



Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/> 25300

To cite this version:

Rinaudo, Pierre-Yves . *Mise en ligne d'un atlas d'images tomodensitométriques normales du python royal (Python regius)*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2017, 52 p.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

MISE EN LIGNE D'UN ATLAS D'IMAGES TOMODENSITOMETRIQUES NORMALES DU PYTHON ROYAL (PYTHON REGIUS)

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

RINAUDO Pierre-Yves
Né, le 14 mai 1992 à NICE (06)

Directeur de thèse : M. Fabrice CONCHOU

JURY

PRESIDENT :
Mme Isabelle BERRY

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :
M. Fabrice CONCHOU
M. Guillaume LE LOC'H

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Répartition des Enseignants-Chercheurs par Département.

Mise à jour : 03/11/2017

DIRECTRICE : ISABELLE CHMITELIN

ELEVAGE ET PRODUITS/SANTÉ PUBLIQUE VÉTÉRINAIRE	SCIENCES BIOLOGIQUES ET FONCTIONNELLES	SCIENCES CLINIQUES DES ANIMAUX DE COMPAGNIE, DE SPORT ET DE LOISIRS
<p>Responsable : M. SANS</p> <p><u>ALIMENTATION ANIMALE :</u> M. ENJALBERT Francis, PR Mme PRIYMENKO Nathalie, MC Mme MEYNADIER Annabelle, MC</p> <p><u>ÉPIDÉMIOLOGIE :</u> Mathilde PAUL, MC</p> <p><u>PARASITOLOGIE-ZOOLOGIE :</u> M. FRANC Michel, PR M. JACQUIET Philippe, PR M. LIENARD Emmanuel, MC Mme BOUHSIRA Emilie, MC</p> <p><u>HYGIÈNE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS :</u> M. BRUGÈRE Hubert, PR M. BAILLY Jean-Denis, PR Mme BIBBAL Delphine, MC Mme COSTES Laura, AERC Mme DAVID Laure, MCC</p> <p><u>PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION :</u> M. BERTHELOT Xavier, PR M. BERGONIER Dominique, MC Mme CHASTANT-MAILLARD Sylvie, PR Mme HAGEN-PICARD Nicole, PR M. NOUVEL Laurent-Xavier, MC Mme MILA Hanna, MC</p> <p><u>PATHOLOGIE DES RUMINANTS :</u> M. SCHELCHER François, PR M. FOUCRAS Gilles, PR M. CORBIÈRE Fabien, MC M. MAILLARD Renaud, PR M. MEYER Gilles, PR</p> <p><u>PRODUCTION ET PATHOLOGIE AVIAIRE ET PORCINE :</u> Mme WARET-SZKUTA Agnès, MC M. JOUGLAR Jean-Yves, MC M. GUERIN Jean-Luc, PR M. LE LOC'H Guillaume, MC</p> <p><u>PRODUCTIONS ANIMALES</u> <u>AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE ÉCONOMIE :</u> M. DUCOS Alain, PR M. SANS Pierre, PR M. RABOISSON Didier, MC</p>	<p>Responsable : Mme GAYRARD</p> <p><u>ANATOMIE :</u> M. MOGICATO Giovanni, MC M. LIGNEREUX Yves, PR Mme DEVIERS Alexandra, MC</p> <p><u>ANATOMIE PATHOLOGIQUE - HISTOLOGIE :</u> M. DELVERDIER Maxence, PR Mme LETRON-RAYMOND Isabelle, PR Mme BOURGES-ABELLA Nathalie, PR Mme LACROUX Caroline, PR M. GAIDE Nicolas, AERC</p> <p><u>BIOLOGIE MOLECULAIRE :</u> Mme BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle, MC</p> <p><u>MICROBIOLOGIE – IMMUNOLOGIE - MALADIES INFECTIEUSES :</u> M. MILON Alain, PR M. BERTAGNOLI Stéphane, PR M. VOLMER Romain, MC Mme BOULLIER Séverine, MC Mme DANIELS Hélène, MC</p> <p><u>BIostatISTIQUES :</u> M. CONCORDET Didier, PR M. LYAZRHI Faouzi, MC</p> <p><u>PHARMACIE-TOXICOLOGIE :</u> M. PETIT Claude, PR Mme CLAUW Martine, PR M. GUERRE Philippe, PR M. JAEG Philippe, MC</p> <p><u>PHYSIOLOGIE –PHARMACOLOGIE THERAPEUTIQUE :</u> M. BOUSQUET-MELOU Alain, PR Mme GAYRARD-TROY Véronique, PR Mme FERRAN Aude, MC M. LEFEBVRE Hervé, PR</p> <p><u>BIOCHIMIE :</u> Mme BENNIS-BRET Lydie, MC</p> <p><u>ANGLAIS :</u> M. SEVERAC Benoît, PLPA Mme MICHAUD Françoise, PCEA</p>	<p>Responsable : Mme CADIERGUES</p> <p><u>ANESTHÉSIOLOGIE</u> M. VERWAERDE Patrick, MC</p> <p><u>CHIRURGIE :</u> M. AUTEFAGE André, PR M. ASIMUS Erik, MC M. MATHON Didier, MC Mme MEYNAUD-COLLARD Patricia, MC Mme PALIERNE Sophie, MC</p> <p><u>MÉDECINE INTERNE :</u> Mme DIQUELOU Armelle, MC M. DOSSIN Olivier, MC Mme LAVOUE Rachel, MC Mme GAILLARD-THOMAS Elodie, MCC</p> <p><u>OPHTALMOLOGIE :</u> M. DOUET Jean-Yves, MC</p> <p><u>DERMATOLOGIE :</u> Mme CADIERGUES Marie-Christine, PR</p> <p><u>IMAGERIE MÉDICALE</u> M. CONCHOU Fabrice, MC</p> <p><u>BIOLOGIE MOLECULAIRE :</u> Mme TRUMEL Catherine, PR</p> <p><u>PATHOLOGIE DES ÉQUIDES :</u> M. CUEVAS RAMOS Gabriel, MC Mme LALLEMAND Elodie, AERC</p>

Remerciements

A notre présidente du jury de thèse,

Madame le Professeur Isabelle Berry

Professeur à la Faculté de Médecine de Ranguel
Praticien hospitalier
Biophysique médicale

Qui nous fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse,

Hommages respectueux.

A notre jury de thèse,

Monsieur le Docteur Fabrice Conchou

Maître de conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Anatomie, Imagerie médicale

Qui a accepté de superviser mon travail et m'a fait confiance dans sa réalisation

Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance sincère et de mon respect.

Monsieur le Docteur Guillaume Le Loc'h

Maître de conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Nouveaux Animaux de Compagnie, Faune sauvage

Qui a accepté de participer au jury de thèse et m'a accordé des conseils avisés

Remerciements chaleureux.

Table des matières

Remerciements	1
Table des matières	2
Table des illustrations.....	4
Introduction	6
1ère Partie : Principes physiques et pratiques de la tomodynamométrie.....	8
I. Principes de base de la tomodynamométrie (6, 12, 13)	9
A. Introduction	9
B. Physique de la tomodynamométrie	12
i. Définition d'un rayonnement X.....	12
ii. Formation des rayons X	12
C. Interaction des rayons X avec la matière	13
i. Effet photoélectrique	13
ii. Effet Compton.....	13
iii. Effet Thomson.....	14
II. Fonctionnement du scanner (6, 12, 13).....	15
A. L'appareil et ses réglages	15
B. Les éléments de la chaîne scanographique	16
2ème Partie : Python regius, le modèle biologique.....	18
I. Taxonomie, biologie et détention	19
A. Dénominations (7)	19
B. Taxonomie (7, 17).....	19
C. Biologie (2, 4, 8, 11, 19, 20)	20
i. Morphologie	20
ii. Distribution géographique, biotope et mœurs.....	22
iii. Alimentation	23
iv. Longévité	23
v. Reproduction	23
D. Captivité (8, 11, 15, 16, 19, 20)	24
i. Intérêt	24
ii. Logement et entretien	24
iii. Législation.....	24
II. Anatomie des Pythonidés.....	25
A. Tégument (18, 21).....	25
B. Squelette (1, 14, 18, 21)	26
i. Squelette céphalique.....	26

ii.	<i>Squelette axial</i>	27
iii.	<i>Squelette costal et sternal</i>	29
iv.	<i>Squelette appendiculaire</i>	29
C.	Muscles squelettiques (4, 14, 18, 21).....	29
i.	<i>Muscles du tronc</i>	29
ii.	<i>Muscles peauciers</i>	30
iii.	<i>Musculature céphalique</i>	30
D.	Cavité cœlomique (3, 4, 8–10, 14, 18, 21).....	31
i.	<i>Appareil cardio-vasculaire</i>	32
ii.	<i>Appareil respiratoire</i>	33
iii.	<i>Appareil digestif</i>	34
iv.	<i>Appareil urogénital</i>	35
E.	Système nerveux (4, 8, 14, 18, 21).....	36
F.	Organes sensoriels (4, 8, 14, 18, 21).....	37
i.	<i>Vue</i>	37
ii.	<i>Ouïe</i>	37
iii.	<i>Olfaction</i>	37
iv.	<i>Toucher</i>	38
v.	<i>Goût</i>	38
vi.	<i>Thermosensibilité</i>	38
3^{ème}	Partie : Le projet, atlas tomодensitométrique du Python regius	40
I.	Réalisation de l'examen tomодensitométrique sur un Python regius	41
A.	Examen clinique du sujet d'étude.....	41
B.	Anesthésie du sujet d'étude (5).....	41
C.	Examen tomодensitométrique	42
i.	<i>Scanner utilisé et protocole d'acquisition</i>	42
ii.	<i>Reconstitution des images dans le mode de visualisation MPR</i>	42
II.	L'atlas tomодensitométrique (12)	42
A.	Mise en forme des planches de l'atlas	42
i.	<i>Traitement des images obtenues</i>	42
ii.	<i>Mise en place des légendes</i>	43
B.	Présentation du site internet.....	43
C.	Exemple d'images mises en ligne	43
i.	<i>Exemples d'images en fenêtre tissu osseux</i>	44
ii.	<i>Exemples d'images en fenêtre tissu mou</i>	45
iii.	<i>Exemples d'images en fenêtre pulmonaire</i>	46
	Conclusion	48
	Bibliographie	50

Table des illustrations

Figure 1: Atténuation d'un faisceau de rayons X.	9
Figure 2: Mouvement du couple source-détecteur autour du sujet.	10
Figure 3: Echelle de Hounsfield.	10
Figure 4: Exemple d'une fenêtre de nuances de gris.	11
Figure 5: Classification simplifiée du Python royal.	20
Figure 6: Python royal de phénotype sauvage.	21
Figure 7: Python royal de phase "Blue Eyed Leucistic".	21
Figure 8: Python royal de phase "Pastel Pinstripe Mojave".	21
Figure 9: Répartition géographique du Python royal, d'après (2).	22
Figure 10 : Ergots chez un Python regius mâle.	26
Figure 11: Schéma de crâne diapside modifié, d'après (18).	26
Figure 12 : Schéma de crâne simple d'Ophidien, d'après (18).	27
Figure 13: Vertèbres précaudales de Boïdé, d'après (1).	28
Figure 14: Cavité cœlomique d'Ophidien mâle, d'après (18).	31
Figure 15: Vue ventrale de cœur de Python regius, d'après (10).	32
Figure 16 : Appareil urogénital mâle d'Ophidien, d'après (18).	35
Figure 17: Fossettes labiales thermosensibles chez un Python regius.	39
Figure 18: Planche 7/15, fenêtre tissu osseux.	44
Figure 19: Planche 13/15, fenêtre tissu osseux.	44
Figure 20: Planche 3/7, fenêtre tissu mou.	45
Figure 21: Planche 5/7, fenêtre tissu mou.	45
Figure 22: Planche 6/9, fenêtre tissu pulmonaire.	46
Figure 23: Planche 8/9, fenêtre tissu pulmonaire.	46

Introduction

L'imagerie médicale a depuis ces dernières décennies pris une place importante dans le monde vétérinaire. La radiographie, suivie de l'échographie et plus récemment du scanner et de l'imagerie par résonance magnétique, accessibles à cette profession, sont une aide indispensable au progrès de la médecine et de la chirurgie. Le recours aux examens d'imagerie médicale dans le milieu vétérinaire tend à s'intensifier. Ce phénomène suit parallèlement l'évolution de la profession allant vers une spécialisation plus importante, et donc l'augmentation significative du nombre de professionnels capables de réaliser et d'interpréter ces examens et mais aussi celle de la clientèle, qui investit beaucoup plus dans les soins de leurs animaux.

A ses débuts réservé uniquement à la médecine humaine et la recherche, l'examen tomodensitométrique a su, ces dernières années, investir le monde vétérinaire. Son utilisation restait très confidentielle en raison de son coût et du manque de connaissances à son sujet. Il a su récemment s'imposer comme un examen complémentaire couramment proposé pour son intérêt en termes de diagnostic, et sa finesse dans certains contextes.

Depuis l'élaboration de son principe, il y a près de 50 ans, les techniques scanographiques n'ont cessé de progresser, tant sur le mode d'acquisition que sur la qualité des images obtenues. Cependant, l'enseignement de ces techniques et de la lecture de ces images est récent et peu développé. Le nombre de personnes capables de lire et d'interpréter les résultats de l'examen est limité. Etant donné l'avancée technologique que cet examen représente, la démocratisation de la capacité à interpréter un scanner est souhaitable.

Ce projet d'atlas tomodensitométrique a pour but d'apporter une base de données gratuite, encore inexistante, contenant des images tomodensitométriques normales légendées pour les animaux de compagnie courants (chien et chat) mais aussi pour les nouveaux animaux de compagnie, dont font partie les serpents, de plus en plus présentés aux vétérinaires. Le modèle biologique choisi dans ce travail est le Python royal, qui est l'un des serpents les plus couramment rencontrés en consultation.

L'objectif de cet atlas est de servir de support d'apprentissage aux étudiants et vétérinaires praticiens désireux d'approfondir leurs connaissances, ainsi que de permettre une comparaison entre des images normales et un examen complémentaire réalisé dans le contexte d'une démarche diagnostique.

Dans une première partie, nous étudierons le principe de la tomodensitométrie et sa réalisation. Une deuxième partie sera consacrée à la présentation du modèle biologique étudié, le Python royal. Enfin, dans une troisième partie, le projet d'atlas tomodensitométrique en ligne sera exposé.

1ère Partie : Principes physiques et pratiques de la tomodesitométrie

I. Principes de base de la tomodynamométrie (6, 12, 13)

A. Introduction

La tomodynamométrie est une méthode d'imagerie médicale permettant la mesure de la densité radiologique des volumes élémentaires d'une coupe. Elle repose sur le même principe de base que la radiographie conventionnelle : la mesure de l'atténuation d'un faisceau de rayons X, variant selon la densité électronique et l'épaisseur des tissus traversés au sein d'un sujet.

