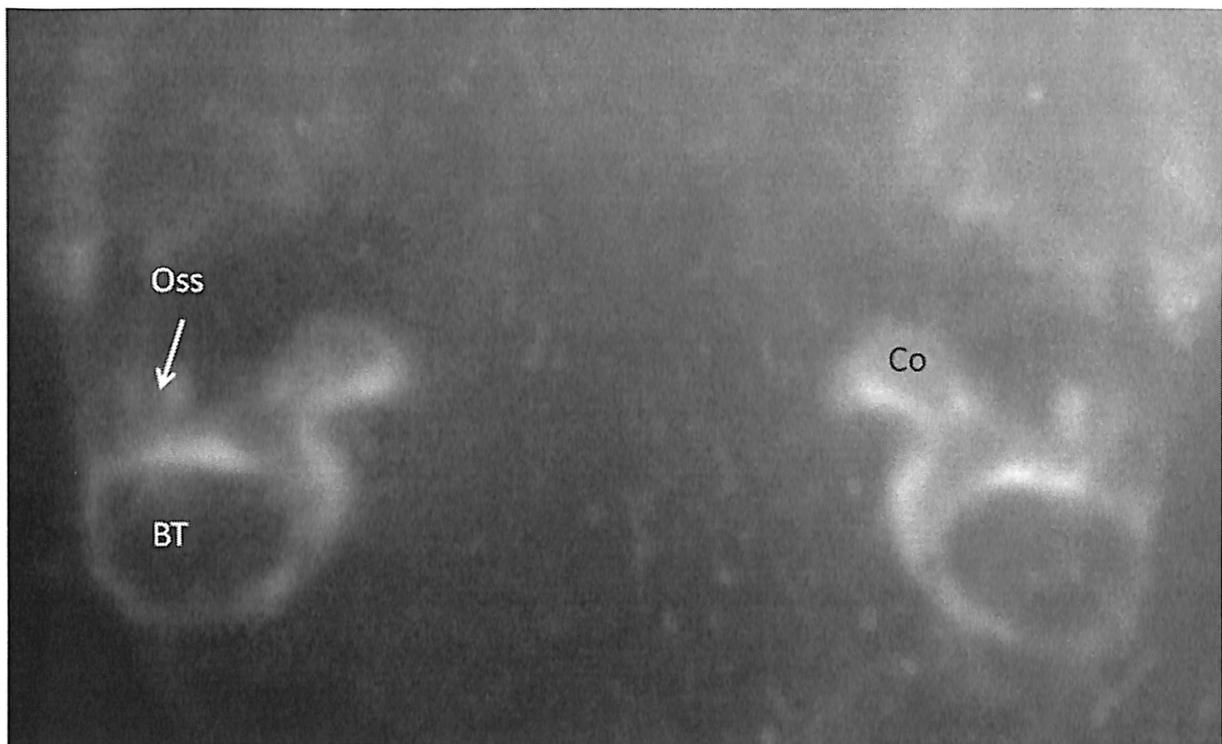


Fig. 5b — Lémur. Tomographie horizontale. On distingue bien l'aspect « bulle tympanique » de l'oreille moyenne.

