

# MISE EN LIGNE D'UN ATLAS TOMODENSITOMETRIQUE D'IMAGES NORMALES DE LA TORTUE DE FLORIDE (*TRACHEMYS SCRIPTA ELEGANS*)

---

THESE  
pour obtenir le grade de  
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

*par*

**COLSON Fany**

Née, le 30/12/1990 à RILLEUX LA PAPE (69)

---

**Directeur de thèse : M. Guillaume LE LOC'H**

---

**JURY**

PRESIDENTE :  
**Mme Isabelle BERRY**

Professeure à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

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

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

a

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation  
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

**Directeur** : Professeur Pierre SANS

**PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE**

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie - Thérapeutique*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- M. **PETIT Claude**, (Emérite) - *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

**PROFESSEURS 1° CLASSE**

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootechnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

**PROFESSEURS 2° CLASSE**

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **RABOISSON Didier**, *Médecine de population et Économie de la santé animale*

**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 **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*  
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*  
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*  
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*  
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

#### **MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)**

M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **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*  
Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie- Bactériologie-Pathologie infectieuse*  
Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*  
Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*  
M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et Industrie des aliments*  
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*  
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*  
Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*  
Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie - Analgésie*  
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*  
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*  
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*  
M. **LHERMIE Guillaume**, *Economie de la santé animale*  
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*  
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*  
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*  
M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*  
Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*  
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales réglementées*  
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

#### **CHARGES D'ENSEIGNEMENT CONTRACTUELS**

M. **BOLON Pierrick**, *Production et pathologie aviaire*  
M. **LEYNAUD Vincent**, *Médecine interne*  
Mme **ROBIN Marie-Claire**, *Ophthalmologie*  
Mme **TOUSSAIN Marion**, *Pathologie des équidés*

#### **ENSEIGNANT DE PREMIERE ANNEE COMMUNE AUX ETUDES VETERINAIRES**

Mme **GAUCHARD Cécile**, *Biologie-écologie-santé*

#### **ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS**

Mme **BLONDEL Margaux**, *Chirurgie des animaux de compagnie*  
M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*  
M. **COMBARROS-GARCIA Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*  
M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*  
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*  
M. **LESUEUR Jérémy**, *Gestion de la santé des ruminants – Médecine collective de précision*  
M. **TOUITOU Florian**, *Alimentation animale*

## Remerciements

À ma présidente de 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.

À mon jury de thèse,

Monsieur le Docteur Guillaume Le Loc'h

Maître de conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Médecine zoologique et santé de la faune sauvage

Qui a accepté de m'accompagner dans la réalisation de cette thèse, qui m'a encadré pour la réalisation de cet atlas et qui m'a accordé sa confiance

Qu'il trouve ici toute l'expression de ma gratitude et de mon plus grand respect.

Monsieur le Docteur Fabrice Conchou

Maître de conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Anatomie, Imagerie médicale

Qui a accepté de m'encadrer dans la réalisation de ce travail, et qui a accepté de participer à ce jury de thèse,

Sincères remerciements.

# Table des matières

<b>Remerciements.....</b>	<b>5</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>6</b>
<b>Table des illustrations .....</b>	<b>8</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>9</b>
<b>Partie 1 : Principe physique et mise en pratique de la tomodensitométrie .</b>	<b>10</b>
I. Introduction à la tomodensitométrie .....	10
II. Physique de la tomodensitométrie.....	10
1. Rayons X : définition et formation. ....	10
a. <i>Que sont les Rayons X ?</i> .....	10
b. <i>Production des Rayons X</i> .....	12
2. Interactions des rayons X avec la matière. ....	14
a. <i>Effet photoélectrique</i> .....	14
b. <i>Effet Compton</i> .....	15
c. <i>Effet Thomson</i> .....	16
III. Réalisation d'un scanner .....	16
1. Déroulement de l'examen.....	16
2. Réglages.....	16
3. Chaîne scanographique.....	17
a. <i>Acquisition de l'image</i> .....	17
b. <i>Reconstruction de l'image</i> .....	18
c. <i>Visualisation de l'image</i> .....	19
<b>Partie 2 : Présentation du modèle biologique : La Tortue de Floride</b> <b>(<i>Trachemys scripta elegans</i>) .....</b>	<b>22</b>
I. Classification et statut d'espèce.....	22
1. Taxonomie .....	22
2. Statut de la population française.....	22
II. Biologie .....	23
1. Description.....	23
2. Distribution et habitat .....	24
3. Alimentation .....	25
4. Reproduction .....	25
5. Longévitité.....	26

6.	Comportement .....	26
III.	Particularités anatomiques.....	27
1.	Ostéologie et Dermatologie .....	27
a.	<i>Les os chez les tortues</i> .....	27
b.	<i>Tégument des chéloniens</i> .....	29
2.	Appareil cardio-vasculaire.....	29
a.	<i>Le cœur</i> .....	29
b.	<i>Le système porte rénal</i> .....	30
3.	Appareil respiratoire .....	31
4.	Appareil digestif .....	32
a.	<i>Tube digestif</i> .....	32
b.	<i>Annexes du système digestif</i> .....	32
5.	Appareil Uro-génital.....	33
a.	<i>Système urinaire</i> .....	33
b.	<i>Appareil reproducteur</i> .....	34
	<b>Partie 3 : Création de l'atlas tomодensitométrique.....</b>	<b>35</b>
I.	Acquisition des images tomодensitométrique du modèle .....	35
1.	Examen clinique de l'animal .....	35
a.	<i>Examen à distance</i> .....	35
b.	<i>Examen rapproché</i> .....	35
2.	Anesthésie.....	36
3.	Scanner .....	37
4.	Reconstitution d'image.....	38
II.	Réalisation et mise en ligne de l'atlas .....	38
1.	Mise en forme des images .....	38
2.	Mise en place des légendes.....	38
3.	Atlas en ligne .....	38
4.	Exemples d'images mises en ligne.....	39
a.	<i>Exemples en fenêtre tissus osseux</i> .....	39
b.	<i>Exemples en fenêtre pulmonaire</i> .....	40
c.	<i>Exemples en fenêtre tissus mous</i> .....	42
	<b>Conclusion .....</b>	<b>44</b>
	<b>Bibliographie.....</b>	<b>46</b>

## Table des illustrations

Figure 1 Propagation d'une onde électromagnétique (4).....	10
Figure 2 Spectre électromagnétique (8) .....	11
Figure 3 Schéma et photographie d'un tube à rayons X (8) .....	12
Figure 4 Rayonnement de freinage (1).....	13
Figure 5 Rayonnement de fluorescence (6).....	13
Figure 6 Atténuation du rayon X.....	14
Figure 7 Effet photoélectrique (1) .....	15
Figure 8 Effet Compton (1).....	15
Figure 9 Acquisition hélicoïdale .....	17
Figure 10 Comparaison monocoupe / multicoupe (12).....	18
Figure 11 Matrice de voxel (15).....	18
Figure 12 Du Voxel au pixel (15) .....	18
Figure 13 Echelle de Hounsfield (14) .....	20
Figure 14 Critère des fenêtre d'étude (15).....	21
Figure 15 Les trois principaux fenêtrages .....	21
Figure 16 <i>Trachemys scripta elegans</i> (28) .....	24
Figure 17 Distribution <i>Trachemys scripta elegans</i> (29).....	25
Figure 18 Nomenclature des plaques osseuse de la dossière et du plastron (43).....	27
Figure 19 Vertèbre cervicales et articulation chez les chéloniens (41).....	28
Figure 20 Dossière de <i>Trachemys scripta elegans</i> en vue ventrale (41) .....	28
Figure 21 Schéma de coeur de tortue (44) (a) vue dorsale, (b) vue ventrale .....	29
Figure 22 Système porte rénale chez <i>Trachemys scripta elegans</i> (48).....	30
Figure 23 Poumons et muscles respiratoires chez les chéloniens (43).....	31
Figure 24 Appareil digestif de la tortue (47).....	33
Figure 25 Appareil urogénitale mâle (44) .....	34
Figure 26 Tortue de Floride mâle anesthésié .....	35
Figure 27 Tortue de Floride femelle anesthésiée .....	35
Figure 28 Injection de propofol dans le sinus sous-carapacier .....	36
Figure 29 Pose d'un cathéter dans la veine jugulaire .....	37
Figure 30 Tortue en décubitus sternal dans le scanner.....	37
Figure 31 Acquisition derrière la vitre plombée .....	37
Figure 32 Planche 2/15, fenêtre tissus osseux.....	39
Figure 33 Planche 7/15, fenêtre tissus osseux.....	39
Figure 34 Planche 9/15, fenêtre tissus osseux.....	40
Figure 35 Planche 2/8, fenêtre pulmonaire .....	40
Figure 36 Planche 5/8, fenêtre pulmonaire .....	41
Figure 37 Planche 8/8, fenêtre pulmonaire .....	41
Figure 38 Planche 1/14, fenêtre tissus mous (sans produit de contraste).....	42
Figure 39 Planche 3/14, fenêtre tissus mous (sans produit de contraste).....	42
Figure 40 Planche 12/14, fenêtre tissus mous (avec produit de contraste) .....	43
Figure 41 Planche 13/14, fenêtre tissus mous (avec produit de contraste) .....	43



## Introduction

Depuis des décennies la médecine vétérinaire n'a cessé d'évoluer, permettant d'obtenir des données de plus en plus précises sur les maladies des différentes espèces. Dans cette évolution, l'imagerie médicale, d'abord centrée sur la médecine humaine, est devenue un domaine qui permet d'aider les vétérinaires, que ce soit avec des problématiques de médecine ou de chirurgie. Si la radiographie et l'échographie sont aujourd'hui bien démocratisées au sein de la profession, les vétérinaires tendent à se spécialiser de plus en plus, entraînant l'augmentation de l'utilisation du scanner et de l'imagerie à résonance magnétique.

De fait, les Centres Hospitaliers Vétérinaires ainsi que les structures plus petites sont de plus en plus nombreuses à être équipées de scanner. Cependant, l'appareil reste encore onéreux, freinant la démocratisation de l'examen. Par conséquent, la réalisation et l'interprétation d'images de scanner restent une discipline limitée à un certain nombre de vétérinaires, spécialisés dans le domaine. La création d'outils d'aide et de vulgarisation à l'attention du plus grand nombre, associé à un enseignement de plus en plus pointu dans les Écoles Nationales Vétérinaires, pourrait permettre un accès facilité à cette technologie pour plus de vétérinaires.

Dans la même dynamique, si auparavant, le scanner était une méthode d'avantage réservée aux chiens et aux chats, aujourd'hui elle est devenue un indispensable de la médecine des NAC et de la faune sauvage, notamment pour des animaux dont certains examens d'imageries sont ininterprétables. C'est le cas de la Tortue de Floride (*Trachemys scripta elegans*) pour laquelle les examens de radiographie et d'échographie n'apportent que peu d'informations.

L'intention de cet atlas tomodensitométrique, gratuit et accessible en ligne, est d'apporter aux étudiant·e·s vétérinaires comme aux praticien·ne·s, un outil de perfectionnement à la lecture d'images tomodensitométriques, ainsi qu'un point de comparaison par la présentation d'images observées hors pathologies, pour un éventuel examen complémentaire dans le cadre d'une démarche diagnostique.

Premièrement, nous nous attacherons aux principes physiques de la tomodensitométrie et à la réalisation concrète de l'examen. Dans un deuxième temps nous présenterons le modèle biologique, notamment ses spécificités anatomiques. Enfin nous aborderons le projet d'atlas en lui-même ainsi que sa mise en ligne.

# Partie 1 : Principe physique et mise en pratique de la tomодensitométrie

## I. Introduction à la tomодensitométrie

La tomодensitométrie est une technique d'imagerie médicale qui repose sur l'émission d'un faisceau de rayons X par un tube radiogène. Ces rayons traversent des tissus de densité, de composition atomique et d'épaisseur hétérogènes, entraînant une perte d'intensité des rayons X variable selon les tissus rencontrés. Les rayons sont ensuite captés par un détecteur appelé barrette, qui convertit le faisceau de rayon plus ou moins atténué en signal électrique. Ces signaux sont ensuite traités informatiquement pour donner plusieurs coupes (*tomos*) de l'objet d'intérêt qui peut ensuite être reconstruit pour donner un modèle en trois dimensions (1).

## II. Physique de la tomодensitométrie

### 1. Rayons X : définition et formation.

#### a. Que sont les Rayons X ?

Les rayons X sont un rayonnement invisible capable de traverser le vide comme la matière, qui peut se définir de deux façons différentes :

D'un point de vue physique, les rayons X sont un rayonnement électromagnétique qui se propage sous la forme d'une onde dans le vide et la matière. Cette onde est caractérisée par la propagation d'oscillations dans deux champs perpendiculaires de même fréquence : un champ électrique et un champ magnétique (cf. figure 1) (2) (3).

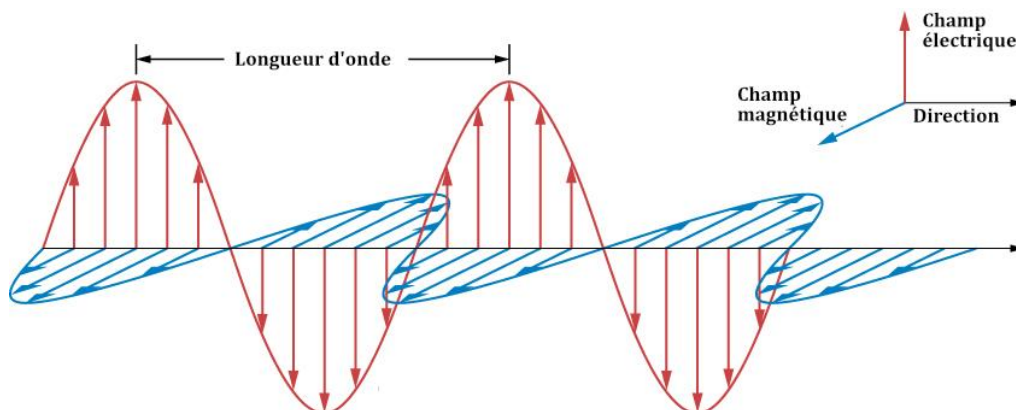


Figure 1 Propagation d'une onde électromagnétique (4)

On peut aussi décrire les rayons X comme un faisceau de particules, dans le cas présent, un faisceau de photons. Ils ne possèdent ni masse, ni charge, et voyagent en ligne droite lorsqu'ils

ne subissent pas d'interactions avec la matière. Chacun d'entre eux possède son énergie propre, permettant de définir une énergie pour l'onde électromagnétique (5).

Cette énergie est définie par l'équation suivante :

$$E = h\nu$$

Où E correspond à l'énergie en Joules (J) ou en Electronvolt (eV), avec  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ ,  $h$  équivaut à la constante de Planck ( $6,62 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}^{-1}$ ) et  $\nu$  représente la fréquence de l'onde, en Hertz (Hz). Cette fréquence étant dépendante de la vitesse ( $c$  en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) et de la longueur de l'onde ( $\lambda$  en m), l'énergie d'une onde peut aussi s'écrire :

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

Pour une vitesse donnée, plus la longueur d'onde est faible, plus la fréquence et l'énergie sont élevées.

Les rayons X se distinguent ainsi, par une longueur d'onde faible entre 10 nm et 1 pm, et une énergie élevée, entre 200 eV et  $10^6$  eV (cf. figure 2). Cette quantité d'énergie étant suffisante pour arracher des électrons lors d'interactions avec la matière, on parle d'onde ou de rayonnement ionisant. Ce phénomène pouvant notamment provoquer des dommages tissulaires et cellulaires irréversibles, cela explique l'intérêt de la radioprotection (6) (7).

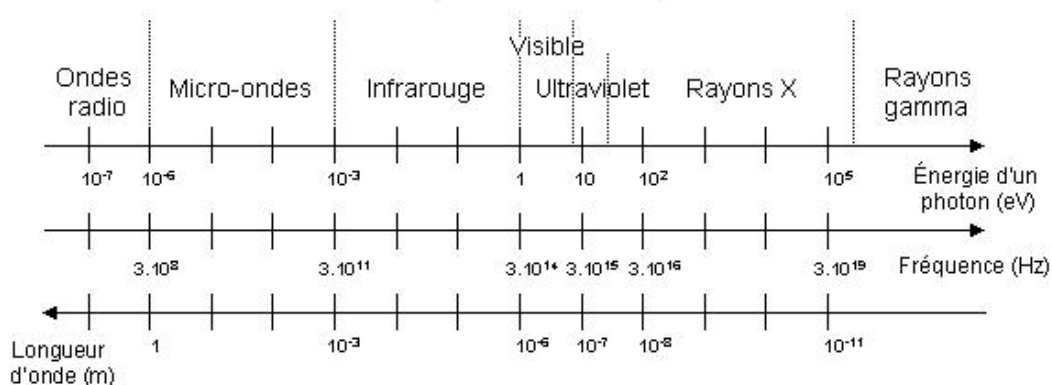


Figure 2 Spectre électromagnétique (8)

### *b. Production des Rayons X*

Les rayons X utilisés en imagerie sont produits dans un tube à rayons X ou radiogène. Celui-ci comporte deux électrodes métalliques : une cathode formée par un filament de métal (le plus souvent du tungstène) qui est chargé négativement et une anode (également appelée cible) qui est soumise à des voltages de plus ou moins forte intensité. Les électrodes sont enfermées dans une chambre sous vide (cf. figure 3).