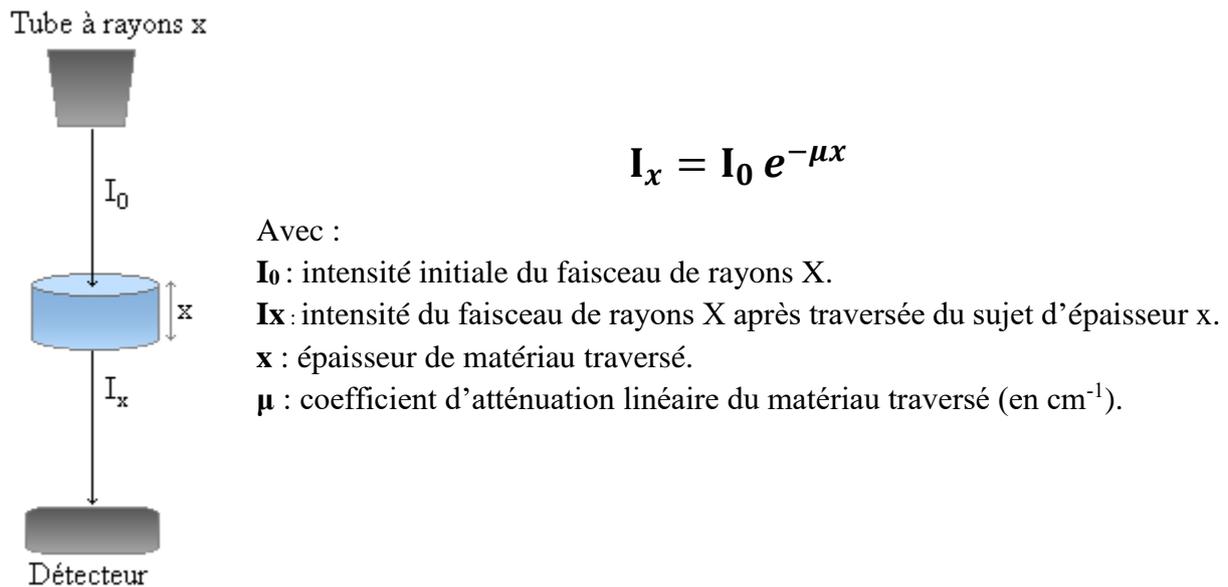


Figure 1: Atténuation d'un faisceau de rayons X.

Le faisceau de rayons X subit une atténuation mesurée physiquement par un coefficient d'atténuation μ , fonction de la densité électronique de l'objet traversé.

On peut alors calculer μ :

$$\mu = \log\left(\frac{I_x}{I_0}\right)$$

La tomodynamométrie est un moyen d'étude du coefficient d'atténuation μ des éléments constitutifs d'un volume. Elle permet d'explorer un objet plan par plan et de distinguer les composantes tissulaires macroscopiques. Cette méthode permet donc de différencier des couches de radio-densité proches jusqu'alors confondues en radiologie conventionnelle bi-dimensionnelle.

Pendant l'examen tomodensitométrique, un arceau constitué d'un couple source-détecteur effectue un mouvement de rotation-translation autour du corps à étudier et réalise de nombreuses mesures de μ selon diverses incidences. Un ordinateur calcule ensuite la contribution de chaque volume élémentaire rencontré par les rayons X, dit voxel, à l'atténuation globale. Il obtient donc pour chaque voxel un coefficient d'atténuation μ , index de sa densité.

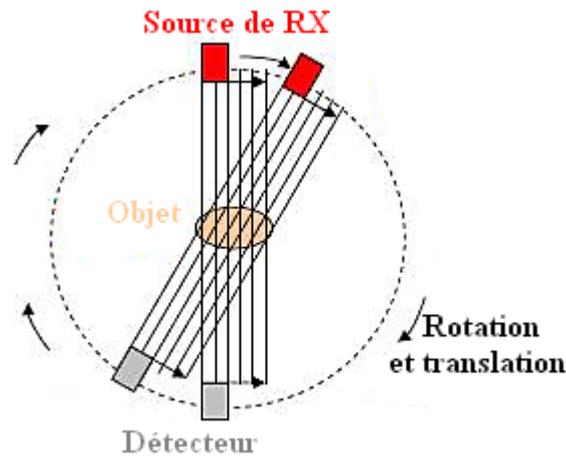


Figure 2: Mouvement du couple source-détecteur autour du sujet.

L'ordinateur attribue ensuite un ton de gris à chaque voxel en fonction de sa densité. Il distingue 2000 nuances de densité qui ont été classées par Godfrey Hounsfield sur une échelle éponyme.

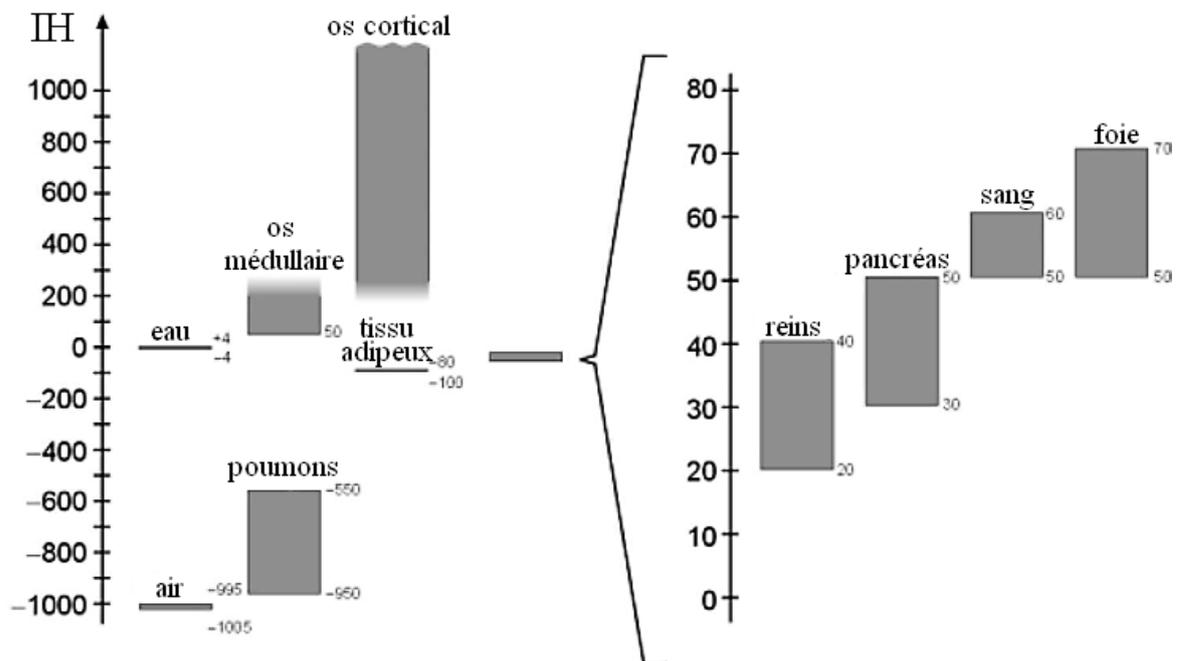


Figure 3: Echelle de Hounsfield.

Ainsi chaque μ est exprimé en indice Hounsfield sur une échelle allant de -1000 (densité de l'air, en noir sur l'écran) à +1000 (densité de l'os, en blanc sur l'écran). L'indice de Hounsfield d'un corps A (noté IH_A) se calcule en fonction du coefficient d'atténuation de l'eau :

$$IH_A = \frac{\mu_A - \mu_{eau}}{\mu_{eau}} \times 1000$$

Cependant cette échelle est trop étendue pour l'œil humain qui ne peut distinguer que 15 à 20 nuances de gris. Si l'on affecte 15 nuances aux 2000 densités discernables par l'appareil, une seule nuance regroupe de nombreuses densités et l'image perd de sa précision. Ainsi, il est préférable de ne présenter qu'une partie de l'échelle appelée « fenêtre », qui est caractérisée par un niveau et une largeur. Le niveau est la densité sur laquelle l'intervalle est centré, sa valeur médiane. La largeur est l'étendue de la fenêtre. Plus la fenêtre est étroite, plus la discrimination est importante et plus différencier des structures de densités très proches est réalisable. Le niveau détermine la brillance de l'image, la largeur de la fenêtre caractérise le contraste.

Par exemple, le niveau de la fenêtre ci-dessous est + 35 et sa largeur de 30. Toutes les valeurs supérieures à + 50 sont confondues dans le blanc et toutes les valeurs inférieures à 20 sont confondues dans le noir.

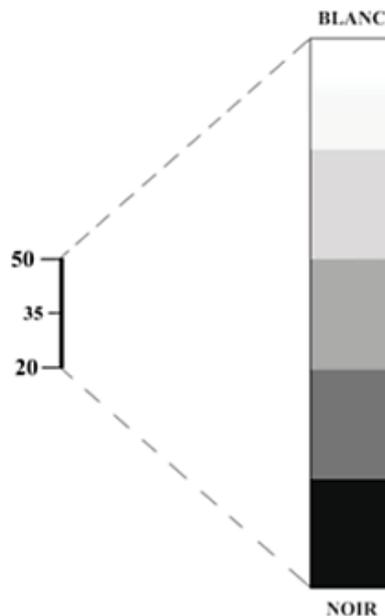


Figure 4: Exemple d'une fenêtre de nuances de gris.

On distingue en général deux types de fenêtres : les fenêtres de type « os » qui permettent de repérer les reliefs et la structure du tissu osseux (elles sont très larges afin de couvrir tous les types d'os, toute la largeur de l'échelle de Hounsfield est en général choisie), et les fenêtres de type « tissus mous » destinées comme leur nom l'indique, aux organes peu calcifiés, et sont des fenêtres assez étroites que l'on centre autour du coefficient d'absorption du tissu choisi.

B. Physique de la tomodensitométrie

i. Définition d'un rayonnement X

Un rayon X est un phénomène dont la description mathématique et la compréhension physique repose sur une dualité ondulatoire et corpusculaire.

La part ondulatoire d'un rayon X est une onde électromagnétique, combinant une onde magnétique et une onde électrique, étant toutes deux sinusoïdales, en phase, et orthogonales l'une par rapport à l'autre, se déplaçant dans le vide et à travers la matière à une vitesse constante $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$. Elles sont caractérisées par une fréquence ν (mesurée en Hertz) et une longueur d'onde λ (mesurée en mètres) telles que $\lambda = c/\nu$. Leur longueur d'onde est courte, comprise entre 10^{-11} et 10^{-8} m, et leur fréquence haute, allant de 10^{16} à 10^{20} Hz.

La part corpusculaire est quant à elle modélisée par une particule de masse et charge nulles, dotée d'une énergie proportionnelle à la fréquence ν de l'onde électromagnétique, telle que $E = h \cdot \nu$ (avec E : énergie en électron-volts, h : constante de Planck $6.63 \times 10^{-34} \text{ m}^2.\text{kg}.\text{s}^{-1}$), nommée photon. L'énergie E d'un rayon X est de l'ordre de 10^4 eV, ce qui en fait des rayons de haute énergie capable d'arracher des électrons en traversant la matière, aussi nommés rayons ionisants.

ii. Formation des rayons X

En pratique, les rayons X sont émis par un tube radiogène sous vide. La cathode, formée d'un filament de tungstène porté à incandescence, produit un nuage d'électrons par effet thermo-ionique, attiré par une anode en métaux lourds, chargée positivement. Le flux ainsi créé est mesuré en milliampères. Les électrons subissent une forte accélération, imposée par un champ électrique de haute tension créant une différence de potentiel importante entre l'anode et la cathode, mesurée en kilovolts. Les interactions entre l'anode et les électrons sont la source de l'émission des rayons X. Le spectre de rayonnements émis par le tube correspond à la superposition d'un spectre continu et d'un spectre de raies.

Le spectre continu des rayons X émis par le tube correspond aux interactions des électrons avec les noyaux de la cible : il s'agit du rayonnement de freinage ou *Bremstrahlung*. En effet, l'électron est chargé négativement, le noyau chargé positivement : l'électron accéléré va être attiré par le noyau par une force d'attraction coulombienne ; il va ainsi être dévié de sa trajectoire initiale, perdant alors de l'énergie qui va se dissiper sous forme de chaleur et d'un photon de haute énergie, ou rayon X.

Le spectre de raies est moins important pour la production de rayons X. Il résulte de l'éjection d'un électron d'une couche profonde de la cible par un électron accéléré émis par la source : il y a ionisation de la cible. L'atome est alors instable, ionisé ou excité suivant l'énergie de l'électron incident, et il retournera à un état d'équilibre en émettant des photons ; leur énergie est égale à la différence des énergies de liaison entre chaque orbite. On parle de rayonnement de fluorescence ou émission caractéristique.

Le flux total Ω de rayonnements émis est tel que $\Omega = k.i.Z.V^2$, avec k constante, i : intensité du courant en Ampères, Z : numéro atomique du noyau de la cible et V : différence de potentiel en Volts.

C. Interaction des rayons X avec la matière

Trois principaux effets décrivent les différentes façons qu'ont les rayons X d'interagir avec la matière et déterminent l'atténuation du faisceau incident. L'atténuation est fonction du numéro atomique et de l'épaisseur du milieu traversé, mais aussi de l'intensité du faisceau de rayons X incident.

i. Effet photoélectrique

L'effet photoélectrique se produit lorsque le rayon X incident arrive à proximité d'un électron d'une couche profonde de l'atome avec suffisamment d'énergie pour pouvoir l'éjecter. Si l'énergie du photon X incident est au moins égale à l'énergie de liaison de la couche électronique, l'électron peut être expulsé et le rayon X est absorbé. La lacune laissée par l'électron éjecté est remplie par un électron d'une couche plus superficielle, qui laisse échapper un rayon x caractéristique diffracté de faible énergie.

La probabilité d'interaction par effet photoélectrique est proportionnelle à la densité et au cube du numéro atomique des atomes constituant le milieu traversé par le rayon X. L'effet photoélectrique prédomine dans les matières organiques lorsque les rayons X sont de relativement faible énergie (≤ 70 kV). Selon la densité du tissu traversé, l'absorption du rayon X sera plus ou moins importante. Plus l'atténuation augmente et plus l'éclaircissement du film radiographique ou de l'image scanner est important. Cet effet photoélectrique est donc à l'origine du contraste sur les clichés radiologiques et scanner.

ii. Effet Compton

En physique, la diffusion Compton est l'interaction d'un rayon X sur un électron de la couche périphérique d'un atome, à qui il transfère une partie de son énergie. L'électron excité est facilement éjecté de l'atome, c'est l'ionisation. Le reste de l'énergie est émise sous la forme d'un photon diffusé appelé photon Compton.