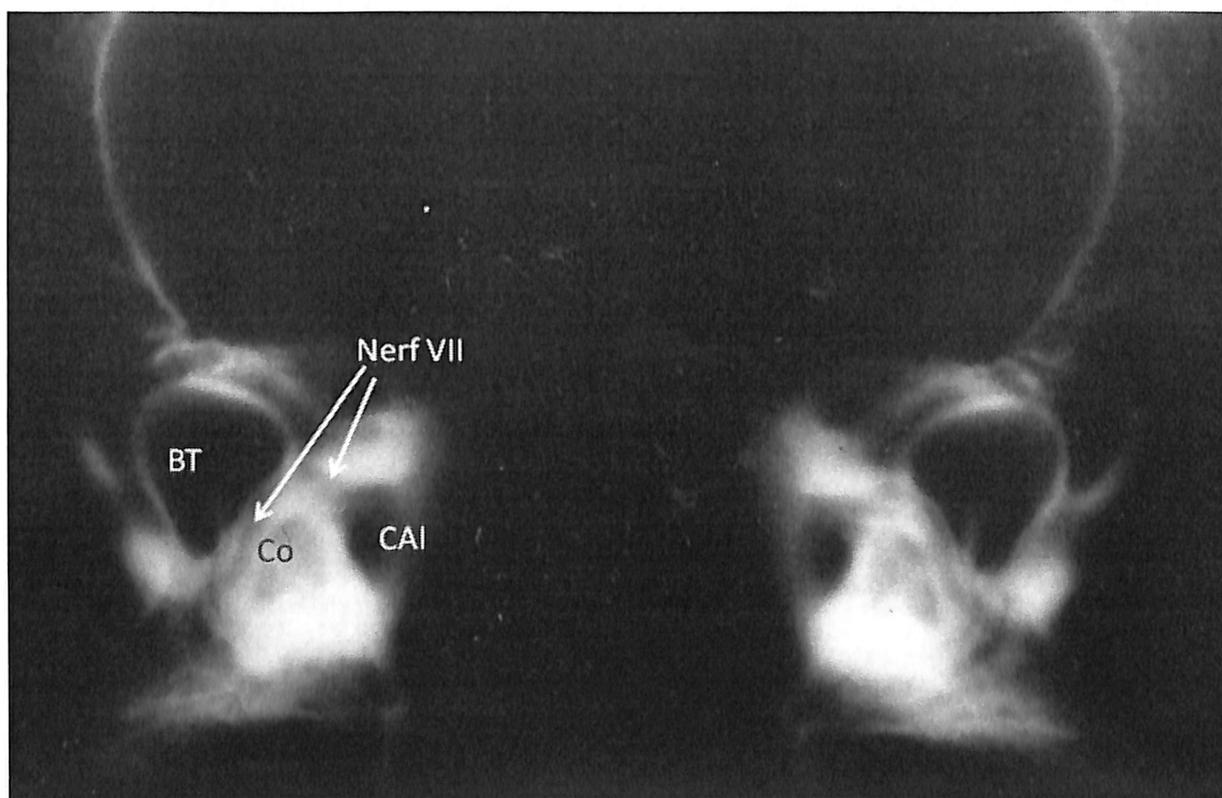


Fig. 6a — Paca (rongeur). Tomographie horizontale. La bulle tympanique est très grande, tandis que le conduit auditif interne est bref. Les différentes portions intrapétreuses du nerf facial sont visibles.

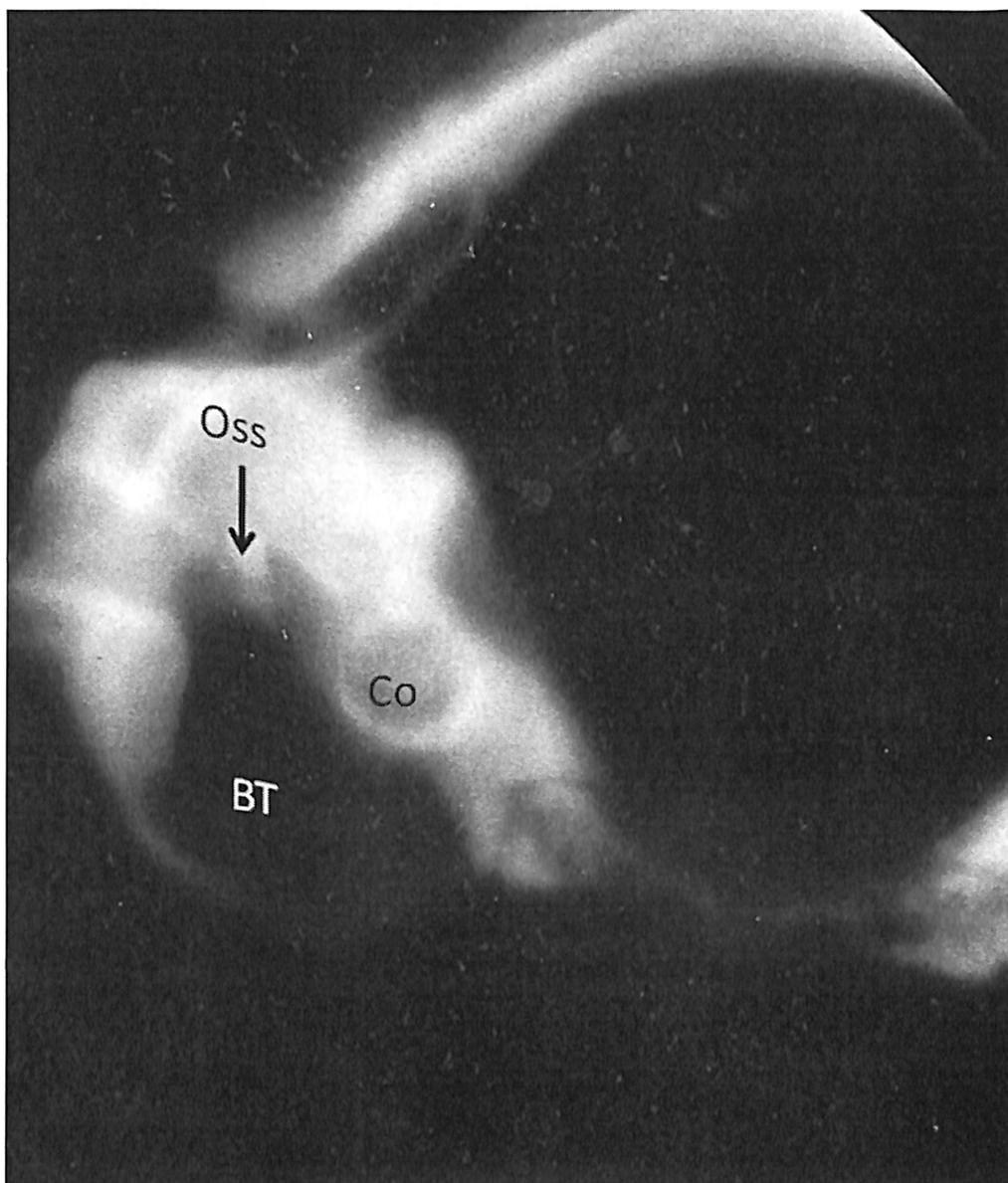


Fig. 6b — Paca (rongeur). Tomographie frontale. On distingue bien la bulle tympanique et les osselets.

