



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 : 16484

To cite this version :

Calandra, Marion. *Mise au point d'un atlas en ligne d'images tomodensitométriques normales du furet (Mustela putorius furo)*.
Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale
Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2016, 72 p.

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

MISE AU POINT D'UN ATLAS EN LIGNE D'IMAGES TOMODENSITOMETRIQUES NORMALES DU FURET (*Mustela putorius furo*)

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VÉTÉRAIRE

DIPLOME D'ÉTAT

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

par

CALANDRA Marion
Née, le 9 février 1990 à Annecy (74)

Directeur de thèse : M. Fabrice CONCHOU

JURY

PRESIDENT :
Mme Isabelle BERRY

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESSEURS :
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

Répartition des Enseignants-Chercheurs par Département.

Mise à jour : 06/09/2016

DIRECTRICE : ISABELLE CHMITELIN

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

REMERCIEMENTS

A ma présidente de thèse,

Madame le Professeur Isabelle BERRY

Professeur des Universités
Université de Paul-Sabatier de Toulouse
Praticien hospitalier
Biophysique
Qui nous a fait l'honneur de présider notre jury de thèse

Hommage respectueux.

A mon jury de thèse,

Monsieur le Docteur Fabrice CONCHOU

Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Anatomie-Imagerie médicale
Qui a accepté de m'encadrer dans la réalisation de cette thèse alliant l'imagerie et la médecine des Nouveaux Animaux de Compagnie.

Remerciements chaleureux.

Monsieur le Docteur Giovanni MOGICATO

Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Anatomie-Imagerie médicale
Qui m'a encadré au cours de la réalisation de cet atlas en ligne et qui a accepté de participer à mon jury de thèse,

Sincères remerciements.

TABLE DES MATIERES	5
---------------------------------	----------

TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	7
-------------------------------------	----------

TABLE DES MATIERES

1^{ère} PARTIE : PRINCIPE PHYSIQUE DE LA TOMODENSITOMETRIE ET REALISATION PRATIQUE D'UN EXAMEN SCANNER.....	8
--	----------

I/ PRINCIPES DE BASE DE LA TOMODENSITOMETRIE.....	9
--	----------

II/ FONCTIONNEMENT DU SCANNER.....	13
---	-----------

A) L'appareil et ses réglages.....	13
---	-----------

B) Les éléments de la chaîne scanographique.....	14
---	-----------

C) Déroulement d'un examen tomodensitométrique.....	15
--	-----------

2^{ème} PARTIE : LE MODELE BIOLOGIQUE.....	19
---	-----------

I/ LE FURET DANS LA CLASSIFICATION.....	20
--	-----------

II/ LA BIOLOGIE DU FURET.....	21
--------------------------------------	-----------

III/ PARTICULARITES DE L'ANATOMIE DU FURET.....	22
--	-----------

A) Le système tête.....	23
--------------------------------	-----------

B) Le système thorax.....	31
----------------------------------	-----------

C) Le système abdominal.....	38
-------------------------------------	-----------

3^{ème} PARTIE : REALISATION DE L'ATLAS TOMODENSITOMETRIQUE EN LIGNE	52
I/ LE PROJET	53
II/ SA REALISATION, LE SITE INTERNET	53
III/ PRESENTATION D'IMAGES MISES EN LIGNE	56
A) Filtre « Tissu Osseux »	56
B) Filtre « Tissu Pulmonaire »	58
C) Filtre « Tissus Mous »	58
IV/ INTERETS ET LIMITES	61
A) Un atlas à la disposition de tous	61
B) L'examen scanner, un examen de choix en médecine des NAC	61
C) Comment affiner la lecture des clichés tomodensitométriques ?	62
CONCLUSION	64
BIBLIOGRAPHIE	66
ANNEXES	68
<u>1</u> : Molécules utilisées pour l'anesthésie du furet	68
<u>2</u> : Vue anatomique d'ensemble des viscères thoraciques et abdominaux	71
<u>3</u> : Lien internet vers l'atlas	72
RESUME	75

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Schémas explicatifs

Figure 1: Mouvement source – détecteur autour du patient	10
Figure 2: Echelle de Hounsfield.....	11
Figure 3 : Notion de fenêtre et de niveau, d'après Hounsfield.....	12

Photographies

Figure 4 : Scanner Brightspeed service d’Imagerie Médicale de l’ENVT.....	18
Figure 13 : Réalisation du scanner à l’origine des images de l’atlas	54

Schémas anatomiques

Figure 5 : Le squelette du furet.....	22
Figures 6.1 et 6.2 : Le squelette de la tête	23
Figure 7 : Les glandes salivaires.....	29
Figure 8 : Bloc cœur-poumon chez le furet.....	35
Figure 9 : Les poumons dans la cavité thoracique chez le furet.....	36
Figure 10 : Vue latérale gauche. Topographie du tractus digestif.....	41
Figure 11: Vue ventrale. Glandes annexes du tube digestif. A : Organes in situ. B : Foie récliné et pancréas retiré.....	44
Figure 12 : Cavité abdominale, vue ventrale : vascularisation des reins et des glandes surrénales.....	48