Ce rayonnement diffusé possède quasiment la même énergie que le rayon X incident. En effet, il conserve 96 % en moyenne à 50 keV et 83 % à 500 keV. De plus, il émerge généralement dans une direction différente du photon incident. Il peut même partir en sens inverse (rétrodiffusion). En moyenne il part avec un angle de 30 à 45 degrés. Des rayons incidents de plusieurs centaines de keV peuvent subir de multiples diffusions Compton avant d'être finalement absorbés par effet photoélectrique.

Cet effet Compton prédomine avec des rayons incidents de forte énergie ($>100\text{kV}$), et une matière de densité moyenne. Cependant, il est indépendant du numéro atomique Z du milieu traversé.

Contrairement à l'effet photoélectrique, l'effet Compton altère la qualité de l'image radiographique en diminuant le contraste. En outre, la diffusion dans des directions aléatoires rend indispensable la mise en place de mesures de radioprotection.

iii. Effet Thomson

L'effet Thomson correspond à la diffusion du photon incident après interaction avec un électron du milieu sans perte d'énergie. Il est négligeable par rapport aux deux effets décrits précédemment et diminue lorsque l'énergie du photon incident augmente. Il correspond aux parties les plus radio-transparentes du cliché radiographique.

II. Fonctionnement du scanner (6, 12, 13)

A. L'appareil et ses réglages

Le patient est placé sur une table qui se déplace dans le sens longitudinal à l'intérieur d'un arceau. Celui-ci contient un tube à rayons X qui génère un faisceau d'une épaisseur de 1 à 10 millimètres et qui va tourner autour du patient. En face du tube sont disposés des milliers de détecteurs qui vont mesurer l'intensité résiduelle du faisceau qui a traversé le corps du patient. L'appareil multiplie les mesures sur un angle de 360 degrés afin d'obtenir après traitement informatique des coupes axiales les plus précises possibles.

Dans l'arceau, un premier détecteur électronique mesure l'intensité de rayons X émis par le tube radiogène avant qu'il ne balaie point par point la tranche du corps à examiner. Pour explorer cette coupe, le tube effectue une rotation complète degré par degré. Une partie du rayonnement incident est absorbé par les tissus traversés. Le rayonnement émergent est capté par un détecteur électronique qui tourne de façon synchrone avec le tube. Au cours de la rotation, rayons X incidents et rayons X émergents captés sont comparés et convertis en signaux électriques.

L'ordinateur permet de calculer l'absorption du rayonnement en chaque point de la coupe. Le scanner utilise l'absorption des rayons X en relation directe avec la densité des tissus que les rayons ont rencontré. Les résultats sont alors mis en mémoire. Un traitement informatique permet ensuite de faire apparaître sur l'écran l'image reconstituée d'une coupe axiale de 1 à 10 millimètres d'épaisseur. Cette image traduit les variations d'absorption des tissus traversés auxquelles sont associées des variations de nuances de gris ou des couleurs conventionnelles.

Avant tout examen tomодensitométrique plusieurs paramètres doivent être choisis en réglés en fonction de la nature de l'examen et du patient :

- La tension en kilovolts (kV), qui va être responsable du contraste c'est à dire de la pénétration des rayons X.
- Le temps d'exposition en secondes (s), qui doit être réduit au maximum selon les principes de la radioprotection.
- L'intensité du courant en milliampères (mA), qui module le nombre d'électrons et donc le noircissement de l'image finale.
- Le nombre de coupes et leur espacement. Les coupes peuvent être séparées par une zone aveugle si la distance entre deux coupes est supérieure à la largeur de la coupe, jointives si l'espacement est égal à la largeur des coupes, ou chevauchantes (on parle d'overlap) si l'espacement est inférieur à la largeur des coupes.
- L'épaisseur des coupes

- La direction des coupes
- Le champ : il s'agit du diamètre de la tranche anatomique visualisée sur l'image. Plus le champ est limité, et meilleure sera la définition de l'image.

B. Les éléments de la chaîne scanographique

La chaîne scanographique comprend trois éléments principaux :

- Un système de mesures, réalisant la réception du rayonnement résiduel par les couples « tube radiogène – détecteurs », une conversion de ce rayon en signal électrique puis une intégration en signal numérique qui sera par la suite exploitable par l'ordinateur. Chaque mesure correspond à un profil d'absorption. La quantité d'information brute est proportionnelle au nombre de mesures (rotation de 360 degrés, degré par degré) et au nombre de récepteurs. C'est le premier élément de la qualité de l'image radiographique.
- Un système de reconstruction de l'image. Le rayonnement résiduel capté par les détecteurs est confronté au rayonnement témoin ce qui permet de mesurer l'atténuation des rayons X. Ces signaux électriques sont convertis en nombres binaires qui vont être amplifiés et numérisés par l'ordinateur. Celui-ci traduit en image, par des niveaux de gris, les différences d'atténuation des rayons X dans les divers volumes élémentaires (voxels) du sujet examiné. La durée de la reconstitution de l'image varie de 3 à 8 secondes.
- Une console de visualisation de l'image. Chaque donnée numérique va être convertie, sur un écran d'ordinateur, en un point lumineux dont l'intensité (blanc, gris, noir) est proportionnelle à l'absorption des rayons X. On obtient alors une image écran classique. En scanographie, 10 millions d'images intermédiaires sont utilisées pour produire une seule image.

2ème Partie : *Python regius*, le modèle biologique

I. Taxonomie, biologie et détention

A. Dénominations (7)

Le modèle biologique choisi est *Python regius*, décrit pour la première fois en 1802 par Georges Kearsley Shaw. Le nom vernaculaire français communément admis est Python royal. Il est possible de rencontrer les synonymies *Boa regia* et *Python belii*, dans la littérature.

B. Taxonomie (7, 17)

Le python royal est un Reptile appartenant à l'ordre des Squamates et au sous-ordre des Ophidiens.

La famille exacte incluant le python royal est sujette à débats. Initialement, les serpents constricteurs du genre *Python* possédaient leur propre famille, les Pythonidés, décrite par Léopold Joseph Franz Fitzinger en 1826. En 1890, George Albert Boulenger les reclassa dans la sous-famille des Pythoninés, appartenant à la famille des Boïdés, sur la base de critères anatomiques et morphologiques. Cette classification fut de nouveau remise en cause sur la base de critères essentiellement génétiques, créant une distinction entre les « vrais boas », les Boïdés, et leurs plus proches apparentés, à nouveau nommés les Pythonidés. Les deux familles sont toujours considérées comme très proches en raison de leurs caractéristiques morphologiques et anatomiques communes, nombreuses et totalement absentes chez les autres espèces d'Ophidiens. Aujourd'hui encore, certains auteurs préfèrent confondre les deux entités taxonomiques selon la portée du propos.

La famille des Pythonidés est sans doute l'une des plus connues du grand public. En effet, elle regroupe en son sein la plupart des ophidiens constricteurs pouvant représenter un danger pour la vie de l'homme. On citera en chef de file le genre *Malayopython*, contenant l'espèce actuellement reconnue comme plus grand serpent du monde : *Malayopython reticulatus*, le python réticulé, mesurant jusqu'à 10 m de long et pesant jusqu'à 150 kg.

Le sujet de notre étude est un représentant beaucoup moins impressionnant, mais beaucoup plus populaire en terrariophilie. Le nom vernaculaire du python royal lui viendrait de la reine d'Égypte Cléopâtre VII des Ptolémées, qui aurait porté cet animal comme parure au cou et aux poignets lors de ses apparitions publiques.

Règne	Animalia
Classe	Reptilia
Ordre	Squamata
Sous-Ordre	Serpentes
Famille	Pythonidae
Genre	<i>Python</i>
Espèce	<i>regius</i>

Figure 5: Classification simplifiée du Python royal.

C. Biologie (2, 4, 8, 11, 19, 20)

i. Morphologie

Le python royal est un serpent d'aspect trapu et massif. Il présente une tête trapézoïde, plus large caudalement que rostralement. Le corps est longiligne, épais dans sa portion médiane, et plus fin sur son tiers crânial, de section triangulaire à bords mousses sur un animal d'état corporel normal. La jonction corps-queue est marquée, et la queue est très courte et de petit diamètre relativement au reste du corps.

Le corps est couvert d'écailles de tailles diverses : les écailles céphaliques, larges, couvrant la tête, les écailles imbriquées, plus petites, couvrant le dos et les flancs, et les scutelles, larges plaques couvrant la face ventrale de l'animal.

La coloration du python royal de phénotype sauvage est sombre, et on observe sur un fond brun-olivâtre de larges macules noires cernées de beige, tout le long du corps. La face ventrale de l'animal est généralement blanc crème. Les macules pigmentées dessinent des motifs propres à chaque individu, et la répartition des teintes ne suit pas forcément la disposition des écailles. La tête est noire à brune, et les lèvres, narines et yeux sont soulignés d'un liseré beige.



Figure 6: Python royal de phénotype sauvage.

Il existe en élevage de très nombreux phénotypes de couleur différents, issus de la sélection, résultant en des altérations de couleurs et de motifs par rapport au phénotype sauvage. La couleur de tels individus est nommée phase. Il existe à ce jour des dizaines de gènes dominants identifiés que les sélectionneurs combinent pour produire une grande variété de phases.



Figure 7: Python royal de phase "Blue Eyed Leucistic".



Figure 8: Python royal de phase "Pastel Pinstripe Mojave".

Le python royal est un animal de gabarit moyen. La longueur moyenne est de 1,20 m pour un individu adulte, avec certains spécimens femelles pouvant atteindre les 1,50 m. Le poids adulte varie de 1 kg à 1,5 kg pour les mâles, et de 1 kg à 3 kg pour les femelles.

ii. *Distribution géographique, biotope et mœurs*

L'espèce *Python regius* est représentée en Afrique occidentale et centrale, de la Gambie jusqu'au sud du Soudan, au Congo et jusqu'au Gabon. Il s'agit d'une région subtropicale au climat chaud et aux précipitations annuelles moyennes à fortes. Son aire de répartition est limitée par des barrières climatiques au Nord et à l'Est par le désert du Sahel, et au Sud par le désert du Kalahari.



Figure 9: Répartition géographique du Python royal, d'après (2).

Le Python royal affectionne les biotopes tels que les plaines herbeuses et les forêts clairsemées à denses. On retrouve également une population importante dans les zones agricoles, en particulier dans les champs de manioc et d'igname. Il sera également présent à proximité des zones urbaines, affectionnant les cachettes offertes par les jardins et les constructions humaines.

Il s'agit d'un animal nocturne. La journée, il passe son temps caché à l'abri du soleil et de la chaleur. Il trouve refuge dans des terriers de mammifères, sous des rochers, entre les racines d'arbres, voire dans des termitières. La nuit, il est actif et chasse à l'affût dans un territoire restreint. Il est d'ordinaire plutôt terrestre, mais il n'est pas rare de voir de jeunes individus grimper aux arbres afin de trouver couvert et proies.

iii. Alimentation

Le *Python regius* suit un régime alimentaire carnivore strict. Dans son milieu naturel, il se nourrit essentiellement de petits mammifères tels que des rongeurs (*Cricetomyinae* : *Cricetomys ssp*, *Lemniscomys ssp*) et des chauves-souris (*Pteropodidae*), mais aussi d'oiseaux et anecdotiquement de petits reptiles et amphibiens.

Il chasse à l'affût dans la nuit : il repère ses proies grâce à des thermorécepteurs très sensibles situés au-dessus de sa lèvre supérieure. Lorsqu'une proie de taille adaptée passe à portée du python immobile, celui-ci se projette en avant et la ferre dans ses mâchoires à l'aide de ses multiples dents aciculaires, puis réalise une constriction suffocatoire en utilisant tout son corps. Après quelques minutes, il lâche sa proie puis la saisit à nouveau par la tête et la déglutit. Après un repas, il reste caché pendant 1 à 7 jours, le temps de la digestion. Le Python royal joue un rôle important dans le contrôle des populations de mammifères nuisibles en Afrique centrale.

iv. Longévité

Dans la nature, l'espérance de vie d'un Python royal est d'environ 10 ans. Elle est considérablement plus courte qu'en captivité, où elle atteindra facilement 20 ans pour la plupart des individus, avec des records pouvant aller jusqu'à plus de 40 ans pour certains. Une explication plausible pourrait être la prédation : les Léopards d'Afrique (*Panthera pardus*), les Hyènes (famille des *Hyaenidae*), ainsi que des rapaces nocturnes sont des prédateurs connus du Python royal.

v. Reproduction

Le dimorphisme sexuel est peu marqué et se traduit essentiellement par une variation de taille et de poids, la femelle étant plus massive que le mâle. On considère qu'une femelle est en âge de se reproduire à partir de 1,2 kg et 90 cm de longueur, contre 600g et 75 cm de longueur pour les mâles. D'une façon générale, le premier accouplement survient entre 2 et 3 ans.

Dans le milieu naturel, le Python royal a une activité sexuelle saisonnière essentiellement régulée par le climat. Deux paramètres semblent prépondérants : la photopériode et la température du milieu. En Juillet et Aout, les températures et la photopériode diminuent, les *Python regius* entrent dans une phase de repos, marquée par une faible activité et une absence de prise alimentaire. Le mois de Septembre marque le début de la saison des pluies, concomitante avec une hausse des températures : les pythons sortent de leur torpeur et recommencent à s'alimenter. Ce retour à des conditions optimales coïncide avec la saison des accouplements, qui s'étend jusqu'à Novembre. La femelle pond par la suite entre Février et début Avril une grappe de 3 à 12 œufs, qu'elle couve de façon ininterrompue. Les éclosions surviennent environ 50 à 80 jours plus tard. Les nouveaux nés mesurent entre 20 et 35 cm de long, et sont autonomes dès la naissance.

D. Captivité (8, 11, 15, 16, 19, 20)

i. Intérêt

Le *Python regius* est un animal très populaire en terrariophilie. En effet, il présente de nombreux avantages, comparativement à d'autres espèces d'animaux de compagnie. Il s'agit d'un serpent de taille moyenne, il peut donc être logé dans un espace raisonnable. C'est un animal peu chronophage. C'est un animal rarement agressif, et dont le potentiel de nuisance est très faible. Moyennant des conditions zootechniques correctes, c'est un animal très robuste dont le maintien en captivité ne pose pas de problème particulier. Il existe une très large palette de couleurs accessibles au public.

A ce titre, le Python royal a vu ses effectifs captifs exploser au cours de ces 10 dernières années. Il est aujourd'hui sur le point de détrôner la Couleuvre des blés (*Pantherophis guttatus*), actuellement Ophidien le plus répandu en terrariophilie.

ii. Logement et entretien

Le terrarium du Python royal doit être adapté à la taille de l'individu qu'il contient. On conseille en général une taille minimale d'une longueur de corps pour la longueur du terrarium, et 40cm de profondeur et de hauteur. Le décor doit être fourni en cachettes et branchages afin d'éviter tout stress.

