



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-deposited version published in : <http://oatao.univ-toulouse.fr/Eprints> ID : 15950

To cite this version :

Casari, Olivia. *Mise en ligne d'un atlas d'images scanner normales chez le serpent des blés (Pantherophis guttatus)*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2016, 37 p.

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

MISE EN LIGNE D'UN ATLAS D'IMAGES SCANNER NORMALES CHEZ LE SERPENT DES BLÉS (*Pantherophis guttatus*)

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

par

CASARI Olivia

Née, le 04 avril 1991 à Schoelcher (Martinique 972)

Directeur de thèse : M. Fabrice CONCHOU

JURY

PRESIDENT :
Mme Isabelle BERRY

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSEESSEURS :
M. Fabrice CONCHOU
M. Giovanni MOGICATO

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

Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt
ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

Directrice : **Madame Isabelle CHMITELIN**

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **AUTEFAGE André**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- M. **FRANC Michel**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*
- M. **MILON Alain**, *Microbiologie moléculaire*
- M. **MARTINEAU Guy**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **REGNIER Alain**, *Physiopathologie oculaire*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootchnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SANS Pierre**, *Productions animales*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 2° CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **BENARD Geneviève**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LIGNEREUX Yves**, *Anatomie*
- M. **PICAVET Dominique**, *Pathologie infectieuse*

PROFESSEURS CERTIFIES DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
- M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **DOSSIN Olivier**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
- Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
- Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- M. **CUEVAS RAMOS Gabriel**, *Chirurgie Equine*
- Mme **DANIELS Hélène**, *Microbiologie-Pathologie infectieuse*
- Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
- Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique des animaux de rente*
- Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
- M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
- M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
- Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction (en disponibilité)*
- Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*
- Mme **PRADIER Sophie**, *Médecine interne des équidés*
- M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*
- M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*
- Mme **WARET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- Mme **COSTES Laura**, *Hygiène et industrie des aliments*
- Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
- M. **TANIS Jean-Benoît**, *Anatomie – Imagerie Médicale*

Remerciements

A notre présidente de jury de thèse,

Madame le Professeur Isabelle Berry

Professeur à la Faculté de Médecine de Rangueil

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 conférence de l'École 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 sincère reconnaissance.

Monsieur le Docteur Giovanni Mogenicato

Maître de conférence de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Anatomie, Imagerie médicale

Qui a accepté de participer à ce jury de thèse,

Sincères remerciements.

A toutes les personnes qui me sont proches, ma famille, mes amis..

A tout ceux qui ont joué un rôle dans ma vie, de près ou de loin..

Je vous remercie sincèrement d'avoir cru en moi et de m'avoir soutenu pour obtenir
ce titre de Docteur Vétérinaire.

Table des matières

Remerciements	1
Table des matières	2
Table des illustrations	4
Introduction	5
Première partie : Principe de la tomodensitométrie	6
I. Principe de base de la tomodensitométrie	7
A. Introduction	7
B. Bases physiques de la tomodensitométrie	10
1. Définition d'un rayon X.....	10
2. Formation des rayons X.....	10
C. Interaction des rayons X avec la matière.....	11
1. Effet photoélectrique.....	11
2. Effet Compton.....	12
3. L'effet Thomson.....	13
4. Conclusion	13
II. Fonctionnement du scanner	14
A. L'appareil et ses réglages.....	14
B. Les éléments de la chaîne scanographique.....	15
C. Déroulement de l'examen.....	15
Deuxième partie : le modèle biologique	16
I. Classification	17
II. Biologie du serpent des blés	18
A. Description	18
B. Distribution et habitat	19
C. Alimentation.....	19
D. Reproduction.....	19
E. Longévité	20
F. Comportement.....	20
G. Conservation et détention.....	20
H. Le Nouvel Animal de Compagnie	21
III. Spécificités anatomiques des ophidiens	21
A. Système musculo-squelettique	21
1. Le squelette axial.....	21
2. Le squelette appendiculaire	22
3. Le squelette céphalique	22
4. Le système musculaire	23
B. Téguments	23
C. Appareil cardio-vasculaire.....	24

D. Appareil respiratoire.....	25
E. Appareil digestif	25
1. Cavité buccale.....	25
2. Tube digestif.....	26
F. Appareil uro-génital.....	27
G. Système nerveux et récepteurs sensoriels	28
H. Système endocrinien et immunitaire.....	29
Troisième partie : Mise au point de l'atlas en ligne	30
I. Le projet	31
II. Réalisation de l'examen tomodynamique	31
A. Immobilisation de l'animal	31
B. Scanner utilisé	31
III. Réalisation de l'atlas en ligne	32
A. Mise en forme des images	32
B. Exemples d'images mises en ligne.....	32
IV. Intérêts et limites.....	34
Conclusion	35
Bibliographie	36

Table des illustrations

Figure 1 : Mouvement du couple source-détecteur autour du patient	8
Figure 2 : Echelle de Hounsfield (2).....	8
Figure 3 : Notion de fenêtre, selon Hounsfield (6).....	9
Figure 4 : Tableau résumant la classification du serpent des blés	18
Figure 5 : Photos illustrant le serpent des blés (16)	18
Figure 6: Différenciation régionale des vertèbres troncales chez <i>Pantherophis</i> <i>Guttatus</i> , vue antérieure, d'après (17).....	22
Figure 7: Crâne d'un serpent de la famille des Colubridés, du genre <i>Nerodia</i> , d'après (18)	23
Figure 8: Schéma du système cardio-vasculaire chez les ophidiens (19)	24
Figure 9 : Différenciation des dents maxillaires des ophidiens (20).....	26
Figure 10 : Schéma illustrant le cloaque chez un serpent mâle (20).....	27
Figure 11 : Schéma illustrant l'appareil uro-génital du serpent mâle et femelle, d'après (8)	28
Figure 12: Schéma illustrant le cerveau des serpents, vue dorsale, d'après (8)	28
Figure 13 : Planche 9 en fenêtre « tissu osseux », coupe transversale (CT).....	32
Figure 14 : Planche 5 en fenêtre « tissu mou », coupe transversale (CT)	33
Figure 15 : Planche 4 en fenêtre « tissu pulmonaire », coupe transversale (CT)	33

Introduction

L'imagerie médicale est l'un des domaines de la médecine qui a le plus progressé ces dernières décennies. La médecine vétérinaire en a largement profité, non seulement avec les progrès de la technique radiologique évoluant vers le numérique, mais aussi avec l'introduction de techniques modernes et performantes comme le scanner hélicoïdal, l'imagerie par résonance magnétique et la scintigraphie.

Bien que la radiologie et l'échographie se soient fortement démocratisées en pratique vétérinaire, le recours à l'examen scanner reste encore peu répandu et relativement onéreux. Actuellement en France, on compte une quarantaine d'installations scanner réservées à l'usage vétérinaire et ce nombre est en augmentation. Le recours à la tomodensitométrie a donc largement dépassé le cadre strict de la recherche, les praticiens vétérinaires ayant aujourd'hui la possibilité de proposer cet examen complémentaire en référant à des spécialistes.

L'enseignement de cette technique et de la lecture de ses images est récent et peu développé. Le nombre de personnes capable de lire et surtout d'interpréter ces images reste limité à des spécialistes en imagerie médicale (dix-sept vétérinaires spécialistes diplômés du Collège Européen à ce jour en France). Etant donné l'importance de cet examen, il semble pertinent de rendre sa compréhension accessible à un plus grand nombre de praticiens mais aussi de développer son apprentissage aux étudiants vétérinaires.

Ainsi, l'objectif de cet atlas tomodensitométrique en ligne est de créer une base de données gratuite et disponible aux praticiens et étudiants vétérinaires désireux d'améliorer leur lecture et leurs connaissances scanographiques. Les images qu'héberge ce site, obtenues sur des animaux sains, pourront également servir de points de comparaison avec des images d'examens à portée diagnostique.

Dans une première partie, nous exposerons le principe physique même de la tomodensitométrie et le fonctionnement du scanner. Une deuxième partie sera consacrée à la présentation du modèle biologique choisi, et notamment de ses spécificités anatomiques. Enfin dans une troisième partie, nous présenterons le projet d'atlas tomodensitométrique en ligne, et sa réalisation.

Première partie : Principe de la
tomodensitométrie

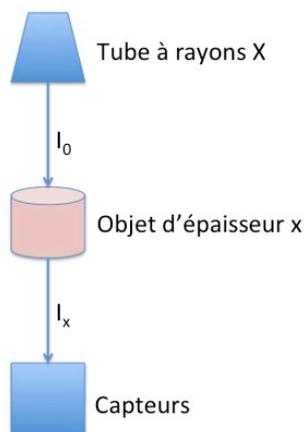
(1)(2)(3)(4)(5)(6)

I. Principe de base de la tomodynamométrie

A. Introduction

L'élaboration théorique de la tomodynamométrie date de 1963 lorsqu'A.M. Cormack pose les fondements de la technique. Il démontre qu'il est possible de reproduire par des calculs les détails d'un plan de coupe de tissus mous, en mesurant l'atténuation des faisceaux de rayons X traversant ces tissus sous divers angles. Ne suscitant au départ que peu d'intérêt dans la communauté scientifique, ses travaux sont ensuite mis en application par G.M. Hounsfield qui décrira en 1970 cette nouvelle technique. Le premier scanner clinique est pratiqué en 1971 dans un hôpital londonien.