Images tomodensitométriques de l’atlas

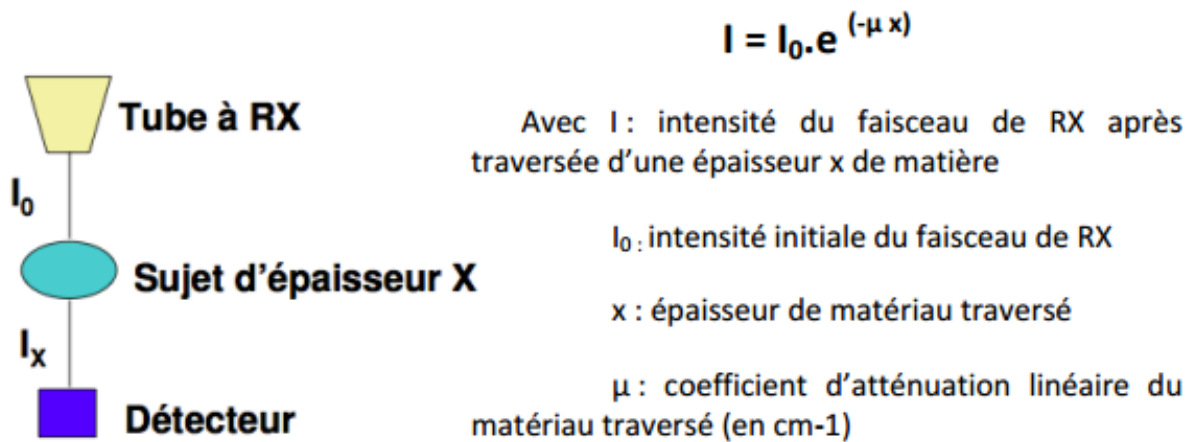
Figure 14 : Coupe 11/35 Filtre Osseux. Tête.	56
Figure 15 : Coupe 6/11 Filtre Pulmonaire. Thorax.	57
Figure 16 : Coupe 31/46 Filtre Tissus Mous. Abdomen.	58
Figure 17 : Coupe 28/46 Filtre Tissus Mous.Thorax.	59
Figure 18 : Coupe 33/46 Filtre Tissus Mous. Abdomen.....	60

1^{ère} PARTIE : PRINCIPE PHYSIQUE DE LA
TOMODENSITOMETRIE ET REALISATION PRATIQUE
D'UN EXAMEN SCANNER

I. PRINCIPES DE BASE DE LA TOMODENSITOMETRIE

(D'après BUSHBERG JT 2012 et SCHWARZ T 2011)

La **tomodensitométrie** se définit comme une méthode de **mesure de la densité radiologique des volumes élémentaires d'une coupe**. Cette méthode radiographique utilise le même principe que la radiographie conventionnelle mais elle permet d'obtenir des images d'une coupe d'un corps plus de 100 fois plus précises. Ce principe de base repose sur la **différence d'atténuation des rayons électromagnétiques** d'un tissu à l'autre :



Le faisceau de rayons X traversant l'objet, subit une atténuation mesurée physiquement par un **coefficient d'atténuation μ** et qui est fonction de la densité électronique de cet objet.

$$\mu = \log (I_x/I_0)$$

La technique de tomodensitométrie est un moyen d'étude du coefficient d'atténuation μ des éléments constitutifs d'un volume. Son but est d'effectuer la plus grande discrimination possible parmi les différentes valeurs de μ pour pallier aux insuffisances de la radiologie conventionnelle. Un tel examen consiste donc en l'exploration de l'objet plan par plan avec une meilleure résolution en densité, ce qui permet de distinguer les composantes tissulaires macroscopiques jusqu' alors confondues en radiologie conventionnelle.

Pendant l'examen tomodensitométrique, l'arceau constitué du couple source-détecteur effectue une rotation autour du corps à étudier et réalise de nombreuses mesures selon diverses incidences (cf. Figure 1). Un ordinateur détermine ensuite quelle est la participation de chaque volume élémentaire « **Voxel** » rencontré par les rayons X à l'atténuation globale et calcule ainsi la densité de chacun de ces volumes.

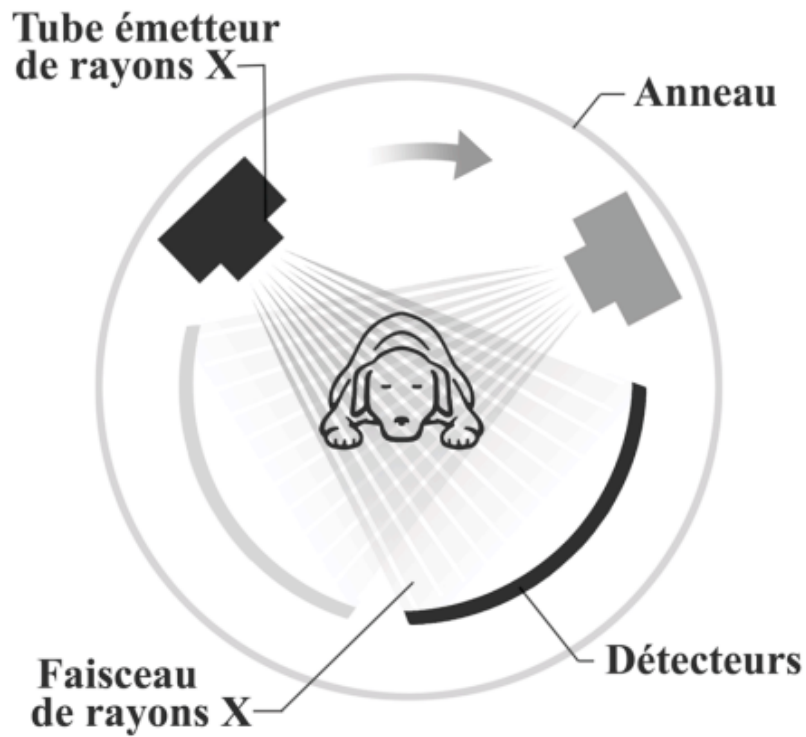


Figure 1 Mouvement source – détecteur autour du patient

L'ordinateur attribue ensuite un **ton de gris** à chaque densité ce qui permet d'obtenir l'image de la coupe considérée. Il distingue 4000 à 6000 nuances de densité qui ont été classées par Godfrey Hounsfield sur une échelle portant son nom illustré ci-dessous par la figure 2.