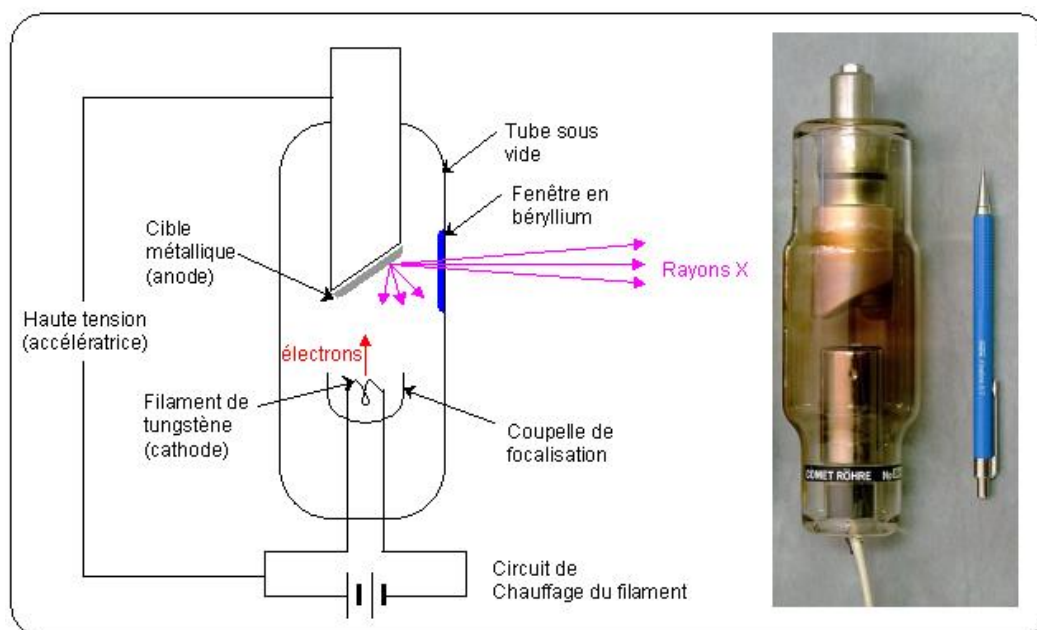


Figure 3 Schéma et photographie d'un tube à rayons X (8)

Lors de l'utilisation du tube, la cathode est fortement chauffée afin de générer un courant électrique formant des électrons. Ces électrons vont alors, une fois arrachés du filament, se retrouver dans le vide du tube. La tension appliquée à l'anode va alors attirer les électrons, qui vont accélérer en direction de cette électrode. Cette accélération est proportionnelle à la tension appliquée à l'anode et à la cathode (9).

La formation des rayons X a lieu lors de la rencontre des électrons accélérés et de l'anode. À l'échelle anatomique deux phénomènes se conjuguent :

- Le rayonnement de freinage ou effet Bremsstrahlung : source principale de la formation des rayons, il est lié à l'influence des noyaux des atomes qui constituent l'anode sur les électrons incidents (arrivant de la cathode).

Les électrons, chargés négativement, vont être attirés par les noyaux, chargés positivement, et voir leurs trajectoires déviées de celle qu'ils avaient dans le vide (cf. figure 4). Ce changement de trajectoire provoque une décélération qui libère de l'énergie cinétique sous forme de chaleur et de rayonnement, les rayons X.

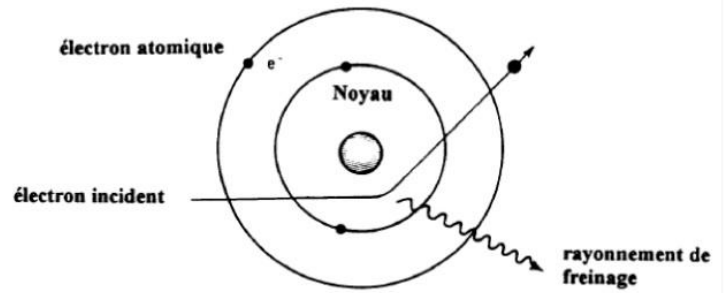


Figure 4 Rayonnement de freinage (1)

Les photons X ainsi créés vont avoir chacun des énergies propres. Leur énergie va en effet correspondre à l'énergie cédée par les électrons lors de leur interaction avec les noyaux. La distance entre les électrons et les noyaux étant aléatoire, la perte d'énergie, qui est liée à cette distance, sera variable d'un électron à un autre, d'une interaction à une autre (9).

- Le rayonnement de fluorescence : certains électrons incidents vont avoir une énergie suffisante pour éjecter un électron des couches périphériques des atomes de la cible. Suite à ce déséquilibre, les électrons atomiques vont se réarranger, de façon à ce que les couches les plus proches du noyau soient stables, ce qui va provoquer une émission de rayon X (6).

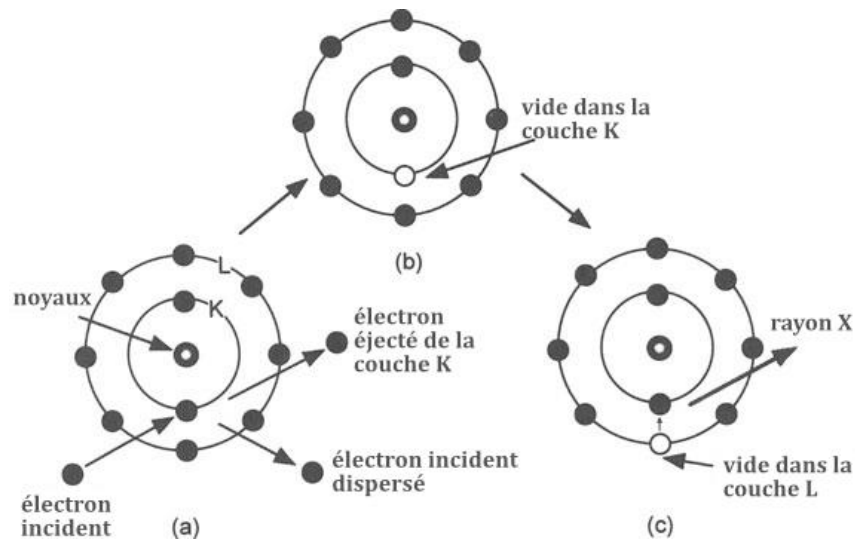


Figure 5 Rayonnement de fluorescence (6)

## 2. Interactions des rayons X avec la matière.

Comme dit précédemment, les rayons X sont atténués par la matière qu'ils rencontrent, ici les tissus organiques. Cette interaction est due à un transfert d'énergie entre le rayonnement incident et le milieu traversé. Elle varie en fonction de la densité, de l'épaisseur des tissus rencontrés ainsi que de l'énergie des rayons émis. C'est cette différence d'atténuation entre les objets rencontrés qui va permettre la discrimination entre les organes lors de la réalisation du scanner(10).

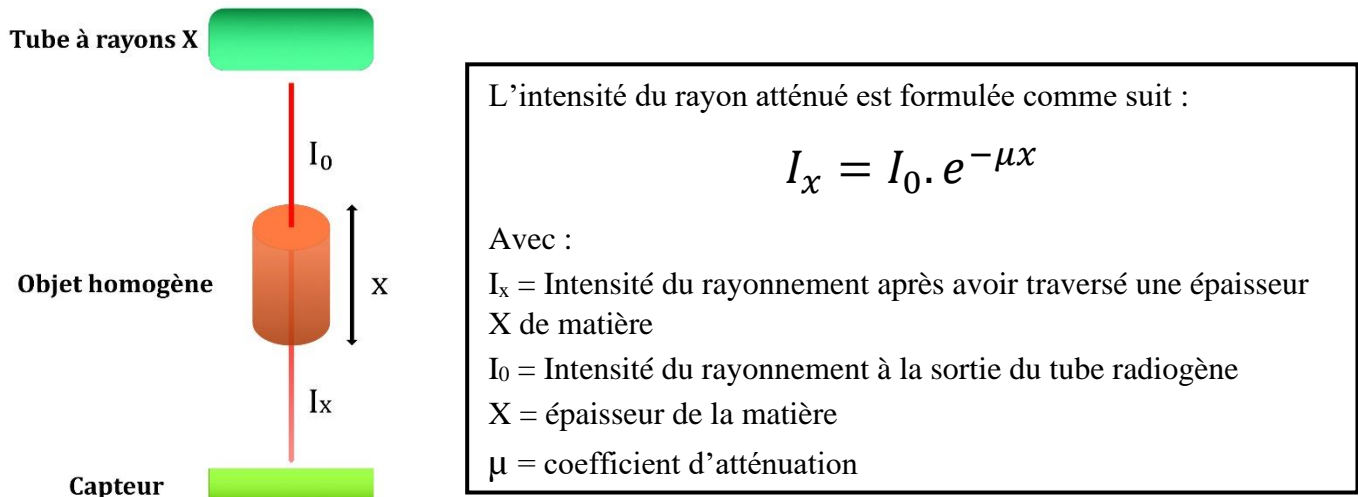


Figure 6 Atténuation du rayon X

Ce phénomène macroscopique est possible principalement grâce à trois effets : L'effet photoélectrique, l'effet Thomson et l'effet Compton.

### a.Effet photoélectrique

L'effet photoélectrique décrit l'interaction entre un photon incident et un électron atomique de l'objet traversé. Le photon va transférer toute son énergie à l'électron atomique, qui est arraché de sa couche électrique profonde et va laisser un vide. L'atome va alors être ionisé, et un électron de la couche supérieure va prendre la place du précédent, lui-même laissant un vide, remplacé par un électron d'une couche supérieure et ainsi de suite. L'électron expulsé forme ainsi un photoélectron d'énergie inférieure au photon incident. Le déplacement des électrons d'une couche à l'autre va provoquer l'émission d'un rayonnement de faible énergie.

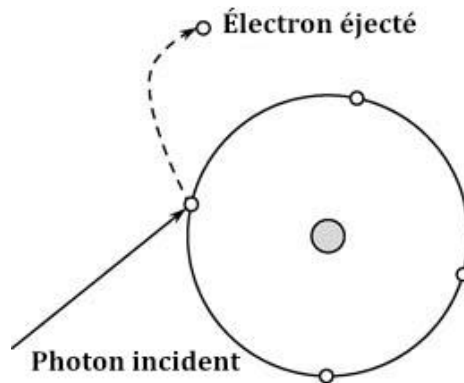


Figure 7 Effet photoélectrique (1)

La probabilité de cet effet est tributaire de l'énergie du photon incident ( $E$ ) et du nombre atomique de la matière ( $Z$ ), selon la formule suivante :  $Z^3/E^3$ . Cela implique que plus l'énergie des rayons incidents est faible, plus le nombre d'effets photoélectriques va être important. *A fortiori* lorsque le numéro atomique de la matière traversée est élevé, il y a plus d'interactions de ce type. Cela explique la grande efficacité des matières comme le plomb ( $Z = 82$ ) pour limiter la propagation des rayons en dehors du champ d'intérêt. Comme le nombre d'effets photoélectriques est augmenté il y a un grand nombre de rayons X qui sont neutralisés. C'est cette relation qui est utilisée en imagerie pour augmenter le contraste entre les différents tissus puisqu'elle joue sur la différence de numéro atomique de ceux-ci (9).

#### b. Effet Compton

L'effet Compton est l'interaction prédominante avec les tissus mous. Tout comme pour l'effet photoélectrique, il y a un transfert d'énergie entre un photon incident et un électron atomique. Mais contrairement au cas précédent, le photon incident ne va céder qu'une partie de son énergie à un électron de couche superficielle. Cet échange va entraîner l'expulsion de l'électron atomique et le changement de direction du photon ainsi qu'une diminution de son énergie (cf. figure 8). Il peut alors suivre son nouveau trajet soit sans nouvelles interactions, soit rencontrer d'autres électrons et subir de nouveau un effet photoélectrique, Compton ou Thomson.

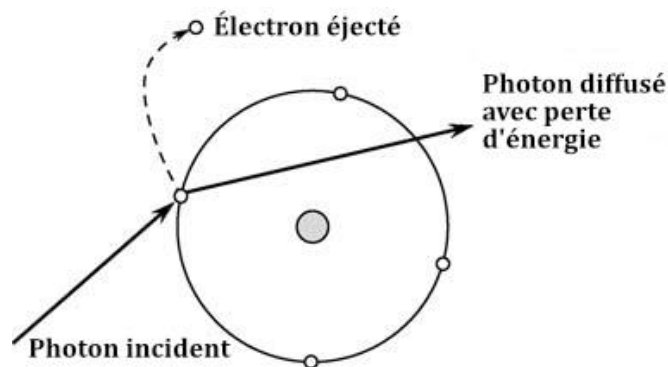


Figure 8 Effet Compton (1)

L'occurrence de l'effet est principalement dépendante de l'énergie du rayon émis et de la densité du tissu traversé (9, 11).

### *c. Effet Thomson*

Cet effet est celui qui a le moins de répercussion sur les rayons incidents. Le photon va transférer de l'énergie à un électron atomique, mais pas suffisamment pour l'arracher de sa couche électronique. Le photon incident est simplement dévié de sa trajectoire initiale.

## III. Réalisation d'un scanner

### 1. Déroulement de l'examen

Pour l'acquisition des images de scanner, l'immobilité de l'animal est indispensable, c'est pour cela qu'il est généralement anesthésié. Un suivi rigoureux de son état général, de ses constantes et de son état de vigilance est nécessaire pour le bon déroulement de l'examen. Lorsque l'anesthésie du patient est stable, il est placé en décubitus sternal sur la table de l'appareil.

Son identification est relevée. On sélectionne ensuite les fenêtres d'intérêts (poumons, os, parenchyme...), puis on réalise un "scout" ou "scout view", c'est-à-dire deux radiographies (une de face, l'autre de profil). C'est grâce à lui que l'on pourra décider du champ de vision d'intérêt pour l'obtention des images (Display Field Of View). Les premières acquisitions se réalisent sans produit de contraste puis une injection de produit de contraste iodé non ionisé est faite avant de réaliser de nouvelles images.

### 2. Réglages

Avant réalisation de l'examen, l'appareil doit être réglé en fonction de la zone que l'on souhaite visualiser chez l'animal. Pour cela, plusieurs paramètres sont à prendre en compte :

- La tension en kilovolts (kV) : elle définit la pénétration des rayons X, influençant le contraste de l'image.
- Le temps d'exposition en secondes (s) : il doit être le plus petit possible selon les principes de la radioprotection, car il donne le degré d'exposition de l'animal aux rayons X.
- L'intensité du courant en milliampères (mA) : elle détermine le nombre d'électrons produits par le tube radiogène et donc l'intensité de noircissement de l'image ainsi que l'exposition de l'animal aux radiations.
- Le nombre de coupes, leur épaisseur et leur espacement en millimètres (mm). Plus la coupe est fine et meilleure sera la résolution. Ce paramètre dicte si les coupes sont séparées par une zone aveugle, sont jointives ou chevauchantes, selon la taille de la coupe et de l'espacement entre deux coupes.
- La direction des coupes : déterminer par l'axe longitudinale du patient, elles peuvent être perpendiculaires ou légèrement inclinées, par rapport à celui-ci.
- Le champ : c'est le diamètre de la coupe anatomique visualisée sur l'image. Plus le champ est limité, meilleure est la résolution de l'image.



### 3. Chaîne scanographique

#### *a. Acquisition de l'image*

L'élément principal pour l'acquisition est l'ensemble « tube radiogène – détecteurs ». Une fois les rayons X émis par le tube radiogène et atténués par les tissus traversés, les rayonnements résiduels restent arrivent alors jusqu'au détecteur.

Le détecteur, aussi appelé Barrette, est composé de trois éléments principaux :

- Un scintillateur qui convertit les photons incidents en photons visibles
- Une zone de photodiode convertissant les photons visibles en signal électrique
- Un circuit intégré de lecture permettant de transformer le signal électrique, en signal numérique compréhensible par le système de reconstruction de l'image.

Ce couple « source-détecteur » a évolué au fil des générations.

Aujourd'hui, les scanners les plus communs sont ceux de 3<sup>ème</sup> génération et c'est un de ces scanners qui est utilisé dans cette étude. Ils ont deux caractéristiques majeures : ils sont hélicoïdaux et multicoupes.

Le terme hélicoïdal renvoie au mode d'acquisition de l'image. En opposition à une acquisition séquentielle, où chaque image est obtenue plan par plan, l'acquisition hélicoïdale se fait grâce au mouvement continu de l'ensemble « source-détecteur » autour d'un axe fixe. Il est associé au mouvement de translation de la table sur laquelle se trouve le patient, suivant un axe Z (cf. figure 9). Cette acquisition est continue et ne se termine qu'une fois toute la zone d'intérêt scannée (9).