La tomodynamométrie se définit comme une méthode de mesure de la densité radiologique des volumes élémentaires d'une coupe. Cette technique utilise le même principe que la radiographie conventionnelle: un faisceau de rayons X produit par un tube à rayons X, traverse des tissus hétérogènes en densité électronique et en épaisseur ce qui entraîne une atténuation différentielle de ce faisceau. Par contre l'enregistrement est assuré par des capteurs hautement sensibles, il n'est plus question de film ou d'amplificateur de luminance comme en radiographie classique.



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

$$I_x = I_0 \cdot e^{(-\mu \cdot x)}$$

Avec :

I_0 : Intensité initiale du faisceau de RX

I_x : Intensité du faisceau de rayons X après traversée d'une épaisseur x de matière

x : Epaisseur de l'objet traversé

μ : Coefficient d'atténuation linéaire du matériau traversé (en cm^{-1})

En déterminant le coefficient d'atténuation du faisceau de rayons X μ des éléments constitutifs d'un volume, le scanner permet de d'obtenir une meilleure résolution en densité radiologique et donc de distinguer les composantes tissulaires macroscopiques jusqu'alors confondues en radiologie conventionnelle. De plus, pendant l'examen tomodynamométrique l'anneau constitué du couple source-détecteur effectue une rotation autour du corps à étudier ce qui permet de réaliser de nombreuses mesures selon divers plans de coupe (cf. figure 1). Un ordinateur

détermine ensuite quelle est la participation de chaque volume élémentaire rencontré par les rayons X à l'atténuation globale et calcule ainsi la densité de chacun de ces volumes.

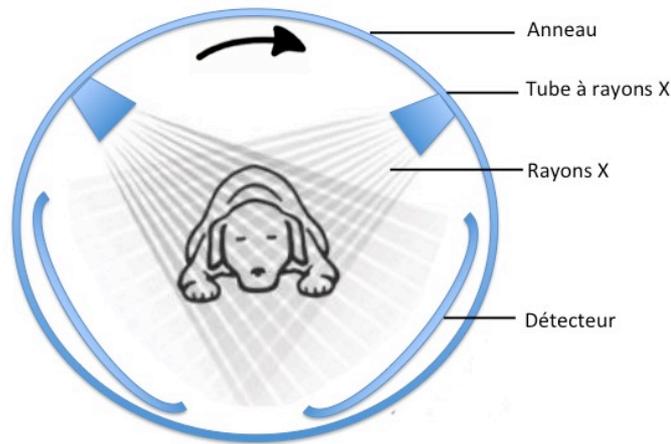


Figure 1 : Mouvement du couple source-détecteur autour du patient

L'ordinateur attribue alors un ton de gris à chaque densité ce qui permet d'obtenir l'image de la coupe considérée. Il distingue 2000 nuances de densité qui ont été classées par G.M. Hounsfield sur une échelle portant son nom, illustrée ci-dessous par la figure 2.

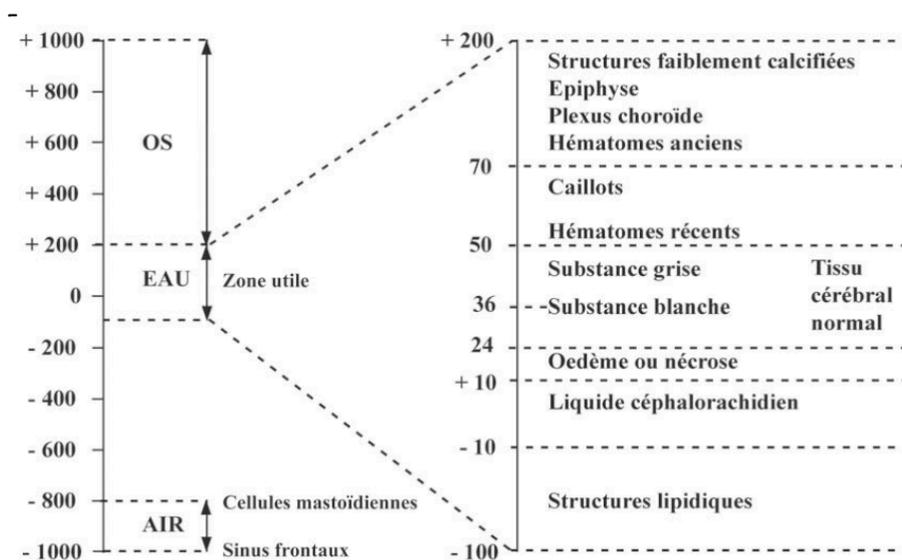


Figure 2 : Echelle de Hounsfield (2)

Ainsi, chaque μ est exprimé en indice Hounsfield (IH) 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), selon cette formule :

$$\text{IH d'un corps} = \frac{\mu_{\text{corps}} - \mu_{\text{eau}}}{\mu_{\text{eau}}} \times 1000$$

Récemment l'échelle de Hounsfield a été étendue à + 4000 pour l'étude des os.

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 en 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 on centre l'intervalle, c'est-à-dire la médiane de la fenêtre. 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. Dans l'exemple présenté ci-dessous (cf. figure 3), le niveau de la fenêtre choisi est +35 et la largeur est 30. Toutes les valeurs supérieures à +50 sont confondues dans le blanc et toutes les valeurs inférieures à +20 sont confondues dans le noir.

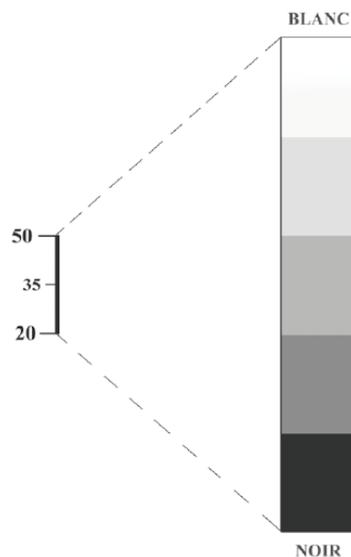


Figure 3 : Notion de fenêtre, selon Hounsfield (6)

On distingue en général deux types de fenêtre : les fenêtres de type « tissu osseux » 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. Les fenêtres de type « tissu mou » destinées comme leur nom l'indique, aux organes peu calcifiés, sont des fenêtres assez étroites que l'on centre autour du coefficient d'absorption du tissu choisi.

B. Bases physiques de la tomodensitométrie

1. Définition d'un rayon X

Les rayons X sont peut être définis selon deux modèles :

- **Modèle de l'onde électromagnétique :**

Le rayon X est défini par une onde électromagnétique, c'est à dire une quantité d'énergie circulant sous la forme d'une combinaison d'un champ électrique et d'un champ magnétique perpendiculaires l'un à l'autre, en phase et dont l'intensité varie suivant une fonction sinusoïdale. Les ondes électromagnétiques se propagent en ligne droite dans le vide et la matière à la vitesse c de la lumière soit 3.10^8 m.s^{-1} . Elles se caractérisent par une fréquence ν (mesurée en Hertz soit Hz) et une longueur d'onde λ (mesurée en mètres soit m) telles que $\lambda = c/\nu$. La longueur d'onde des rayons X est particulièrement courte (entre 10^{-11} et 10^{-8} m) et les fréquences sont comprises entre 10^{16} et 10^{20} Hz.

- **Modèle du photon :**

Le rayon X est défini par un faisceau de photons, c'est à dire un faisceau de particules sans masse non chargées et se déplaçant à la vitesse c de la lumière. Chaque photon transporte une quantité d'énergie E (mesurée en électro-volt soit eV) proportionnelle à la fréquence de l'onde $E = h.\nu = h.c/\lambda$, où h est la constante de Planck. La quantité d'énergie E transportée par les photons des rayons X est supérieure à 10 keV, ce qui fait des rayons X des rayons ionisants c'est à dire capable d'arracher un ou plusieurs électrons à un atome ou une molécule. Plus énergétiques que les rayons du visible les rayons X sont donc capables de traverser des corps que la lumière ne peut pas traverser et en les traversant, l'effet ionisant du rayonnement peut avoir des conséquences délétères sur la structure et la viabilité des cellules et endommager des tissus et/ou des organes en fonction de la dose reçue ou absorbée, laquelle est exprimée dans une unité appelée le gray (Gy). Une protection contre les rayonnements X est donc nécessaire lors des manipulations.

2. Formation des rayons X

Les rayons X sont formés selon deux principes :

- **Principe du rayonnement de freinage (Bremsstrahlung) formant un spectre continu :**

Les rayons X sont produits par un tube à rayons X, formé d'un filament de tungstène que l'on porte à incandescence via un courant électrique. Il constitue la cathode et produit un flux d'électrons (mesuré en mA). Les électrons, chargés négativement arrivent sur une cible en métaux lourds, l'anode, dont le noyau des atomes est chargé positivement. La forte tension entre la cathode et l'anode

(mesurée en kV) permet l'accélération des électrons. L'anode assure le freinage des électrons accélérés et émet alors un faisceau de rayons X dont le spectre résulte de la superposition d'un spectre continu et d'un spectre de raies.