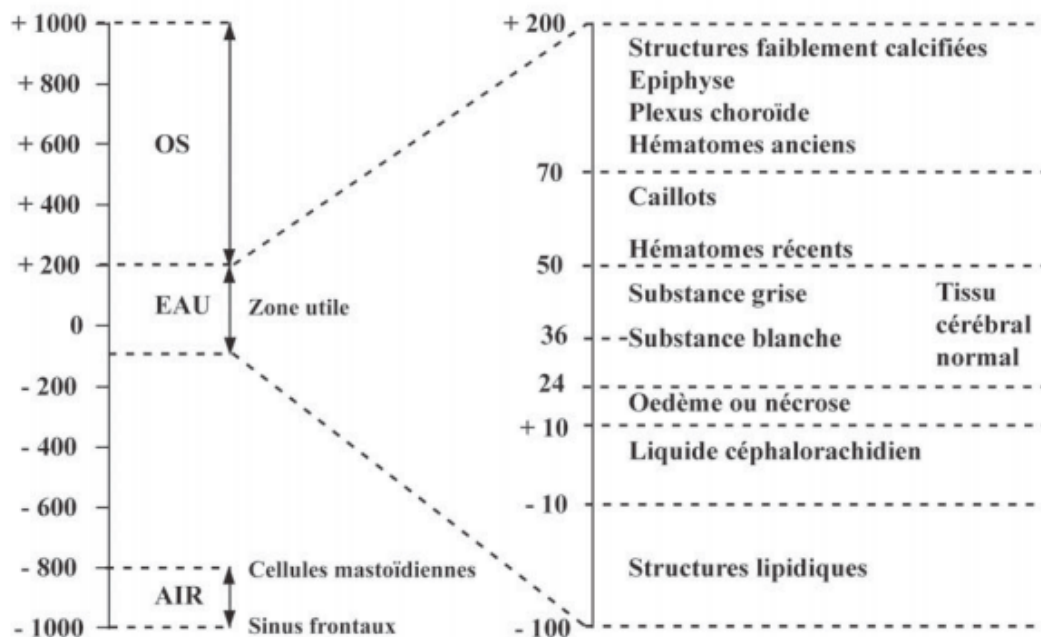


Figure 2 Echelle de Hounsfield (ancienne)

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 +3000 (densité de l'os, en blanc sur l'écran). On remarque que sur l'échelle de la figure 2, l'indice IH maximal est +1000. L'échelle a récemment été étendue à +3000 pour les densités des os très denses. Les valeurs alentours de +700 à +1000 sont pour les densités des os plus spongieux.

Cet indice IH est calculé selon cette formule :

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

Sur l'échelle de Hounsfield sont présentées en exemple les densités des différents tissus cérébraux. Cependant cette échelle est trop étendue pour l'œil humain qui ne peut distinguer que 15 à 20 nuances de gris. Si l'on affecte 15 nuances à la totalité des densités discernables par l'appareil, une seule nuance regroupe de nombreuses densités et l'image perd de sa précision. Ainsi, il est préférable de ne présenter qu'une partie de l'échelle appelée « **fenêtre** », qui est caractérisée par un niveau et une largeur.

Le **niveau** est la densité sur laquelle 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.

Comme expliqué sur la Figure 3 ci dessous.

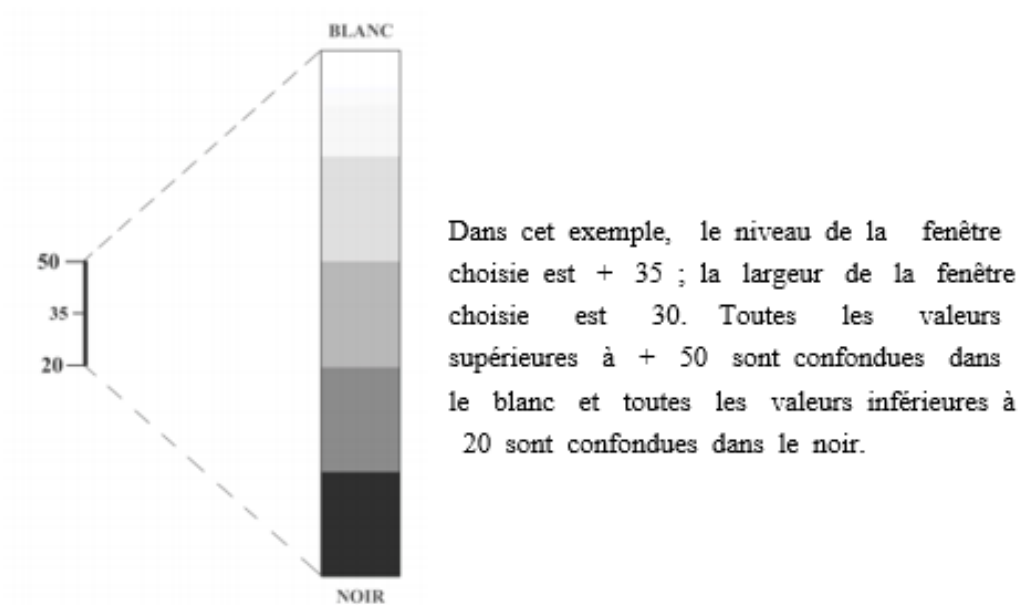


Figure 1 Notion de fenêtre et de niveau, d'après Hounsfield

On distingue en général deux types de fenêtres (dites filtres dans l'atlas) :

Les fenêtres de type « os » qui permettent de repérer les reliefs et la structure du tissu osseux ; elles sont très larges afin de couvrir tous les types d'os, toute la largeur de l'échelle de Hounsfield est en général choisie.

Les fenêtres de type « tissus mous » 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.

II. FONCTIONNEMENT DU SCANNER

(D'après BUSHBERG JT 2012 et SCHWARZ T 2011)

A. L'APPAREIL ET SES REGLAGES

Le patient est placé sur une table qui se déplace dans le sens longitudinal à l'intérieur d'un court 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 transversales les plus précises possibles.

Dans l'arceau, un premier détecteur électronique mesure l'intensité de rayons X émis par le tube radiogène avant qu'il ne balaie point par point la tranche du corps à examiner.

Pour explorer cette coupe, le tube effectue une rotation complète degré par degré. Une partie du rayonnement incident est absorbé par les tissus traversés. Le rayonnement émergent est capté par un détecteur électronique qui tourne de façon synchrone avec le tube. Au cours de la rotation, rayons X incidents et rayons X émergents captés sont comparés et convertis en signaux électriques.