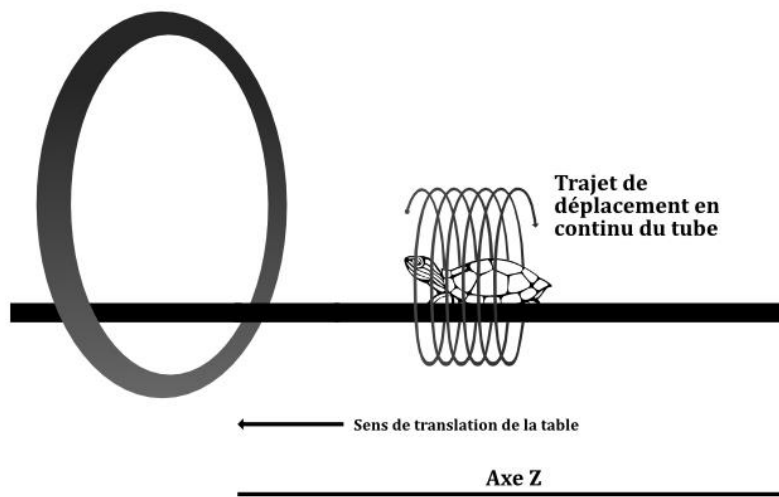


Figure 9 Acquisition hélicoïdale

La notion de multicoupe, elle, concerne directement le détecteur, ou plutôt les détecteurs. En effet, si avec les scanners monocoupe, on avait plusieurs détecteurs assez longs, alignés le long de l'axe de rotation du couple, les scanners multicoupe favorisent plusieurs détecteurs de petite taille le long de l'axe Z (cf. figure 10) (12).

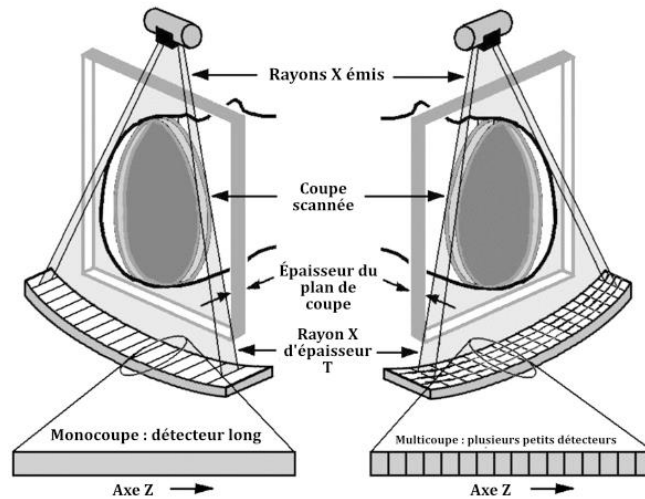


Figure 10 Comparaison monocoupe / multicoupe (12)

Ces avancés techniques permettent d'avoir une meilleure résolution d'image, ainsi qu'une vitesse d'acquisition plus rapide.

Une fois les données acquises, elles sont traitées informatiquement afin d'obtenir des images tridimensionnelles.

### b.Reconstruction de l'image

Comme dit précédemment, le détecteur convertit les rayons résiduels reçus en informations numériques permettant la visualisation de l'image de scanner.

Les éléments numériques, appelés voxel, représentent une section tridimensionnelle du corps qui nous intéresse. C'est une petite section de tissu qui, associée aux autres, va former un maillage, donnant l'image complète de l'animal (cf. figure 11).

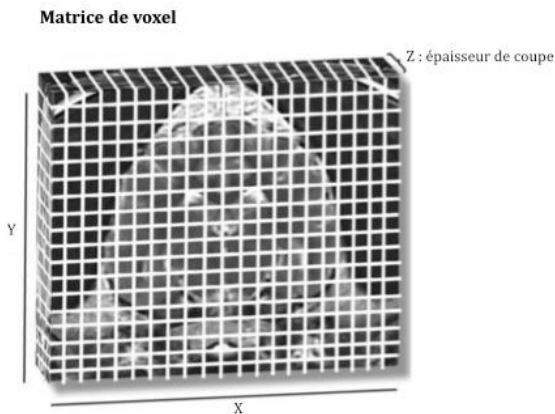


Figure 11 Matrice de voxel (15)

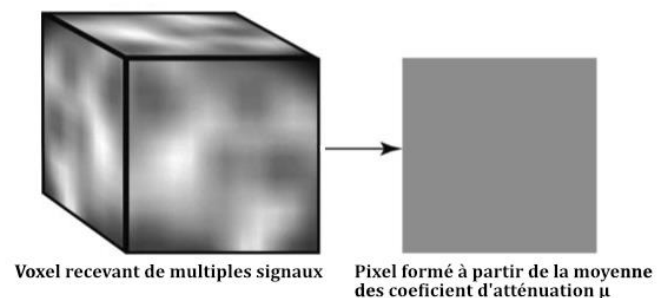


Figure 12 Du Voxel au pixel (15)

Le rayon résiduel détecté est le résultat de plusieurs atténuations provoquées par les tissus traversés. Chaque voxel reçoit plusieurs informations d'atténuations différentes. La moyenne des coefficients d'atténuation est calculée pour permettre la conversion des voxels aux pixels. Chaque pixel sera encodé par une nuance de gris, qui une fois assemblés aux autres, permet de donner une image en deux dimensions de l'objet scanné (cf. figure 12) (13–15).

### *c. Visualisation de l'image*

La visualisation et la lecture de l'image se fait sur un plan 2D, composé de nuance de gris, suite à la moyenne des coefficients d'atténuation de chaque voxel. Chaque image étant composée de milliers de voxels et de pixels, pour alléger la visualisation, l'ordinateur va assigner à chaque pixel un nombre que l'on appelle « CT numbers » ou unité Hounsfield (HU), la conversion se faisant selon la formule suivante :

$$HU_{tissu} = \left[ \frac{\mu_{tissu} - \mu_{eau}}{\mu_{eau}} \right] * 1000$$

Où :  $\mu_{tissu}$  est le coefficient d'atténuation du tissu

$\mu_{eau}$  est le coefficient d'atténuation de l'eau pour le spectre de rayons X utilisé

Ces valeurs sont associées à une échelle allant de - 1000 à + 3000 HU, l'échelle de Hounsfield (cf. figure 13).

Pour l'eau cette valeur sera de 0. L'air n'ayant quasiment aucune influence sur l'atténuation des rayons X, il aura une valeur de - 1000. *A contrario* les os ont un coefficient d'atténuation très élevé (bien plus que l'eau) et leur valeur de HU pourra atteindre + 1000.

Pour le tissu adipeux et la plupart des tissus mous, HU varie de - 80 à + 220 (en omettant l'utilisation de produit de contraste).

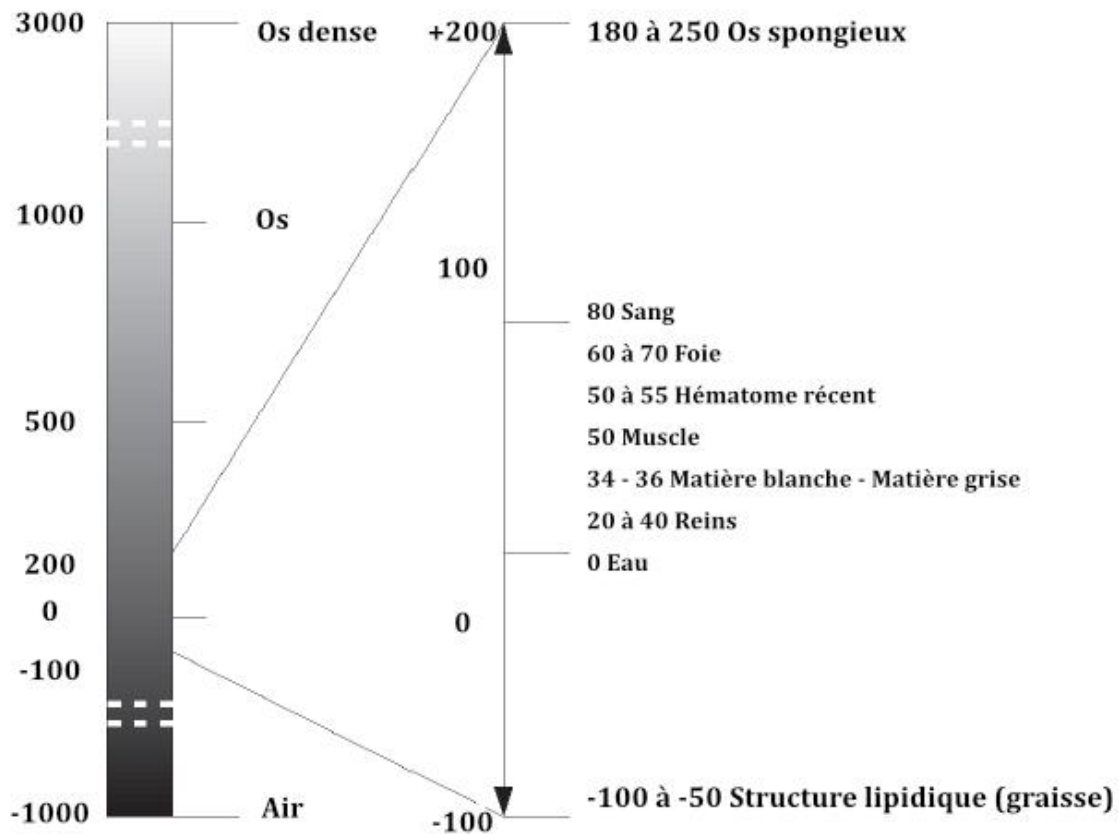


Figure 13 Echelle de Hounsfield (14)

Cette variété de nuance de gris n'étant malheureusement pas accessible à l'œil humain, il est nécessaire lors des réglages du scanner de choisir « la fenêtre » que l'on souhaite étudier.

Pour cela on utilise deux critères :

- Le niveau L de la fenêtre qui correspond au centre de l'image. Ce critère influe sur la brillance de l'image.

- La largeur W de la fenêtre qui correspond à l'étendue des nuances de gris. Plus la fenêtre est étroite plus la distinction entre tissus de densité rapprochée sera bonne. Il influe sur le contraste de l'image.

Selon ce principe, les pixels avec un HU inférieur au HU minimum de la fenêtre apparaîtront noirs, et les pixels dont le HU est supérieur au HU maximum de la fenêtre apparaîtront blancs (cf. figure 14).

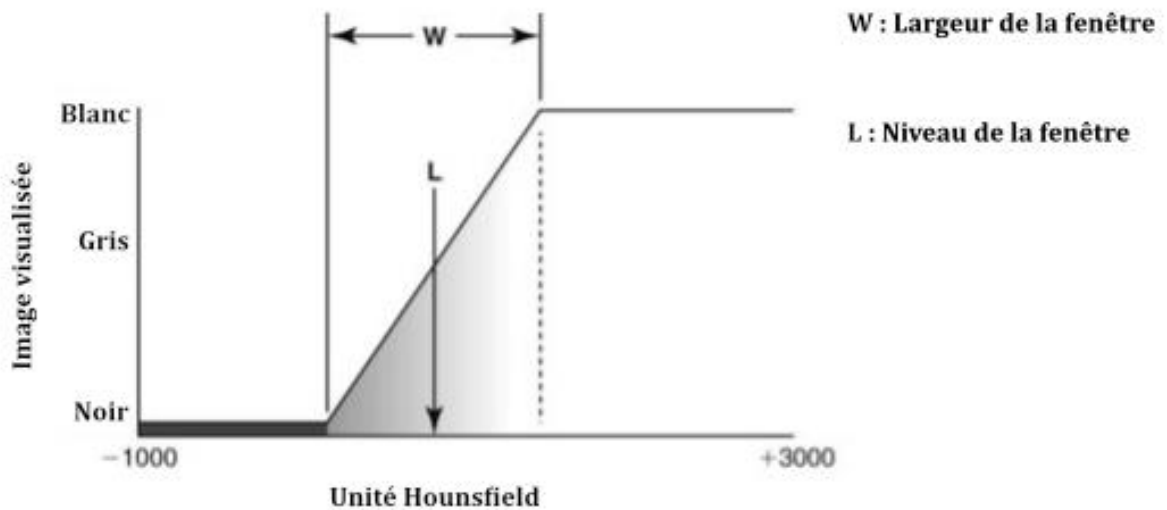
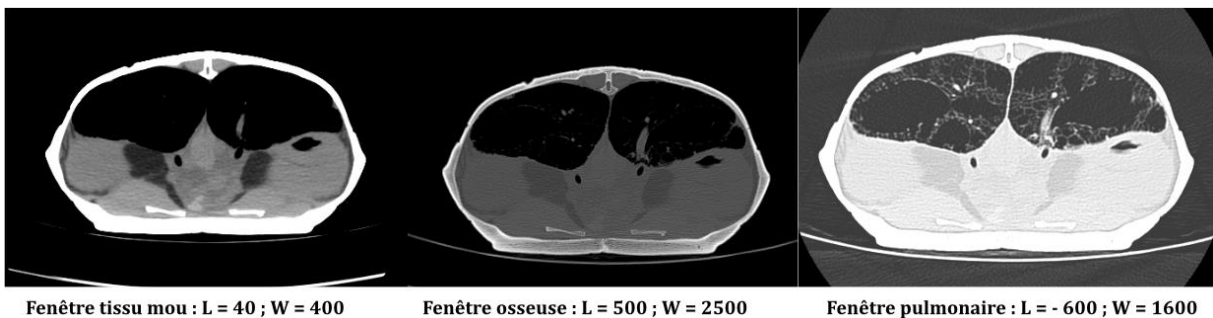


Figure 14 Critère des fenêtre d'étude (15)

On distingue trois grands types de fenêtres (cf. figure 15) :

- Fenêtre osseuse : L élevé et W élevé
- Fenêtre pulmonaire : L bas et W élevé
- Fenêtre tissus mous : L proche de 0 et W bas, on peut la centrer sur le coefficient d'absorption du tissu étudié (9, 13, 15).



Fenêtre tissu mou : L = 40 ; W = 400

Fenêtre osseuse : L = 500 ; W = 2500

Fenêtre pulmonaire : L = - 600 ; W = 1600

Figure 15 Les trois principaux fenêtrages

## Partie 2 : Présentation du modèle biologique : La Tortue de Floride (*Trachemys scripta elegans*)

### I. Classification et statut d'espèce

#### 1. Taxonomie

La Tortue de Floride appartient à la classe des reptiles et est classée comme suit (16) :

Classe : Reptilia

Ordre : Testudines

Famille : Emydidae

Genre : *Trachemys*

Espèce : *Trachemys scripta* (Schoepff, 1792)

Sous-espèce :

- *Trachemys scripta troostii* (Holdbrook, 1836)

- *Trachemys scripta elegans* (Wied, 1839)

#### 2. Statut de la population française

Les Tortues de Floride ont un statut particulier du fait de leur introduction en France métropolitaine.

Dans les années 80, de nombreuses Tortues de Floride sont importées depuis les États-Unis jusqu'en Asie et en Europe, pour être vendues comme animaux de compagnie. La méconnaissance de l'espèce ainsi que des conséquences qu'elle pouvait avoir sur certains biotopes français a poussé de nombreux propriétaires à relâcher les tortues dans des écosystèmes d'eau douce (lacs, rivières...) (17).

Malgré l'interdiction à la vente de cette espèce depuis novembre 1997 dans l'Union Européenne, la population de tortues non natives n'a pas diminué. Les animaux relâchés se sont adaptés à l'environnement français, entraînant un déséquilibre dans les écosystèmes, notamment en provoquant une compétition délétère avec la Cistude d'Europe (*Emys orbicularis*) et l'Emyde lépreuse (*Mauremys leprosa*), tortues natives de métropole (17, 18).

Cette compétition est principalement due au comportement alimentaire, à l'agressivité et à la facilité de reproduction des Tortues de Floride. La mention d'une taille beaucoup plus grande par rapport aux tortues endémiques de métropole, aurait également un rôle dans ce déséquilibre (19–22).

Par conséquent la détention de telles tortues reste contrainte par la loi. Selon l'article 1 de l'arrêté du 8 octobre 2018, les structures voulant accueillir des Tortues de Floride doivent :

- disposer d'un lieu d'hébergement, d'installations et d'équipements conçus pour garantir le bien-être des animaux hébergés, c'est-à-dire satisfaire à leurs besoins physiologiques et comportementaux ;
- prévenir les risques afférents à sa sécurité ainsi qu'à la sécurité et à la tranquillité des tiers ;

- prévenir l'introduction des animaux dans le milieu naturel et la transmission de pathologies humaines ou animales ;
- détenir les compétences requises et adaptées à l'espèce et au nombre d'animaux afin que ceux-ci soient maintenus en bon état de santé et d'entretien.

Ce dernier point consistant à l'obtention d'un certificat de capacité spécifique aux Tortues de Floride. Son obtention se fait en suivant les conditions imposées par l'arrêté du 12 décembre 2000 et l'article R.413-5 du code de l'environnement.

De plus, depuis 2018, la Tortue de Floride est officiellement considérée comme une espèce exotique envahissante et de ce fait sa détention et son commerce sont désormais très contraints (Arrêté du 14 février 2018 relatif à la prévention de l'introduction et de la propagation des espèces animales exotiques envahissantes sur le territoire métropolitain).

*Trachemys scripta elegans* est donc un animal avec une position à part entière, puisqu'elle est considérée comme exotique envahissante tout en étant un animal de compagnie (23–25).

## II. Biologie

### 1. Description

Les Tortues de Floride sont des reptiles de taille très variable, allant de 10 à 30 cm de long, et pouvant avoir une masse allant jusqu'à 3 kg. Ces animaux montrent un dimorphisme sexuel marqué, avec des femelles plus grandes que les mâles. En effet les mâles mesurent en moyenne 18 cm tandis que les femelles font en moyenne 25 cm. De plus, les mâles ont des griffes antérieures plus longues que les femelles.