L'appareil stato-acoustique n'est visible qu'en tomographie horizontale (Fig. 9b). Le développement particulièrement important des canaux semi-circulaires est frappant. Les canaux semi-circulaires horizontal et vertical sont visibles. Les dilatations ampullaires s'observent aux extrémités des canaux semi-circulaires à leur ouverture dans un très large vestibule. Il n'y a pas d'enroulement cochléaire. À la place, on observe un tube rectiligne, en communication avec le

vestibule, dit le tube cochléaire ou lagena. L'enroulement de ce tube ne s'est pas encore produit. Les tomographies effectuées en incidence antéro-postérieure montrent de dedans en dehors un conduit auditif très court, communiquant avec le vestibule. Du vestibule, part le conduit auditif externe orienté obliquement de dedans en dehors et de haut en bas. Il s'ouvre en dessous et en arrière de l'articulation temporo-mandibulaire. Avec les oiseaux, nous

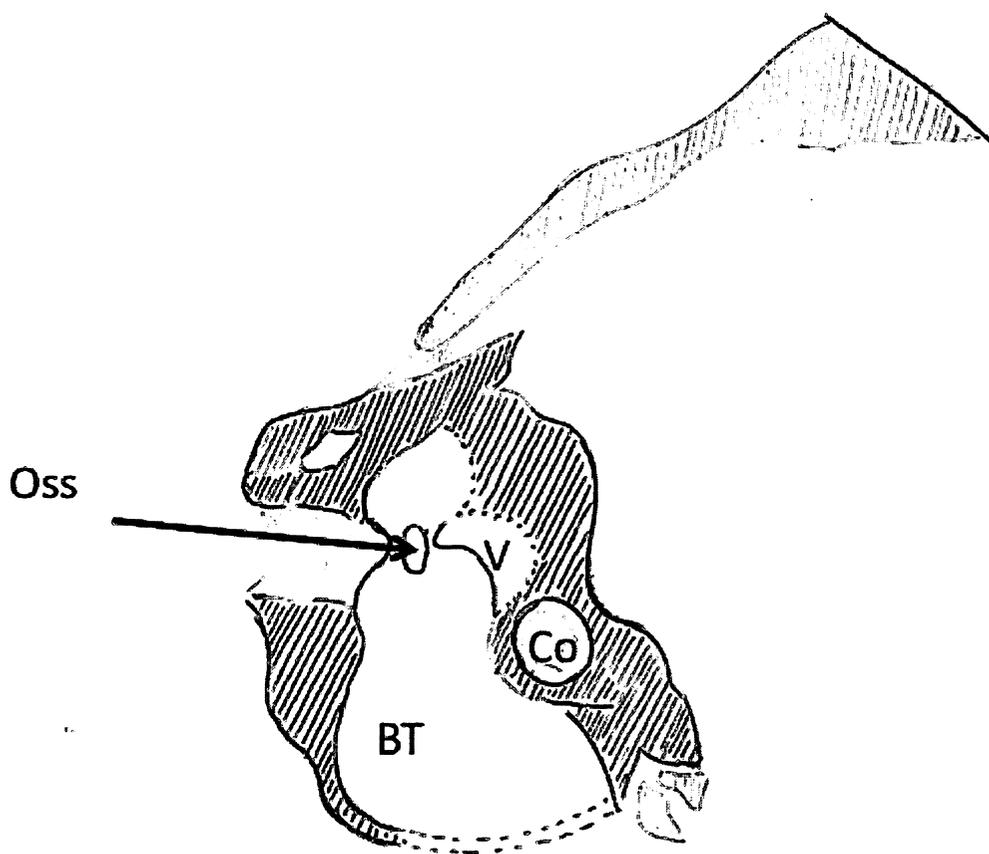


Fig. 6c — Paca (rongeur). Dessin reproduisant la Fig. 6b.

sortons donc des aspects constants de la cochlée observés jusqu'à présent chez les mammifères.

4.3. Reptiles

La radiographie d'ensemble du crâne de l'alligator montre évidemment un appareil masticateur extrêmement développé comme on pouvait s'y attendre. Les pièces crâniennes sont très différentes de celles qui nous sont familières. Celles qui nous importent se situent à la partie postérieure du crâne. Il s'agit du *quadratus* et du *squamosum*. L'organe stato-acoustique n'est pas visible sur la radiographie générale du crâne. La tomographie

horizontale (Hirtz) ou vertex-menton (Fig. 10a), permet de discerner clairement cet organe. La disposition des canaux semi-circulaires rappelle celle des oiseaux. (Fig. 10b) Les canaux semi-circulaires horizontaux et en superposition les supérieurs sont visibles dans cette incidence. La tomographie antéro-postérieure montre l'ensemble de la capsule otique et notamment les boucles superposées des canaux semi-circulaires et probablement la lagena ou tube cochléaire. Toujours en incidence antéro-postérieure, sur un plan plus postérieur que le précédent, les ampoules ont un diamètre de 3 mm, tandis que les parties intermédiaires ont un diamètre de 1 mm.