L'ordinateur permet de calculer l'absorption du rayonnement en chaque point de la coupe. Le scanner utilise l'absorption des rayons X en relation directe avec la densité des tissus que les rayons ont 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 tomодensitométrique, 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** qui correspond au diamètre de la tranche anatomique visualisée sur l'image.

Plus le champ est limité, et meilleure sera la définition de l'image.

B. LES ELEMENTS DE LA CHAINE 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. DEROULEMENT D UN EXAMEN TOMODENSITOMETRIQUE

L'acquisition des images nécessite une parfaite immobilité, c'est pour cette raison que pour les animaux de compagnie, cet examen se fait sous anesthésie générale.

Anesthésie du furet (D'après FOX J.G. 2014, Beeber N.L. 2011 et BOUSSARIE D. 2008):

Les enjeux de l'anesthésie du furet sont nombreux :

Le furet, comme tous les nouveaux animaux de compagnie, est un animal de petite taille, rapidement sujet à une **hypothermie**. Il est donc recommandé d'utiliser un tapis chauffant, des bouillottes, une soufflerie d'air chaud ou une lampe chauffante d'autant plus si l'anesthésie est de longue durée. On peut aussi injecter les fluides par voie intraveineuse à une température comprise entre 35 et 37,8 °C.

La petite taille du furet en fait aussi un enjeu dans la mesure où sa **ligne de vie est peu accessible**, le monitoring est donc difficile et la réanimation, si elle doit avoir lieu, est aléatoire. Etant donnée la morphologie, l'intubation est difficile (sonde trachéale de diamètre 2,0 à 4,5 mm), et le tonus musculaire des mâchoires persiste longtemps au cours du déroulement de l'anesthésie (il est recommandé d'utiliser un pas-d'âne, et de taille adaptée). On peut placer un Doppler en regard du cœur ou d'une artère (carpe ou oreille) afin de prévenir l'apparition d'une bradycardie (qui est le premier signe d'un déficit en dioxygène ou d'une anesthésie trop profonde). On peut compléter avec un oxymètre (positionné sur la langue ou la patte) et un capnographe (relié à la sonde trachéale). On privilégie un accès veineux (céphalique, saphène ou jugulaire) ou intraosseux lors d'interventions longues (réanimation alors plus efficace et corrections rapides de la volémie).

Pour ce qui est du monitoring d'une anesthésie dans le cadre d'un examen scanner, et donc de relativement courte durée, on préférera ne pas mettre en place tout l'arsenal d'anesthésie mais plutôt une surveillance continue par un opérateur fixe chargé de maintenir l'animal au chaud avec des bouillottes, une prise de la température fréquente ou en continu (via une sonde rectale) et surtout un contrôle des mouvements respiratoires profonds et réguliers, des mesures de fréquence respiratoire (une diminution de celle-ci annonce souvent une apnée), et de la fréquence cardiaque. L'important est d'assurer la maintenance avec un masque pour qu'il reçoive de l'oxygène et un gaz anesthésique à bonne dose selon la clinique jugée par l'opérateur anesthésiste. Pour évaluer la profondeur de la narcose il sera possible de se référer aux signes habituels tels que la persistance du réflexe cornéen (absent cependant en cas d'utilisation d'alpha-2-agonistes).

Il faut de ce fait savoir que, pour l'anesthésie du furet, le débit d'O₂ nécessaire est très élevé, de l'ordre de 1 à 3L. En effet le furet a une très **mauvaise tolérance à l'hypoxie**. Une apnée entraîne très rapidement une hypoxie myocardique et un arrêt cardiaque. Encore une fois le rôle de l'opérateur anesthésiste est ici de réagir au plus vite en cas d'apnée. Il est à noter que le furet doit rester sous oxygénation jusqu'à un réveil complet à la suite de l'examen ou de la chirurgie.

Comme pour toute anesthésie générale, il est préférable de présenter l'animal à jeun. Cependant le furet a un transit intestinal très rapide de l'ordre de 3-4 h et est donc sujet aux **hypoglycémies** s'il ne mange pas de petits repas nombreux tout au long de la journée et toutes les 6 h maximum. Un jeûne ne doit donc jamais dépasser cette durée sans surveillance de la glycémie chiffrée (mesure avec un glucomètre rapide sur goutte de sang) et connaissance des troubles engendrés par une hypoglycémie (coma, convulsions etc). Il faut de plus garder à l'esprit que le furet est une espèce prédisposée aux insulinomes. Lors d'une anesthésie, la tolérance au jeûne en est de ce fait diminuée et peut avoir de graves conséquences. Cependant, on notera que même si les vomissements sont rares chez le furet, comme chez les autres espèces de carnivores, on préférera une anesthésie avec un estomac vide à un estomac rempli qui viendrait comprimer la cavité thoracique et qui serait donc préjudiciable aux mouvements diaphragmatiques.

Le meilleur compromis reste donc de réaliser un bilan pré anesthésique avec notamment une recherche rapide d'insulinome (test de jeûne et suivi de glycémie par exemple) et de calculer la durée suivant l'examen pour laquelle le jeun total jusqu'au réveil n'excèdera pas les 6h. Au delà, on peut mettre en place une fluidothérapie composée de 50% de NaCl et 50% de G5 à 10 ml/kg/h pour prévenir des hypoglycémies. Chez un animal à risque majeur d'hypoglycémie, on complémente à 1/6 G30 et 5/6 NaCl et on nourrit avec un aliment très énergétique dès le réveil complet.

Le furet est un animal **stressé**. Si son activité métabolique augmente, en cas de stress, les doses anesthésiques à apporter augmentent et leurs durées d'action diminuent. Il est donc primordial de limiter le stress au maximum, via une contention la plus douce possible et éventuellement une **tranquillisation médicamenteuse** au préalable. Dans le cadre de cette étude nous avons obtenu une immobilité totale durant tout le déroulement du scanner simplement grâce à une tranquillisation médicamenteuse dont le protocole sera discuté ultérieurement.