L'animal étant ectotherme, un gradient de température doit être mis en place le jour à l'aide d'un tapis ou d'une lampe chauffante, afin de créer un point chaud atteignant 30 à 32°C, et un point froid situé entre 20 et 25°C.

L'humidité ambiante doit atteindre 50 à 70%, et est obtenue par la présence d'une gamelle d'eau, ainsi que par des pulvérisations d'eau si nécessaire.

Un éclairage artificiel est nécessaire le jour afin de mimer un rythme nyctéméral. Les UV ne sont pas obligatoires pour cette espèce.

L'eau de boisson doit être changée quotidiennement. Les repas sont distribués toutes les 2 semaines pour un adulte, sous la forme d'une proie décongelée de taille adaptée, donnée réchauffée à 37°C.

iii. Législation

L'espèce *Python regius* est classée « LC » pour *least concern*, par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN), mais son exportation en masse pour les terrariophiles du monde entier et sa capture pour la viande ont motivé une mise sous conditions réglementaires afin que la situation ne devienne pas préoccupante.

Le commerce et la détention du *Python regius* sont définis d'après deux textes réglementaires : La Convention de Washington et l'Arrêté du 10 Août 2004

La Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction, ou Convention de Washington, est un texte à portée internationale. Le *Python regius* est cité en annexe II-b de cette convention. Ainsi, un Python royal vendu légalement doit être accompagné d'un numéro CITES accordé pour toute exportation d'animaux sauvages autorisée. Les animaux nés en captivité et enregistrés comme tels ne sont pas concernés par cette formalité.

L'Arrêté du 10 Août 2004 fixe les conditions de détention des animaux non domestiques en France. Pour le *Python regius*, la détention d'au maximum 25 spécimens adultes est possible sans formalités particulières. Au-delà d'un tel effectif, un certificat de capacité octroyé par la Direction Départementale de Protection des Populations est nécessaire.

II. Anatomie des Pythonidés

Les *Pythonidae* sont des serpents, ce qui implique un degré de différence anatomique élevé par rapport aux mammifères. C'est une famille de serpents primitifs constricteurs, qui présentent à ce titre des particularités anatomiques remarquables, comparativement aux autres grandes familles d'ophidiens que sont les *Colubridae*, les *Elapidae* et les *Viperidae*. En revanche, cette famille est extrêmement proche de celle des *Boïdae*, qui partagent les mêmes traits remarquables.

A. Tégument (18, 21)

Le tégument des Pythonidés est semblable à celui de la plupart des Squamates. Il est constitué d'un épiderme fortement kératinisé portant des écailles, reposant sur un derme conjonctif.

L'épiderme est la couche la plus superficielle du tégument, et présente la particularité d'être d'épaisseur variable. Les zones les plus épaisses et fortement kératinisées sont appelées écailles. Les Pythonidés présentent 3 types d'écailles : les écailles céphaliques, larges et épaisses, qui protègent la tête, les scutelles, épaisses et protégeant la face ventrale du corps, chacune correspondant à une vertèbre, et enfin les écailles imbriquées, excroissances d'épaisseur moyenne protégeant tout le reste du corps de l'animal. Les écailles sont liées par des zones d'épiderme très fin, permettant une élasticité cutanée. L'épiderme des Pythonidés est adapté à la mue, un renouvellement fréquent de la couche superficielle d'épiderme kératinisé par desquamation de la totalité de celui-ci d'un seul tenant. Cette mue survient à une fréquence variant en fonction de l'âge, de la température, de l'humidité et de l'état corporel de l'animal.

Le derme est une couche conjonctive élastique, richement vascularisée et innervée. Elle contient des cellules chromatophores, responsables de la pigmentation cutanée des Pythonidés. La peau des Reptiles est sèche et dépourvue de glandes à l'exception de deux glandes annales.

Une particularité des Pythonidés et Boïdés est l'existence d'une paire d'écailles spécialisées en forme de griffes situées de part et d'autre du cloaque. Il s'agit d'un étui corné entourant un fémur vestigial. Ces griffes, aussi appelées ergots, sont plus marqués chez les mâles.



Figure 10 : Ergots chez un Python regius mâle.

B. Squelette (1, 14, 18, 21)

i. Squelette céphalique

Le crâne des Ophidiens est de type diapside modifié, présentant deux fosses temporales fusionnées. Il est marqué par l'absence d'arc temporal et de bulle tympanique, ce qui constitue une adaptation à l'ingestion d'un bol alimentaire volumineux.

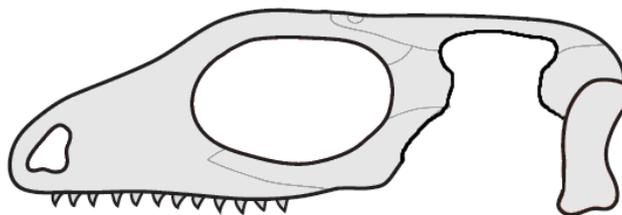


Figure 11: Schéma de crâne diapside modifié, d'après (18).

Le crâne peut être divisé en deux parties principales : la capsule cérébrale, et les os mobiles du crâne. La capsule cérébrale est composée d'os plats épais et soudés qui assurent la protection du système nerveux central : l'os basisphénoïde, les os prootiques, les os occipitaux, l'os pariétal et les deux os supratemporaux. Les os mobiles du crâne sont quant à eux disposés de façon à permettre une mobilité maximale les uns par rapport aux autres. Tous les os dentés peuvent se mouvoir indépendamment, et il n'y a pas de symphyse mandibulaire. Lors de la préhension buccale d'une proie, les deux demi-mâchoires peuvent se hisser l'une après l'autre, permettant l'avancée du repas vers l'œsophage. Pour les proies volumineuses, l'indépendance des os mandibulaires et la laxité de la peau de la région mandibulaire permettent une extension majeure de la cavité buccale. Le passage de telles proies dans la partie caudale du crâne est rendu possible par l'os carré, intermédiaire entre l'os mandibulaire et l'os supra-temporal, permettant un mouvement d'abduction des héli-mandibules et donc le passage de proies de taille nettement supérieure à celle du crâne. Après un repas, les serpents peuvent « bailler » afin de réaligner leurs héli-mandibules.

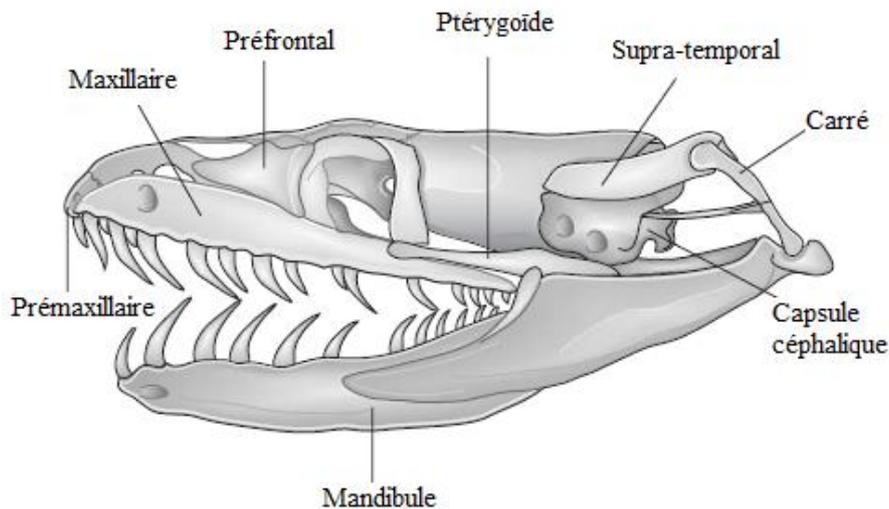


Figure 12 : Schéma de crâne simple d'Ophidien, d'après (18).

Les Pythonidés ont un crâne primitif. Ils ne possèdent pas d'adaptation à l'inoculation d'un venin, ce sont des serpents aglyphes. Ils possèdent environ 70 dents réparties sur quatre rangées pour la mâchoire supérieure (deux rangées maxillaires et deux rangées palatines) et deux rangées mandibulaires pour la mâchoire inférieure. Leurs dents sont aciculaires et orientées caudalement, conçues pour ferrer et maintenir la proie. Leur renouvellement est continu : elles se déchaussent et se brisent lors de la morsure, ou tombent spontanément tous les deux à trois mois. Elles sont dégluties et évacuées dans les selles. Lorsqu'une dent tombe, elle est remplacée en quelques jours par une dent néoformée stockée dans un repli gingival.

ii. Squelette axial

Les Pythonidés possèdent un rachis comportant un nombre variable de vertèbres, allant de 200 à 400 vertèbres pour les espèces les plus grandes. Il existe également une variation

individuelle du nombre de vertèbres au sein d'une même espèce en fonction de la taille de l'individu. On distingue l'atlas et l'axis, les vertèbres précaudales, situées entre l'axis et le cloaque, et les vertèbres caudales composant la queue. Les vertèbres des Ophidiens sont procœles et présentent une conformation proche de celle des mammifères, avec un corps vertébral surmonté d'un arc neural.

L'atlas et l'axis sont les deux seules vertèbres cervicales chez les Ophidiens. Chez les Pythonidés, l'atlas est formé de trois pièces osseuses non soudées : deux lames neurales et un corps vertébral portant un processus ventral épais. C'est une pièce de jonction entre le condyle occipital et l'axis, auquel il est imbriqué. L'axis présente en revanche un arc neural complet et soudé, et deux processus ventraux épais. Ces deux vertèbres comportent donc au total trois processus ventraux qui forment le processus odontoïde des Pythonidés, court et épais.

Les vertèbres précaudales, aussi appelées vertèbres troncales, sont courtes et comprimées dans le sens dorso-ventral. Elles possèdent un fort processus ventral qui s'atténue progressivement selon un gradient crânio-caudal. Elles sont liées à chaque vertèbre voisine par cinq articulations et un maillage ligamentaire et musculaire solide, permettant une grande mobilité dans les 3 directions de l'espace, résultant en un rachis très flexible et adapté à la reptation.

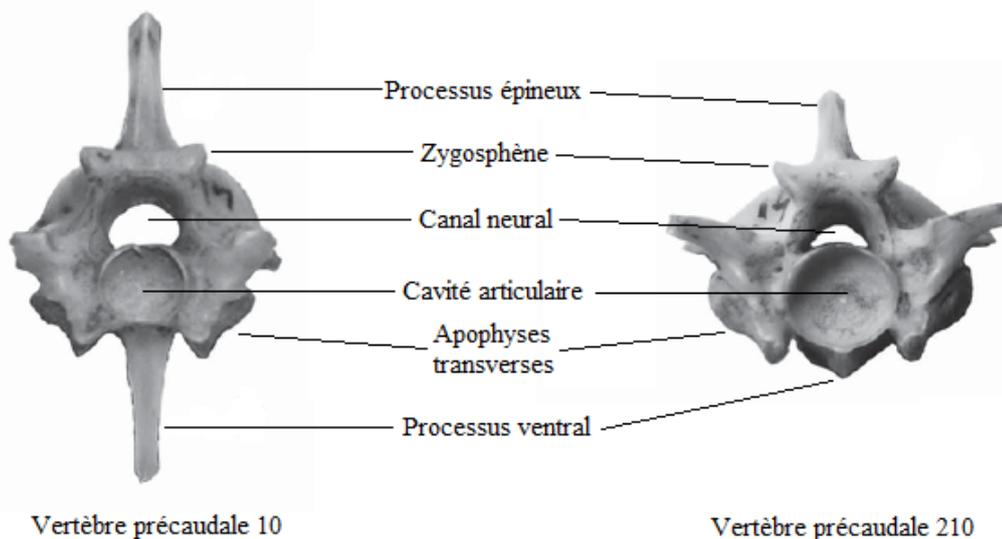


Figure 13: Vertèbres précaudales de Boïdé, d'après (1).

Les vertèbres caudales sont semblables aux précaudales, mais elles portent des processus pleuraux bifides, qui sont des côtes rudimentaires. Les deux lames des processus pleuraux délimitent un espace dans lequel se logent des sinus lymphatiques, aussi appelés cœurs lymphatiques.

iii. Squelette costal et sternal

Comme chez tous les Ophidiens, le squelette sternal est absent chez les Pythonidés. Les côtes sont présentes sur toutes les vertèbres troncales. Il n'y a pas de cartilage costal : les côtes sont libres et maintenues en place par la musculature intercostale, aux corps vertébraux dorsalement, et à la face interne des scutelles ventralement. L'axis, l'atlas et les vertèbres caudales ne portent pas de côtes.

iv. Squelette appendiculaire

Les Ophidiens sont apodes. Ce caractère serait apparu suite à l'élongation du corps comme une adaptation à la reptation. La ceinture thoracique est complètement absente chez toutes les espèces d'Ophidiens connues.

Il persiste chez les Pythonidés un vestige de ceinture pelvienne sous la forme de deux os longilignes et fins, que l'on retrouve à la jonction entre la dernière vertèbre précaudale et la première vertèbre caudale. Ils sont situés de part et d'autre du cloaque et sont couverts chacun d'une écaille spécialisée nommée ergot. Il pourrait également s'agir de vestiges du membre pelvien, et certains auteurs vont jusqu'à parler de fémur vestigial. Chez certaines espèces de Pythonidés, ils disposent d'une musculature et sont mobiles.

C. Muscles squelettiques (4, 14, 18, 21)

La musculature squelettique des Ophidiens remplit plusieurs rôles essentiels : moyen de mobilité, système ventilatoire, appareil ravisseur lors de la prédation, moyen de contention de certaines structures osseuses. Son agencement est complexe, les attaches ligamentaires pouvant se situer aussi bien sur des os, d'autres muscles, la peau, et parfois les trois à la fois.

i. Muscles du tronc

Il s'agit de l'essentiel de la masse musculaire des Ophidiens. On y retrouve des systèmes musculaires paravertébraux, costaux et abdominaux. Les muscles sont agencés en groupes répétés de façon homogène, afin de conférer une mobilité comparable à l'ensemble du corps de l'animal. Chez les Pythonidés, la musculature du tronc est épaisse et très puissante, permettant la mise à mort des proies par constriction.

La musculature paravertébrale comporte trois principaux groupes musculaires : le système iliocostal, le système longissimus et le système transverso-spinal. Le système iliocostal est situé ventralement aux corps vertébraux, et permet une flexion latérale du rachis. Le système longissimus fait le lien entre les processus transverses des corps vertébraux. Il porte les

insertions dorsales des muscles du système iliocostal. Il permet également la flexion latérale du rachis, ainsi que l'adduction des côtes. Le système transverso-spinal est situé dorsalement aux vertèbres et les lie par leurs processus épineux. Il permet la flexion latérale et l'extension du rachis. Il est particulièrement développé dans le tiers crânial du corps, permettant l'orientation tridimensionnelle de l'animal lors de la reptation.