Le spectre continu des rayons X correspond au rayonnement de freinage ou de Bremsstrahlung. Un électron accéléré et chargé négativement va être attiré par le noyau chargé positivement des atomes de l'anode. Il est soumis à une force d'attraction coulombienne et va ainsi être dévié de sa trajectoire initiale, il perd alors de l'énergie qui va se dissiper sous forme de photon et de chaleur et continue sa course jusqu'à l'atome suivant où il produira un autre photon. Ce rayonnement de photons correspond au spectre continu.

- Principe de rayonnement de fluorescence ou émission caractéristique formant un spectre de raies

Les électrons incidents ont une énergie suffisante pour ioniser ou exciter certains des atomes de la cible. En perturbant les électrons des couches électroniques internes de la cible, un électron d'une couche profonde est alors éjecté. La lacune laissée par l'électron éjecté est remplie par un électron d'une couche plus superficielle. Ce réarrangement laisse échapper un photon X caractéristique. Souvent le réarrangement se fait avec plusieurs électrons, plusieurs photons X caractéristiques sont donc émis. Ce rayonnement correspond au spectre de raies, spécifique des constituants de la cible.

Le spectre de rayonnement X obtenu à la sortie d'un tube à rayons X est composé d'un rayonnement de freinage, phénomène le plus intense, auquel se superpose un rayonnement de fluorescence caractéristique des atomes constituant l'anode.

C. Interaction des rayons X avec la matière

Les rayons X peuvent interagir avec la matière selon trois effets principaux : l'effet photoélectrique, Compton et Thomson, qui vont déterminer l'atténuation du faisceau incident de rayons X et donc le contraste de l'image scanner. L'atténuation est d'autant plus importante que le numéro atomique des éléments traversés est élevé et que la densité et l'épaisseur du milieu traversé sont conséquentes et que l'énergie du faisceau incident est faible.

1. 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. Le

rayon X est absorbé et l'électron est expulsé avec le trop plein d'énergie sous forme d'énergie cinétique. De plus 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 du matériel et au cube du numéro atomique des atomes constituant le matériel. Les atomes de numéro atomique élevé, comme l'iode ($Z = 53$), le baryum ($Z = 56$), ou le plomb ($Z = 82$) arrêtent plus facilement les rayons X par effet photoélectrique que les atomes de numéro atomique faible (carbone, hydrogène, oxygène, azote) composant la matière organique. Ceci explique pourquoi la protection contre les rayons X est souvent réalisée par du plomb.

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 (différence de noircissement entre 2 régions) sur les clichés radiologiques et scanner.

2. Effet Compton

L'effet Compton se produit lorsqu'un rayon X incident arrive à proximité d'un électron de la couche périphérique d'un atome avec suffisamment d'énergie pour que celui-ci soit éjecté de l'atome. Bien qu'une partie de l'énergie soit transmise à l'électron éjecté, le rayon X est dévié et continue sa route avec le reste de l'énergie sous forme d'un rayon diffusé constitué de photons dit « Compton ». Ce rayonnement diffusé possède quasiment la même énergie que le rayon X incident. En effet, les lois de la Physique gouvernant l'effet Compton font que le photon diffusé emporte la majeure partie de l'énergie : 96 % en moyenne à 50 keV, 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 absorbé par effet photoélectrique.

L'effet Compton prédomine lorsque les rayons incidents sont de forte énergie (>100 kV). Il dépend de la densité de la matière traversée mais pas de son numéro atomique Z . Le rayonnement diffusé ou secondaire provient du patient et la quantité de rayonnement diffusé augmente avec l'énergie des rayons X et le volume irradié, c'est-à-dire l'épaisseur radiographiée et la taille du champ. Une partie du rayonnement diffusé atteint le récepteur en même temps que le faisceau primaire. Ainsi contrairement à l'effet photoélectrique, l'effet Compton altère la qualité de l'image car le rayonnement diffusé ajoute un voile uniforme sur l'image qui a pour double effet de contribuer au noircissement final de l'image et de diminuer son contraste. De plus Le rayonnement diffusé se propage dans toute la pièce et justifie une grande partie des mesures de radioprotection.

3. L'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.

4. Conclusion

Ainsi, l'image scanner est formée par les différences d'atténuation du faisceau de rayons X dans les milieux traversés. L'atténuation des rayons X par la matière organique varie en fonction de l'épaisseur du milieu traversé, de sa composition physico-chimique (densité, numéro atomique..) et de l'énergie des rayons X incidents. Elle résulte de trois phénomènes :

- Les rayons X traversent la matière sans être affectés : ces rayons X sont dits transmis et forment donc les parties les plus noires de l'image.

- Les rayons X sont arrêtés/absorbés selon l'effet photoélectrique : la proportion de rayons X arrêtés conditionne les niveaux de gris visibles sur l'image c'est-à-dire le contraste.

- Les rayons X sont déviés et forment le rayonnement diffusé selon l'effet Compton qui forme un voile uniforme sur l'image et a des conséquences sur la radioprotection.

II. Fonctionnement du scanner

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 anneau. 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 des coupes axiales les plus précises possibles.

Dans l'anneau, 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 rencontrés. Les résultats sont alors mis en mémoire. Un traitement informatique complexe 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 (noir, gris, blanc) ou des couleurs conventionnelles.

Avant tout examen plusieurs paramètres doivent être réglés :

- **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.** Concrètement, 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 (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

Un système de mesures comprend 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 (Voxel) de l'organe 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 sont à effectuer pour produire une seule image.

C. Déroulement de l'examen

L'acquisition des images nécessite une parfaite immobilité, c'est pour cette raison que, pour les animaux domestiques, cet examen se fait sous anesthésie générale. L'animal doit donc être présenté à la clinique à jeun depuis au moins 12h (retirer l'eau et la nourriture à 23h la veille). Durant tout le déroulement de l'examen, les constantes de l'animal (température, pouls, fréquence cardiaque et respiratoire) sont surveillées.

Deuxième partie : le modèle biologique
(7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15)
(16) (17) (18) (19) (20)

I. Classification

Le modèle biologique étudié est le « serpent des blés » anciennement appelé « couleuvre à gouttelette ». Comme son nom l'indique, il s'agit d'un ophidien, il fait donc partie de la Classe des reptiles.

La Classe des reptiles est actuellement divisée en quatre ordres très inégalement représentés d'un point de vue numérique :

- l'Ordre des Rhynchocéphales (représenté par deux espèces endémiques de la Nouvelle Zélande du genre *Sphénodon*)
- l'Ordre des Crocodiliens (environ 25 espèces)
- l'Ordre des Chéloniens (environ 400 espèces)
- l'Ordre des Squamates (environ 7200 espèces)

L'Ordre des Squamates, qui regroupe tous les reptiles qui changent périodiquement de peau (qui « desquament » d'où le nom de l'Ordre) est, à son tour divisé en deux sous-ordres :

- Les Sauriens (lézards)
- Les Ophidiens (serpents)

La classification des Squamates et en particulier des Ophidiens, est continuellement en modification. En effet celle-ci est rendue difficile par le manque de données fossiles, et aussi par le fait que les serpents, dont le corps allongé est adapté au mode de vie « rampant », présentent peu de caractères phénotypiques externes permettant de les différencier. Les systématiciens utilisent donc quand cela est possible des caractères morphologiques internes et plus récemment, des données moléculaires. Mais il n'y a toujours pas d'accord universel sur la phylogénie des serpents, 70% des serpents sont actuellement placés dans la famille des Colubridés, qui ne correspond donc pas à un groupe monophylétique.

Le serpent des blés fait partie de la famille des Colubridés. Il était anciennement classé dans le genre *Elaphe* sous le nom de *Elaphe guttata*, mais depuis 2008 sa classification a été revue grâce à des données moléculaires. Le serpent des blés appartient maintenant au genre *Pantherophis*, sous le nom latin de *Pantherophis guttatus*. Cependant, puisque ce changement est récent, la plupart des informations concernant le serpent des blés ne sont disponibles que sous son ancien nom latin.

Règne	Animal
Embranchement	Chordés
Sous-embranchement	Vertébrés
Classe	Reptile
Ordre	Squamate
Sous-ordre	Ophidiens
Famille	Colubridés
Sous-famille	Colubrinés
Genre	<i>Pantherophis</i>
Espèce	<i>Pantherophis guttatus</i> (Collins & Taggart 2008)

Figure 4 : Tableau résumant la classification du serpent des blés

II. Biologie du serpent des blés

A. Description

Le corps du serpent des blés est communément de coloration gris-brun avec des reflets orangés. Il est parsemé sur le dos (et plus ou moins les flancs) de larges tâches rouge-brique entourées de noir. Sur le ventre, on observe généralement une alternance de bandes blanches et noires, formant un damier assez caractéristique. Sa tête rouge brique est décorée de lignes qui partent des yeux et qui s'arrêtent au niveau du cou. Chez les espèces captives, on retrouve une plus grande variété de couleurs (du jaune au noir) et de motifs (points, tâches et rayures) due à la sélection par les éleveurs.

Le serpent des blés est relativement fin, les mâles étant généralement plus larges que les femelles. Ils mesurent entre 70 et 150 cm de long à l'âge adulte. A la naissance, ils ont des couleurs beaucoup plus pâles et mesurent entre 20 et 35cm. Le poids moyen à l'âge adulte est de 900g.