Les furets présentent une **sensibilité exacerbée aux molécules hypotensives**. De plus il est fréquent que les furets de plus de 4 ans développent des insuffisances cardiaques compensées et peu décelables à l'examen clinique. Ainsi on proscriera formellement l'usage de la kétamine et de la médétomidine chez ces individus âgés et on préférera l'usage de butorphanol 0,1 à 0,2 mg/kg et midazolam 0,5 à 1 mg/kg.

Une fois les enjeux connus et maîtrisés au mieux, l'anesthésie peut commencer et le choix du protocole anesthésique de **prémédication et d'induction** est à faire en conséquence. Les différentes molécules qui peuvent être utilisées à l'induction sont répertoriées dans le tableau en Annexe 1.

La maintenance est ensuite assurée par l'utilisation de gaz halogénés (que l'on peut également utiliser dans le cadre de l'induction). Il s'agit de l'Isoflurane et du Sévoflurane.

Pour le scanner, étant donné qu'il s'agit d'une procédure simple, rapide et non douloureuse, une anesthésie flash suffit ; on préférera alors l'utilisation de ces gaz halogénés via un masque ou d'une boîte à induction (moins stressante). Ils ont pour avantages que la

narcose du furet est initiée rapidement et que ce sont des principes actifs rapidement éliminés par l'organisme. Ceci permet de réagir vite en cas de problème comme une apnée (on retire alors simplement le masque le temps qu'une respiration profonde et régulière se remette en place ou si ce n'est pas rapidement le cas on commence une réanimation). Le réveil est rapidement complet (reprise rapide de l'alimentation, stress post examen minimisé) ce qui est un autre argument permettant de mettre en lumière que l'utilisation de ces gaz est un moyen sûr.

Dans la pratique leur utilisation nécessite la présence d'une cuve, d'un débitmètre, d'un circuit non réhinalatoire et d'un masque de taille adaptée à la tête du furet. Le volume courant du furet étant faible on préfère utiliser le circuit anesthésique pédiatrique avec un faible espace mort. On prend débit $O_2 = 1 \text{ à } 3L$ et on branche l'isoflurane à 2-5% et le sévoflurane à 4-5% à l'induction (on obtient alors un état de relaxation en 2 à 5 min à ces volumes), et l'isoflurane à 1-2,5% et le sévoflurane à 2-4% en entretien. On rappelle que ces doses dépendent bien sûr de la profondeur de narcose souhaitée en lien avec la douleur et la clinique de l'animal. On recherche une respiration profonde et régulière sans apnée.

On comprend bien que le choix du protocole anesthésique est primordial pour assurer une sécurité optimale et en même temps obtenir une immobilité parfaite durant l'examen scanner ce qui est une condition imputable à la qualité des images obtenues, au diagnostic et à la prise en charge qui en découleront.

Dans le cadre de ce travail de thèse, le furet n'a reçu qu'une tranquillisation avec un protocole adapté suffisant à obtenir une immobilisation complète.

L'examen scanner :

L'animal est placé dans la position appropriée permettant l'identification des structures soumises à examen. Dans cette étude et dans le cas d'un scanner de corps entier l'animal est placé en décubitus sternal, symétrique suivant le plan médian. Des lumières laser permettent de centrer le corps suivant les différents axes. On peut utiliser des dispositifs pour maintenir la position souhaitée (utilisation de sangles, de poids etc).

Tout le matériel de monitoring et réanimation est sur place et on s'assure de sa fonctionnalité avant d'initier les manipulations.

L'examen scanner à proprement parler peut alors commencer.



Figure 4 Scanner Brightspeed (General Electric) service d'Imagerie Médicale de l'ENVT.

2^{ème} PARTIE : LE MODELE BIOLOGIQUE

I. LE FURET DANS LA CLASSIFICATION

Le furet est, avec le chien et le chat, le troisième animal à être concerné par la législation des carnivores domestiques. Il est la version domestiquée de son voisin sauvage le putois, et ce, depuis au moins 2500 ans. En effet l'époque de la domestication du furet reste encore imprécise mais des documents historiques grecs mentionnent son existence en tant que compagnon de l'homme dès 450 av JC. Le furet est depuis très longtemps un grand serviteur de l'homme, très utilisé pour le loisir de la chasse aux rongeurs mais aussi pour l'éradication des rats lors des grandes épidémies de peste. Les années l'ont porté au rang de 3^{ème} animal de compagnie le plus répandu en Amérique du Nord, en Europe et au Japon dès le début du 21^{ème} siècle. Aujourd'hui on en recense plus de **1 million dans les foyers français**, derrière 8 millions de chiens et 9 millions de chats.

Il est donc actuellement nécessaire de connaître cette espèce et d'utiliser des techniques de plus en plus poussées pour maîtriser la médecine vétérinaire à appliquer au furet.

La classification du furet ou putois domestique selon l'INPN (Inventaire National du Patrimoine Naturel) est la suivante :

Règne : Animalia
Embranchement : Chordata
Sous-embranchement: Vertebrata
Classe : Mammalia
Sous classe : Theria
Infra classe : Eutheria
Ordre : Carnivora
Sous ordre : Caniformia
Famille : Mustelidae
Sous famille : Mustelinae
Genre : *Mustela*
Espèce : *Mustela putorius furo*

II. LA BIOLOGIE DU FURET

Le furet est un mustélide. Cette famille a des représentants dans tous les types de milieux (arboricole pour les martres des pins, aquatique pour les loutres d'eau douce ou marines...) et dans tous les types de climat, du plus aride (le ratel d'Afrique), au plus glacial (la zibeline). Certaines exceptions comme le blaireaux d'Europe ou le glouton ont un corps trappu mais la plupart des représentants de cette famille ont en commun un corps allongé et de petites pattes courtes.

Ils sont **plantigrades**, c'est à dire que le support du corps est assuré par 5 doigts des tarses et des carpes.

De plus ils ont une **odeur de musc** caractéristique qui leur est conférée par des glandes anales très développées et de nombreuses glandes sébacées rendant par ailleurs la peau très épaisse. Ces dernières sont sous dépendance hormonale. Ils n'ont cependant pas de glandes sudoripares, et ayant un pelage très épais (long poil de garde et sous poil court et dense), ils sont très sensibles à la chaleur.