La carapace, élément caractéristique des chéloniens, est constituée d'os, de cartilage et d'écailles principalement composées de kératine. La carapace est en deux parties, une dossière et un plastron, reliés par un pont osseux. La dossière est de forme plutôt ovale avec des bords droits et rugueuse avec des formes d'écailles très variées. Elle peut être de couleur noire, grise, marron ou bien encore vert et elle est souvent marquée d'épaisses stries jaunes. Le plastron est en général plus clair que la dossière, le plus souvent de couleur jaune avec des traits ou des points noirs. La peau des tortues va de vert foncé à brun. Les mâles les plus âgés présentent un mélanisme marqué, certaines tortues devenant complètement noires.

La tête est en forme d'obus avec des narines très dorsales. Les pattes sont composées de cinq doigts chacune et sont palmées. Chaque doigt est muni d'une griffe souvent plus longue sur les membres antérieurs.

Ce qui caractérise la sous-espèces *Trachemys scripta elegans*, ce sont les traits rouges que l'on retrouve au niveau des tempes de la tortue (cf. figure 16). *Trachemys scripta scripta* ainsi que *Trachemys scripta troostii* ont quant à elles des lignes jaunes et noires ; la diagnose est en générale plus difficile entre ces deux sous espèces (26).



Figure 16 *Trachemys scripta elegans* (27)

## 2. Distribution et habitat

Les Tortues de Floride sont originaires du sud des Etats Unis d'Amérique, du sud de l'Alabama jusqu'au nord du Mexique.

Dû à leur forte exportation pour leur vente en tant qu'animal de compagnie, on retrouve cette tortue dans d'autres états, comme Hawaii, la Californie, l'Arizona, le Michigan, le New-jersey, etc. En Amérique, il existe des populations au Canada et au centre du Mexique. Elle a aussi été exportée sur d'autres continents, notamment l'Europe, l'Asie et l'Océanie. On retrouve donc la Tortue de Floride en France, en Suisse, à Taiwan, au Japon et même en Australie, pour ne citer que quelques exemples (cf. figure 17).



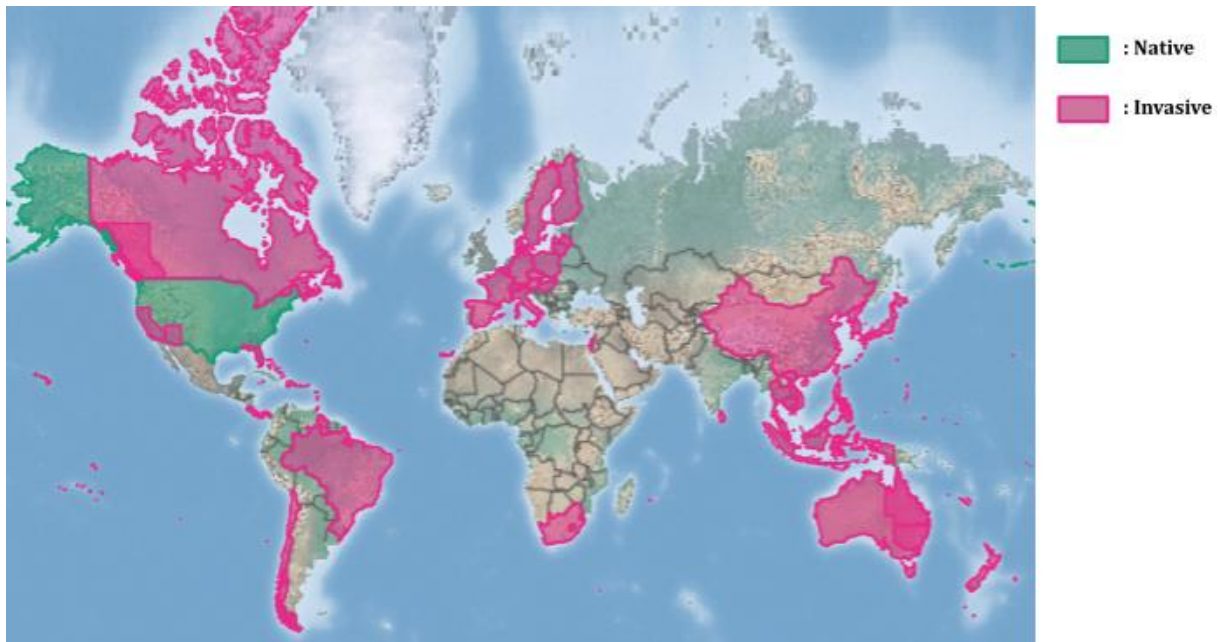


Figure 17 Distribution *Trachemys scripta elegans* (28)

Les Tortues de Floride sont des animaux semi-aquatiques qui vivent dans des milieux d'eau vive et saumâtre. On peut les trouver dans des plans d'eau tels que des étangs, des lacs, rivières, marais... Elles sont souvent dans des courants lents et en surface des plans d'eau. On les trouve généralement dans des profondeurs allant de 0,6 à 0,9 m de profondeur. Ces tortues peuvent aussi vivre dans des milieux terrestres, tels que des forêts de conifères, si un point d'eau est à proximité. Si ces milieux s'assèchent, les tortues migreront pour un milieu avec un nouveau point d'eau (26, 27, 29).

### 3. Alimentation

La Tortue de Floride est un animal opportuniste omnivore qui peut s'alimenter de nombreux végétaux et animaux.

Les jeunes sont d'avantages carnivores avec une consommation de crustacés, têtards, petits poissons, insectes, escargots et même de petits vertébrés. Avec l'âge les tortues mangent de plus en plus de végétaux comme des algues, des macrophytes et des herbes d'eau.

Elles peuvent avoir un comportement charognard si nécessaires et elles adaptent leur régime en fonction du milieu qu'elles colonisent. Ainsi les tortues localisées en Floride n'auront pas la même alimentation que celles situées à Taïwan ou en France (22, 30).

### 4. Reproduction

La maturité sexuelle des tortues est atteinte entre deux et cinq ans pour les mâles et entre trois et huit ans pour les femelles. La parade sexuelle implique des morsures (notamment des membres postérieurs et de la queue), ainsi que des griffures. Les mâles vont parfois user d'une parade appelée titillation qui consiste à agiter les membres antérieurs et notamment les griffes

pour faire vibrer l'eau sous les yeux de la femelle. L'accouplement a en général lieu après cet évènement.

La saison de reproduction commence en avril pour se terminer fin octobre et les œufs incubent sur une période de 60 à 95 jours. Les femelles vont pondre une à deux fois par an, pour une moyenne de 6 à 11 œufs par nid. Chaque nid fait entre 10 et 14 cm de profondeur. Ils sont localisés près de points d'eau et les tortues peuvent migrer jusqu'à plus de 1,6 km pour trouver un lieu adéquat.

Durant l'incubation le sexe des futures tortues est déterminé via la température du nid. Plus il est chaud et plus il y aura de femelle et inversement, plus il y fait froid et plus il y aura de mâles nouveau-nés.

Après l'éclosion certains petits quitteront immédiatement le nid, mais la majorité d'entre eux vont rester dans le nid pendant parfois 10 mois. Durant cette période les juvéniles vont subsister en consommant le jaune de leurs œufs. Cela permet aux tortues d'être plus grosses et plus résistantes à la sortie du nid. Les tortues juste écloses mesurent entre 23 et 35 mm (31–39).

## 5. Longévité

Les Tortues de Floride peuvent vivre durant 30 ans dans la nature, et en captivité des tortues allant jusqu'à 40 ans ont été recensées. Cependant ces valeurs sont à prendre avec précaution car la plupart du temps les propriétaires tendent à surestimer l'âge de leurs tortues. De plus de nombreux propriétaire relâchent leur animal dans la nature après quelques années, ce qui fait que les mesures de l'âge en captivité sont difficilement accessibles (40).

## 6. Comportement

*Trachemys scripta elegans* partage son temps entre la marche, la nage, l'alimentation (de végétaux et d'animaux), et l'exposition au soleil. Elle est le plus actif durant les périodes chaudes, et lors des jours ensoleillés pendant des périodes froides. Ces animaux passent la majorité de leur temps à se prélasser au soleil, principalement pour se réchauffer, puisqu'elles ne s'enfouissent pas sous terre ou sous la vase pour maintenir leur température corporelle élevée, cependant elles peuvent supporter des températures extérieures aussi froides que -4°C.

Le principal effet est que les tortues ont un métabolisme plus actif lorsqu'elles sont réchauffées. Les mâles s'exposent au soleil le plus souvent entre septembre et octobre, car une température corporelle plus élevée permet une plus forte production de testostérone et de sperme. Les femelles vont quant à elle s'exposer davantage entre mai et juin, mais les raisons à l'augmentation de cette fréquence ne sont pas encore définies (30, 32, 41).

### III. Particularités anatomiques

#### 1. Ostéologie et Dermatologie

##### a. Les os chez les tortues

Le squelette des chéloniens est en lui-même très particulier, principalement à cause de la partie axiale de celui-ci. Il est composé des vertèbres et de la carapace. Comme dit précédemment la carapace est elle-même divisée en deux éléments, la dossière dorsale et le plastron ventral, qui sont reliés par des ponts osseux.

La dossière est constituée de différentes plaques osseuses, appelées ostéodermes qui sont des dérivés des côtes, des vertèbres et des téguments de la peau. Il y a une cinquantaine d'ostéodermes (cf. figure 18). Ils sont recouverts d'une couche de kératine qui donne les écailles, la limite de ces écailles n'étant pas identique à celle des ostéodermes. Leur nombre et leur taille sont variables d'une espèce à l'autre, ce qui permet d'aider à la diagnose des différentes espèces de tortues.

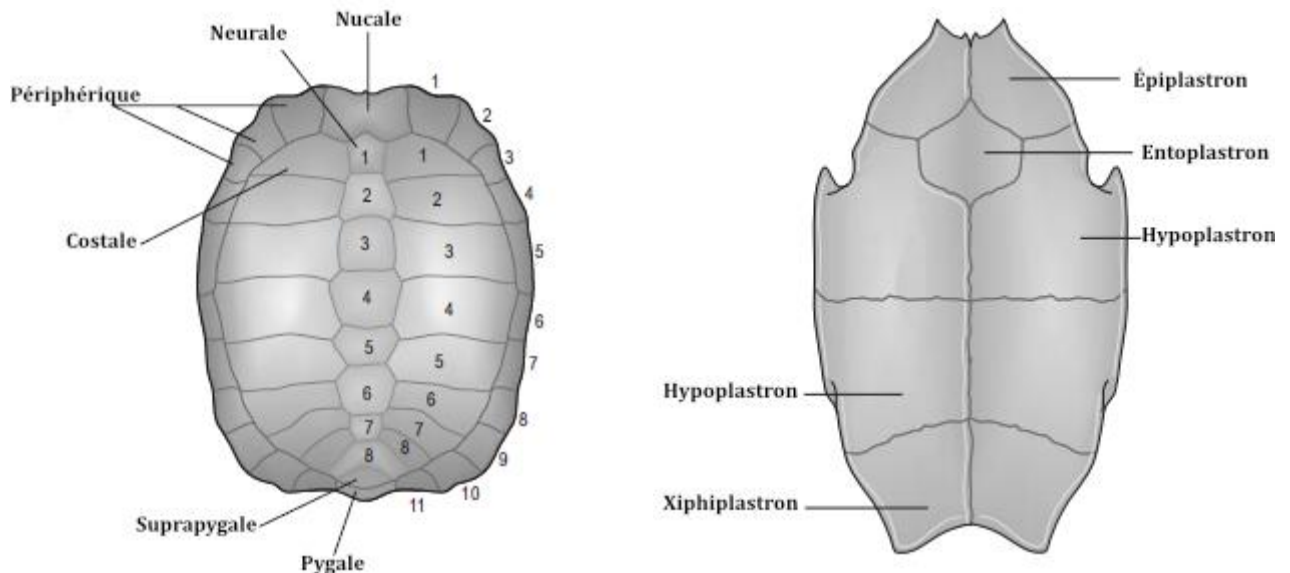


Figure 18 Nomenclature des plaques osseuses de la dossière et du plastron (42)

Le plastron suit le même principe de kératinisation des plaques osseuses, cependant les plaques sont beaucoup plus grandes et moins nombreuses que pour la dossière (cf. figure 18).

Les vertèbres du squelette axial sont organisés comme suit :

- 8 vertèbres cervicales, avec des articulations cryptodires chez la Tortue de Floride qui permettent une flexion de la tête dans un plan sagittal (cf. figure 19) ;
- 10 vertèbres dorsales ;
- Des vertèbres caudales dont le nombre est variable selon les espèces.

Les vertèbres dorsales sont soudées aux plaques neurales de la dossière (sauf pour les dossières 1 et 10) ; de même les côtes sont soudées à la dossière (cf. figure 20). On note également l'absence de sternum chez les chéloniens.

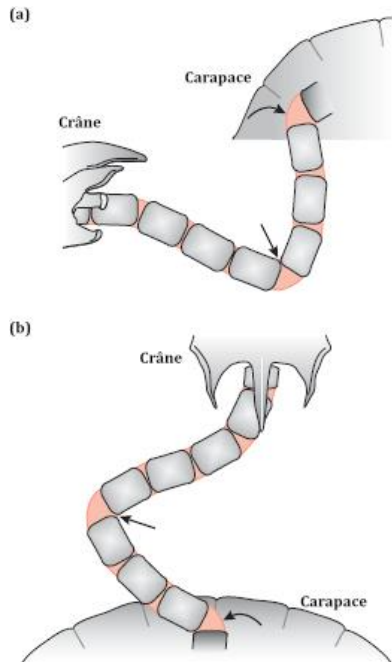


Figure 19 Vertèbre cervicales et articulation chez les chéloniens (41)

a : Articulations cryptodires

b : Articulations pleurodires

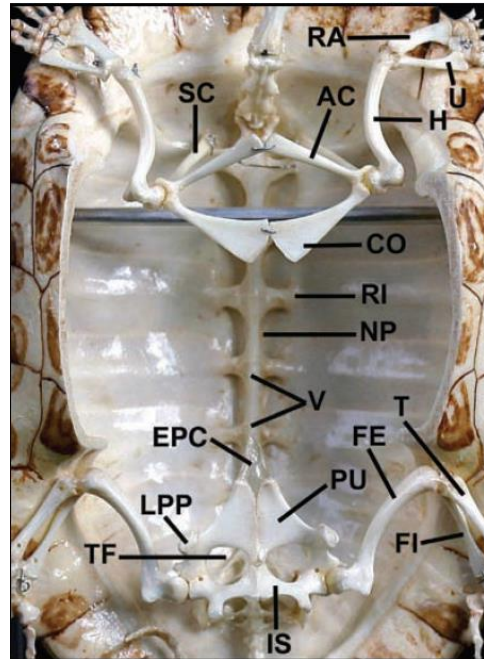


Figure 20 Dossière de *Trachemys scripta elegans* en vue ventrale (41)

acromion (AC); coracoïde (CO); cartilage épipubique (EPC); femur (FE); fibula (FI); humerus (H); ischium (IS); proceccus latéral du pubis (LPP); proceccus neural (NP) d'une vertèbre; pubis (PU); radius (RA); côte (RI); scapula (SC); fenêtre thyroïde (TF); tibia (T); ulna (U).

Plusieurs éléments du squelette appendiculaire sont à retenir. Tout d'abord les ceintures scapulaires et pelviennes sont localisées dans la cage thoracique et renforcent la carapace en servant de piliers verticaux. Ces ceintures sont soudées au plastron et à la dossière, respectivement via l'ilium et le pubis pour l'un et l'acromion et la clavicule de la scapula pour l'autre (42, 43).

La structure des os en elle-même a des spécificités, puisque les os n'ont pas de cavité médullaire et qu'ils ont un périoste qui est remplacé par des formations osseuses qui rappellent le système de Havers, avec des formations secondaires à disposition concentrique. Enfin l'ossification se fait via la calcification du cartilage, qui forme des travées sur lesquelles se déposent des lamelles osseuses. Il ne persiste dans l'os qu'une fine bande de cartilage épiphysaire qui sert à la fois de cartilage de croissance et de cartilage articulaire (44).

## b. Tégument des chéloniens

La peau des *Emydidae* est composée d'écaillés, généralement plates, ce qui donne à la peau de l'animal un aspect lisse. La peau mue de façon périodique, mais contrairement aux squamates, la mue se fait par « morceaux », notamment chez les tortues d'eau (43).

## 2. Appareil cardio-vasculaire

### a. Le cœur

Il est localisé médialement, caudalement à la ceinture scapulaire, sa position peut légèrement varier avec les mouvements de tête de l'animal (notamment avec la rétraction du cou). D'extérieur c'est un organe légèrement aplati ventro-caudalement et qui a une forme de triangle avec un apex arrondi cranio-dorsalement. Il baigne dans un liquide péricardique de façon physiologique.

L'organe a quatre cavités : deux oreillettes, un ventricule partiellement cloisonné par un septum interventriculaire incomplet et un sinus veineux en face dorsale de l'oreillette droite (cf. figure 21).