Figure 5 : Photos illustrant le serpent des blés (16)

B. Distribution et habitat

Le serpent des blés est endémique de la partie Est et Sud-Est des Etats-Unis et Nord du Mexique. Deux sous-espèces sont communément identifiées : *Pantherophis guttatus guttatus* et *Pantherophis guttatus emoryi*. On le retrouve dans une grande variété de biotopes terrestres: il préfère les forêts et les zones rocailleuses où les souches de bois et les roches lui servent d'abri. Mais on peut le retrouver dans des champs, des prairies, en zone péri-urbaine dans des étables ou bâtiments abandonnés, mais également en zone montagnaise jusqu'à 1800m d'altitude.

C. Alimentation

Le serpent des blés est carnivore. A l'état sauvage, il mange tous les 4-7 jours au lieu de 1 fois tous les 1 à 2 semaines en captivité. Il tue sa proie par constriction et ne mange que des proies plus petites que lui, d'autres congénères possiblement. La moitié de son régime alimentaire est composé de petits mammifères, en particulier des rongeurs mais aussi de petits reptiles et amphibiens. Les serpents des blés peuvent aussi grimper aux arbres et manger des œufs volés dans les nids, de petits oiseaux ou même des chauves-souris. En captivité ils mangent rats, souris et poussins.

D. Reproduction

La saison de reproduction a lieu une fois par an de mars à mai. On ne connaît pas très bien le système de reproduction de ces serpents, mais il a été constaté qu'ils se localisent dans leur milieu via des phéromones lors du printemps. Les mâles peuvent se battre entre eux, et le dominant peut alors s'accoupler avec la femelle. La femelle est ovipare. Environ un à deux mois après l'accouplement elle peut pondre une grappe de 10 à 30 œufs, généralement de fin Mai à Juillet. La femelle ne s'occupe pas de ses œufs, elle les dépose dans une souche de bois ou un tas de végétation en décomposition ou toute autre cachette où chaleur et humidité sont suffisantes pour permettre une incubation des oeufs. En effet, les oeufs doivent rester 60 à 65 jours à 28°C et avec une hygrométrie supérieure à 85%. Ils éclosent ainsi entre juillet et septembre de la même année. Les petits font 25 à 40 cm de long et seront mature entre 16 et 18 mois. En captivité, certaines femelles peuvent pondre jusqu'à deux fois par an.

E. Longévité

Le record de longévité en captivité est de 32ans, avec une moyenne de 15ans. Malgré le manque de données sur l'espérance de vie de ces animaux à l'état sauvage, on suppose très fortement que la prédation et les maladies entraînent une durée de vie plus courte hors captivité.

F. Comportement

Le serpent des blés est un animal solitaire, comme la plupart des serpents. Bien qu'il soit plus à l'aise au sol, il peut grimper aux arbres et buissons pour chasser ses proies et peut même attendre caché dans le terrier de sa proie s'il s'agit de petits mammifères. Lorsqu'il ne chasse pas, il passe du temps immobile dissimulé dans des souches de bois ou sous des roches afin de digérer son dernier repas. Lorsqu'ils muent, les serpents des blés deviennent plus agressifs et reclus, il semble également qu'ils perdent l'appétit.

L'activité du serpent est différente selon la région et le climat. Il est plutôt diurne, mais lors de fortes chaleurs il devient crépusculaire à nocturne. Durant l'hiver, il hiberne après s'être abrité dans des crevasses ou des souches de bois. Durant la saison de reproduction au printemps, les mâles peuvent s'affronter afin d'exprimer leur dominance. Les serpents des blés ont peu de prédateurs (oiseaux et serpents plus grands) et s'en protègent par camouflage.

G. Conservation et détention

Le serpent des blés n'est pas une espèce en danger d'extinction. Cependant, il figure dans une liste établie par l'Etat de Floride comme étant une espèce à surveiller face à la perte d'habitat qu'il subit dans certaines zones endémiques. En France, la détention de ces animaux est régie par l'arrêté du 10 Août 2004 fixant les règles générales de fonctionnement des installations d'élevage d'agrément d'animaux d'espèces non domestiques.

Le serpent des blés ne figure pas en Annexe 1 et 2 de l'Arrêté suscité. Ainsi, pour la détention à but non lucratif de moins de 25 individus de cette même espèce, il n'est pas nécessaire d'obtenir un Certificat de Capacité (délivré par la préfecture). Un Certificat de Cession délivré par le vendeur suffit et la reproduction est autorisée dans la mesure où celle-ci n'est pas réalisée à but lucratif.

H. Le Nouvel Animal de Compagnie

Le serpent des blés est un serpent non venimeux. On le conseille pour les débutants car en général ce n'est pas un serpent mordeur, il reste calme en main et se laisse facilement attraper. Il est particulièrement curieux et ne cherche qu'exceptionnellement à mordre. Par ailleurs, lorsqu'il se sent menacé, le serpent des blés prend une posture caractéristique en « S », il cherchera souvent à taper de la tête avant de mordre ou de fuir, autant de signes annonciateurs permettant d'éviter des accidents de morsures (peu douloureuses).

Comparé à d'autres ophidiens sa petite taille permet un maintien dans un terrarium de taille modeste qui peut être installé dans une pièce d'appartement ou une petite habitation (pour un spécimen adulte un terrarium de 80 x 50 x 50 cm sera suffisant). C'est un serpent particulièrement robuste et qui s'adapte à des conditions de vie assez diverses. Ainsi, le serpent des blés présente des caractéristiques intéressantes pour son maintien en captivité. On peut donc considérer que c'est un des serpents les plus faciles à élever en terrarium. La reproduction est également aisée en captivité.

III. Spécificités anatomiques des ophidiens

A. Système musculo-squelettique

1. Le squelette axial

La colonne vertébrale des ophidiens est constituée d'un très grand nombre de vertèbres, pouvant aller jusqu'à 400 chez certaines espèces comme les Pythons et certains Colubridés. Comme la majorité des reptiles actuels, les serpents possèdent des vertèbres procœles c'est-à-dire des vertèbres avec un corps vertébral concave sur la face crâniale (cotyle), et convexe (condyle) sur la face caudale.

On peut distinguer différents types de vertèbres:

- **Deux vertèbres cervicales singulières:** L'Atlas s'articulant sur un condyle occipital unique, et pivotant d'autre part sur l'apophyse odontoïde de la deuxième vertèbre cervicale, l'Axis.

- **Les vertèbres troncales ou pré-cloacales**, situées en avant du cloaque (à l'exception de l'Atlas et de l'Axis) qui portent une paire de côtes. On observe une faible différenciation régionale de ces vertèbres. Cependant chez de nombreuses espèces durophages et/ou oophages, les premières vertèbres post atlanto-axial (jusqu'au cœur en général) possèdent la particularité de présenter un processus ventral de forme pointue, nommée hypapophyse. Il permettrait chez ces espèces de faciliter le broiement des coquilles d'œufs par exemple, lors du passage de ces derniers dans le tube digestif.

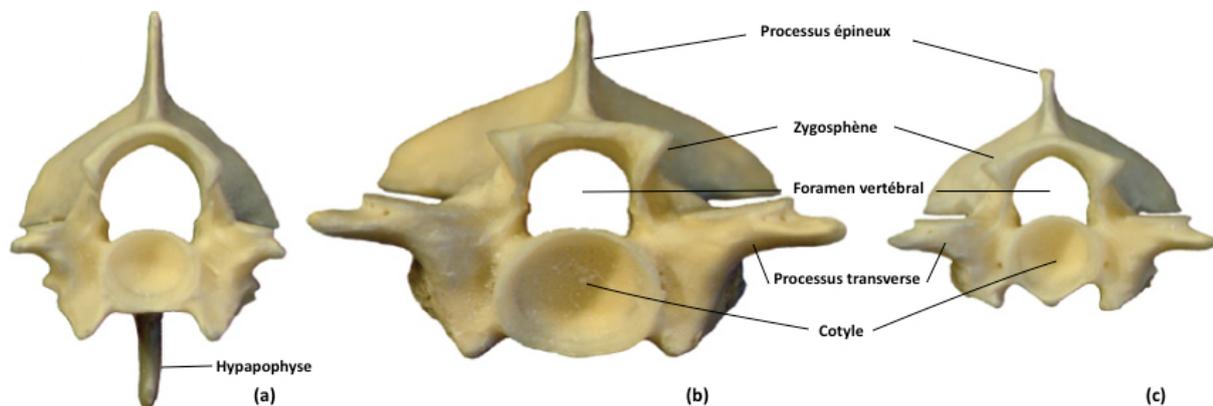


Figure 6: Différenciation régionale des vertèbres troncales chez *Pantherophis Guttatus*, vue antérieure, d'après (17)

(a) Premières vertèbres post Atlanto-axial, (b) Vertèbres troncales moyennes, (c) Vertèbres troncales postérieures.

Les serpents ne présentent pas de sternum : toutes les côtes sont donc libres, ce qui permet notamment l'ingestion de proies volumineuses.

- **Les vertèbres caudales ou post-cloacales**, situées en arrière du cloaque et qui ne portent pas de côtes.

2. Le squelette appendiculaire

Tous les ophidiens actuels sont dépourvus de membres thoraciques. Toutefois, certains peuvent présenter des vestiges de la ceinture pelvienne voire de membres postérieurs prenant l'aspect de deux petites griffes baptisées « ergots péri-cloacaux ».