Leur **biologie et leur anatomie** restent **proches de celles des autres carnivores domestiques** bien connus de tous, à savoir le chien et le chat. Cependant quelques différences notables sont à relever pour offrir une qualité de soin la plus adaptée possible.

Comme le chien et le chat ils sont des carnivores, mais les furets sont des **carnivores stricts**. Ils ont ainsi besoin d'une alimentation spéciale à base de protéines animales exclusivement.

Principales données biologiques (D'après BOUSSARIE D., 2008 et CARPENTER J.W., 2012):

- **poids moyen** : 600-900 g (femelle) / 1000-2000 g (mâle). On observe une variation annuelle du poids du furet avec une diminution en été et une mise en réserve de graisses en hiver. Ceci est couplé avec le phénomène de renouvellement de pelage, plus clair en hiver et plus foncé en été. En effet les furets muent au printemps et en automne.

- **longévité** : 6-10 ans

- **longueur** du corps de la truffe au bout de la queue: 35 cm (femelle) / 38 cm (mâle)

- **régime alimentaire** : carnivore stricte

- **sexage** : os pénien palpable et testicules en place dans les poches scrotales à la base du pénis chez le mâle / orifice uro-génital ouvert ventralement à l'anus chez la femelle.

- **reproduction** (D'après HEBERT F., 2014 et CARPENTER J.W., 2012) :

 - puberté du mâle : 8-12 mois

 - puberté de la femelle : 7-10 mois

période de reproduction : décembre à juillet (mâle) / mars à août (femelle)

ovulation : provoquée par l'accouplement

pseudogestation : 40-42 jours

durée de gestation : 40-44 jours (42 jours en moyenne)

nombre de portées par an : 1-2

nombre de petits par portée : 1-18 (moyenne de 8)

poids des nouveaux-nés : 6-12 g

nombre de paires de mamelles : 4

durée de lactation : 6-8 semaines

III. PARTICULARITES DE L'ANATOMIE DU FURET

Le schéma anatomique du furet est globalement commun aux autres carnivores domestiques (des vues anatomiques d'ensemble sont disponibles : Figure 5 pour le squelette Annexe 2 pour les viscères). Dans le cadre de ce travail d'étude nous nous intéresserons plus particulièrement aux particularités de l'anatomie du furet tout en évoquant rapidement toutes les structures et leurs liens entre elles qui apparaîtront par la suite dans les légendes des images tomodensitométriques.

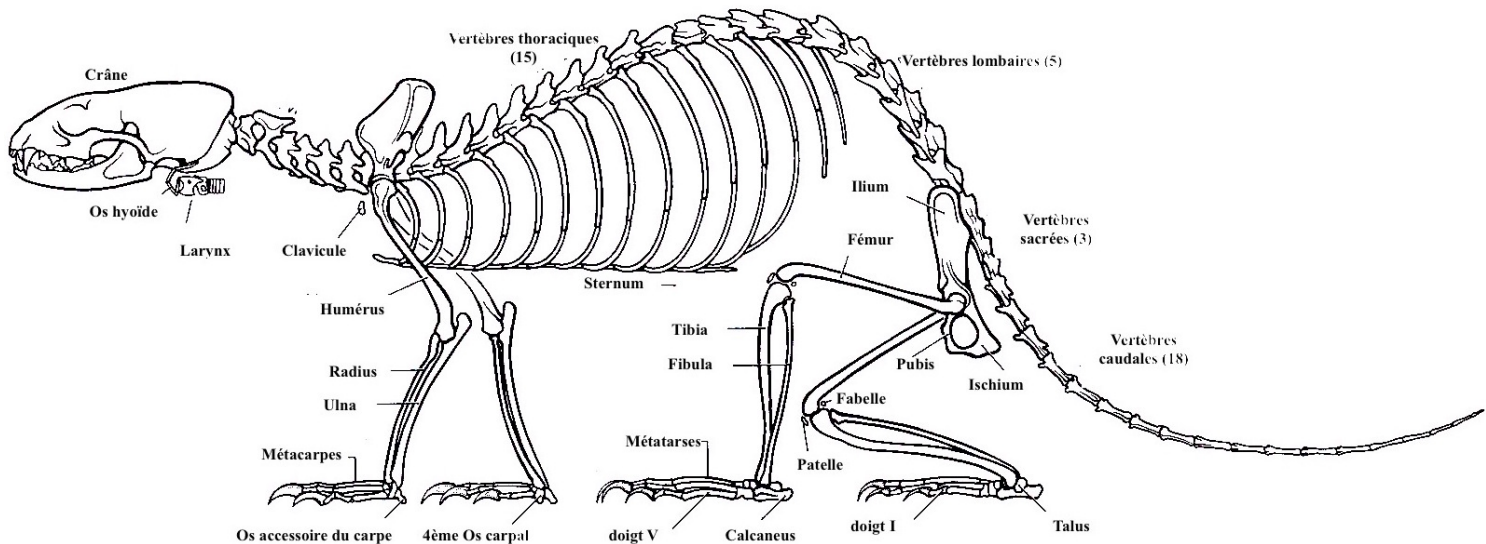


Figure 5 Le squelette du furet (D'après FOX J.G. 2014)