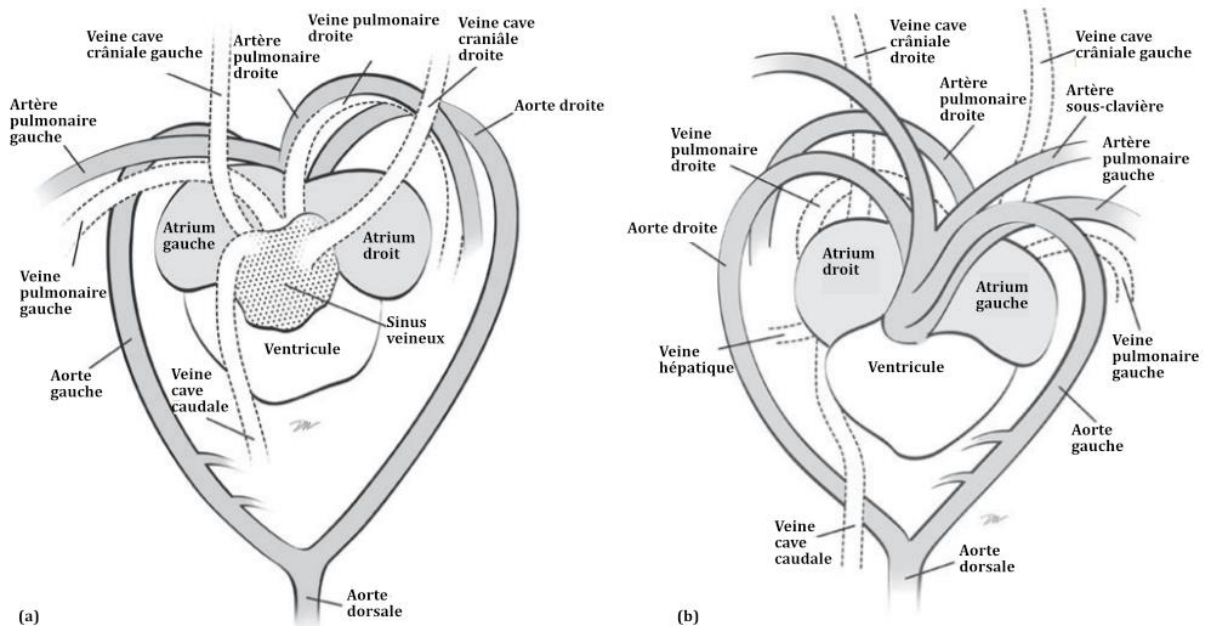


Figure 21 Schéma de cœur de tortue (44)  
(a) vue dorsale, (b) vue ventrale

Les tortues possèdent deux crosses aortiques, ainsi qu'un tronc pulmonaire. L'artère pulmonaire se divise rapidement en deux pour irriguer chaque poumon. L'aorte gauche bifurque plusieurs fois pour donner les artères cœliaque, gastrique et mésentérique crâniale qui irriguent les viscères, avant de rejoindre l'artère droite caudalement au cœur. L'aorte droite, issue du tronc brachio-céphalique, va irriguer les membres et la tête en bifurquant pour donner les artères sous-clavière et carotide, avant de rejoindre l'aorte gauche (cf. figure

21). Ces vaisseaux ont une couche musculaire épaisse et ont une base cartilagineuse qui peut se calcifier avec le temps (42, 43, 45).

*b. Le système porte rénal*

Comme tous les reptiles, les tortues possèdent un système porte rénal. Le sang veineux provenant de la partie caudale de l'animal (notamment de ses membres postérieurs et sa queue), est drainé par les veines caudale et fémorale puis par les veines portes rénales qui amènent le sang directement vers les tubules rénaux (cf. figure 22). Ce système a son importance en médecine, puisqu'il limite les injections de principes actifs aux membres antérieurs des tortues, afin d'éviter une élimination directe par les reins (46).

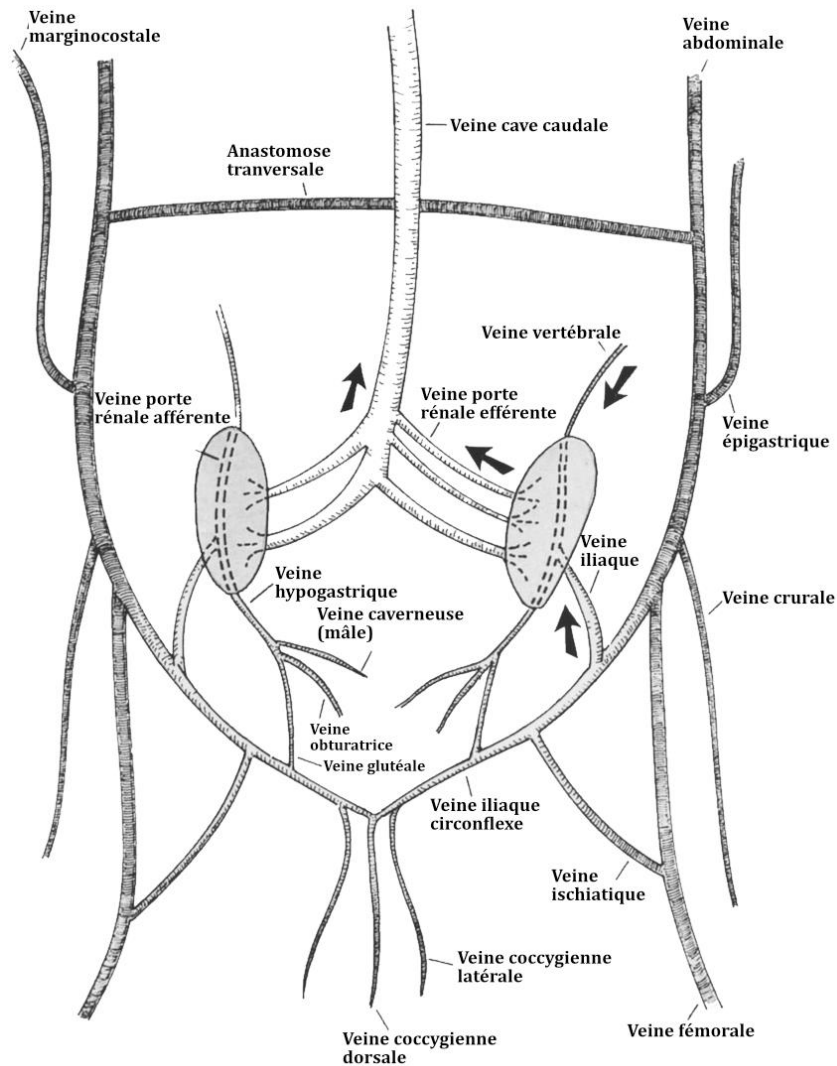


Figure 22 Système porte rénal chez *Trachemys scripta elegans* (47)

### 3. Appareil respiratoire

Chez les chéloniens la respiration se fait uniquement bouche fermée (une respiration bouche ouverte étant signe de pathologie). La seule communication entre cavité nasale et buccale sont les choanes.

Chez les tortues la trachée est composée d'anneaux cartilagineux complets et elle se divise rapidement en une paire de bronches qui entrent dans les poumons. Ces trois organes sont tapissés d'un épithélium cilié glandulaire, mais qui est peu performant pour éliminer les sécrétions et corps étrangers. Du fait des anneaux trachéaux et de la bifurcation crâniale, lorsque la tortue intériorise sa tête, elle peut toujours respirer sans difficulté.

Les poumons sont localisés dans la partie dorsale de la cavité coelomique et s'étendent de la ceinture scapulaire à la ceinture pelvienne de l'animal (cf. figure 23). Ce sont des sacs alvéolaires qui sont divisés par plusieurs septa, donnant plusieurs aires d'échanges gazeux. Les deux poumons sont bien distincts et séparés par une membrane verticale solide.

Une autre spécificité des tortues, c'est qu'elles ne possèdent pas de diaphragme qui sépare cavités thoracique et abdominale. Elles ne possèdent qu'une membrane pleuropéritonéale, aussi appelée septum horizontale, qui n'est pas musculéux. De plus, la présence de la carapace fait qu'il n'y a que peu de place pour l'extension des poumons. Ces éléments font que l'inspiration et l'expiration sont actives et impliquent de nombreux éléments extra-pulmonaires. Les poumons sont principalement mus par deux paires de muscles aux actions antagonistes. Le muscle abdominal oblique et le muscle serratus, lorsqu'ils se contractent, permettent une dépression dans la cavité coelomique provoquant l'inspiration. À l'inverse le muscle transverse abdominal et le muscle pectoral vont permettre d'intérioriser les membres antérieurs, et ainsi d'augmenter la pression sur les viscères et les poumons, provoquant l'expiration de l'air (cf. figure 23).

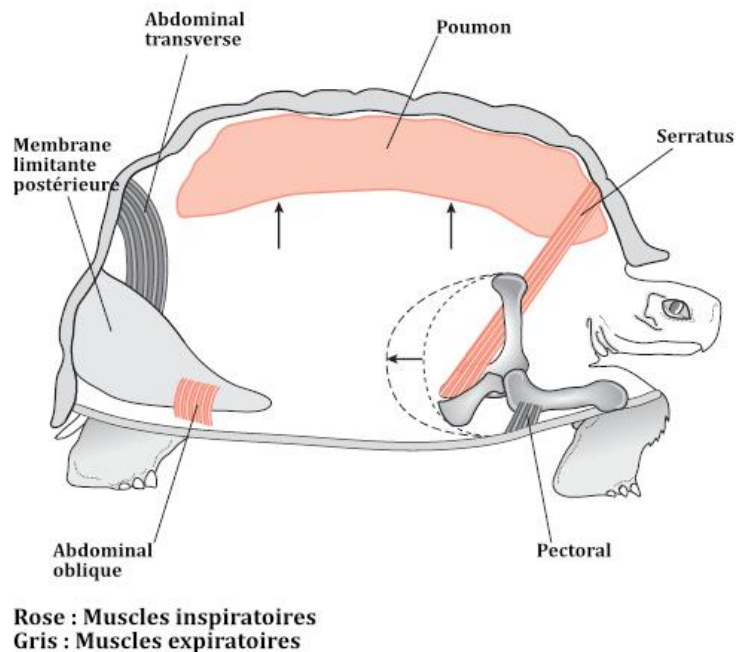


Figure 23 Poumons et muscles respiratoires chez les chéloniens (42)

*Trachemys scripta elegans* étant un animal semi-aquatique, lorsqu'elle se trouve dans l'eau, l'expiration devient passive. En effet la pression hydrostatique exercée par l'eau autour de la tortue, va permettre la compression des viscères et des poumons et ainsi l'expiration de façon passive (42, 43, 45, 46).

#### 4. Appareil digestif

##### *a. Tube digestif*

Les tortues n'ayant pas de dents, la mastication est impossible. Pour couper sa nourriture les chéloniens possèdent un bec crochu avec des bords acérés. La langue est courte et épaisse et aide uniquement au passage du bol alimentaire dans l'œsophage, tout comme les glandes salivaires qui ne sécrètent que du mucus.

L'œsophage, l'estomac et les intestins sont globalement similaires à ceux des mammifères. La distinction entre duodénum, jéjunum et iléon est cependant difficile à faire chez les chéloniens. Ces organes sont attachés de façon assez lâche par le *mesenterium proprium*, laissant les intestins relativement mobiles dans la cavité coelomique (c'est pour cette raison qu'ils font facilement pression sur les poumons lorsque les tortues sont sur le dos).

Le colon qui s'abouche dans le cæcum est plus une dilatation intestinale qu'un organe bien distinct. Il est relativement petit chez *Trachemys scripta elegans* car cette espèce est omnivore.

À la terminaison du colon se trouve le cloaque, divisé en trois segments :

- Coprodeum
- Urodeum
- Proctodeum

Le coprodeum termine le colon et collecte les fèces.

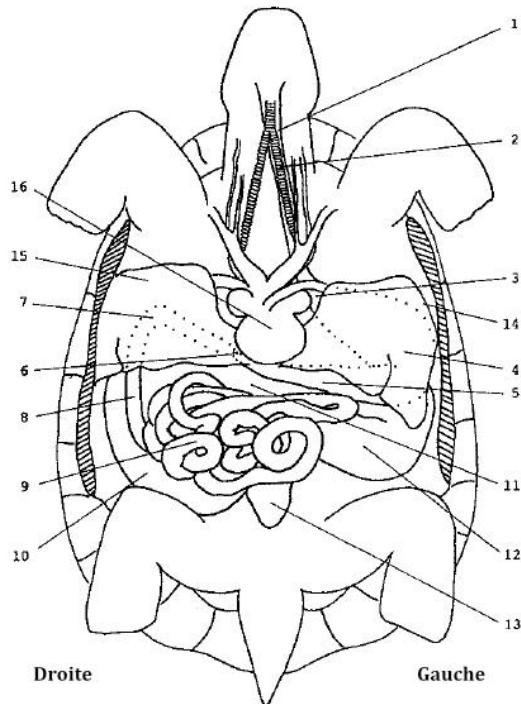
L'urodeum est la partie la plus crâniale ; c'est le lieu de l'abouchement des uretères, de la vessie et des oviductes/canaux déférents.

Le proctodeum est la partie la plus caudale du cloaque ; il collecte tous les déchets des tortues, avant leur expulsion dans le milieu extérieur (42, 43, 45, 46).

##### *b. Annexes du système digestif*

Le foie, situé ventralement aux poumons, s'étend sur toute la largeur de la cavité coelomique. Sur le plan frontal il s'étend de la base du cœur à la ceinture pelvienne. C'est un organe bilobé en forme de selle de cheval qui possède une échancrure crâniale pour laisser la place au cœur (cf. figure 24). Il est généralement de couleur lie de vin, mais sa coloration peut varier selon l'état physiologique, notamment lors de la vitellogenèse chez les femelles. Le lobe droit enveloppe la vésicule biliaire.





1. Œsophage
2. Bronche gauche
3. Cardia
4. Estomac couvert par le foie
5. Partie pylorique de l'estomac
6. Pylore
7. Courbure crâniale du duodénum
8. Duodénum descendant
9. Anse intestinale
10. Colon ascendant
11. Colon transverse
12. Colon descendant
13. Rectum
14. Lobe gauche du foie
15. Lobe droit du foie
16. Cœur

Figure 24 Appareil digestif de la tortue (46)

Le pancréas est adjacent à la partie proximale du duodénum. Il est long, fin, de couleur orange à rose pâle et est lié au duodénum par un conduit pancréatique court (42, 43, 46).

## 5. Appareil Uro-génital

### a. Système urinaire

Les reins sont localisés sous la carapace, caudalement à l'acetabulum. Contrairement aux mammifères, ils sont symétriques au plan axial. Ils sont larges, aplatis et lobulés. L'unité de base des reins est le néphron, comme pour les mammifères, cependant les chéloniens en possèdent beaucoup moins. En raison de l'absence d'anses de Henlé, les urines ne sont pas concentrées dans les reins ; elles sont aussi non stériles. Du fait de la nature semi-aquatique de la Tortue de Floride, l'urine est beaucoup plus riche en urée et en ammonium qu'en acide urique.

Les uretères sont courts et débouchent dans l'urodeum. Comme dit précédemment, l'urodeum est lié à la vessie qui lui est crâniale. Le cloaque a la capacité de réaliser des mouvements antipéristaltiques pour mouvoir l'urine dans la vessie afin de réabsorber l'eau contenue dedans.

La vessie est ventrale et peut s'étendre de façon importante. Sa paroi est très fine, et elle est finalement comparable à un gros sac. En plus de cette vessie principale, *Trachemys scripta elegans* possède deux vessies accessoires, très similaires structurellement à la vessie principale, et qui servent de réservoir d'eau ou d'air pour la tortue. Leur rôle précis n'a pas encore été déterminé (42, 43, 45, 46, 48).

### *b.Appareil reproducteur*

Chez les mâles, les testicules sont pairs et localisés crânialement aux reins (cf. figure 25). Leur taille varie selon la saison (ils sont plus gros en été, lors de la reproduction). Les canaux déférents, proportionnellement assez larges, longent les uretères et aboutissent dans l'urodeum du cloaque.

Le pénis unique est le résultat de l'épaississement de la paroi du proctodeum qui forme une gouttière séminale lors de son extériorisation.