3. Le squelette céphalique

Comme tous les reptiles actuels, le crâne des ophidiens est de type diapside, c'est à dire fondamentalement constitué d'une paire de fosses temporales de chaque côté du crâne. Cependant, chez ces derniers, les deux fosses temporales ont fusionnées ne formant plus qu'une seule fenêtre temporale participant à l'allègement de la région postéro-dorsale du crâne. Mais la particularité du squelette céphalique des ophidiens est la grande mobilité des mâchoires par rapport au reste du crâne : c'est la notion de cinétisme crânien. Le crâne en lui-même est très rigide car il doit être capable de résister aux forces exercées pendant l'ingestion des proies.

La mâchoire supérieure de la plupart des serpents n'entretient avec le crâne que des liens lâches, elle est donc capable de s'écarter de manière à dépasser en longueur la base du crâne. Les os dentés de la mâchoire supérieure sont indépendants de l'os carré, et ce dernier (sur lequel s'articule la mandibule) est capable d'assurer, en pivotant jusqu'à prendre une orientation verticale, une très large ouverture buccale. Cette ouverture est encore accentuée par la mobilité de la région nasale et des deux mandibules libres, non soudées par une symphyse. Ainsi, l'absence de symphyse entre les deux mandibules, la mobilité de l'os carré et les relations de la mâchoire supérieure avec le crâne expliquent la capacité des serpents à avaler des proies de taille supérieure à leur propre diamètre.

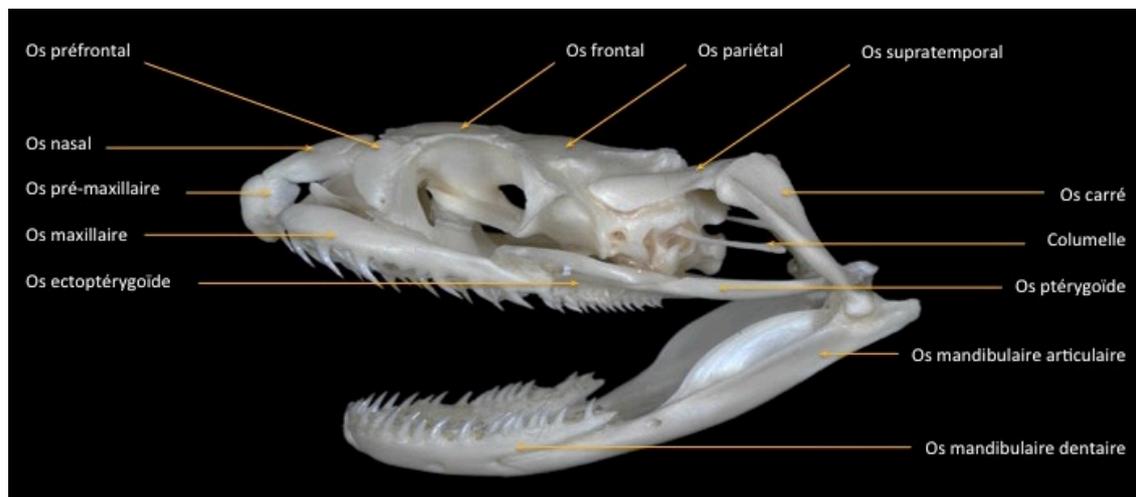


Figure 7: Crâne d'un serpent de la famille des Colubridés, du genre *Nerodia*, d'après (18)

4. Le système musculaire

Les muscles du tronc sont très développés : on retrouve des muscles pariétaux qui s'étendent sur un grand nombre de vertèbres et se rattachent aux côtes ou aux tendons de muscles plus internes, des muscles intercostaux et costo-cutanés. Cette musculature permet les différents types de locomotion (différents types d'ondulations, saut, nage...etc.), la respiration (absence de diaphragme) et l'avancée de la proie dans le tube digestif au cours de la digestion.

La musculature peaucière est également particulièrement développée et assure la mobilité des écailles.

B. Téguments

Comme tous les reptiles, la peau des ophidiens est dépourvue de glandes et est constituée de deux couches superposées : l'épiderme formé d'une juxtaposition d'écailles et le derme principalement composé de tissu conjonctif richement vascularisé et innervé. Les écailles de l'épiderme sont reliées entre elles par un tissu conjonctif finement kératinisé qui confère à la peau des reptiles un caractère particulièrement élastique.

Les squamates sont des reptiles qui muent par desquamation rapide et totale de leur épiderme, la fréquence des mues dépendant de nombreux facteurs (âge, espèce, température ambiante, hygrométrie..).

C. Appareil cardio-vasculaire

Les Ophidiens comme tous les Squamates possèdent une double circulation (pulmonaire et artériel) dite incomplète. En effet, ils possèdent un cœur tri-compartimenté, c'est à dire constitué de deux oreillettes et un ventricule unique. Bien qu'il n'y ait pas de séparation physique entre le sang oxygéné et le non-oxygéné, il existe bien une séparation fonctionnelle.

Les veines caves (une caudale et deux crânielles) apportant le sang non oxygéné débouchent dans un sinus veineux à paroi mince, qui s'ouvre dans l'oreillette droite. La veine pulmonaire apportant le sang oxygéné du poumon débouche elle dans l'oreillette gauche. Les deux oreillettes sont séparées par une cloison complète. Le ventricule unique présente un septum incomplet et une paroi musculaire épaisse où prennent naissance trois troncs artériels : le tronc pulmonaire, l'aorte droite et l'aorte gauche. L'aorte gauche est située du côté droit du ventricule tandis que l'aorte droite est du côté gauche de celui-ci. Ces dernières se rejoignent caudalement au cœur et forment l'aorte abdominale. L'organisation des vaisseaux et l'anatomie du ventricule est donc telle que le sang veineux est transporté directement du cœur aux poumons via le tronc pulmonaire, et le sang oxygéné est renvoyé avec assez peu de mélange via les aortes droite et gauche.

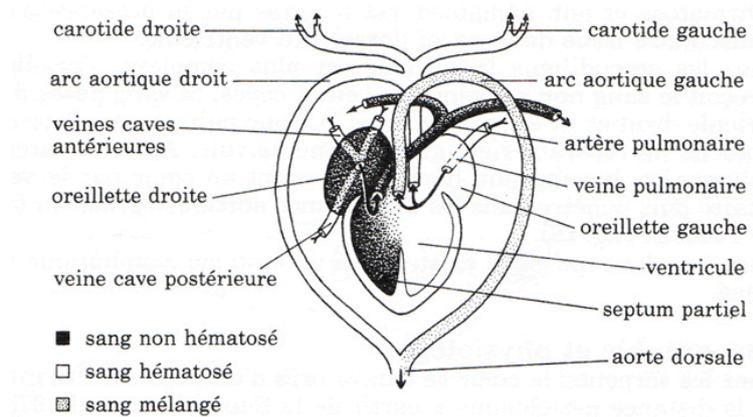


Figure 8: Schéma du système cardio-vasculaire chez les ophidiens (19)

La position du cœur dans le corps du serpent peut varier en fonction de l'espèce : généralement entre le premier quart et le premier tiers de la distance nez-cloaque. Mais aucun serpent ne possède de diaphragme : le cœur est mobile dans la cage thoracique, ce qui faciliterait peut-être le passage de certaines proies un peu large.

Des systèmes portes rénal et entéro-hépatique sont présents.

D. Appareil respiratoire

Bien que les lézards aient deux poumons, chez la plupart des serpents le poumon gauche est considérablement réduit (il ne représente jamais plus de 85% de la longueur du poumon droit) ou absent. Le poumon droit s'étend du cœur jusqu'à la partie crâniale du rein droit. Sa partie antérieure est très vascularisée, et permet les échanges de gaz tandis que sa partie postérieure est non-respiratoire et fonctionne comme un sac aérien.

La trachée particulièrement longue est constituée d'anneaux cartilagineux incomplets dorsalement (partie dorsale membraneuse). Il existe chez certains serpents une extension de la partie antérieure du poumon, formant dorsalement à la trachée un « poumon trachéale » fonctionnel. Chez certains serpents on peut aussi observer des sacs aériens trachéaux supplémentaires voire une extension des poumons jusqu'au cloaque permettant le flottement chez les serpents aquatiques. La morphologie de la trachée et des poumons est un outil taxonomique très utile chez les serpents.

La glotte est située sur le plancher buccal caudalement à la gaine de la langue, elle est généralement facilement visualisable (ce qui rend l'intubation assez facile). Elle peut être déplacée latéralement pour faciliter la respiration lors de l'ingestion d'une proie (processus pouvant être assez long).

E. Appareil digestif

Le tractus digestif est globalement un conduit linéaire de la cavité buccale au cloaque, ce dernier recevant aussi des produits du conduit urinaire et de l'appareil génital.