A) Le système tête

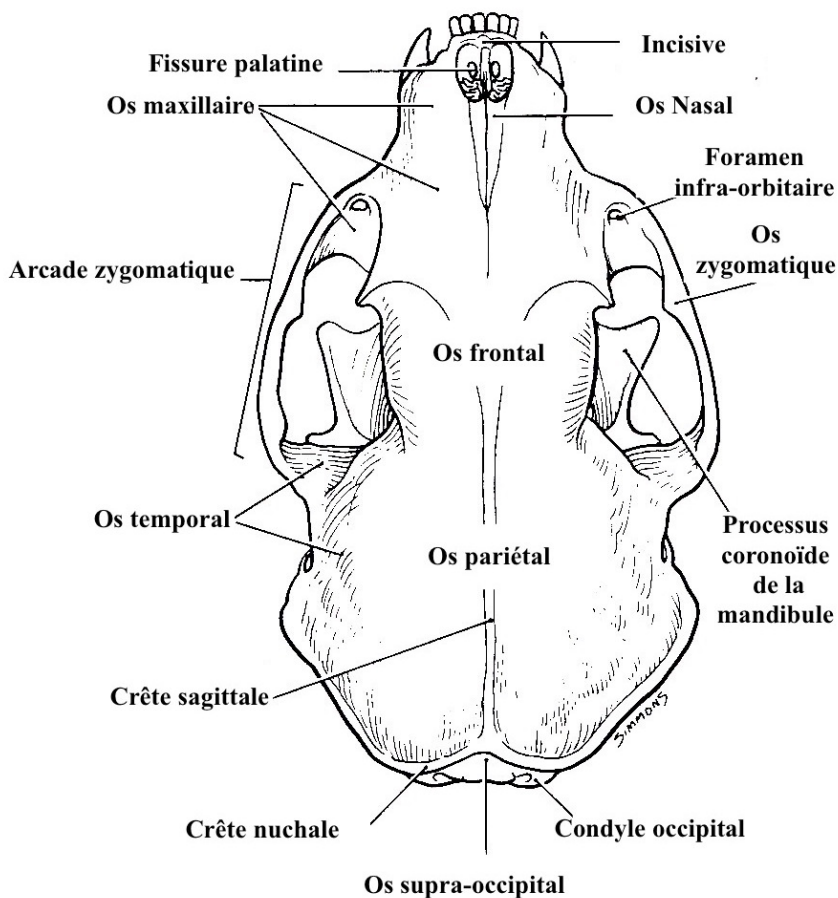
La tête du furet est de forme triangulaire en projection dorsoventrale.

1) Squelette de la tête

On trouve le crâne, l'appareil hyoïde et les vertèbres cervicales. (Cf Figure 9)

Le crâne (D'après FOX J.G. 2014) :

La région faciale constitue le tiers le plus crânial de la longueur du crâne. Superficiellement on trouve les os incisif et nasal en région dorsale, les mandibules et l'os hyoïdien en ventral, et les os maxillaires, lacrymaux et zygomatiques en latéral. En profondeur on isole le vomer, les os palatins, les os ptérygoïdes et les cornets nasaux. (Cf Figures 6.1 et 6.2)



Les cavités nasales sont étroites, comparées à celles des crânes de mammifères de taille similaire. Les cornets nasaux (dorsal et ventral) s'y logent. Le cornet nasal ventral occupe le sinus maxillaire.

Chez l'adulte les os du crâne sont soudés et il est impossible d'individualiser les différents os qu'il contient ; à savoir les os frontal et pariétal en dorsal, les os temporaux en latéral, les os sphénoïdes et l'os occipital en ventral et enfin l'os ethmoïde en rostral.

La surface dorsale du crâne est plate et traversée médialement, de l'occiput aux orbites, par une crête sagittale.

Perpendiculairement et dorsalement au trou occipital, on trouve une crête nuchale. Elle

Figure 6.1 Le squelette de la tête (D'après FOX J.G. 2014)

s'étend transversalement d'une bulle tympanique à l'autre, délimitant ainsi caudalement la boîte crânienne qui est disproportionnellement large chez cette espèce.

Les bulles tympaniques sont présentes en région caudo-ventrale et à celles-ci sont attachées les oreilles externes au niveau des méats acoustiques situés en face latérale.

La voûte cranienne sert majoritairement à l'attachement des muscles temporaux très développés chez le furet et utiles à la fermeture de la mâchoire inférieure.

Les arcades zygomatiques sont situées au niveau des deux sommets de la base du triangle formé par la tête. Elles sont minces et délimitent une large cavité de chaque côté, en s'étendant des os maxillaires aux os temporaux. Rostralement dans ces cavités on retrouve les yeux et caudalement les muscles masticateurs (muscles masséter, temporaux et ptérygoïdes) attachés aux rameaux des mandibules. Comme chez tous les carnivores domestiques la cavité orbitaire du furet est fermée par un ligament orbitaire caudalement. Les fosses orbitaires et ptérygo-palatines sont continues.

Les mâchoires sont courtes. En cas d'ouverture excessive de la mâchoire, une dislocation est empêchée par la présence d'un **processus rétroarticulaire** au niveau de la fosse avec laquelle se fait l'articulation du condyle articulaire de l'os mandibulaire. Les arcades mandibulaires et maxillaires sont de même longueur ; cependant une action de cisaillement lors de la mastication est permise par le fait que l'arcade mandibulaire est plus étroite.

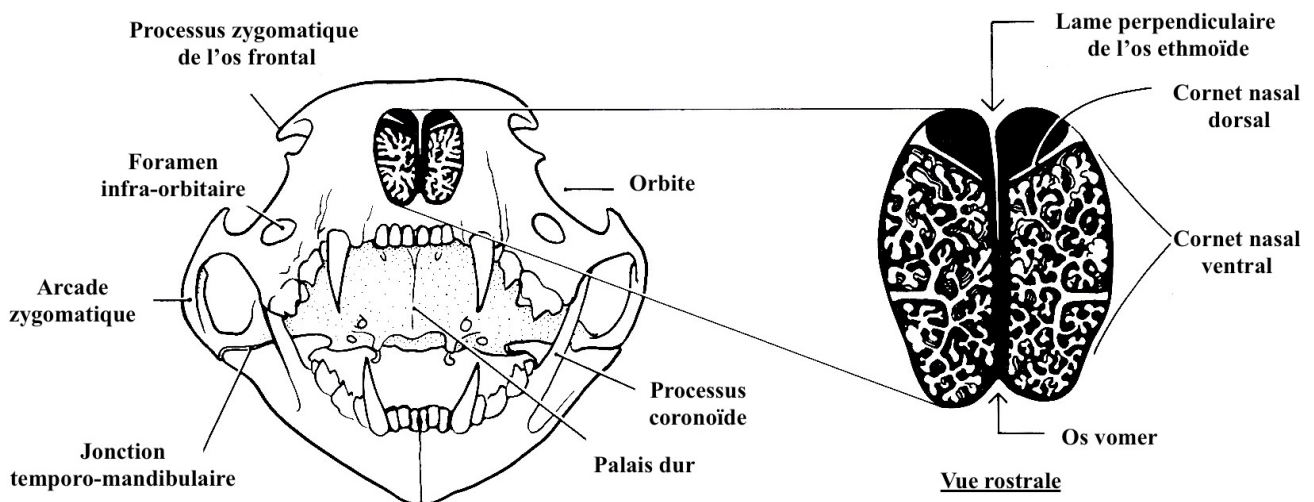


Figure 6.2 Le squelette de la tête (D'après FOX J.G. 2014)