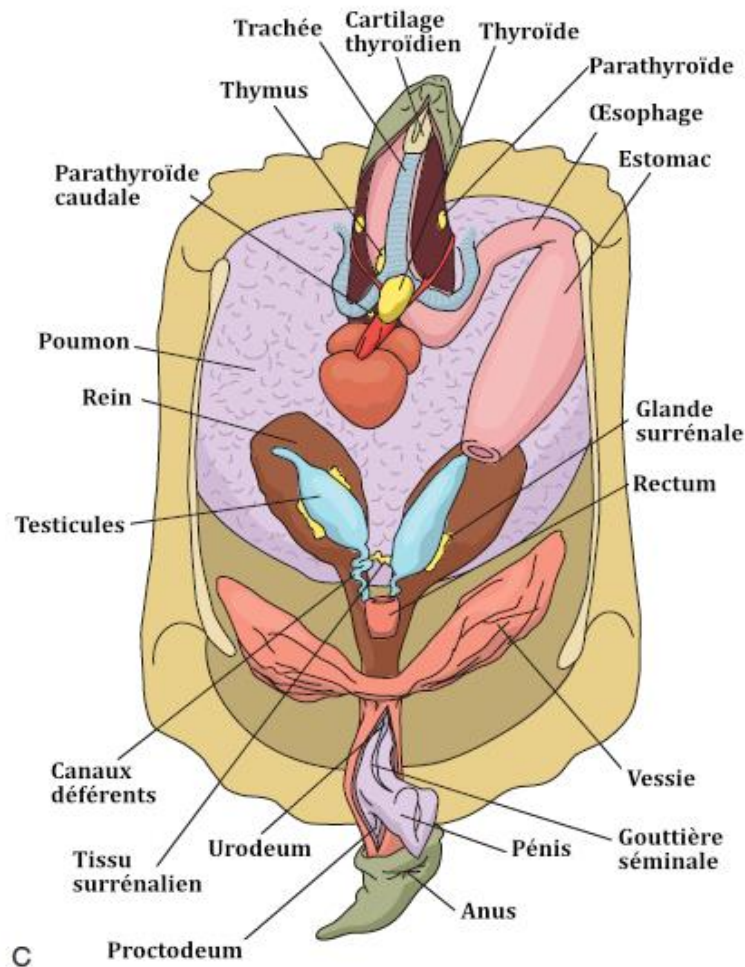


Figure 25 Appareil urogénitale mâle (43)

Les femelles sont ovipares et possèdent deux grappes ovariennes insérées au pôle crânial des reins. L'aspect des follicules est très variable selon les périodes. Ils sont similaires à de petites billes blanches lors des périodes de repos. Lorsqu'ils sont matures, les follicules font la taille d'une noix et sont remplis de vitellus, ce qui leur donne une couleur jaune-orangé. Lorsqu'ils ont cet aspect, ils peuvent envahir la partie ventrale de la cavité cœlomique.

Caudalement aux grappes ovariennes, se trouvent directement les oviductes, qui sont suspendus par le mesovarium. Ils peuvent accueillir une dizaine d'œufs lors de la fécondation. C'est dans les oviductes que se fait la calcification des œufs. Les deux oviductes se terminent dans l'urodeum du cloaque (42, 43, 45, 46).

## Partie 3 : Création de l'atlas tomодensitométrique

### I. Acquisition des images tomодensitométrique du modèle

#### 1. Examen clinique de l'animal

##### *a. Examen à distance*

Les animaux sélectionnés, un mâle et une femelle (cf. figure 26 et 27), présentaient un état de vigilance normal, ainsi qu'une nage normale dans leur bassin.



Figure 26 Tortue de Floride mâle anesthésié



Figure 27 Tortue de Floride femelle anesthésiée

Pour les deux tortues, de légers décollements superficiels d'écailles dus à la mue sont visibles à distance.

##### *b. Examen rapproché*

Lors de l'examen clinique la femelle pèse 2,285 kg, pour un score corporel de 3/5, sans signe de déshydratation associé.

La carapace de l'animal présente un décollement superficiel d'écaille de la dossière. Les écailles concernées sont les écailles vertébrales 1 et 2, et costales gauches 3 et 4. Ces décollements sont normaux et relèvent de la mue physiologique de l'animal.

Aucune anomalie n'est présente à l'ouverture de la cavité buccale. La tortue ne présente aucun signe de troubles respiratoires lors de son auscultation et la palpation des fosses préfémoreales ne révèle aucune anomalie.

Le mâle quant à lui pèse 1,320 kg, pour un score corporel de 3/5, sans signe de déshydratation associé.

Tout comme pour la femelle, il ne présente aucune anomalie clinique, à l'exception de quelques décollements superficiels d'écailles sur les écailles vertébrales 1, 3 et 4, les écailles costales droites 1 et 2, l'écaille costale gauche 2 ainsi que sur quelques écailles marginales. Les décollements sont dus à la dissolution du marquage de la tortue, mais elles ne présentent pas de signes de mycose. De plus le mâle présente une mélanose marquée de tout son corps, qui est physiologique avec le vieillissement de l'animal.

## 2. Anesthésie

Pour l'examen de scanner il est nécessaire que l'animal soit complètement immobile. Il faut donc procéder à une anesthésie générale. Pour les deux animaux, le protocole anesthésique s'est fait par une injection de propofol à 10 mg/kg, pour l'induction, au niveau du sinus veineux sous-carapacier (cf. figure 28). Aucun relais à l'isoflurane n'a été réalisé car l'action du propofol dure plusieurs heures chez *Trachemys scripta elegans*. (49).



Figure 28 Injection de propofol dans le sinus sous-carapacier

Un cathéter a également été posé à la veine jugulaire droite de la femelle, après son anesthésie. Pour cela un scrub à base de bétadine a été réalisé sur le cou de l'animal, puis une incision de 2 cm de la peau a été faite (cf. figure 29). Le cathéter a été posé à la veine jugulaire droite, la gauche étant vestigiale chez les tortues, puis fixé avec un scotch autour du cou de l'animal.

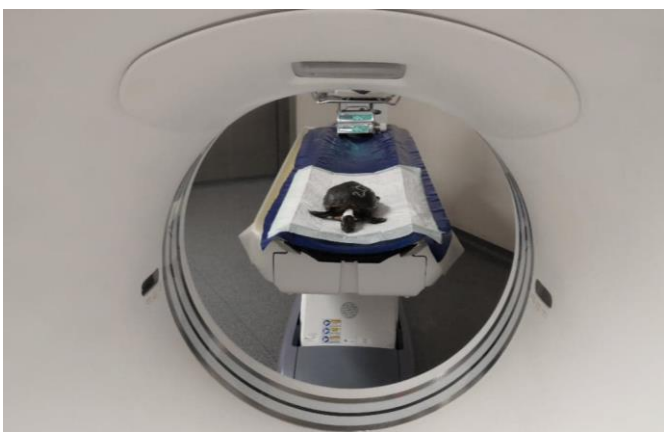


*Figure 29 Pose d'un cathéter dans la veine jugulaire*

### 3. Scanner

La machine utilisée est celle de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse (ENVT) au sein du service d'imagerie médicale. Il s'agit d'un scanner Brightspeed (General Electric®), 16 coupes.

Pour les premières images la tortue est placée en décubitus sternal, puis lors de l'acquisition de l'image les opérateurs se placent derrière une vitre plombée, pour la radioprotection (cf. figures 30 et 31).



*Figure 30 Tortue en décubitus sternal dans le scanner*



*Figure 31 Acquisition derrière la vitre plombée*

Plusieurs acquisitions ont été réalisées chez la femelle pour avoir une fenêtre osseuse, une fenêtre pulmonaire et une fenêtre tissus mous. Pour le mâle une seule acquisition pour une fenêtre tissus mous a été réalisée.

Dans un deuxième temps un produit de contraste a été injecté dans les deux tortues. Comme le cathéter de la femelle n'est pas resté en place, les deux tortues ont reçu 2 mL/kg de produit (Omnipaque 300 mg I/mL) au niveau du sinus sous-carapacier (50).

Plusieurs acquisitions ont été réalisées après l'injection pour obtenir le meilleur contraste possible. Les images retenues sont celles obtenues à 40 minutes et 3 heures post-injections respectivement pour la femelle et le mâle.

#### 4. Reconstitution d'image

Une fois l'acquisition effectuée, le traitement informatique propose la visualisation des images via plusieurs modes, dont le mode MPR (multiplanar reconstruction). C'est le mode choisi pour réaliser les images, puisqu'il permet d'obtenir des images sur les plans frontal, sagittal et transversal.

## II. Réalisation et mise en ligne de l'atlas

### 1. Mise en forme des images

La totalité des images obtenues ont été visualisées à l'aide du logiciel RadiAnt.

La première étape a été de visualiser les différentes structures anatomiques identifiables selon les différentes fenêtres d'acquisition. Il a ensuite fallu choisir les coupes les plus pertinentes pour pouvoir les mettre en page et les légender à l'aide du logiciel Affinity Designer.

### 2. Mise en place des légendes

Les structures anatomiques identifiables ont été légendées suivant les trois fenêtres : tissus osseux, tissus pulmonaires et tissus mous.

Les images obtenues pour les fenêtres tissus pulmonaires et osseux sont de bonnes qualités, avec des éléments détaillés, puisque la densité des os, et l'absence de densité de l'air permettent un bon contraste entre les différents éléments étudiés. Les structures visualisées avec la fenêtre tissus mous sont par contre difficiles à discriminer, même avec le produit de contraste. Les images montrent un contraste assez faible entre les organes, du fait de leur densité similaire. Quelques coupes sont utilisables, mais pour plus de détail une IRM serait une meilleure méthode d'imagerie.

### 3. Atlas en ligne

Il a pour but de laisser à disposition des images tomодensitométriques légendées physiologiques de la Tortue de Floride.

Les images sélectionnées pour la structure osseuse sont au nombre de 16, pour la structure pulmonaire 8 images ont été choisies et 14 images ont été retenues pour les tissus abdominaux (5 avec et 9 sans produit de contraste).

Toutes les images sont disponibles gratuitement sur la page internet suivante : <http://www.anatimagerie-envt.fr/atlas/>