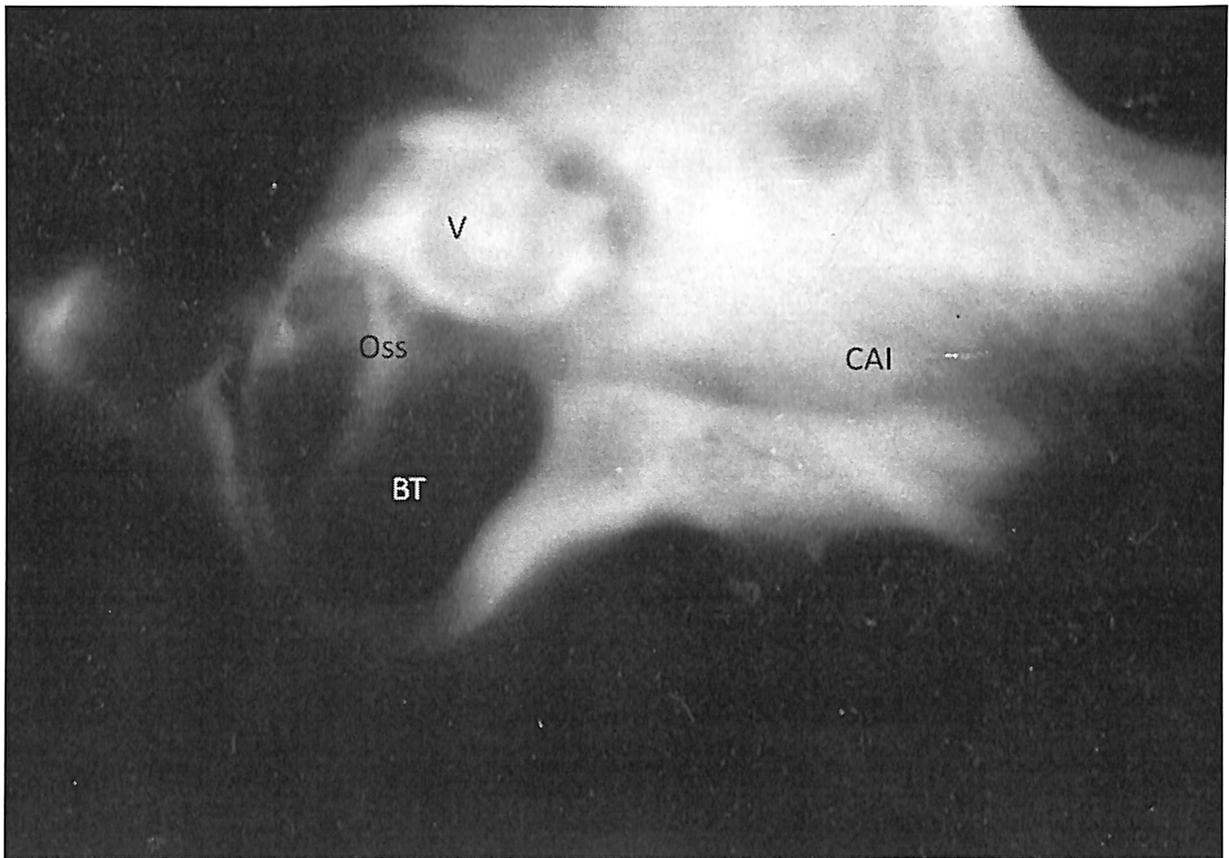


Fig. 7 — Ours. Tomographie frontale. A noter : la longueur du conduit auditif interne.