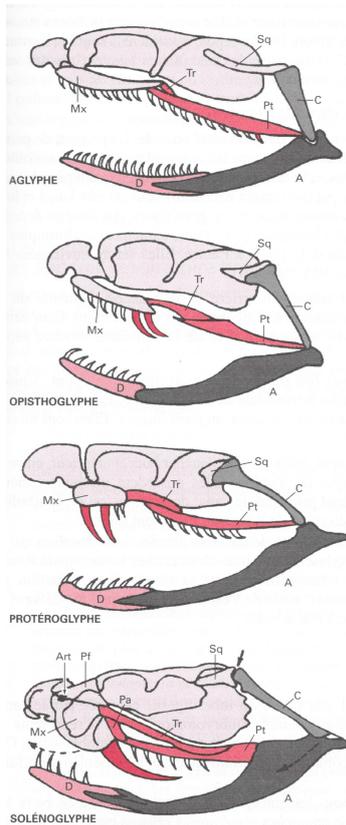
1. Cavité buccale

Dans la cavité buccale, il existe plusieurs glandes salivaires permettant l'humidification de la bouche et la lubrification de la proie : les glandes palatine, linguale, sublinguale et labiale. Les glandes sécrétant le venin sont des glandes labiales modifiées qui ont évoluées indépendamment dans plusieurs lignées de serpents.

Les serpents possèdent communément une centaine de dents organisées en six rangées : une rangée sur chaque mâchoire inférieure et deux rangées sur chaque mâchoire supérieure. A l'exception des dents maxillaires qui peuvent présenter une différenciation en « crochets », il n'y a pas de différenciation régionale (pas d'incisives, molaires...etc.) : les dents sont généralement de forme effilée et incurvée postérieurement. Elles sont continuellement remplacées au cours de la vie du serpent et ne participent pas à la mastication : les serpents avalant leurs proies entières, elles permettent la préhension et la progression de la proie dans l'œsophage.

Chez les serpents venimeux, le canal excréteur de la glande venimeuse débouche sur une ou plusieurs paires de dents maxillaires différenciées, permettant

ainsi l'inoculation du venin lors de la morsure. On peut classer ces serpents en différents groupes, en fonction de la différenciation des dents maxillaires (cf. figure 13 ci-dessous) :



- **Les serpents aglyphes** : salive peu ou pas venimeuse débouchant à la base de dents maxillaires non différenciées.

- **Les serpents opisthogyphes** : salive venimeuse débouchant à la base d'une ou deux paires de dents maxillaires postérieures différenciées en crochets.

- **Les serpents protéroglyphes** : Salive très venimeuse qui débouche à la base d'une ou deux paires de dents maxillaires antérieures différenciées en crochets.

- **Les serpents solénglyphes** : salive venimeuse débouchant à la base d'une paire de dents maxillaires différenciées en crochets. De nombreuses variations peuvent être observées parmi ces groupes.

Figure 9 : Différenciation des dents maxillaires des ophidiens (20)

La langue est longue, fourchue et peut se rétracter dans une gaine située sous la glotte. Sa fonction est essentiellement olfactive. Lorsque la bouche est fermée l'épiglotte est située en face des choanes, orifices postérieurs internes des cavités nasales, permettant ainsi la respiration bouche fermée. L'ouverture de l'organe voméro-nasal (ou organe de Jacobson) coïncide avec l'extrémité de la langue.

2. Tube digestif

L'œsophage est particulièrement flexible notamment dans sa partie crâniale plus fine et dépourvue de musculature. Les serpents utilisent leur musculature axiale et leur squelette pour amener la nourriture de la bouche à l'estomac. Ils n'ont pas de sphincter gastro-œsophagien bien défini.

L'estomac, de forme assez allongée, est musculaire et très flexible. Le processus de digestion commence dans l'estomac.

L'intestin grêle ne possède pas les circonvolutions de celui des mammifères et des oiseaux, il est légèrement replié.

Le pancréas forme une triade avec la rate et la vésicule biliaire. L'intestin grêle débouche dans le colon, qui peut stocker des fèces un certain temps.

Chez les boas et les pythons on peut retrouver un petit cæcum dans la partie proximal du colon.

Chez les serpents, le cloaque est divisé en trois compartiments plus ou moins nettement individualisés (cf. figure 10 ci-dessous) :

- un **coprodeum** qui reçoit le contenu du rectum (R),
- un **urodœum** (Ur) dans lequel débouche les conduits urinaires (US) et génitaux, canaux de Müller ou de Wolff (CW),
- un **proctodœum** (Pr) ouvert sur l'extérieur par l'orifice ou fente cloacale (O Cl), délimité par un sphincter cloacal (S).

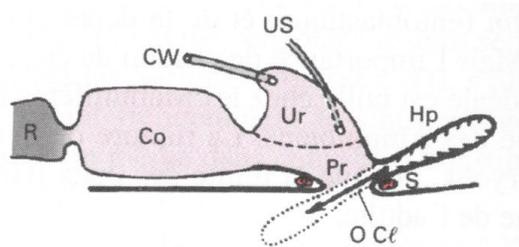


Figure 10 : Schéma illustrant le cloaque chez un serpent mâle (20)

F. Appareil uro-génital

Les reins sont situés dans l'abdomen dorsal caudal, le rein droit étant plus crânial que le gauche. Les reins sont lobulés et allongés. Les uretères se déversent dans le cloaque, dans la portion appelée Urodœum. Il n'y a pas de vessie chez les serpents.

Les Ophidiens pratiquent la fécondation interne. Les mâles disposent d'une paire d'hémipénis (Hp) dévaginables. Ce sont des diverticules tubulaires de la paroi latéro-dorsale du Proctodœum dans le cloaque (cf. figure 10 ci-dessus). A l'état de repos ils sont invaginés dans la base de la queue. Lors de l'accouplement ils se dévagent et font saillie par la fente cloacale. Généralement, la base de la queue est plus large chez les mâles par la présence de ces hémipénis. Pour déterminer le sexe d'un serpent on peut utiliser une sonde lubrifiée qu'on introduit dans le cloaque du serpent en direction caudale. La longueur de sonde introduite permet d'identifier le sexe de l'animal. Elle correspond à une dizaine d'écailles ventrales pour les mâles et à moins de 5 écailles ventrales pour les femelles. Le dimorphisme sexuel est rarement visible par des caractères morphologiques externes.

Chez mâle et femelle, la gonade droite est plus crâniale que la gauche (cf. figure 11 ci-dessous). Les ovaires et les testicules fusiformes intra-cœlomiques et sont situés entre la triade pancréas-rate-vésicule biliaire et les reins. Ils s'élargissent et régressent suivant la saison. Certains serpents sont ovipares et d'autres vivipares.

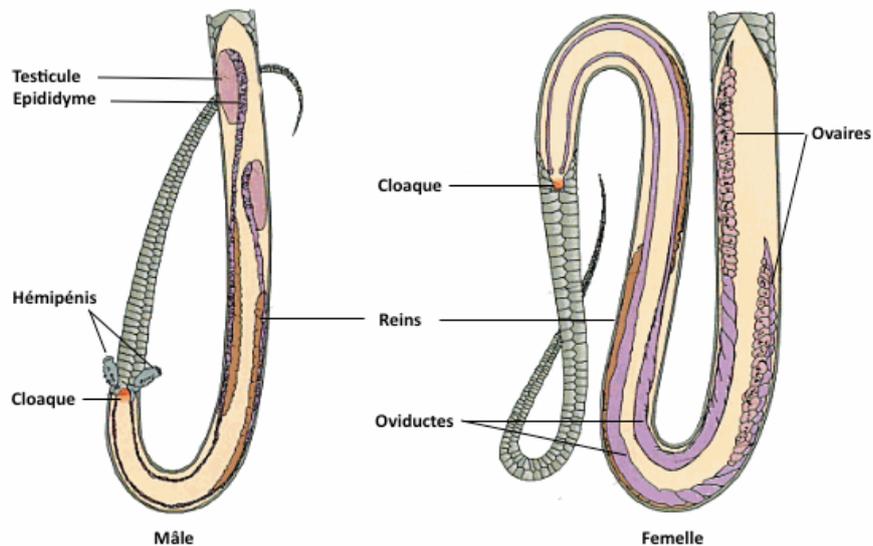


Figure 11 : Schéma illustrant l'appareil uro-génital du serpent mâle et femelle, d'après (8)

G. Système nerveux et récepteurs sensoriels

Les serpents ont un encéphale reptilien typique avec douze paires de nerfs crâniens. Les deux hémisphères cérébraux sont assez développés, les bulbes olfactifs sont volumineux, et le cervelet est d'importance variable selon l'espèce et le mode de vie.

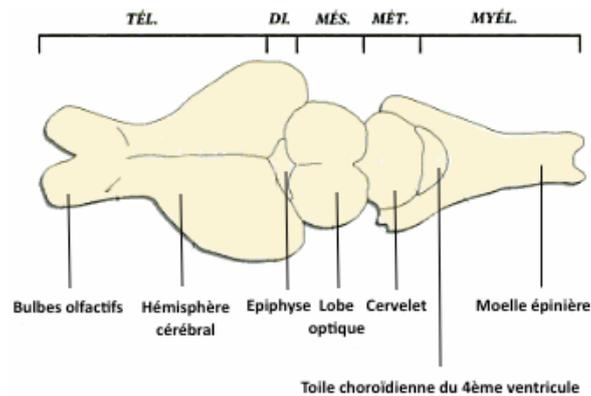


Figure 12: Schéma illustrant le cerveau des serpents, vue dorsale, d'après (8)

Les serpents n'ont pas d'oreille externe et de membrane tympanique, ils sont cependant pourvus d'un système auditif plutôt rudimentaire composé d'une oreille interne connectée à la mandibule par un petit os, la columelle. Les vibrations de la mâchoire en contact avec le sol lorsque le serpent se déplace, sont transmises à l'oreille interne par la columelle, permettant alors au serpent de percevoir de faibles fréquences (150 à 600Hz).