#### 4. Exemples d'images mises en ligne

##### a. Exemples en fenêtre tissu osseux

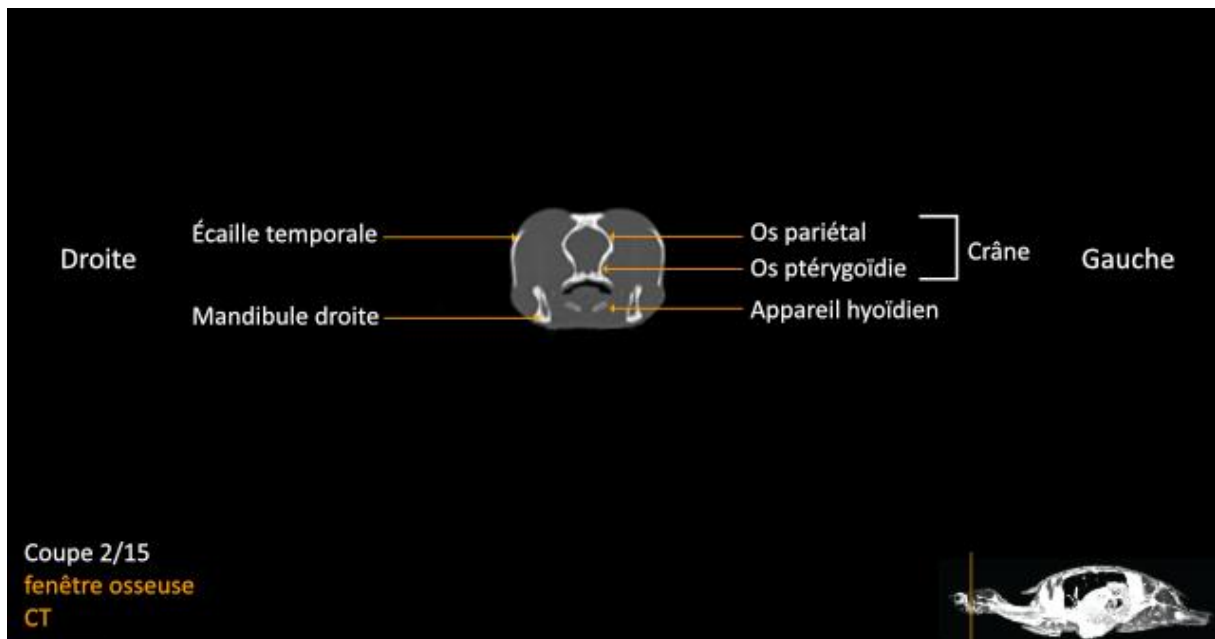


Figure 32 Planche 2/15, fenêtre tissu osseux

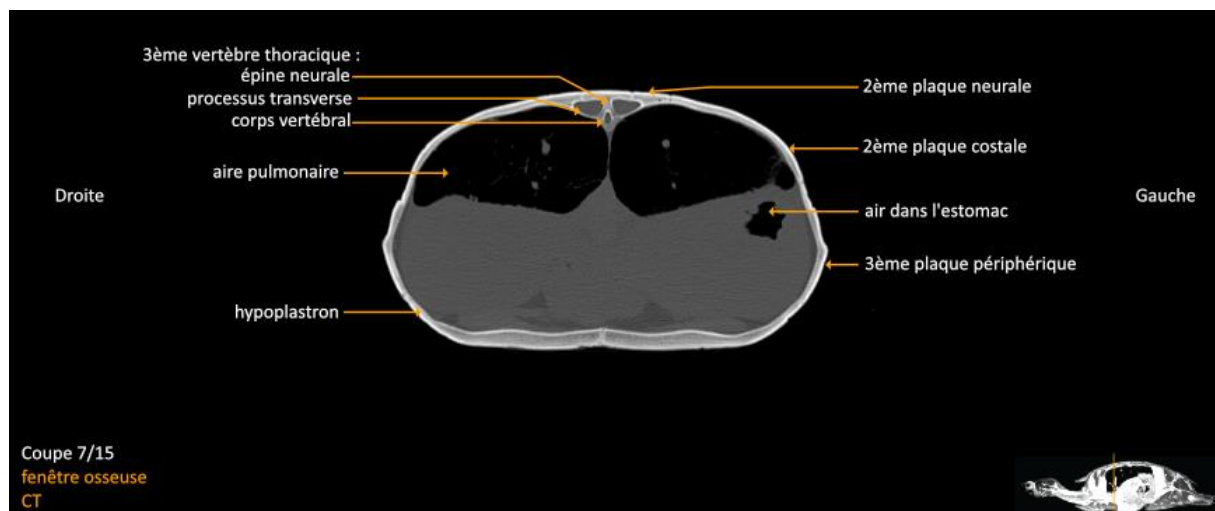


Figure 33 Planche 7/15, fenêtre tissu osseux

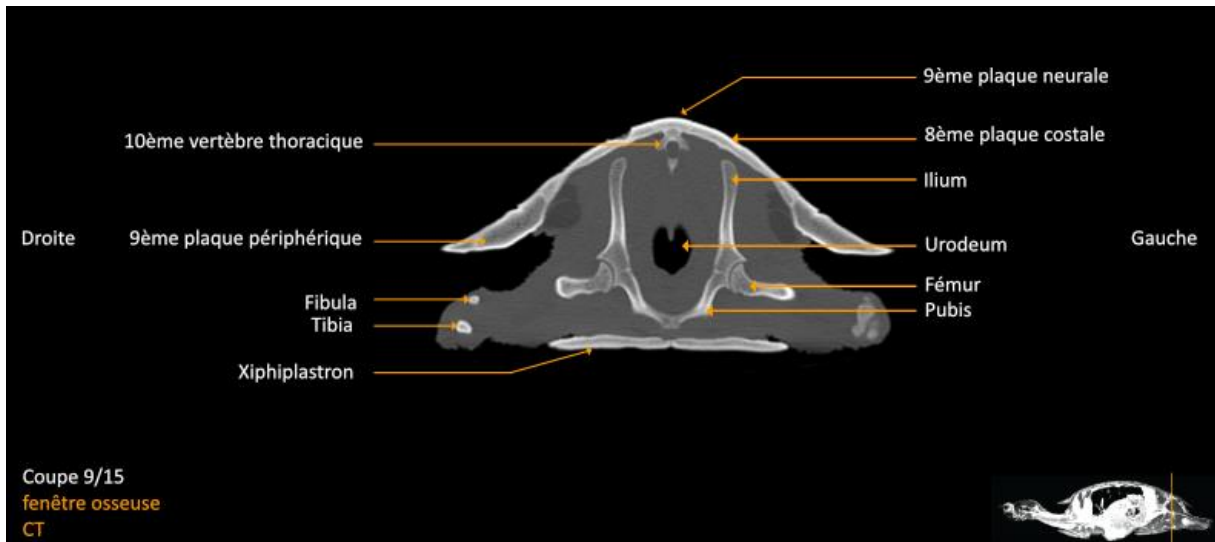


Figure 34 Planche 9/15, fenêtre tissus osseux

*b.Exemples en fenêtre pulmonaire*

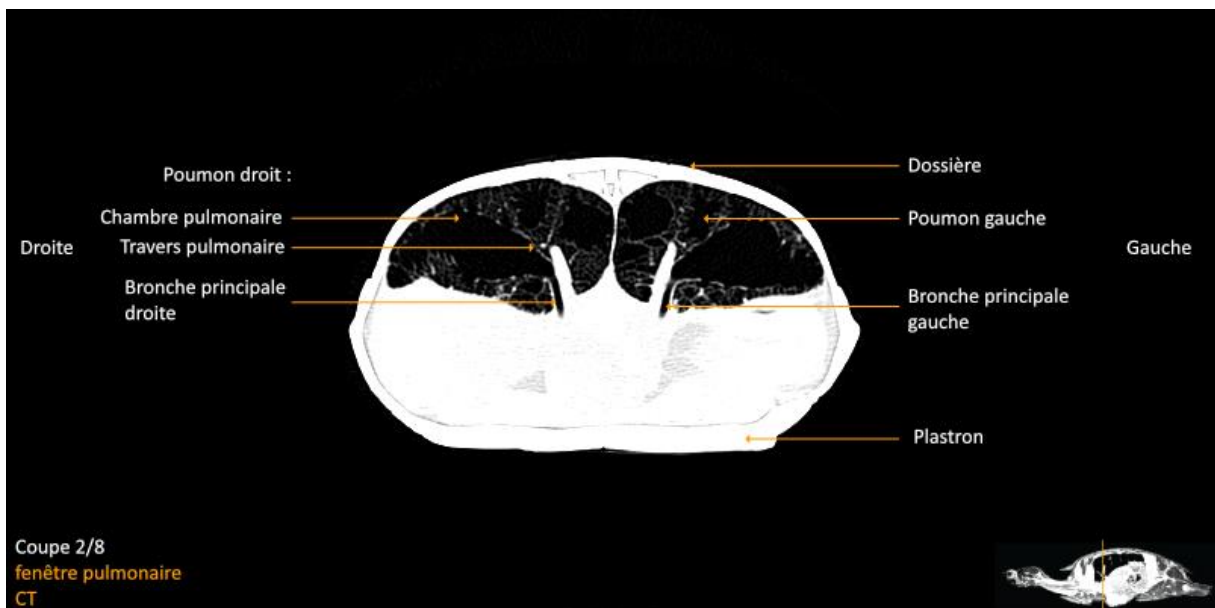


Figure 35 Planche 2/8, fenêtre pulmonaire



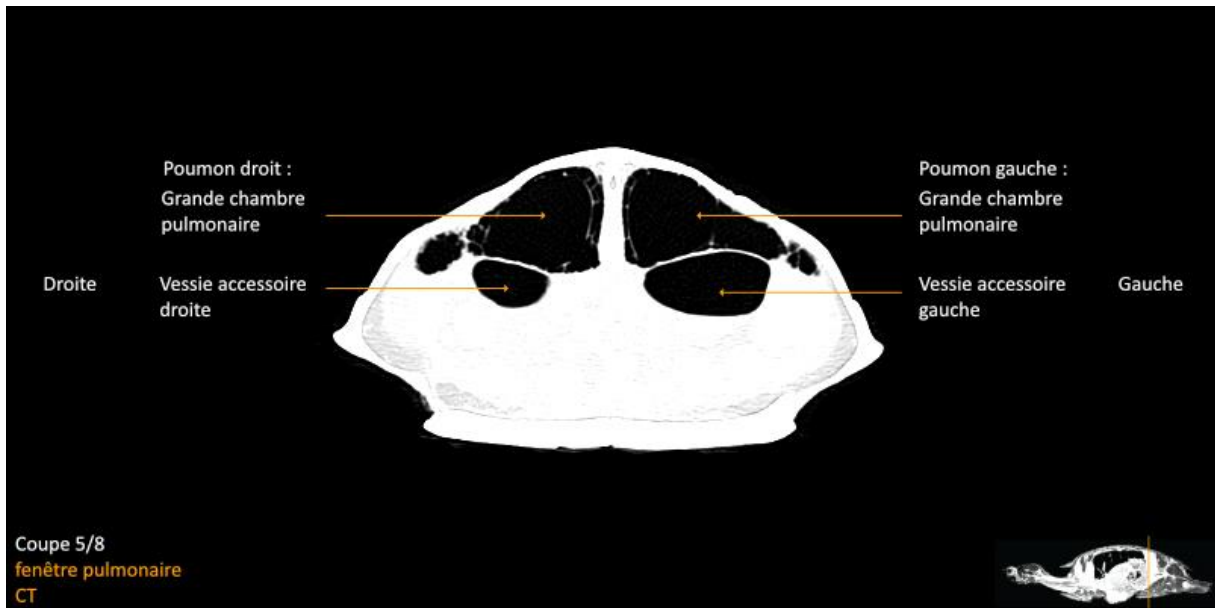


Figure 36 Planche 5/8, fenêtre pulmonaire

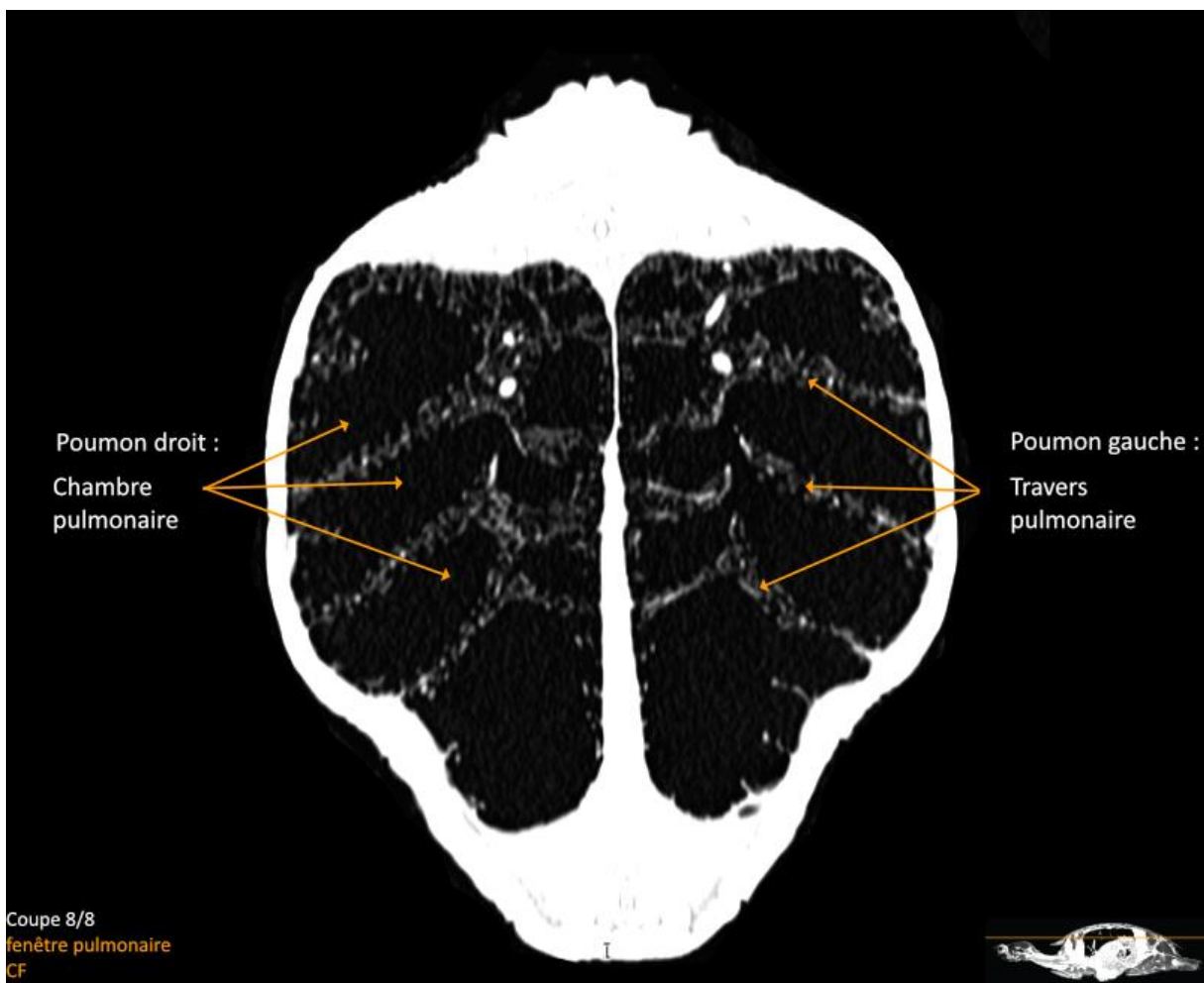
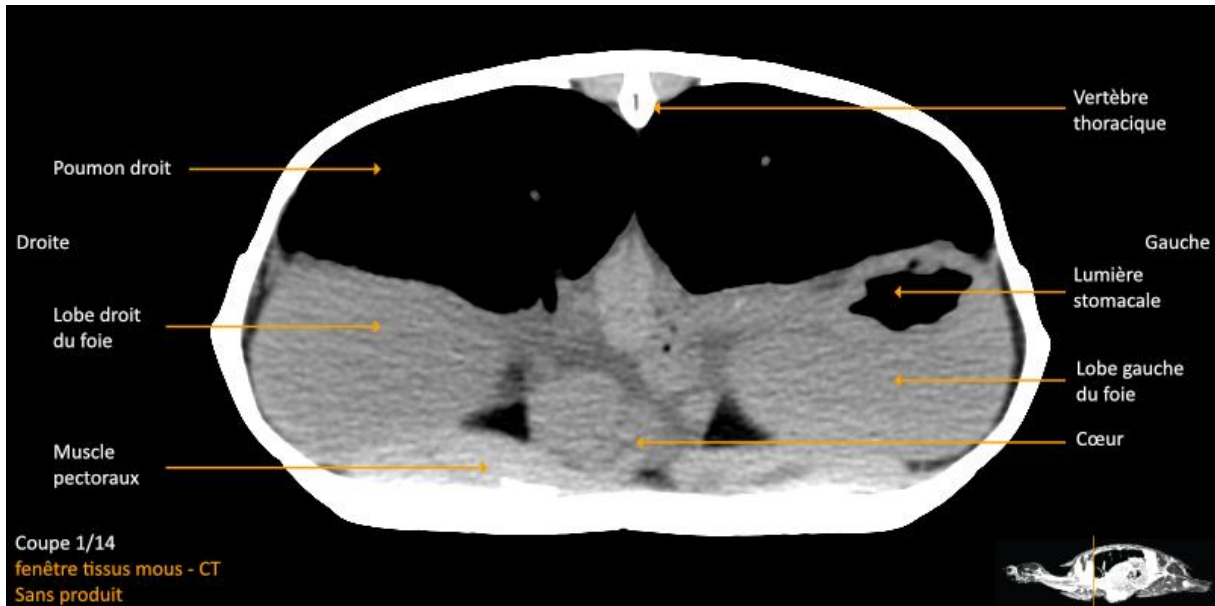
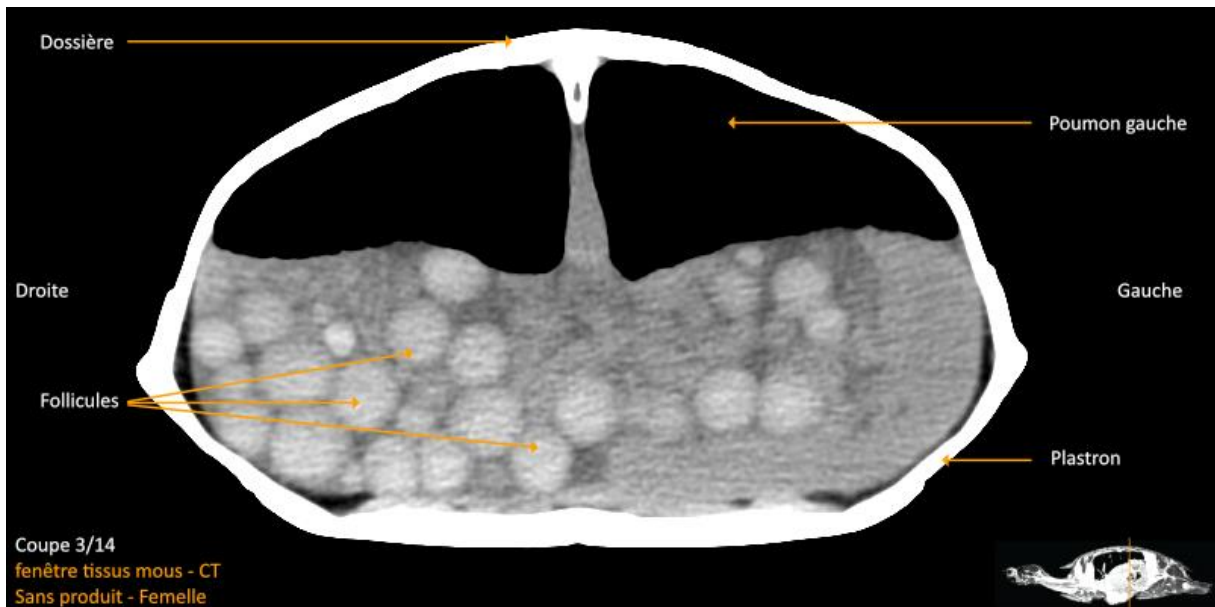


Figure 37 Planche 8/8, fenêtre pulmonaire

*c. Exemples en fenêtre tissus mous*



*Figure 38 Planche 1/14, fenêtre tissus mous (sans produit de contraste)*



*Figure 39 Planche 3/14, fenêtre tissus mous (sans produit de contraste)*

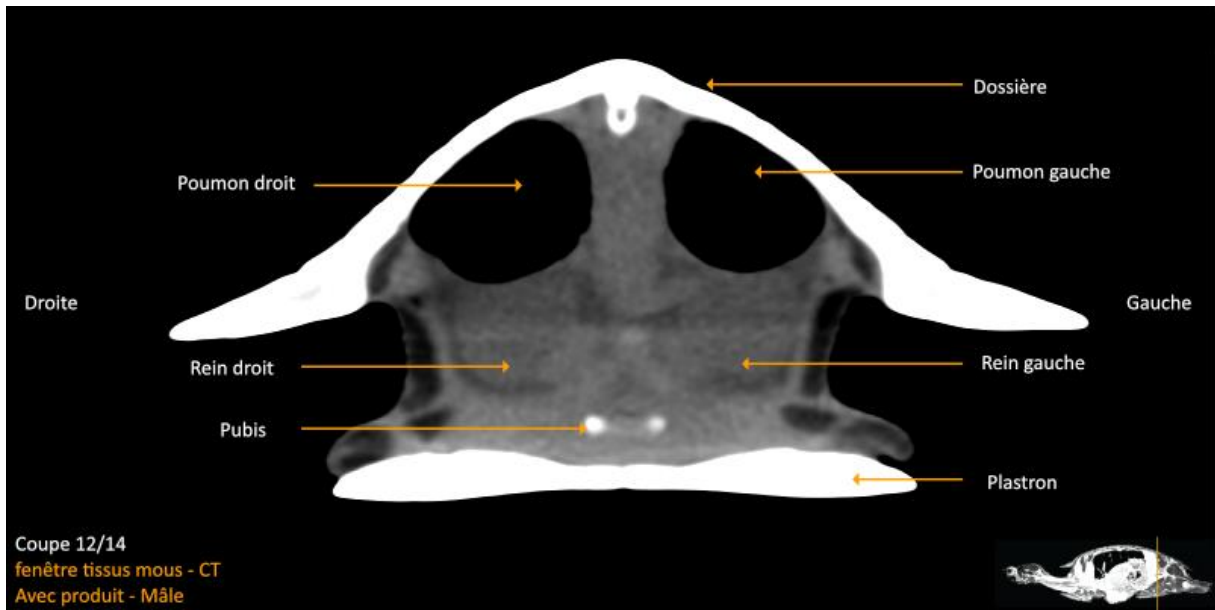


Figure 40 Planche 12/14, fenêtre tissus mous (avec produit de contraste)

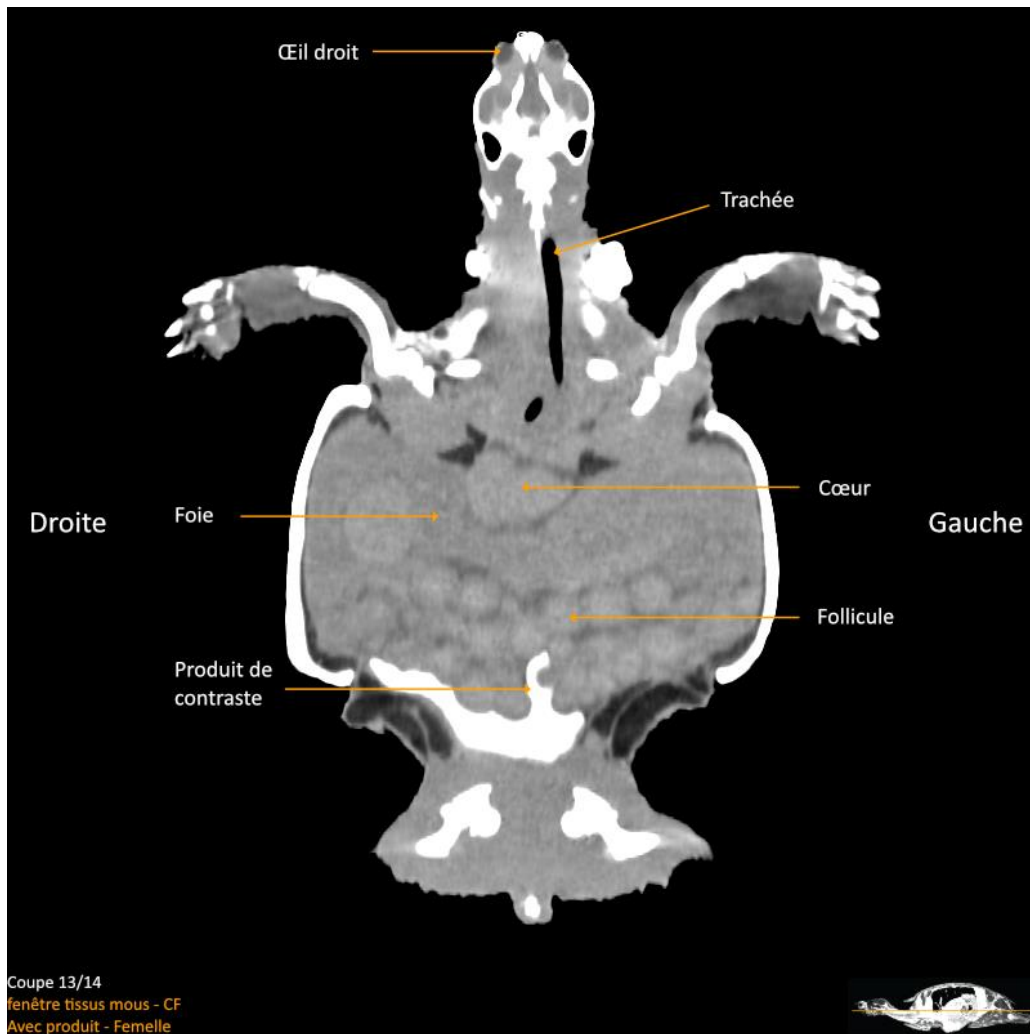


Figure 41 Planche 13/14, fenêtre tissus mous (avec produit de contraste)

## Conclusion

La Tortue de Floride (*Trachemys scripta elegans*), considérée comme une espèce exotique envahissante sur le territoire français, est un animal que l'on retrouve dans de nombreux établissements spécialisés dans la captivité des animaux sauvages. Il reste donc important de pourvoir la soigner, notamment pour les vétérinaires pratiquant en médecine zoologique et en médecine des nouveaux animaux de compagnie. Cela passe notamment à travers une meilleure connaissance de leur anatomie, qui reste encore à approfondir chez les tortues semi-aquatiques.