La musculature costale est étroitement liée au système abdominal. La musculature costale s'insère principalement sur le système iliocostal et contrôle le positionnement des côtes, ce qui permet une locomotion par reptation péristaltique en prenant appui sur des sols irréguliers. Ventralement, elle sert de point d'insertion à la musculature abdominale, qui comporte des fibres transverses assurant une compression de la masse viscérale. Ces fibres permettent la ventilation par compression des poumons, car les Reptiles ne possèdent pas de diaphragme, et jouent également un rôle dans la progression du bol alimentaire dans le tube digestif.

Chez les Pythonidés, la musculature cervicale est semblable à la musculature du tronc. La musculature caudale est construite sur le même modèle et s'appauvrit progressivement dans le sens crânio-caudal jusqu'à disparaître. Elle est marquée à sa base par un sphincter cloacal et un muscle rétracteur du cloaque.

ii. Muscles peauciers

La musculature peaucière est très développée chez les Ophidiens. On distingue deux types de muscles peauciers : les muscles extrinsèques, qui ne possèdent qu'une partie de leurs insertions sur la peau, et les muscles intrinsèques, formant chez les Pythonidés une simple couche musculaire continue sur l'ensemble du corps de l'animal. Ces muscles fonctionnent en synergie avec ceux du tronc dans la fonction de reptation permettant la locomotion.

iii. Musculature céphalique

On distingue deux groupes musculaires céphaliques remplissant chacun un rôle propre : le groupe facial et le groupe trijumeau.

Le groupe facial est impliqué dans le positionnement de l'appareil de morsure. Il permet la mobilité indépendante des quatre quadrants de la cavité buccale, en particulier celle des os dentés, ainsi que l'ouverture et l'élargissement de celle-ci. Il assure également la contention des os libres de la région buccale.

Le groupe trijumeau est impliqué dans la morsure et le maintien de la proie, à travers l'adduction des héli-mandibules. Chez les Pythonidés, ces muscles sont très développés et particulièrement visibles dans la moitié caudale de la région céphalique. Ils servent à maintenir fermement la proie, le temps que la constriction fasse effet.

D. Cavité cœlomique (3, 4, 8–10, 14, 18, 21)

Les Ophidiens ne possèdent pas de distinction entre le thorax et l'abdomen. La totalité du rachis entre l'Axis et la première vertèbre caudale porte des côtes, et il n'existe pas de compartimentation du bloc cardiorespiratoire, car le diaphragme est absent. Les viscères cœlomiques sont allongés dans le sens crânio-caudal.

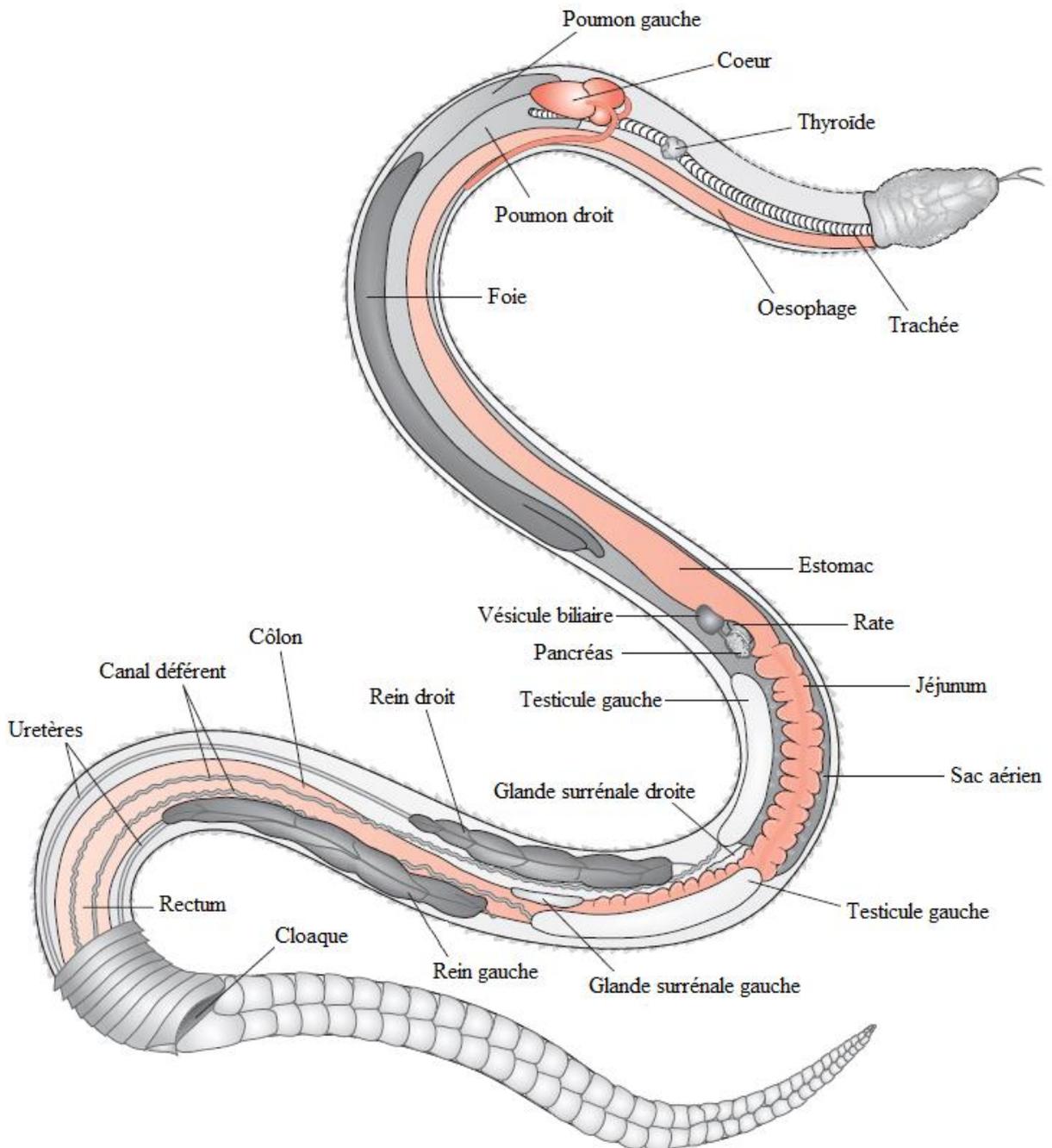


Figure 14: Cavité cœlomique d'Ophidien mâle, d'après (18).

i. Appareil cardio-vasculaire

La circulation sanguine des Pythonidés est semblable à celle de la plupart des Ophidiens. Elle est caractérisée tout d'abord par une fréquence cardiaque basse et variable en fonction du poids et de l'âge de l'animal, de la température de l'environnement, du niveau de métabolisme et des stimulations sensorielles environnementales. On estime que la fréquence cardiaque normale d'un *Python regius* est de 40 battements par minute à une température de 27°C dans des conditions physiologiques. Elle est dite double et incomplète : en effet, il existe une circulation pulmonaire et une circulation systémique, qui ne sont pas parfaitement cloisonnées anatomiquement : il y a mélange de sang hématosé et carbonaté.

Le cœur assure le rôle de pompe mécanique pour la circulation sanguine. Il est mobile dans la cavité cœlomique, en raison de l'absence de médiastin, ce qui constitue une adaptation à l'ingestion de proies volumineuses. On le retrouve en général au niveau du tiers crânial du corps de l'animal. Il est contenu dans un sac péricardique. Il est de forme allongée et asymétrique : il comporte un atrium droit de taille importante et un atrium gauche plus restreint, un unique ventricule allongé et plus musculueux dans sa portion gauche, et un sinus veineux situé dorsalement et caudalement aux atriums.

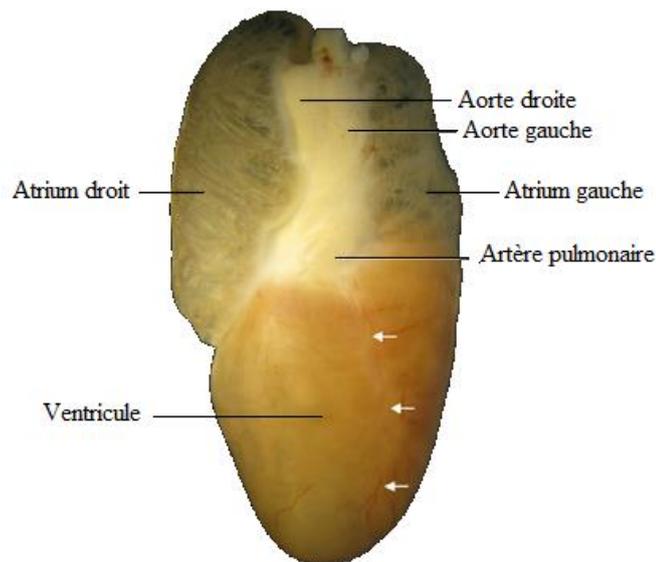


Figure 15: Vue ventrale de cœur de *Python regius*, d'après (10).

L'atrium droit reçoit le sang des veines caves crânielles et de la veine cave caudale, via le sinus veineux. L'atrium gauche reçoit le sang des veines pulmonaires droite et gauche chez les Pythonidés, qui possèdent deux poumons bien développés. Les deux atriums sont cloisonnés et se contractent de façon asynchrone, ce qui permet de limiter le mélange du sang hématosé et carbonaté dans le ventricule. Ce dernier chasse le sang carbonaté dans le tronc pulmonaire en direction de la circulation pulmonaire, et le sang hématosé dans les deux aortes, qui se joignent caudalement au cœur pour former un tronc aortique unique, en direction de la circulation systémique.

Le système artériel des Ophidiens diffère peu de celui des Mammifères. Le système veineux en revanche présente une particularité ayant des implications cliniques importantes. En effet, on retrouve chez les Reptiles un système porte rénal, qui est une confluence des veines épigastriques et iliaques, ainsi que de la veine hypogastrique et des veines honteuses, en une veine porte rénale. Lors d'une injection intramusculaire d'un principe actif chez un Reptile, le choix d'un abord situé dans les deux tiers caudaux de l'animal expose au risque d'une clairance élevée du principe administré.

Par ailleurs, les Reptiles possèdent un système lymphatique développé. On retrouve un réseau dense de vaisseaux lymphatiques dans tout le corps de l'animal, avec un système de circulation autonome : une paire de cœurs lymphatiques contractiles, situés dans la bifurcation des processus pleuraux des premières vertèbres caudales.

ii. Appareil respiratoire

L'appareil respiratoire supérieur est comparable dans les grandes lignes à ce que l'on peut retrouver chez les mammifères. On retrouve une paire de narines rostrales donnant sur des cavités nasales restreintes et ne remplissant qu'un faible rôle olfactif. Elles débouchent dans la cavité buccale par une paire de choanes primitives largement ouvertes, situées entre les maxillaires, dans le quart caudal de la cavité buccale, en regard du larynx. Le larynx se situe directement caudalement à la langue. Il possède des cartilages cricoïdes et aryténoïdes portant une musculature puissante permettant son oblitération et sa protraction, permettant de protéger le bas appareil respiratoire pendant la prise du repas. La trachée est un tuyau rigide composé d'anneaux cartilagineux, incomplets en face dorsale. Les Reptiles ne possèdent pas d'escalator muco-ciliaire, ce qui les rend particulièrement vulnérables aux affections respiratoires. Particularité des Pythonidés, la trachée se divise en deux bronches souches courtes, situées caudalement au cœur, car ces derniers possèdent deux poumons presque également développés.

Les Pythonidés possèdent donc deux poumons, avec un poumon droit légèrement plus développé, le poumon gauche atteignant en moyenne 87% de la taille du droit. Il s'agit de poumons sacculaires simples, dont la surface d'échange est faite de villosités fortement vascularisées. La portion respiratoire du poumon représente environ les deux tiers crâniens de leur longueur. Il existe également une portion avasculaire qui ne remplit pas de rôle dans l'hématose, mais qui agit comme un sac aérien. On retrouve des sacs aériens longs en portion caudale, et des petits sacs aériens crâniens aussi appelés sacs trachéaux. Les deux poumons s'étendent sur 10 à 15% de la longueur de l'animal, du pôle caudal du cœur crânialement au pôle crânial du rein droit caudalement.

La respiration des Pythonidés est essentiellement thoraco-abdominale. Elle présente une composante active, assurée par les feuillettes musculaires intercostaux ventrolatéraux et transverses, et une composante passive, par le retour passif en position de repos des côtes et l'élasticité des sacs aériens. La respiration bucco-pharyngée par abaissement du plancher buccal est anecdotique.

iii. Appareil digestif

La cavité buccale des Pythonidés est constituée d'un plafond, d'un plancher, et de deux orifices : la bouche rostralement et le sphincter œsophagien supérieur caudalement. Le plafond buccal présente deux séries dentaires : une arcade maxillaire et une arcade palatine. Il porte également une paire de choanes caudalement et une paire d'ostiums allant à l'organe voméronasal rostralement. Il comporte en plus des glandes salivaires ptérygoïdiennes et palatines. Le plancher buccal porte une arcade dentaire mandibulaire et une langue longiligne bifide dans son tiers rostral. La langue possède un rôle uniquement olfactif. Lorsque la bouche est fermée, les extrémités rostrales de la langue sont logées au contact de l'organe voméronasal. La langue porte également à sa base des glandes salivaires linguales. Les lèvres sont bordées d'écailles céphaliques, et possèdent des glandes salivaires labiales assez développées par rapport aux autres familles d'Ophidiens. Il existe une encoche permettant à l'animal de sortir sa langue lorsque la bouche est fermée. La cavité buccale n'a qu'un rôle de préhension de l'alimentation chez les Pythonidés, qui ne portent ni crochets, ni glande à venin : ils sont dits aglyphes.

L'œsophage se résume à une paroi de fibres musculaires lisses, qui est très fine, élastique et très dilatable. L'œsophage en lui-même joue un rôle négligeable dans la progression du bol alimentaire comparé à la musculature costale.

L'estomac est fusiforme, et la jonction avec l'œsophage est très peu marquée. Le cardia est quasi inexistant. Il est musculeux, fin et hautement dilatable. Il porte une muqueuse glandulaire qui joue un rôle mineur dans la digestion enzymatique de la proie. Il se termine caudalement par un pylore musculeux et moins déformable.