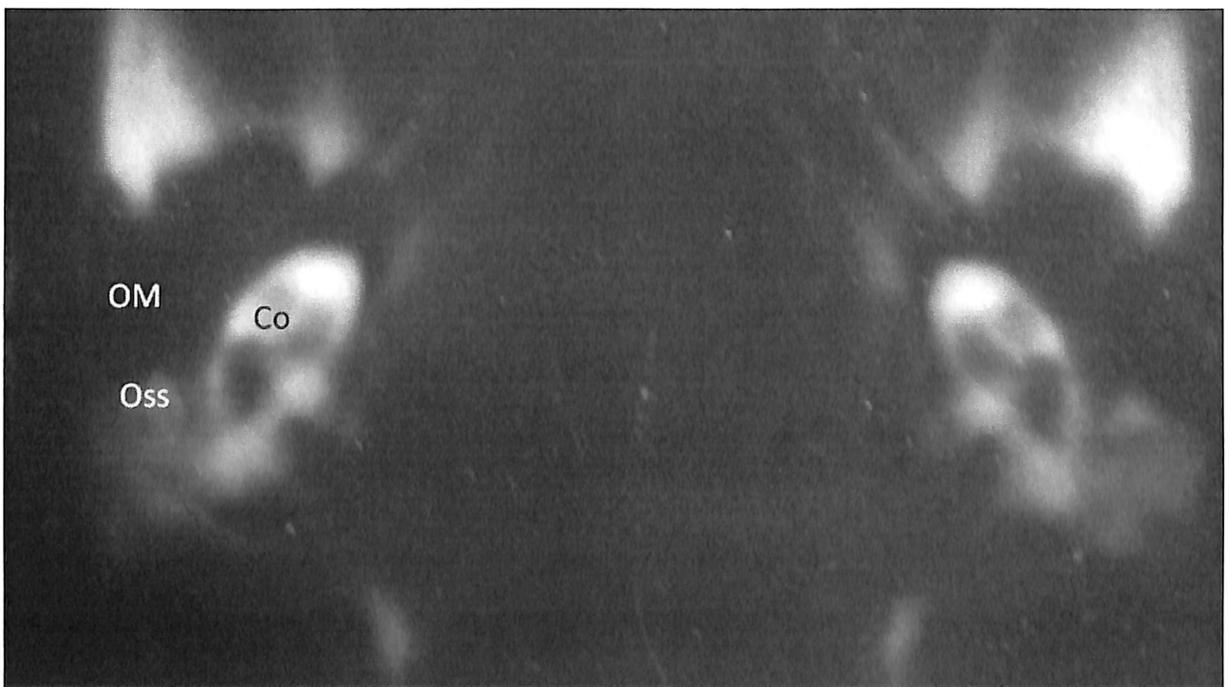


Fig. 8 — Oryctérope. Le dispositif de base des mammifères est observé, avec une grosse oreille moyenne contenant les osselets, et une cochlée d'aspect « classique ».

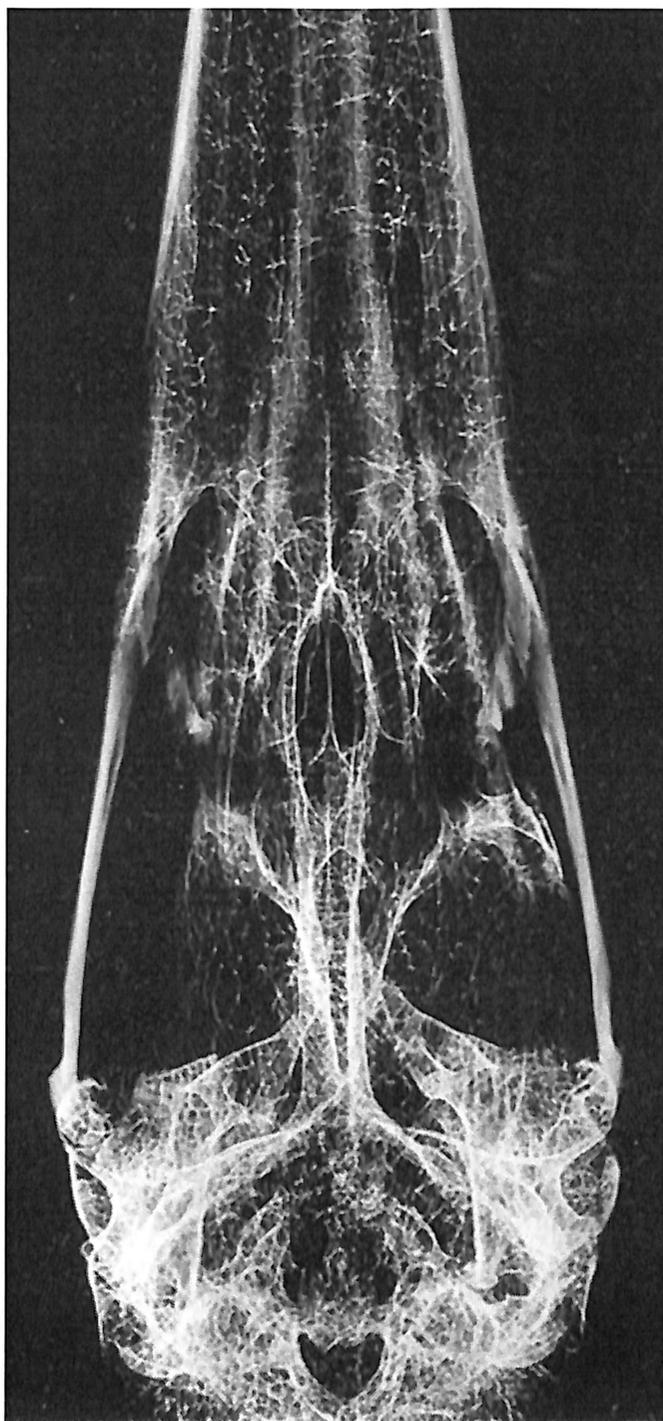


Fig. 9a — Jabiru (oiseau). Radiographie en vue axiale.