Les yeux des serpents ont une anatomie unique parmi les vertébrés. Ils n'ont pas de corps ciliaires donc l'accommodation est permise par les muscles de l'iris qui permettent le mouvement du cristallin plus ou moins proche de la rétine. Les

serpents n'ont pas de paupières mais l'œil est recouvert d'une lunette, qui correspond à une écaille transparente éliminée avec les autres lors de la mue.

Des fossettes sensorielles thermosensibles sont présentes chez les boas et les pythons. Elles sont situées sous les narines externes, sur les écailles labiales et servent en particulier à repérer les proies à sang chaud.

La langue, comme déjà mentionné, est chez les ophidiens un organe olfactif en lien avec l'Organe de Jacobson.

H. Système endocrinien et immunitaire

Une ou deux glandes thyroïdes peuvent être observées, crânialement au cœur. Leur fonction est liée au cycle de mue et à la croissance. Deux glandes parathyroïdiennes sont également présentes à proximité de la glande thyroïdienne, elles jouent un rôle dans le métabolisme phosphocalcique.

Les serpents possèdent un thymus dissimulé dans le tissu adipeux crânialement à la glande thyroïde. Son rôle d'organe lymphoïde primaire est le même que pour les mammifères, et celui-ci régresse également à l'âge adulte.

Bien que ne présentant pas de nœuds et/ou de vaisseaux lymphatiques, les serpents sont capables d'une immunité à médiation cellulaire et humorale. La lymphopoïèse a lieu dans la moelle osseuse, la rate et quelques sites extra-médullaires dispersés dans l'organisme (notamment dans la sous-muqueuse du tractus digestif et respiratoire).

Ils possèdent deux glandes surrénales situées entre les reins et les gonades, et jouant un rôle similaire à celui joué chez les mammifères.

Troisième partie : Mise au point de l'atlas en ligne

I. Le projet

L'objectif de cet atlas en ligne est de mettre à disposition de l'internaute une banque d'images tomodensitométriques légendées d'animaux sains. Cet atlas en ligne réalisé avec le soutien de l'Unité Pédagogique d'Anatomie et Imagerie de l'ENVT existait déjà pour le chien et le chat. Il est aujourd'hui disponible pour les Nouveaux Animaux de Compagnie tels que la tortue.

Il est disponible gratuitement à cette adresse :
<http://www.anatimagerie-envt.fr/atlas/>

II. Réalisation de l'examen tomodensitométrique

A. Immobilisation de l'animal

L'examen scanner est un examen non-invasif et de courte durée. En médecine vétérinaire l'anesthésie générale est toutefois indispensable pour obtenir l'immobilité du patient et pouvoir choisir un positionnement adapté du corps de l'animal. Ainsi toute contre-indication à une anesthésie générale doit être évaluée avant d'effectuer le scanner. Un examen clinique complet de l'individu servant de modèle a donc été réalisé avant la réalisation de l'examen scanner (prise de commémoratifs, examen cardio-respiratoire, examen externe).

Le protocole anesthésique suivant a été utilisé le jour de l'examen :
Induction de la narcose au Propofol (PROPOVETND) à 5mg/kg IV au niveau de la veine coccygienne avec une aiguille 25G.
Entretien au masque à l'Isoflurane 2% et O₂ 100%

Des examens cliniques réguliers ont été réalisés avant et après l'acquisition des images afin de contrôler la fréquence cardiaque et respiratoire de l'animal jusqu'au réveil de celui-ci. De même, la température de la salle doit être contrôlée étant donné que le serpent est un animal poïkilotherme.

B. Scanner utilisé

L'examen a été réalisé sur un scanner Brightspeed (General Electric) 16 coupes mis à disposition pour l'occasion par le service d'Imagerie Médicale de l'ENVT.

III. Réalisation de l'atlas en ligne

A. Mise en forme des images

L'intégralité des images obtenues suite à l'examen tomodensitométrique a été analysée grâce au logiciel OSIRIXND. Dans ce logiciel, le mode MPR (multiplanar reconstruction) a été choisi pour visualiser les images car il permet une reconstruction d'images multi planaires. Une fois la reconnaissance des différentes structures anatomiques selon les différentes fenêtres (osseux, pulmonaire, tissu mou) effectuée, les coupes les plus pertinentes ont été sélectionnées. Chaque image a alors été traitée avec le logiciel PHOTOSHOPND puis légendée grâce au logiciel POWERPOINTND de manière conventionnelle.

B. Exemples d'images mises en ligne

Les images sont classées par type de fenêtres (tissu osseux, tissu mou, tissu pulmonaire) et par type de coupes (coupe transversale CT, coupe dorsale CD, coupe sagittale CS).

Quand cela est possible la coupe est représentée sur une image 3D du squelette de l'animal.

Dans la fenêtre « tissu osseux », quatorze images ont été sélectionnées, dont celle-ci à titre d'exemple :

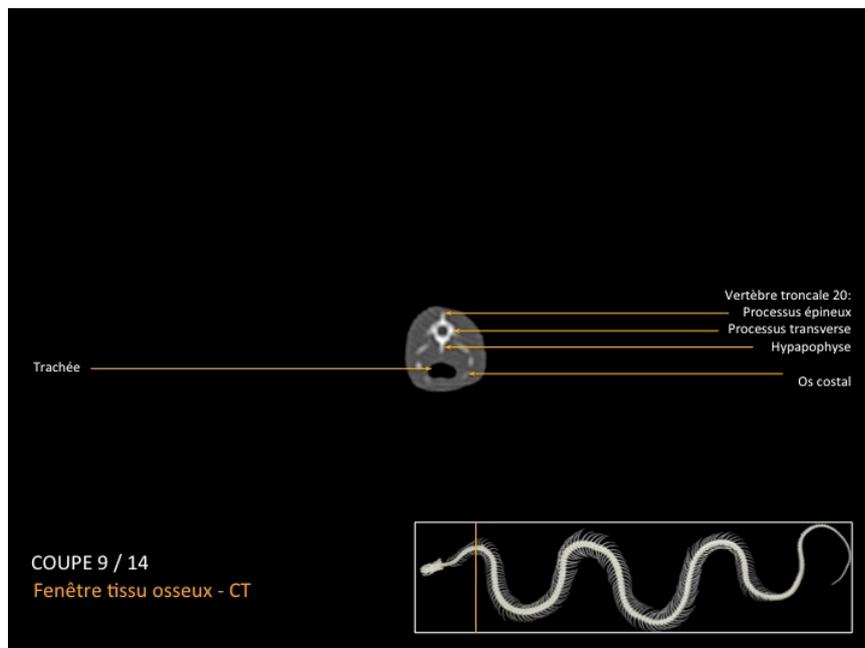


Figure 13 : Planche 9 en fenêtre « tissu osseux », coupe transversale (CT)

Dans la fenêtre « tissu mou », treize images ont été sélectionnées, dont celle-ci à titre d'exemple :

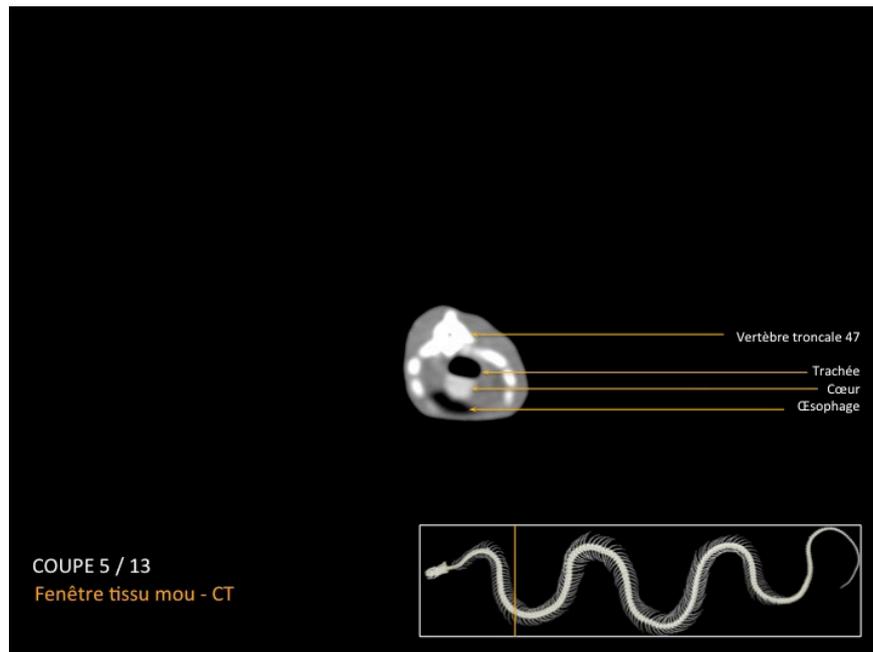


Figure 14 : Planche 5 en fenêtre « tissu mou », coupe transversale (CT)

Dans la fenêtre « tissu pulmonaire », cinq images ont été sélectionnées, dont celle-ci à titre d'exemple :