La tomodensitométrie est une technologie qui continue d'évoluer, en permettant des acquisitions plus simples et plus rapides. Les images sans superpositions ont aujourd'hui une excellente résolution. La pratique de cet examen représente toujours un coût, mais sa démocratisation de plus en plus grande dans la médecine vétérinaire permet à plus de structures d'y accéder et ainsi de compléter les informations obtenues grâce à la radiographie et l'échographie.

La création de cet atlas est là pour permettre aux praticien·ne·s de se familiariser avec l'anatomie de la Tortue de Floride et la lecture d'image de scanner de tortues semi-aquatiques. Il a également pour but de mettre à disposition gratuitement des images normales pouvant servir de point de comparaison lors de démarche diagnostique. Rappelons qu'il ne se substitue en aucun cas à l'expertise d'un spécialiste en imagerie médicale.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

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

Je soussigné, Guillaume LE LOC'H, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **COLSON Fany** intitulée « **Mise en ligne d'un atlas tomодensitométrique d'images normales de la Tortue de Floride (*Trachemys scripta elegans*)** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 30/11/2020  
Enseignant-chercheur de l'Ecole Nationale  
Vétérinaire de Toulouse  
Docteur Guillaume LE LOC'H

Vu :  
La Présidente du jury  
Professeure Isabelle Berry

Faculté de Médecine Rangueil  
Biophysique Médicale - CHU Rangueil  
1, avenue Jean Poulhes - TSA 50032  
31058 TOULOUSE Cedex

Vu :  
Le Directeur de l'Ecole Nationale  
Vétérinaire de Toulouse  
M. Pierre SANS

Vu et autorisation de l'impression :  
Le Président de l'Université Paul Sabatier  
M. Jean-Marc BROTO

Le Président de l'Université Paul Sabatier,  
par délégation  
par la Vice-Présidente de la CRU  
Fabienne BARRY



Mme COLSON Fany  
a été admis(e) sur concours en : 2012  
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le: 22/11/2019  
a validé son année d'approfondissement le: 24/11/2020  
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

## Bibliographie

1. ZENG, Gengsheng Lawrence. *Medical Image Reconstruction*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2010. ISBN 978-3-642-05367-2.
2. MAXWELL, James Clerk. VIII. A dynamical theory of the electromagnetic field. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 1 janvier 1865. Vol. 155, pp. 459-512.
3. AVENDAÑO CERVANTES, Guillermo. *Technical fundamentals of radiology and CT*. Bristol : IOP Publishing, 2016. IOP expanding physics. ISBN 978-0-7503-1212-7.
4. LING, Samuel J. 16.3: Plane Electromagnetic Waves. *Physics LibreTexts* [en ligne]. 1 novembre 2016. [Consulté le 23 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University\\_Physics/Book%3A\\_University\\_Physics\\_\(OpenStax\)/Map%3A\\_University\\_Physics\\_II\\_-\\_Thermodynamics\\_Electricity\\_and\\_Magnetism\\_\(OpenStax\)/16%3A\\_Electromagnetic\\_Waves/16.03%3A\\_Plane\\_Electromagnetic\\_Waves](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Book%3A_University_Physics_(OpenStax)/Map%3A_University_Physics_II_-_Thermodynamics_Electricity_and_Magnetism_(OpenStax)/16%3A_Electromagnetic_Waves/16.03%3A_Plane_Electromagnetic_Waves)
5. ALS-NIELSEN, Jens et MCMORROW, Des. *Elements of Modern X-ray Physics*. Second Edition. John Wiley & Sons, 2011. ISBN 978-1-119-97015-6.
6. SURYANARAYANA, C. et NORTON, M. Grant. X-Rays and Diffraction : A Practical Approach. In : SURYANARAYANA, C. et NORTON, M. Grant (éd.), *X-Ray Diffraction: A Practical Approach*. Boston, MA : Springer US, 1998. pp. 3-19. ISBN 978-1-4899-0148-4.
7. OMS. Radiation: Ionizing radiation. [en ligne]. [Consulté le 24 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/radiation-ionizing-radiation>
8. SIMAND, Catherine. La radiographie II. Qu'est-ce qu'un rayon X ? Comment en produire ? Quel mécanisme permet d'obtenir une radiographie ? — CultureSciences-Physique - Ressources scientifiques pour l'enseignement des sciences physiques. [en ligne]. [Consulté le 25 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/imagerie-medicale-radiographie-principe.xml>
9. BUSHBERG, Jerrold T. *The essential physics of medical imaging*. Third Edition. Philadelphia, USA : LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS, 2012. ISBN 978-0-7817-8057-5.
10. JACKSON, Daphne F. et HAWKES, D. J. X-ray attenuation coefficients of elements and mixtures. *Physics Reports*. 1 avril 1981. Vol. 70, n° 3, pp. 169-233.
11. TAYLOR, John, ZAFIRATOS, Chris et DUBSON, Michael A. *Modern Physics for Scientists and Engineers*. Second Edition. Upper Saddle River, NJ : Addison-Wesley, 2003. ISBN 978-0-13-805715-2.
12. GOLDMAN, L. W. Principles of CT: Multislice CT. *Journal of Nuclear Medicine Technology*. 15 mai 2008. Vol. 36, n° 2, pp. 57-68.

13. HATHCOCK, John T. et STICKLE, Russ L. Principles and Concepts of Computed Tomography. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. mars 1993. Vol. 23, n° 2, pp. 399-415.
14. COLE, Robert et HESPEL, Adrien-Maxence. Principles of Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging. In : HOLLAND, Merrilee et HUDSON, Judith (éd.), *Feline Diagnostic Imaging*. Wiley, 2020. pp. 13-26. ISBN 978-1-118-84094-8.
15. D'ANJOU, Marc-Andrée. Principles of Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging. *Veterian Key* [en ligne]. 27 mai 2016. [Consulté le 21 décembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://veteriankey.com/principles-of-computed-tomography-and-magnetic-resonance-imaging/>
16. SEIDEL, Michael E. Taxonomic Observations on Extant Species and Subspecies of Slider Turtles, Genus *Trachemys*. *Journal of Herpetology*. 2020. Vol. 36, n° 2, pp. 285-292.
17. CADI, A. et JOLY, P. Impact of the introduction of the red-eared slider (*Trachemys scripta elegans*) on survival rates of the European pond turtle (*Emys orbicularis*). *Biodiversity and Conservation*. décembre 2004. Vol. 13, n° 13, pp. 2511-2518.
18. PEARSON, Steven H., AVERY, Harold W. et SPOTILA, James R. Juvenile invasive red-eared slider turtles negatively impact the growth of native turtles: Implications for global freshwater turtle populations. *Biological Conservation*. juin 2015. Vol. 186, pp. 115-121.
19. ARVY C. and SERVAN J. Imminent competition between *Trachemys scripta* and *Emys orbicularis* in France. *Proceedings of The Emys Symposium*, 1998. Dresden 96. Mertensiella, pp. 33-40.
20. CADI, Antoine, DELMAS, Virginie, PRÉVOT-JULLIARD, Anne-Caroline, JOLY, Pierre, PIEAU, Claude et GIRONDOT, Marc. Successful reproduction of the introduced slider turtle (*Trachemys scripta elegans*) in the South of France. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. mai 2004. Vol. 14, n° 3, pp. 237-246.
21. POLO-CAVIA, Nuria, LÓPEZ, Pilar et MARTÍN, José. Aggressive interactions during feeding between native and invasive freshwater turtles. *Biological Invasions*. juin 2011. Vol. 13, n° 6, pp. 1387-1396.
22. GIRONDOT, Marc, ARCHINARD, Chloé, PRÉVOT-JULLIARD, Anne-Caroline, CADI, Antoine et GOUSSET, Emeline. Pets and invasion risks: is the Slider turtle strictly carnivorous? *Amphibia-Reptilia*. 2007. Vol. 28, n° 1, pp. 139-143.
26. BUHLMANN, Kurt, TUBERVILLE, Tracey et GIBBONS, J. *Turtles of the Southeast*. London : University of Georgia Press, 2008. ISBN 978-0-8203-2902-4.
27. BEANE, Jeffrey C. (éd.). *Amphibians & reptiles of the Carolinas and Virginia*. Second Edition. Chapel Hill : University of North Carolina Press, 2010. ISBN 978-0-8078-3374-2. QL653.N8 A4 2010
28. DERRAIK, José G. B. et PHILLIPS, Simon. Online trade poses a threat to biosecurity in New Zealand. *Biological Invasions*. juin 2010. Vol. 12, n° 6, pp. 1477-1480.

29. RHODIN, Anders, IVERSON, John et BOUR, Roger. *Turtles of the World : Annotated Checklist and Atlas of Taxonomy, Synonymy, Distribution, and Conservation Status*. Heigth Edition. Chelonian Research Foundation and Turtle Conservancy, 2017. Chelonian Research Monographs, 7. ISBN 978-1-5323-5026-9.
30. CARR, John L. Terrestrial Foraging by Two Species of Semiaquatic Turtles (Testudines: Emydidae). *Southeastern Naturalist*. décembre 2008. Vol. 7, n° 4, pp. 748-752.
31. ARESCO, Matthew J. Reproductive Ecology of *Pseudemys floridana* and *Trachemys scripta* (Testudines: Emydidae) in Northwestern Florida. *Journal of Herpetology*. juin 2004. Vol. 38, n° 2, pp. 249-256.
32. STONE, Paul A. et BABB, Marie E. A Test oh annual Growth line hypothesis in *Trachemys scripta Elegans*. *Herpetologica*. décembre 2005. Vol. 61, n° 4, pp. 409-414.
33. TUCKER, John K. et PAUKSTIS, Gary L. Annual and Local Variation in Reproduction in the Red-Eared Slider, *Trachemys scripta elegans*. *Journal of Herpetology*. décembre 1998. Vol. 32, n° 4, pp. 515.
34. ROSE, Francis L. Annual Frequency of Clutches of *Pseudemys texana* and *Trachemys scripta* at the Headwaters of the San Marcos River in Texas. *The Southwestern Naturalist*. mars 2011. Vol. 56, n° 1, pp. 61-65.
35. THOMAS, R. Brent et ALTIG, Ronald. Characteristics of the Foreclaw Display Behaviors of Female *Trachemys scripta* (Slider Turtles). *Southeastern Naturalist*. juin 2006. Vol. 5, n° 2, pp. 227-234.
36. FILORAMO, Nirvana I. et JANZEN, Fredric J. Effects of Hydric Conditions during Incubation on Overwintering Hatchlings of the Red-Eared Slider Turtle (*Trachemys scripta elegans*). *Journal of Herpetology*. mars 1999. Vol. 33, n° 1, pp. 29.
37. MARLEN, Michael D. et FISCHER, Robert U. Parental Investment in the Red-Eared Slider Turtle, *Trachemys scripta elegans*. *Journal of Herpetology*. juin 1999. Vol. 33, n° 2, pp. 306.
38. EWERT, Michael A. et JACKSON, Dale R. Patterns of temperature-dependent sex determination in turtles. *Journal of Experimental Zoology*. 15 septembre 1994. Vol. 270, n° 1, pp. 3-15.
39. PEREZ-SANTIGOSA, Natividad et DÍAZ-PANIAGUA, Carmen. The reproductive ecology of exotic *Trachemys scripta elegans* in an invaded area of southern Europe. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. novembre 2008. Vol. 18, n° 7, pp. 1302-1310.
40. CASTANET, J. Age Estimation and Longevity in Reptiles. *Gerontology*. 1994. Vol. 40, n° 2-4, pp. 174-192.
41. THOMAS, R. Brent. Conditional Mating Strategy in a Long-Lived Vertebrate: Ontogenetic Shifts in the Mating Tactics of Male Slider Turtles (*Trachemys scripta*). MONTGOMERY, W. L. (éd.), *Copeia*. mai 2002. Vol. 2002, n° 2, pp. 456-461.



42. O'MALLEY, Bairbre. *Clinical anatomy and physiology of exotic species: structure and function of mammals, birds, reptiles and amphibians*. Edinburgh : Elsevier Saunders, 2005. ISBN 978-0-7020-2782-6.
43. DIVERS, Stephen J. et STAHL, Scott J. *Mader's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery*. Third Edition. Saint Louis, USA : Elsevier, 2019. ISBN 978-0-323-48253-0.
44. JACOBSON, Elliott R. *Infectious Diseases and Pathology of Reptiles*. Gainesville, USA : Taylor & Francis, 2007.
45. GIRLING, Simon et RAITI, Paul. *BSAVA manual of reptiles*. Third Edition. Simon J. Girling & Paul Raiti, 2019. British Small Animal Veterinary Association. ISBN 978-1-905319-79-4.
46. MACARTHUR, Stuart, WILKINSON, Roger et MEYER, Jean. *Medicine and surgery of tortoises and turtles*. Oxford : Blackwell Publishing, 2004. ISBN 978-1-4051-0889-8.
47. BARKER, Ian K. et DOBSON, Howard. The Anatomy and Perfusion of the Renal Portal System in the Red-Eared Slider (*Trachemys scripta elegans*). *American Association of Zoo Veterinarians*. décembre 1997. Vol. 28, n° 4, pp. 378-385.
48. DI GIROLAMO, Nicola et SELLERI, Paolo. Clinical Applications of Cystoscopy in Chelonians. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*. septembre 2015. Vol. 18, n° 3, pp. 507-526.
49. VIGANI, Alessio. Chelonia (Tortoises, Turtles, and Terrapins). In : *Zoo Animal and Wildlife Immobilization and Anesthesia*. John Wiley & Sons, Ltd, 2014. pp. 365-387. ISBN 978-1-118-79291-9.
50. SOCHORCOVA, V., PROKS, P. et CERMAKOVA, E. Contrast-enhanced computed tomography of the liver, gall bladder and urogenital tract in female red-eared terrapins (*Trachemys scripta elegans*). *Veterinární Medicína*. 4 décembre 2017. Vol. 62, n° No. 12, pp. 674-680.

Toulouse, 2021

NOM : COLSON

PRÉNOM : Fany

TITRE : MISE EN LIGNE D'UN ATLAS TOMODENSITOMETRIQUE D'IMAGES NORMALES DE LA TORTUE DE FLORIDE (*Trachemys scripta elegans*)

RÉSUMÉ : La pratique du scanner se démocratise chaque jour un peu plus au sein la médecine vétérinaire, notamment pour les animaux de compagnie. Cependant son utilisation reste encore récente et il existe encore un manque de connaissances autour des principes physiques, et l'interprétation des images est toujours complexe pour une partie des vétérinaires. Cette thèse ne se concentre que sur la Tortue de Floride, qui est fréquemment rencontrée dans des parcs zoologiques et autres structures spécialisées. Elle fait cependant partie d'un ensemble de thèses qui ont pour but de mettre à disposition des images de scanner en ligne, que ce soit pour les animaux de compagnie ou pour la faune sauvage. L'intérêt de cet atlas est de proposer des images légendées d'un animal sain, obtenues à la fois avec une fenêtre osseuse, une fenêtre pulmonaire et une fenêtre tissu mou (avec et sans produit de contraste). Cet outil est mis en ligne pour permettre à tout·e·s professionnel·le·s et étudiant·e·s de se l'approprier.

MOTS-CLÉS : TORTUE DE FLORIDE, TRACHEMYS SCRIPTA, SCANNER, TOMODENSITOMÉTRIE, ATLAS

---

TITLE: ON-LINE PUBLICATION OF CT-SCAN ATLAS ON HEALTHY RED-EARED SLIDER (*Trachemys scripta elegans*)

ABSTRACT: CT-scan practice is commonly used in veterinary medicine, especially with pets. However, it's still a recent method to use, and there's still a lack in the knowledge of its physics' principles, and the image's reading is still complex for a part of practitioners. This study only focuses on Red eared Slider, which is often seen in zoos, and other dedicated structures. The study is one part of a set of others which aim to publish on-line CT-scan's images, either for pets and wildlife animals. The goal of this atlas is to provide different captioned images obtained with a bone, lung and soft-tissus windows (with and without contrast product). This tool is on-line to any practitioners or students who is interested in.

KEY WORDS: RED-EARED SLIDER, TRACHEMYS SCRIPTA, CT-SCAN, TOMOGRAPHY, ATLAS