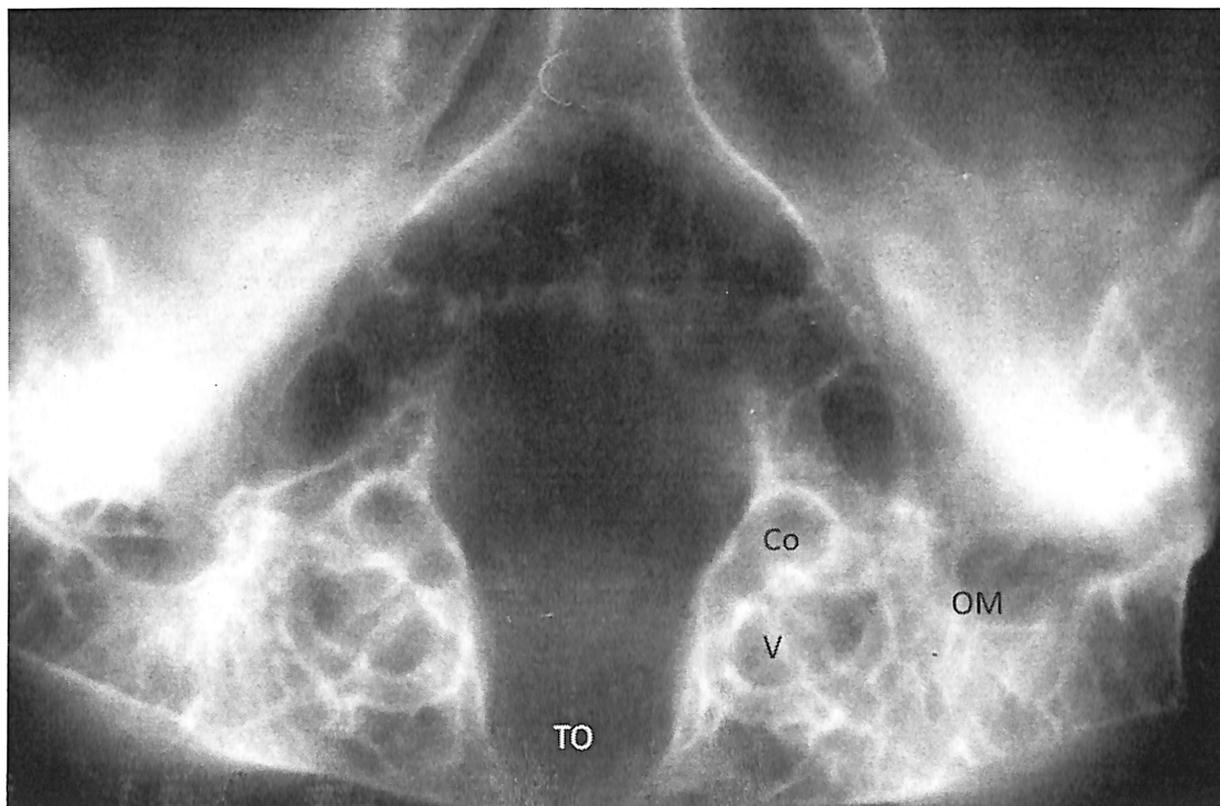


Fig. 9b — Jabiru (oiseau). Tomographie horizontale. La cochlée est rectiligne et le vestibule est très large.

5. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Notre travail est avant tout descriptif et destiné à montrer les possibilités d'un outil aussi spécialisé que le tomographe à mouvements complexes. Les conclusions qui suivent restent donc dans un cadre prudent presque énumératif afin de ne pas déborder dans le domaine de l'anatomie comparée réservée aux zoologues avertis.

1° La constance des structures de l'oreille interne est remarquable chez les mammifères

La cochlée, la fenêtre ovale, les canaux semi-circulaires, les conduits auditifs internes se retrouvent identiques chez tous les mammifères, tant dans leurs aspects particuliers que dans leurs dispositions respectives. Dans l'ontogénèse, l'oreille interne apparaît donc définitivement

constituée dans la forme que nous lui connaissons chez les mammifères les plus primitifs. Tous les mammifères disposent également d'une oreille moyenne et d'un conduit auditif externe, mais des variations importantes s'observent en ce qui concerne les dimensions de la caisse et du conduit auditif externe, et quant à l'angle que fait le conduit auditif externe par rapport au grand axe antéro-postérieur du crâne. La caisse du tympan présente chez tous les mammifères, à l'exception des primates supérieurs et des hominiens, une bulle tympanique. Seuls les prosimiens (lemur maki) la possèdent encore. Les différences observées en ce qui concerne l'oreille moyenne et la bulle tympanique, résultent de l'origine embryologique de l'oreille moyenne. Celle-ci est constituée à partir de la première poche branchiale. Elle est dépourvue de communication externe