L'intestin débute après le pylore. Il est rectiligne du pylore au cloaque, il est donc particulièrement court. On distingue un intestin grêle relativement étroit, et un côlon au diamètre plus important, qui occupe le tiers caudal de la longueur totale. La portion crâniale du grêle reçoit les sécrétions biliaires et pancréatiques. La digestion enzymatique du bol alimentaire est rapide dans l'intestin grêle, mais l'absorption est très longue, et peut prendre jusqu'à des semaines pour les proies les plus volumineuses. Chez les Pythonidés, on retrouve un caecum vestigial à l'intersection du grêle et du côlon. Le côlon rejoint caudalement le coprodeum, une cavité appartenant au cloaque, lieu d'évacuation des selles.

Le foie est monolithique, allongé, et présente un volume important : son poids peut atteindre 4% du poids corporel. Il prend son origine au niveau du tiers caudal de l'œsophage, et se prolonge jusqu'au quart distal des poumons. Il possède deux canaux qui se jettent dans une vésicule biliaire ovoïde de petite taille, nettement séparée du foie, positionnée plus distalement, au pôle caudal du poumon droit.

Le pancréas est réduit, ovoïde, et localisé au niveau de la vésicule biliaire. Il forme avec elle et la rate une triade. Ses canaux se jettent dans les canaux cholédoques de la vésicule biliaire.

iv. Appareil urogénital

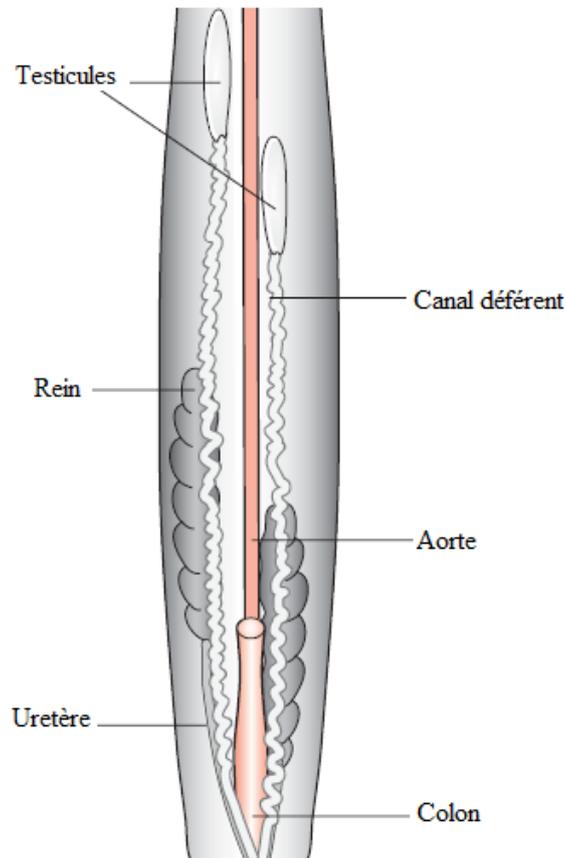


Figure 16 : Appareil urogénital mâle d'Ophidien, d'après (18).

Les reins sont présents en paire chez les Ophidiens. Ils sont localisés dorso-caudalement, au niveau du tiers caudal de l'animal, en regard du caecum chez les Pythonidés. Le rein droit est le plus crânial. Ils sont allongés, et peuvent mesurer jusqu'à 10% de la longueur corporelle. Ils sont formés d'un amas de 20 à 30 lobes rénaux. Chaque rein porte un uretère ventral qui débute au pôle rénal crânial, et reçoit les canaux collecteurs tout le long de son trajet contre le rein. Les uretères sont de simples canaux linéaires qui s'abouchent dans l'urodème du cloaque. Les déchets métaboliques azotés sont éliminés par le rein sous forme d'acide urique cristallisé semi-solide.

Les Pythonidés sont ovipares, à la différence des Boïdés, ovovivipares pour la plupart. C'est la principale différence entre ces deux familles autrement très proches. L'appareil génital femelle débute crânialement par des ovaires. Ils sont pairs, lobés et bosselés. Ils sont de taille variable en fonction du cycle œstral de la femelle, et sont situés caudalement à la triade rate-vésicule biliaire-pancréas. Ils sont directement abouchés à deux oviductes comportant quatre portions : une portion infundibulaire, autour de l'ovaire, une portion tubaire glandulaire chargée de la sécrétion protéique des œufs, une portion utérine, plus épaisse, calcifiant la coquille, et une portion vaginale, distalement, riche en glandes à mucus.

L'appareil génital mâle débute crânialement par les testicules. Ils sont pairs, cylindriques, et leur taille varie beaucoup en fonction de la saison. Leur taille est maximale lors de la saison de reproduction, et le testicule droit tend à être de taille plus importante chez les Pythonidés. Ils sont entourés d'une membrane albuginée. Ils sont situés crânialement aux reins. Les canaux séminifères se rejoignent caudalement en un épидидyme longeant ventralement les gonades, débouchant lui-même sur un canal déférent linéaire, rejoignant le cloaque en longeant les uretères. Ils débouchent directement dans le cloaque via la papille génitale située dans l'urodeum.

Les Pythonidés ne possèdent ni vessie, ni ampoule rectale. Les tractus digestif et urinaire se terminent par un cloaque, dans lequel s'abouchent également les voies génitales. Le cloaque est une chambre compartimentée en trois secteurs selon les voies qui s'y abouchent. On retrouve le coprodeum, qui reçoit le côlon, l'urodeum, qui reçoit les deux uretères, le canal déférent chez le mâle et l'oviducte chez la femelle, et le proctodeum, la dernière cavité aborale avant le sphincter cloacal, qui contient deux glandes anales remplissant un rôle identique aux glandes circumanales des mammifères. Caudalement au cloaque, en région ventrale de la queue, les mâles possèdent deux hémipénis. Au repos, ils sont logés dans des fosses hémipéniennes. Lors de l'érection, pendant la copulation, un des hémipénis fait protrusion par le cloaque. Son rôle est l'intromission dans le cloaque femelle, afin de maintenir abouchés les cloaques des deux partenaires. Il ne joue aucun rôle dans l'acheminement des gamètes mâles, et sert seulement de système de maintien.

E. Système nerveux (4, 8, 14, 18, 21)

Le système nerveux central des Ophidiens est comparable à celui de tous les Reptiles. Il est composé de l'encéphale et de la moelle spinale.

L'encéphale des Ophidiens est moins évolué que celui des mammifères. Il comprend deux hémisphères cérébraux lisses bien définis, deux bulbes olfactifs fortement développés chez les Pythonidés, deux bulbes olfactifs accessoires, un cervelet bien développé, et un tronc cérébral portant les noyaux de douze nerfs crâniens. La taille des bulbes olfactifs est liée à l'utilisation forte de l'odorat dans la prédation chez les Pythonidés. Il est moins développé chez les serpents dotés d'une bonne vue, comme les Colubridés. Le développement du cervelet est lui aussi en rapport avec le mode de vie semi-arboricole de la plupart des Pythonidés. Chez les serpents terrestres ou fouisseurs, il est moins proéminent.

La moelle spinale des Ophidiens parcourt tout le canal rachidien, d'un bout à l'autre. Il s'agit d'un simple cordon cylindrique, comprenant une délimitation nette entre la substance grise médullaire et la substance blanche corticale. La moelle contient des centres moteurs autonomes, jouant un rôle dans la locomotion.

Le système nerveux périphérique, composé des nerfs crâniens et spinaux, est très semblable à celui des autres Vertébrés. On notera une différence : les afférences sensitives aux bulbes olfactifs se font surtout depuis l'organe voméronasal, formant la branche voméronasale du nerf olfactif, complémentaire d'une branche olfactive en provenance des cornets nasaux, plus réduite.

Le système nerveux sympathique ne présente pas d'atypies connues par rapport à celui des Vertébrés.

F. Organes sensoriels (4, 8, 14, 18, 21)

i. Vue

La vue est un sens peu aigu chez les Pythonidés. L'œil possède des paupières immobiles, couvertes d'écailles céphaliques. Il est recouvert d'une écaille spécialisée, finement kératinisée et vascularisée, mais toutefois transparente à l'œil humain, nommée lunette. L'œil est relativement primitif. L'iris contient des fibres musculaires striées squelettiques, dont l'ouverture a donc une composante volontaire. Il délimite une pupille de forme ovale verticale comme un « œil de chat » chez la plupart des espèces de Pythonidés, dont *Python regius*. Les corps ciliaires sont absents ou rudimentaires, et n'influent que très peu sur un cristallin sphérique via la contraction de l'iris. L'accommodation est donc peu efficace. La rétine est avasculaire et porte des cônes et des bâtonnets en proportions cohérentes avec le caractère diurne ou nocturne de l'espèce considérée.

ii. Ouïe

L'ouïe est assurée par un appareil stato-acoustique composé de l'oreille moyenne et de l'oreille interne. Il n'y a pas d'oreille externe. L'oreille interne est similaire à celle des mammifères, et contient les organes de l'équilibre. L'oreille moyenne est quasiment vestigiale chez les Pythonidés : il n'y a pas de tympan ni de bulle tympanique. L'os carré du crâne est couvert d'une membrane sensible aux vibrations. Ce dernier transmet la vibration ainsi perçue à la columelle, os longiligne intermédiaire entre le carré et l'appareil cochléaire, duquel part le nerf auditif. Ce système ne permet de relever que les basses fréquences (100 à 1000 Hertz).

iii. Olfaction

Il s'agit du sens le plus développé chez les Ophidiens en général. Le système olfactif comprend plusieurs organes : les narines et cavités nasales, et l'organe voméronasal ou organe de Jacobson.

Les fosses nasales sont deux cavités paires situées rostro-dorsalement sur la tête de l'animal. Elles s'ouvrent sur les narines rostralement, et sur les choanes buccales caudalement. Elles contiennent une chambre creuse directement derrière les narines, qui donne sur un cavum olfactif, comportant des cornets nasaux tapissés d'un épithélium chémosensible. Il permet au serpent de détecter des odeurs fortes, des proies et des prédateurs éventuels. Les Pythonidés possèdent en outre un diverticule cavitaire caudal au cavum olfactif, nommé espace antorbital, dont l'utilité n'est pas encore certaine.

L'organe voméronasal est un organe chémorécepteur très perfectionné. Il se loge dans une cavité du plafond buccal rostral, en avant de l'os vomer. Lors de l'exploration du milieu, le serpent réalise fréquemment des mouvements rapides de protraction-rétraction de sa langue bifide, qui est adaptée à fixer les particules odoriférantes qu'elle rencontre. Lorsqu'elle regagne la cavité buccale, la langue contacte directement l'organe de Jacobson, qui analyse alors très finement ces particules et conduit un signal jusque dans les bulbes olfactifs. Cet organe permet entre autres de détecter des proies lointaines et de les pister, de trouver des partenaires sexuels, d'identifier un prédateur proche.

iv. Toucher

Il est assuré par des organes sensoriels cutanés répartis dans le derme et l'épiderme. Ils sont localisés en nombre autour des faces latérales de la tête, et sont présents en quantité moindre sur le reste du corps. Ils jouent un rôle dans la perception du milieu sur lequel évolue le serpent, et permettent d'adapter le type de reptation en fonction du sol sur lequel le serpent se déplace.

v. Goût

Les Pythonidés possèdent des chémorécepteurs supposément gustatifs répartis dans la cavité buccale dans des bourgeons sensitifs nommés papilles. On retrouve des papilles sur l'étui lingual et le plafond buccal. La langue en est complètement dénuée. Leur fonctionnement est analogue à celles des mammifères.

vi. Thermosensibilité

Les Pythonidés possèdent un organe thermosensible extrêmement complexe et développé. Ils partagent cette caractéristique avec une famille de serpents venimeux désertiques : les Crotalidés.

Les Pythonidés possèdent jusqu'à 13 paires de fossettes labiales, réparties sur la lèvre supérieure, et inférieure également chez les espèces arboricoles. Elles sont directement liées à des efférences nerveuses uniques, absentes chez tous les autres Ophidiens, faisant relai dans des noyaux sensitifs du tronc cérébral, avant de rejoindre le toit optique du télencéphale. On suppose que les fossettes labiales sont capables de capter le rayonnement infrarouge émis par les sources de chaleurs (sol, plantes, proies), et d'intégrer cette information sous forme visuelle, superposée à l'information optique. Cet organe thermosensible peut détecter des variations de température de l'ordre de 3 millièmes de degré au contact.



Figure 17: Fossettes labiales thermosensibles chez un Python regius.

3^{ème} Partie : Le projet, atlas tomodensitométrie du Python regius

I. Réalisation de l'examen tomodensitométrique sur un *Python regius*

A. Examen clinique du sujet d'étude

Il s'agit d'un *Python regius* femelle adulte de 5 ans, présentée pour examen tomodensitométrique à but pédagogique. Les conditions de maintenance sont adaptées et l'état général de l'animal est bon. Aucun antécédent médical n'est rapporté.

A l'examen à distance, l'animal est vif et alerte, présente un état corporel normal, et aucune anomalie n'est décelée.

A l'examen rapproché, on retrouve un animal en bon état général. L'auscultation cardiaque est claire et sans anomalie. La fréquence cardiaque relevée est normale, à 35 battements par minute. L'auscultation des aires pulmonaires est claire et sans anomalie. La fréquence respiratoire relevée est normale, à 6 mouvements par minute. La palpation de la cavité coelomique est souple et ne révèle aucune anomalie. L'examen de la cavité buccale retrouve des muqueuses buccales rosées et humides et un ostium trachéal net et sans mucus.

L'examen clinique est compatible avec un animal en bonne santé apparente. Il est jugé apte à subir une anesthésie générale, en vue de l'examen tomodensitométrique.

B. Anesthésie du sujet d'étude (5)

L'anesthésie générale est indispensable lors de la réalisation d'un examen tomodensitométrique sur un animal, car bien que non invasif et de courte durée, il nécessite une immobilité parfaite pendant toute la durée de l'acquisition.

Les objectifs de l'anesthésie dans ce cas sont la narcose et la myorelaxation. Les enjeux sont une ventilation correcte, car les agents de narcose peuvent provoquer une bradypnée, et une perfusion correcte des tissus, car ces mêmes agents sont relativement bradycardisants. De plus, les possibilités de monitoring sont réduites sur un Ophidien. Par ailleurs, les Ophidiens étant poïkilothermes, la température ambiante doit être maintenue autour de l'optimum pour l'espèce considérée (ici 27°C), afin d'assurer un niveau normal de métabolisme, pour une clairance rapide des agents narcotiques.

Le protocole anesthésique choisi est le suivant :

- Induction par administration intraveineuse de propofol à la dose de 5 mg/kg. L'accès veineux de choix est la veine coccygienne.
- Entretien de la narcose à l'isoflurane 2%, porté à un débit de 1 L/min par un mélange gazeux à parts égales d'oxygène (O₂) et de dioxyde d'azote (NO₂) via l'utilisation d'un masque facial.