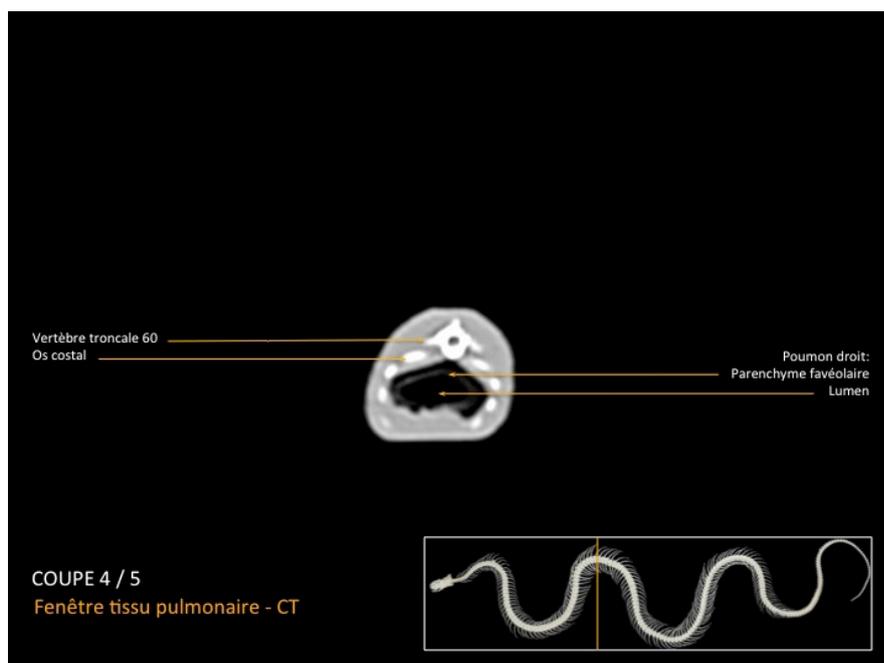


Figure 15 : Planche 4 en fenêtre « tissu pulmonaire », coupe transversale (CT)

IV. Intérêts et limites

Apportant un excellent support pédagogique aux étudiants et vétérinaires praticiens, ces images peuvent également servir de point de comparaison pour interpréter les images obtenues dans la pratique. Cette base de données constituée à partir d'un seul individu est cependant à considérer comme un exemple et non une référence puisque les images sont susceptibles de varier selon le sexe et l'âge notamment. Idéales pour une première analyse, elles ne remplaceront pas l'expérience et le recul d'un vétérinaire spécialisé en imagerie médicale.

Tandis que l'identification des structures osseuses et pulmonaires est particulièrement aisée grâce à l'examen scanner, l'identification des tissus mous est plutôt difficile bien que possible pour certains organes. L'utilisation d'un produit de contraste peut compléter cet examen pour visualiser le système cardio-vasculaire et des organes tels que le foie et le rein. Du Iopromide (ULTRAVISTND 370mg d'Iode/mL) peut être utilisé à 1-2mL/kg. L'examen d'imagerie de choix pour la visualisation des tissus mous reste cependant l'IRM.

Conclusion

Bien que la dissection soit une technique précise et infaillible pour l'apprentissage de l'anatomie, l'imagerie reste un outil majeur : c'est une méthode non invasive apportant de nombreux renseignements sur les organes in vivo (position, structure, volume.. etc.). Par ailleurs, la tomодensitométrie par rapport à la radiologie classique élimine la superposition des tissus et permet d'obtenir des images 3D et multi-planaires de haute résolution. C'est donc un outil précieux pour appréhender l'anatomie des serpents, encore peu documentée dans la bibliographie.

Aujourd'hui plus accessible et plus abordable financièrement, le scanner est un outil diagnostique de plus en plus utilisé dans la pratique vétérinaire. La visualisation des structures anatomiques et de certaines lésions chez les reptiles n'est plus seulement possible, elle est extrêmement précise, même chez des espèces rares. L'information apportée par la tomодensitométrie permet donc d'améliorer les diagnostics et de guider les traitements, chirurgicaux par exemple.

Cet atlas tomодensitométrique en ligne est donc à la fois un support pédagogique très intéressant en termes d'anatomie et de scanographie, et une base de donnée utile pour les futurs et actuels vétérinaires dans leur démarche diagnostique.

Bibliographie

1. KERAVAL, O. *Guide pratique du scanner en médecine et chirurgie vétérinaire canine et féline*. MED'COM, 2011.
2. DOYON, D. *Abrégé de médecine: tomодensitométrie*. Paris : Masson, 1988.
3. NAHUM, H. *Traité d'Imagerie médicale*. 2ème édition. Lavoisier, 2004.
4. SIMAND, C. Caractéristiques et production des rayons X, principe de la radiographie. *Imagerie médicale*. 2007. Disponible à l'adresse : <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/imagerie-medicale-radiographie-principe.xml>
5. CONCHOU, F., MOGICATO, G. et LAMOUR-LAYSSOL, C. *Tomодensitométrie (TDM) Bases physiques et Applications*. Unité d'imagerie médicale ENVT. Cours magistral
6. LAVAUD, A. *Mise au point d'un atlas en ligne tomодensitométrie et IRM de l'encéphale du chien sain*. Toulouse : ENVT, 2013.
7. GERARD, P., HUSSARD N., ROSELLE S. et SAVARIN P. *Atlas de terrariophilie*. Seconde édition. Animalia, 2003.
8. FUNK, R. Chapter 5: Snakes. In : MADER, D., *Reptile and Medicine Surgery*. 2ème Edition. Saunders, 2005.
9. BAUCHOT, R., CASSIAN, B. et PATRICK, D. Le serpent dans le règne animal. In : *Serpents*. Artemis, 2005. pp. 14-26.
10. HOGREFE, S. *Pantherophis guttatus (Red corn snake)*. *Animal Diversity Web*. Disponible à l'adresse : http://animaldiversity.org/accounts/Pantherophis_guttatus/
11. HAMMERSON G. *Pantherophis guttatus: The IUCN Red List of Threatened Species*. 2007. Disponible à l'adresse : <http://www.iucnredlist.org/details/63863/0>
12. PARE, J. Reptile basics: clinical anatomy. In : *North American Veterinary Conference*. Orlando, Florida : Small Animal Edition, janvier 2006. pp. 1657-1660.
13. MADER, D. Clinical anatomy of reptiles. In : *CVC - Unconventional Continuing Education*. Washington DC, Avril 2009. Disponible à l'adresse : <http://veterinarycalendar.dvm360.com/clinical-anatomy-reptiles-proceedings>

14. JACOBSON, E. Overview of Reptile Biology, Anatomy, and Histology. In : *Infectious Diseases and Pathology of Reptiles, Color Atlas and text*. Taylor & Francis CRC Press. 2007. pp. 1-131.
15. WYNEKEN, J. et WITHERINGTON, D. Snake anatomy. Novembre 2003. Vol. Volume 5.5, pp. 26-32.
16. *Serpent des blés*. Disponible à l'adresse: [<http://www.photodenature.fr/serpent-des-bles/>].
17. HEAD, J. Evolution of the snake body form reveals homoplasy in amniote Hox gene function. *Nature*. Avril 2015. N° 520.
18. SAVALLI, U. *Colubrid skull plain*. Disponible à l'adresse: [<http://www.savalli.us/BIO370/Anatomy/5.SnakeSkull.html>].
19. BROGARD, J. *Les maladies des reptiles, Anatomie et physiologie*. Maisons-Alfort : Editions du Point Vétérinaire, 1987.
20. BEAUMONT, A. et CASSIER, P. *Les Cordés: Anatomie comparée des Vertébrés*. 9ème Edition. DUNOD, 2009.

Toulouse, 2016

NOM : CASARI PRENOM : OLIVIA

TITRE : MISE EN LIGNE d'UN ATLAS D'IMAGES SCANNER NORMALES CHEZ LE SERPENT DES BLES (*Pantherophis guttatus*)

RESUME : L'examen tomodensitométrique a connu une évolution fulgurante ces trente dernières années et il est de plus en plus utilisé en médecine vétérinaire. Du fait de son utilisation récente dans la pratique vétérinaire, les connaissances liées à son principe et surtout à son interprétation restent encore limitées dans la profession, d'autant plus lorsque les images concernent un ophidien. Le but de cette étude est de fournir un atlas légendé de coupes tomodensitométriques d'un Serpent des blés sain. Les images recueillies sont obtenues à la fois avec une fenêtre osseuse, une fenêtre tissu mou et une fenêtre pulmonaire. La mise en ligne de ces données sur internet permettra à des vétérinaires praticiens, des étudiants ou toute autre personne intéressée, d'y accéder facilement et gratuitement.

MOTS-CLES : SERPENT DES BLES, TOMODENSITOMETRIE, ATLAS, WEB

TITRE : ON-LINE PUBLICATION OF A CT-SCAN ATLAS OF AN HEALTHY CORN SNAKE (*Pantherophis guttatus*)

ABSTRACT : The CT-Scan has shown for the last thirty years an amazing evolution and is more and more used in the veterinary practice. Due to its recent use in veterinary medicine, the knowledge related to its principle and interpretation is still considered as limited, especially concerning an ophidian. The aim of this study is to provide a captioned atlas of cross-sectionnal tomodensitometric images from an healthy Corn Snake. These images are collected with a pulmonary, soft tissues and osseous level of measurement. The on-line publication of theses images will allow a free and easy access to veterinarians, students or any interested people.

KEY WORDS : CORN SNAKE, CT-SCAN, ATLAS, WEB