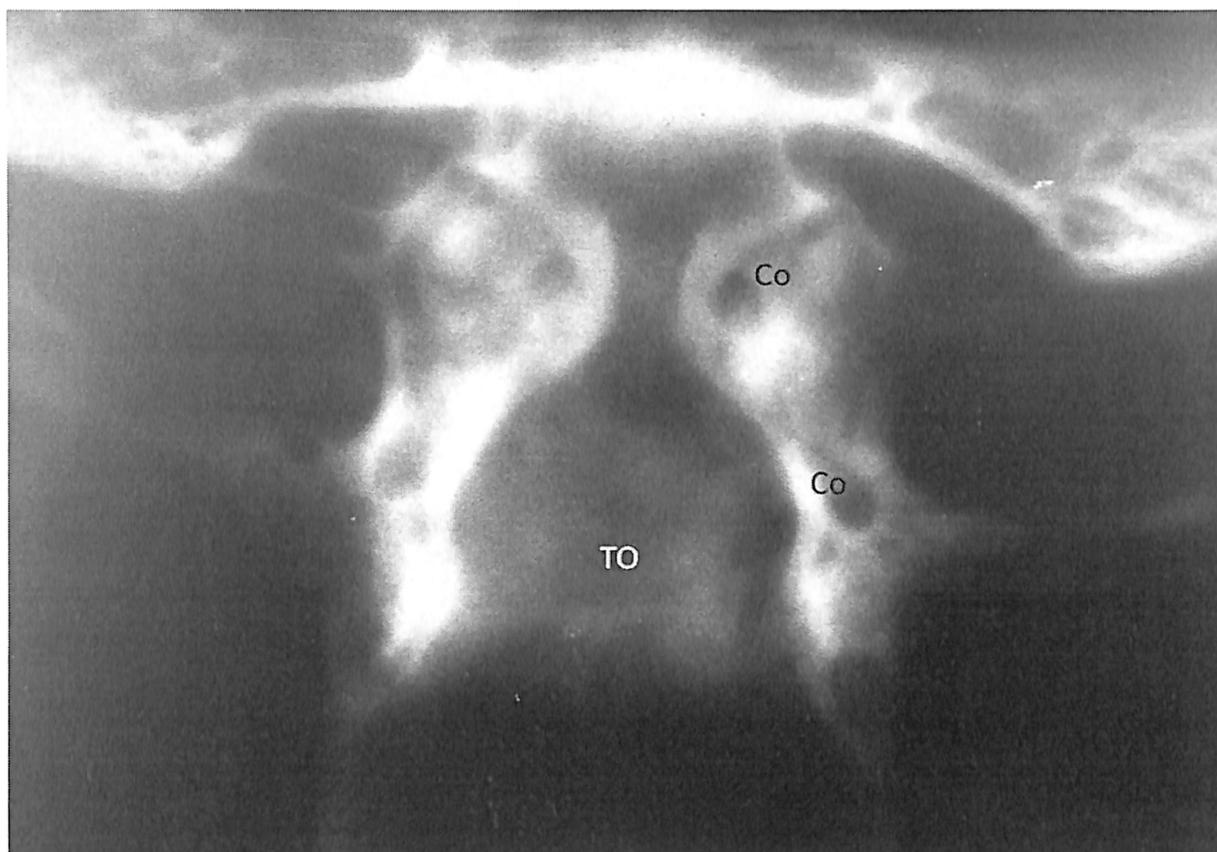


Fig. 10a — Alligator. Tomographie horizontale. La cochlée est fine et non enroulée.

mais reste ouverte vers l'intérieur par la trompe d'Eustache.

Au cours de son développement, l'oreille moyenne va littéralement annexer, aux dépens des os avoisinants du crâne, les pièces qui vont contribuer notamment à la formation de cette bulle tympanique. Des variations considérables s'observent selon les espèces. Le prélèvement porte toujours sur le *squamosum* et le *petrosus*, sur le *tympanum*, sur l'aile du sphénoïde et sur le basi-occipital. L'aboutissement en est néanmoins constant quant à la constitution de l'ensemble de l'oreille moyenne en général que de la bulle tympanique en particulier. Il existe une autre relation constante entre le développement de l'oreille externe et celui de l'appareil masticateur. L'influence de ce dernier apparaît nettement chez le gorille, le

chimpanzé et l'ours dont le conduit auditif externe très long et étroit, traverse un massif osseux temporo-mastoïdien très développé. Nous retrouverons d'ailleurs cette relation chez les vertébrés inférieurs. La situation du trou occipital devient de plus en plus postérieure en remontant le phylum des hominiens aux mammifères inférieurs.

2° L'appareil stato-acoustique des oiseaux et des reptiles est très différent de celui des mammifères

L'appareil stato-récepteur comporte un labyrinthe très développé, notamment les trois canaux semi-circulaires. Il existe un tube cochléaire ou lagena, rectiligne. Les documents radiographiques recourent ici les descriptions du labyrinthe faites par les embryologistes Cordier et Dalcq, dans leurs travaux sur l'ontogénèse de l'appareil