Le monitoring de l'anesthésie se fait par mesures régulières de la fréquence cardiaque, à l'aide d'une sonde Doppler posée sur le cœur, et par évaluations régulières de la fréquence respiratoire, par visualisation de mouvements thoraco-abdominaux.

Après la réalisation de l'examen, l'animal est laissé sous oxygène et réchauffé durant la phase précoce du réveil. Dès le retour de signes de conscience (perte de laxité musculaire), il est placé dans un terrarium chauffé à 32°C. Le réveil complet est obtenu au bout d'une heure.

C. Examen tomodensitométrie

i. Scanner utilisé et protocole d'acquisition

L'examen a été réalisé sur un modèle Brightspeed 16 coupes produit par General Electric, mis à disposition par le service d'Imagerie Médicale de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

ii. Reconstitution des images dans le mode de visualisation MPR

Une fois l'examen réalisé, un traitement informatique permet de visualiser des images sous différents modes : nous avons choisi le mode MP.R. (pour MultiPlanar Reconstruction) : c'est un mode qui permet une construction d'images multiplanaires. Il permet d'obtenir à partir des informations recueillies en coupe transversale des images reconstruites dans les plans sagittaux et dorsaux.

II. L'atlas tomodensitométrie (12)

A. Mise en forme des planches de l'atlas

i. Traitement des images obtenues

L'intégralité des images obtenues par l'examen tomodensitométrie a été visualisée via logiciel OSIRIXND afin d'identifier les différentes structures anatomiques. Une fois la reconnaissance effectuée, des images en coupe transversale ont été sélectionnées dans différentes fenêtres (tissu osseux, tissu mou, tissu pulmonaire), puis mises en page en position conventionnelle et légendées grâce au logiciel Power Point. Les images ont ensuite été transférées sur le site internet créé pour héberger cet atlas.

ii. Mise en place des légendes

Les structures anatomiques mises en évidence ont été légendées. L'accent est porté sur l'anatomie squelettique pour les images en fenêtre tissu osseux, sur les viscères en fenêtre tissu mou et sur l'arbre respiratoire en fenêtre tissu pulmonaire. La qualité du contraste obtenu en fenêtre tissu mou n'étant pas optimale, décision a été prise de ne légender que des aires probables de présence des viscères, quand celles-ci étaient raisonnablement discriminables des tissus mous environnants. Pour cette raison, peu d'images ont été retenues en fenêtre tissu mou. Ce travail tend à montrer que l'étude des structures tissulaires du *Python royal* serait de meilleure qualité via un examen IRM.

B. Présentation du site internet

L'atlas tomodensitométrique du *Python regius* est accessible gratuitement en ligne à l'adresse suivante :

<http://www.anatimagerie-envt.fr/nac/>

L'objet de ce site est la mise à disposition d'une banque d'images tomodensitométriques légendées d'animaux sains. Ce site est tenu par l'Unité Pédagogique d'Anatomie et d'Imagerie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. Il regroupe des clichés concernant les animaux de compagnie conventionnels (chien, chat) mais aussi des clichés de nouveaux animaux de compagnie.

C. Exemple d'images mises en ligne

Les images, une fois traitées, ont été classées en séries par type de fenêtre de lecture. On retrouve une fenêtre adaptée à la visualisation du tissu osseux, une fenêtre adaptée aux poumons et une fenêtre pour les autres tissus mous.

Chaque coupe est située sur une radiographie en incidence dorso-ventrale du sujet d'étude.

i. Exemples d'images en fenêtre tissu osseux

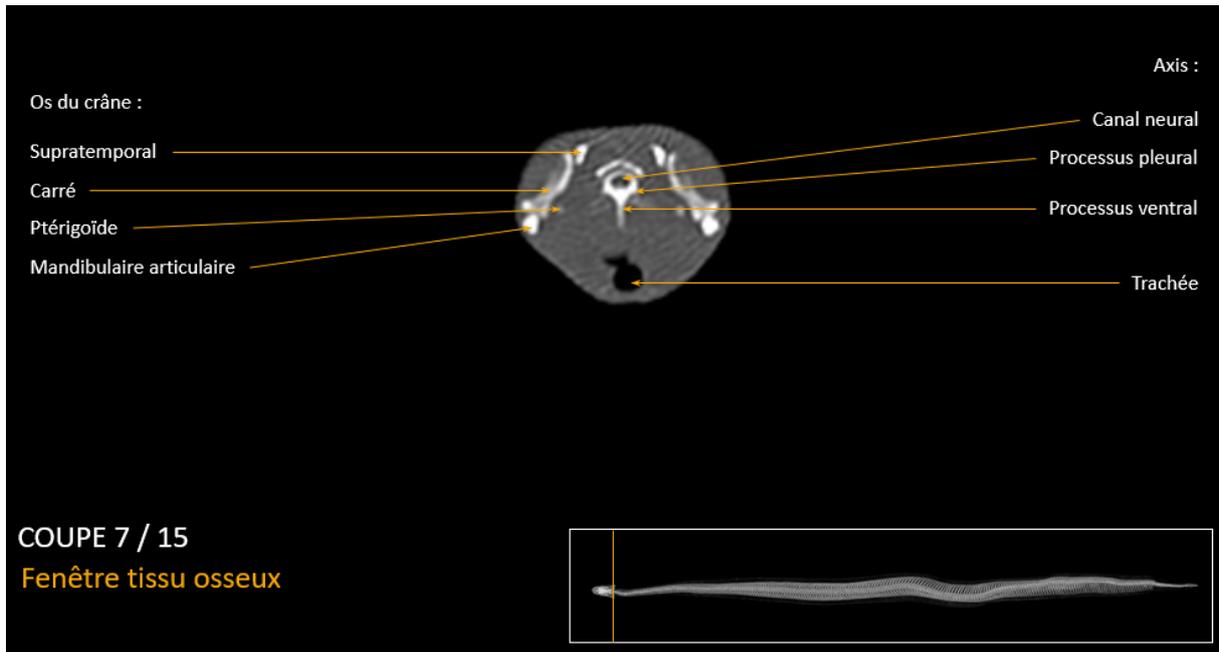


Figure 18: Planche 7/15, fenêtré tissu osseux.

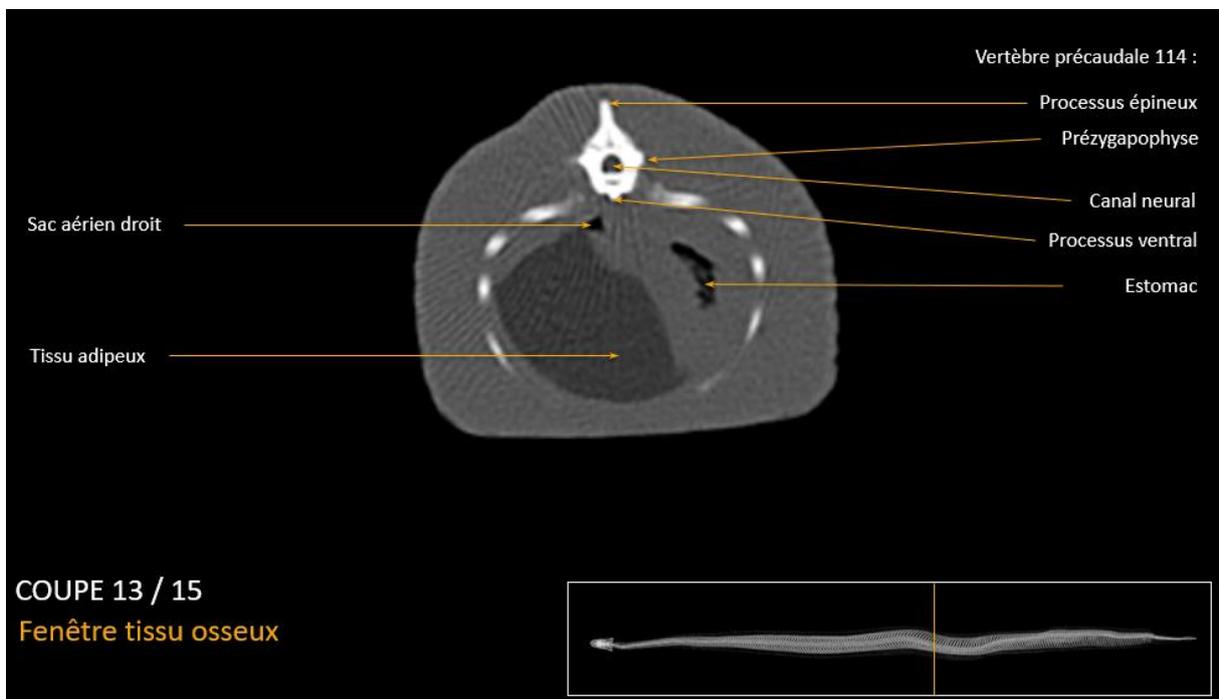


Figure 19: Planche 13/15, fenêtré tissu osseux.

ii. Exemples d'images en fenêtre tissu mou

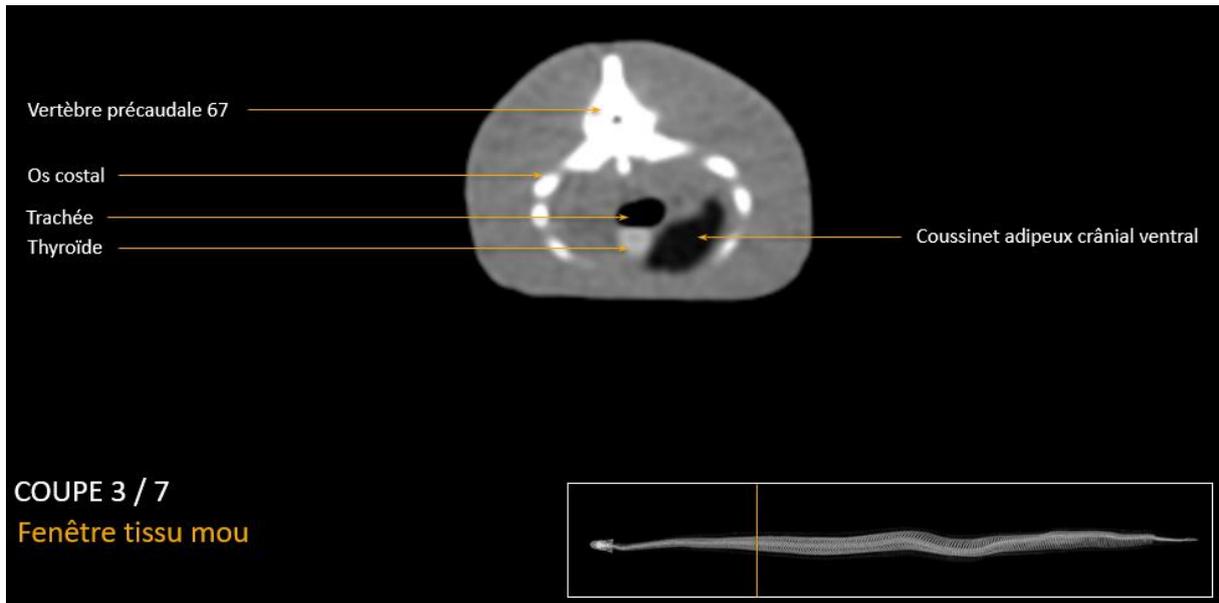


Figure 20: Planche 3/7, fenêtre tissu mou.

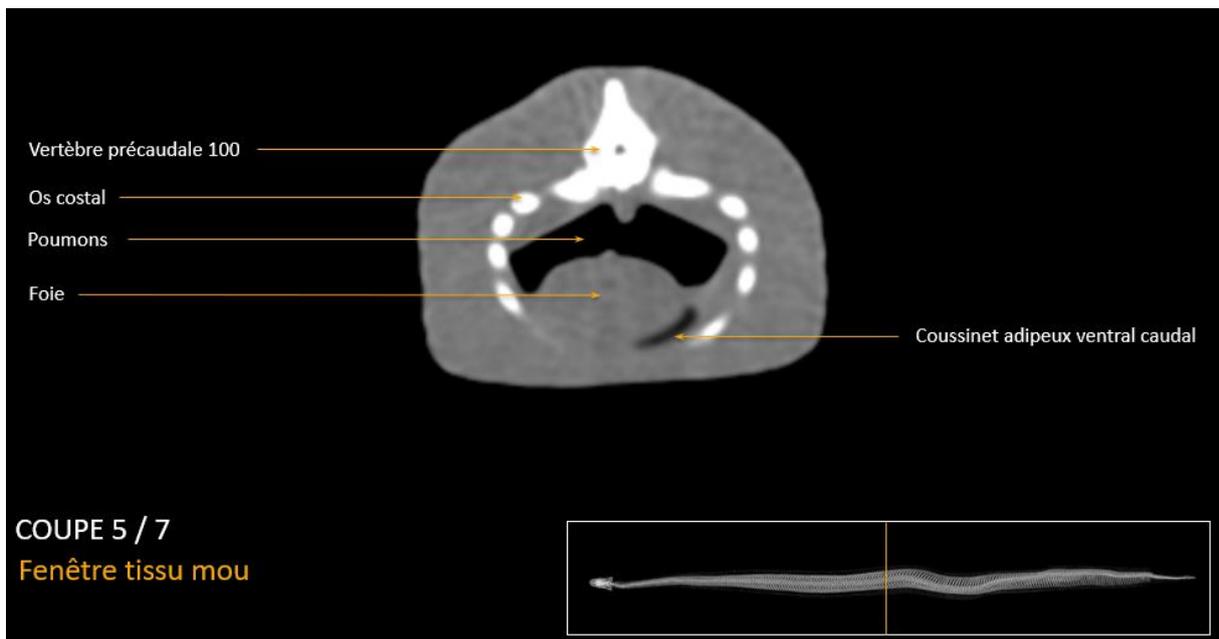


Figure 21: Planche 5/7, fenêtre tissu mou.

iii. Exemples d'images en fenêtre pulmonaire

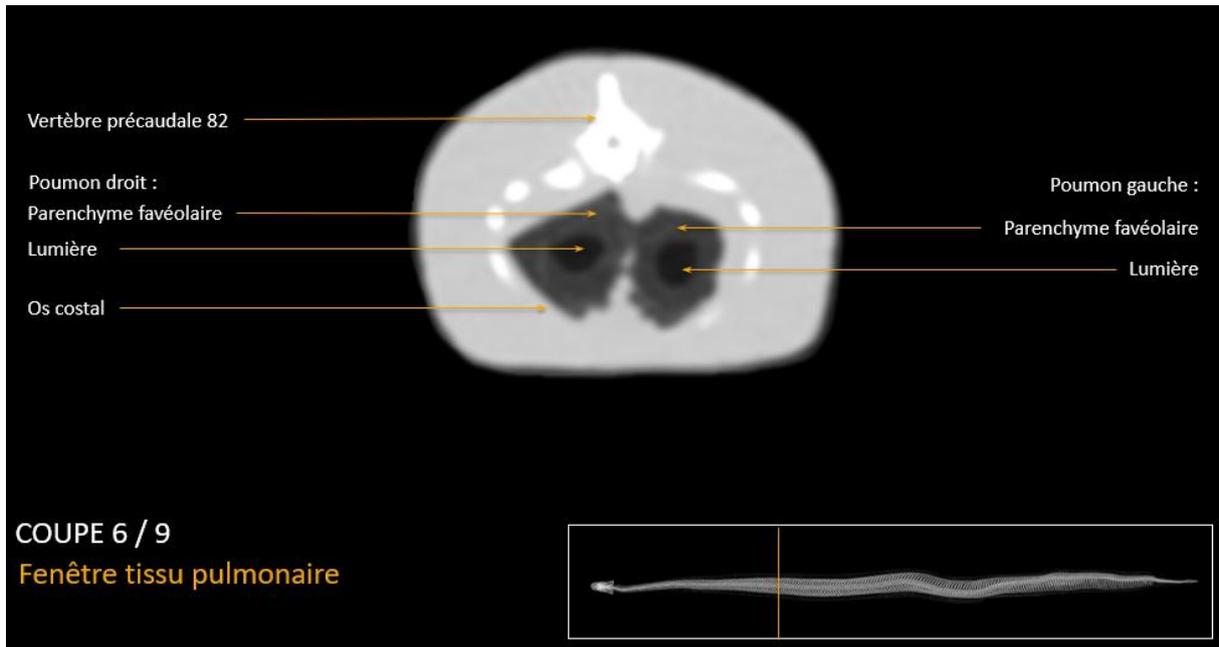


Figure 22: Planche 6/9, fenêtré tissu pulmonaire.