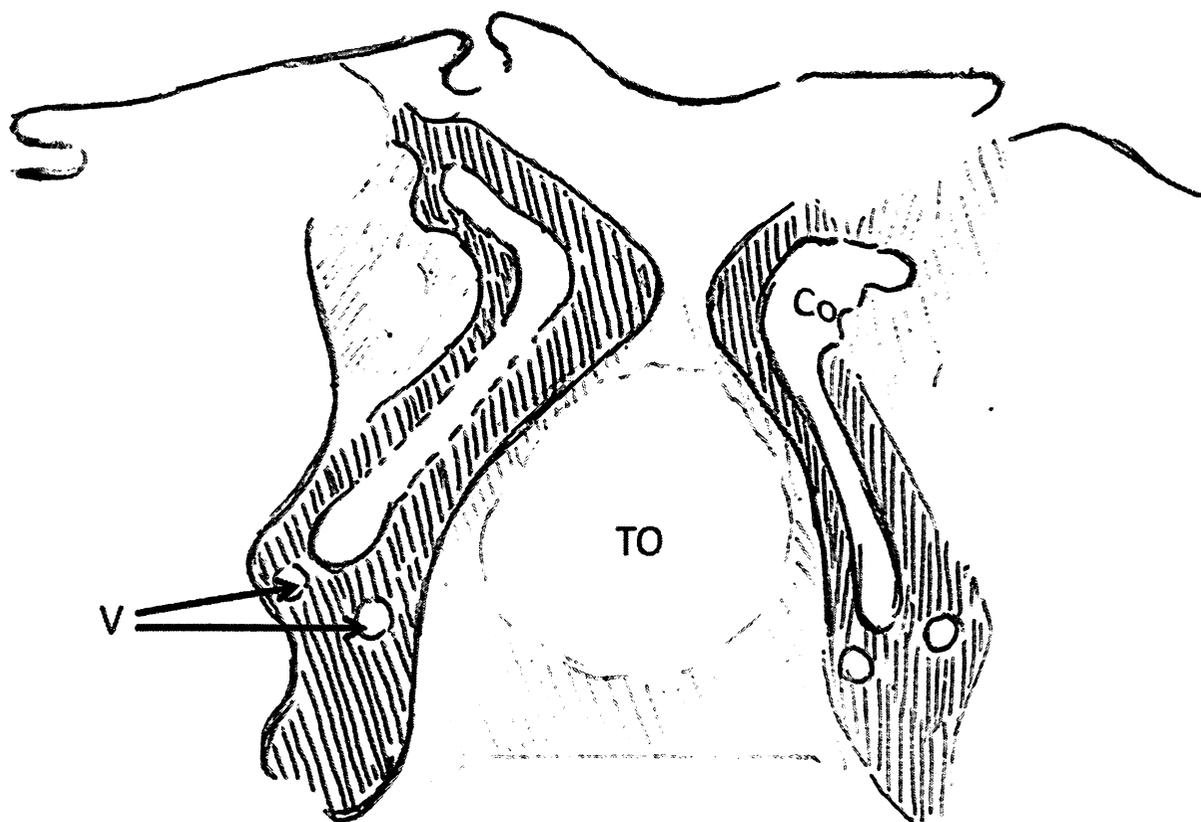


Fig. 10b — Alligator. Dessin représentant la fig. 10a, et permettant de situer le vestibule avec ses canaux semi-circulaires.

stato-acoustique (1954). La comparaison de la radiographie du labyrinthe osseux avec une préparation du labyrinthe membraneux du pigeon effectué par Cordier en 1953, le démontre de façon tout à fait éloquent. Contrastant avec l'importance de l'appareil stato-acoustique, l'appareil stato-acoustique des oiseaux et des reptiles est élémentaire. L'oreille moyenne est à peine ébauchée. La caisse du tympan existe mais en plus rudimentaire. Il n'y a pas d'oreille externe au sens strict du terme. La caisse du tympan affleure les téguments externes du crâne et n'est séparée de l'extérieur que par une membrane tympanique. Les oiseaux et les mammifères constituent des branches indépendantes issues des reptiles. Nous nous trouvons donc à un carrefour important de la phylogénèse. Aussi ne faut-il pas s'étonner de découvrir des appareils stato-acoustiques

très différents. Le mutation importante qui sépare les reptiles des mammifères se traduit entre autre au niveau de l'oreille interne. Du côté des mammifères l'appareil acoustique est très développé. Il existe des différences importantes dans la structuration des oreille moyenne et externe. La constance des structures et du degré de développement de l'oreille interne est remarquable. Du côté des reptiles et des oiseaux l'appareil stato-récepteur est très développé, à l'inverse de l'appareil acoustique. Le cornet acoustique qui constitue le canal auditif externe n'existe pas. Les organes de transmission que contient l'oreille moyenne sont ébauchés. Par contre, le labyrinthe est très développé, peut être relativement plus développé que celui des mammifères en ce qui concerne les proportions tout au moins.

En conclusion, nous croyons avoir démontré, au moins par ce travail, l'intérêt de l'apport des techniques radiologiques modernes aux sciences fondamentales, notamment à la zoologie, à l'anatomie comparée et à l'embryologie.

Remerciements

Nous remercions particulièrement M. Vanden Bergh, Directeur du Jardin Zoologique d'Anvers et M. G. Van Steinbergen, zoologiste attaché à la même institution, pour l'aide qu'ils nous ont apportée dans la réalisation de ce travail, nous ouvrant leurs collections de squelettes d'animaux.

Bibliographie

- HOTTON F., KLEINER S., BOLLAERT A & TWIESELMANN F., 1976. Le rocher des Néandertaliens de Spy. Etude radio-anatomique. *Journal belge de Radiologie*, 59 (1) : 39-50.
- HOTTON F., LOURYAN S., BOLLAERT A., LEGUEBE A. & DE VOS J., 1984. Paléo-radiologie. Étude radiologique du fémur n°I (Homo erectus) de Trinil (Indonésie). *Bulletin de la Société royale belge d'Anthropologie et de Préhistoire*, 95 : 99-107.
- LOURYAN S., 2010. François Twiesselmann (1910-199), médecin. *Anthropologica et Præhistorica*, 121 : 45-56.
- SPOOR F., JEFFERY N. & ZONNEVELD F., 2000. Using diagnostic radiology in human evolutionary studies. *Journal of Anatomy*, 197 : 61-76.
- CORDIER R. & DALCQ A., 1954. Organe stato-acoustique. In : P.-P. Grassé (éd.), *Traité de zoologie, vol. XII, Vertébrés*. Paris, Masson : 453-521.

ABREVIATIONS UTILISEES

BT :	bulle tympanique
CAE :	conduit auditif externe
CAI :	conduit auditif interne
Co :	cochlée
Mast :	mastoïde
Nerf VII :	nerf facial
OM :	oreille moyenne
Oss :	osselets
RH :	récessus hypotympanique
TO :	trou occipital (<i>foramen magnum</i>)
V :	vestibule

Adresse de l'auteur:
Stéphane Louryan
Laboratoire d'Anatomie,
Biomécanique et Organogenèse.
ULB Faculté de Médecine
route de Lennik 808 (C.P. 619)
1070 Bruxelles
Slouryan@ulb.ac.be