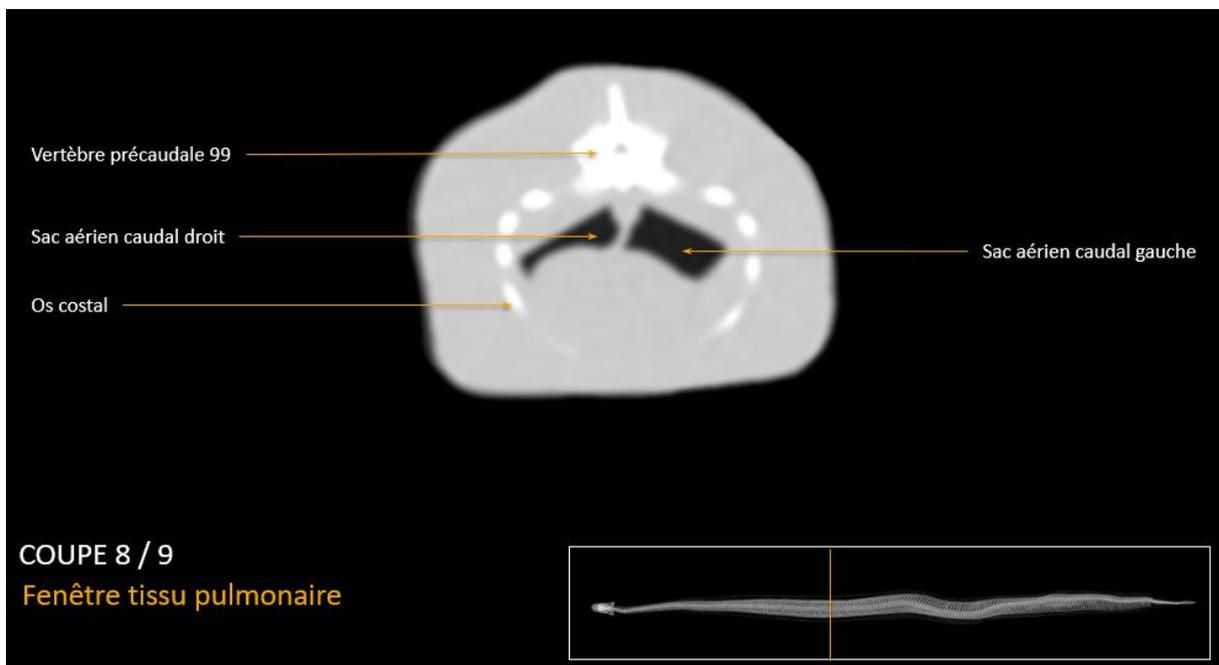


Figure 23: Planche 8/9, fenêtré tissu pulmonaire.

Conclusion

L'avancée technologique que représente l'imagerie tomodensitométrique est un avantage certain pour la compréhension de l'anatomie normale ou pathologique d'un sujet. Le développement et l'amélioration des performances des matériels destinés à la réalisation d'images scanner est en plein essor. De ce fait, des appareils sont de nos jours disponibles dans des fourchettes tarifaires plus réalistes pour une structure telle qu'un centre hospitalier vétérinaire. On assiste donc à une augmentation de l'utilisation du scanner en médecine vétérinaire, qui atteint même le secteur émergent des nouveaux animaux de compagnie.

La sensibilité, la qualité et les avantages de cette technologie ne sont plus à prouver, mais la lecture du résultat d'un examen scanner peut parfois dépasser les compétences du praticien. La lecture d'images scanner suppose une connaissance pointue de l'anatomie normale du sujet. Le projet d'atlas offre des images normales dites « de référence », afin d'aider le praticien non spécialiste dans l'interprétation d'images scanner.

Par ailleurs, la médecine et la chirurgie des nouveaux animaux de compagnie est un secteur d'activité en expansion. Ces animaux de compagnie atypiques suscitent de plus en plus d'intérêt. La valeur économique ou sentimentale de certains de ces animaux pousse de plus en plus de propriétaires à consulter un vétérinaire, et crée une demande en examens complémentaires spécialisés, tels que le scanner. C'est notamment le cas du Python royal, d'où l'intérêt de réaliser pour cette espèce un atlas tomodensitométrique.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussigné, Fabrice CONCHOU, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de RINAUDO Pierre-Yves [redacted] intitulée « **Mise en ligne d'un atlas d'images tomодensitométriques normales du python royal (*Python regius*)** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

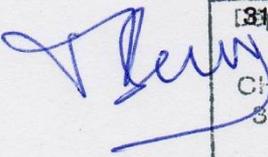


Fait à Toulouse, le 23 octobre 2017
Docteur Fabrice CONCHOU
Maître de Conférences
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



Vu :
La Directrice de l'Ecole Nationale
Vétérinaire de Toulouse
Isabelle CHMITELIN

Faculté de Médecine Rangueil
Biophysique Médicale - CHU Rangueil
1, avenue Jean Poulhès - TSA 50032



31059 TOULOUSE Cedex
31059 TOULOUSE Cedex
Professeur I. BERRY
CHU RANGUEIL - TSA 50032
31059 TOULOUSE Cedex 9
Tél. 05 61 32 28 70

Vu :
Le Président du jury :
Professeur Isabelle BERRY

Vu et autorisation de l'impression :
Président de l'Université
Paul Sabatier
Monsieur Jean-Pierre VINEL



Le Président de l'Université Paul Sabatier
par délégation,

La Vice-Présidente de la CFVU
de la thèse ne peut être

Conformément à l'Arrêté du 20 avril 2007, article 6, la soutenance de la thèse ne peut être autorisée qu'après validation de l'année d'approfondissement.

Régine ANDRE-OBRECHT



Bibliographie

1. ALBINO MM. 2017. Morfología Vertebral de Boa constrictor (Serpentes : Boidae) y la Validez del Género Mioceno Pseudoepicrates Auffenberg, 1923. *Ameghiana*. n°48, pp. 53–62.
2. AULIYA M, SCHMITZ A. 2010. The IUCN Red List of Threatened Species: Python regius [en ligne]. Consulté le 29/09/2017. Disponible à l'adresse : <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-4.RLTS.T177562A7457411.en>
3. BANZATO T, RUSSO E, FINOTTI L, MILAN MC, GIANESELLA M, ZOTTI A. 2012. Ultrasonographic anatomy of the coelomic organs of boid snakes (Boa constrictor imperator, Python regius, Python molurus molurus, and Python curtus). *American Journal of Veterinary Research* Vol. 73, n°5, pp. 634-645.
4. BAUCHOT L, BON C, DAVID P, FOURCADE P, GASC J-P, GRAVIER L, HEUCLIN D, LESCURE J, MATZ G, NAULLEAU G, PLATEL R, RAGE J-C, SAINT-GIRONS H, SAINT-GIRONS M-C, VASSE Y. 2005. *Serpents*. Paris : Artémis. 220 p. ISBN 978-2-84416-410-0.
5. CARPENTER JW, MARION CJ. 2012. *Exotic Animal Formulary*. 4^{ème} édition. Milton, Canada : Elsevier. 744 p. ISBN 978-1-4377-2264-2.
6. CONCHOU F. 2013. *La tomodensitométrie ou scanner*. Toulouse : Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. 12p.
7. DÖRING M. 2015. Pythonidae Fitzinger, 1826 [en ligne]. Consulté le 26/09/2017. Disponible à l'adresse : <https://www.gbif.org/species/113423382>
8. GERARD P, HUSSARD N, ROSSELLE S, SAVARIN P, SCHILLIGER L. 2009. *Atlas de la terrariophilie : les serpents*. 3^{ème} édition. Paris : Animalia Editions. 208 pp. ISBN 978-2-35909-008-6.
9. HEDLEY J, EATWELL K, SCHWARZ T. 2014. Computed tomography of ball pythons (Python regius) in curled recumbency. *Veterinary Radiology and Ultrasounds*. Vol. 55, n°4, pp. 380–86.

10. JENSEN B, NYENGAARD JR, PEDERSEN M, WANG T. 2010. Anatomy of the python heart. *Anatomical Science International* Vol. 85, pp. 194–203.
11. LAROCHE C. 2009. Le python royal en captivité : élevage, pathologie et santé publique. Thèse d'exercice, Médecine Vétérinaire. Paris : Faculté de Médecine de Créteil. 101 p.
12. LAVAUD A. 2013. Mise au point d'un atlas en ligne tomодensitométrique et IRM de l'encéphale du chien sain. Thèse d'exercice, Médecine Vétérinaire. Toulouse : Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. 66 p.
13. LISBONA A. 2002. Le scanner : Principe - Technologie - Applications [en ligne]. Nantes : Institut de cancérologie de l'Ouest - René Gauducheau. 72 p. Consulté le 25/04/2017. Disponible à l'adresse : <http://e2phy.in2p3.fr/2002/presentations/lisbona.pdf>
14. MADER D. 2009. Clinical anatomy of reptiles (Proceedings) In : CVC - Unconventional Continuing Education [en ligne]. Consulté le 24/09/2017. Disponible à l'adresse : <http://veterinarycalendar.dvm360.com/clinical-anatomy-reptiles-proceedings>
15. Maison Internationale de l'Environnement. 2013. Les Annexes I, II et III de la CITES [en ligne]. Consulté le 10/09/2017. Disponible à l'adresse : <https://cites.org/fra/app/index.php>
16. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales, Ministère de l'écologie et du développement durable. 2004. Arrêté du 10 août 2004 fixant les règles générales de fonctionnement des installations d'élevage d'agrément d'animaux d'espèces non domestiques [en ligne]. Consulté le 12/09/2017. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000005851004>
17. MYERS P, ESPINOSA R, PARR CS, JONES T, HAMMOND GS, DEWEY TA. 2017. Python regius : Ball Python, Royal Python. In : Animal Diversity Web [en ligne]. Consulté le 20/09/2017. Disponible à l'adresse : http://animaldiversity.org/accounts/Python_regius/classification/
18. O'MALLEY B, HELMER P, WHITESIDE D, LEWINGTON J. 2005. Clinical Anatomy and Physiology of Exotic Species. Philadelphia, United States of America : Elsevier. 272 p. ISBN 0-7020-2782-0.
19. Protection Suisse des Animaux, NASITTA S. 2016. Feuille d'information PSA : Python royal [en ligne]. Consulté le 10/03/2017. Disponible à l'adresse : http://www.protection-animaux.com/publications/animaux_de_compagnie/infothek/reptilien/python_royal.pdf

20. Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals. 2015. Royal python care sheet [en ligne]. Consulté le 17/09/2017. Disponible à l'adresse : <https://www.rspca.org.uk/ImageLocator/LocateAsset?asset=document&assetId=1232738141976&mode=prd>

21. VANDERSTYLEN D. 2004. Anatomie descriptive et topographique des Boïdés. Thèse d'exercice, Médecine Vétérinaire. Paris : Faculté de Médecine de Créteil. 110 p.

Toulouse, 2017

NOM : RINAUDO PRENOM : PIERRE-YVES

TITRE : MISE EN LIGNE D'UN ATLAS D'IMAGES TOMODENSITOMETRIQUES NORMALES DU PYTHON ROYAL (*Python regius*)

RESUME : La réalisation d'examens d'imagerie par tomodensitométrie tend à devenir plus fréquente en médecine vétérinaire. Il s'agit d'un outil récent, et les connaissances concernant ses principes théoriques ainsi que son interprétation sont encore limitées. Cela est encore plus vrai pour des animaux tels que les nouveaux animaux de compagnie. L'objectif de l'auteur est de fournir un atlas légendé de planches tomodensitométriques en coupe transversale pour l'espèce *Python regius*. Cet atlas est présenté sous la forme de trois séries de coupes du corps entier d'un sujet sain, dans trois fenêtres de lecture : une fenêtre osseuse, une fenêtre tissus mous et une fenêtre pulmonaire. Il est publié gratuitement en ligne, à visée pratique comme aide au diagnostic pour le vétérinaire praticien, et à visée pédagogique, à destination des étudiants vétérinaires ou du public.

MOTS CLES : PYTHON ROYAL, TOMODENSITOMETRIE, ATLAS, WEB

TITLE : PUBLICATION OF AN ON-LINE CT-SCAN ATLAS OF THE HEALTHY BALL PYTHON (*Python regius*)

ABSTRACT : CT-Scans tend to be more frequently used in veterinary medicine nowadays. It is a very recent and state of the art imaging technique, hence the lack of trustworthy knowledge about its mechanisms and interpretation, especially in exotic pets medicine. The aim of the author is to provide captioned computed tomography cross-sectional images of a healthy individual of *Python regius*. The result comes in three series of images of the entire animal's body in three windows : bone tissue window, soft tissue window and pulmonary tissue window. This atlas is uploaded as an open-source resource, for diagnosis purposes for clinicians, and also for educational purposes.

KEYWORDS : BALL PYTHON, COMPUTED TOMOGRAPHY, ATLAS, WEB