L'appareil hyoïde :

Il est formé des paires des os stylohyoïdes (attachés sous les méats acoustiques externes sur toute la longueur des bulles tympaniques), épihyoïdes, keratohyoïdes, thyrohyoïdes (auxquels est suspendu le larynx) et d'un os basihyoïde unique dans le plan médian.

Squelette axial localisé à la tête (D'après FOX J.G. 2014):

Le furet possède **7 vertèbres cervicales** qui sont le support d'une musculature très développée et formant un cou long et flexible. (Cf Figure 5)

Pour ce qui est des **particularités anatomiques des vertèbres**:

- Elles sont les vertèbres les plus **massives** de toute la colonne vertébrale.
- L'**atlas** est grand avec des ailes proéminentes, un foramen latéral vertébral et un foramen transverse sur chaque aile.
- L'**axis** possède une dent saillante.
- Les processus transverses de la **vertèbre cervicale 6** sont significativement de taille augmentée.

2) Musculature de la tête (D'après FOX J.G. 2014)

Les **muscles masticateurs** sont les muscles masséter, temporaux, ptérygoïdiens médial et latéral et digastriques. Ils sont relativement **bien développés** chez le furet :

- Le muscle masséter est l'un des deux muscles masticateurs les plus développés. Il prend son origine à l'arcade zygomatique. Sa terminaison se trouve sur la mandibule au niveau de la fosse massétérique, de la crête condyloïde et du processus angulaire. Sa contraction engendre la fermeture de la mâchoire inférieure. Quelques fibres sont liées à celles du muscle temporal au niveau de son insertion.
- Le muscle temporal est le muscle masticateur le plus développé, et de façon encore plus marquée chez le mâle. Son origine est la crête nuchale et l'aire frontopariétale de la voûte crânienne (autrement appelée calvaria). Sa terminaison est sur le processus coronoïde de la mandibule. Il est le principal muscle adducteur de la mâchoire inférieure.
- Le muscle digastrique est un muscle fusiforme qui a pour origine la bulle tympanique et le processus jugulaire. Son trajet se dessine ventralement à la partie caudale de la mandibule. Ceci permet l'ouverture de la mâchoire suite à la contraction. Il est en réalité le résultat de la

combinaison de deux muscles et présente ainsi deux innervations différentes (une caudalement et une ventralement).

- Les muscles ptérygoïdiens latéral et médial ont pour origine la crête ptérygoïde et la fosse ptérygo-palatine située aux choanes. Sa terminaison est sur le bord ventral de la mandibule et sur la partie médiale du processus angulaire. Ils fonctionnent de façon concomittente avec les muscles masséter et temporaux dans le cadre de la fermeture de la mâchoire et de la fonction de machonnement.

Pour ce qui est de la **musculature du cou**, les muscles à droite et à gauche sont fusionnés à leur origine ce qui explique qu'une contraction unilatérale résulte d'un mouvement de tête sur le côté alors qu'une contraction bilatérale résulte d'un mouvement d'abaissement de la tête.

3) Encéphale et organes de sens

Système nerveux central :

L'encéphale du furet a la même structure que celle commune aux carnivores domestiques. Il mesure 36 mm de long et 24 mm de large. Le prosencéphale chevauche le cervelet, il est donc gyrencéphalique (D'après FOX J.G. 2014).

Organes de la vision (D'après QUESENBERRY K.E. 2011) :

La vue est assurée par des yeux de petite taille. Il ne s'agit pas du sens le plus développé chez le furet, au contraire de l'odorat et de l'audition. Les yeux sont peu mobiles. En effet, lors de la chasse et pour repérer une proie, le furet semble privilégier les mouvements de tête plutôt que des globes oculaires dans les orbites.

La membrane nictitante est largement développée et peut venir recouvrir l'œil en totalité.

La cornée est très étendue proportionnellement à la taille de l'œil.

Le cristallin est quasiment sphérique et est situé en retrait dans la chambre postérieure.

La pupille a une forme horizontale et elliptique.

Pour ce qui est de la forme et de la vascularisation de la rétine, elle est semblable à celle du chien. Le tapis est bien défini et le disque optique est de petite taille et myélinisé. De plus, des cônes sont présents sur la rétine ce qui laisse penser que le furet pourrait distinguer des couleurs (D'après TREMBLAY M., 2000).

Organes de l'audition (D'après LEWINGTON J.H. 2007) :

L'ouïe est assurée par des oreilles courtes dont le pavillon en croissant de lune est orienté en région crâniale. L'oreille moyenne et l'oreille interne sont similaires à celles des autres carnivores domestiques.

Cependant, il existe des **particularités anatomiques** remarquables chez le furet :

- Il n'y a pas de distinction anatomique du conduit auriculaire tubulaire.
- Le récessus situé sur le bord latéral du conduit auditif de forme tubulaire est plus prononcé en mesurant 5 mm de long.
- Le long de la membrane tympanique chemine un canal horizontal qui est peu profond chez le furet, et dont l'ouverture débouche du côté du bord médial.

Organes de l'olfaction :

L'olfaction est assurée par une petite truffe rosée parfois pigmentée. Le septum nasal sépare 2 cavités s'étendant des narines crânialement aux choanes caudalement ; ces cavités sont les cavités nasales. Elles renferment les cornets nasaux dorsaux et ventraux. Les cornets nasaux sont très développés. Les sinus ont la même conformation que ceux du chien et du chat.

La cavité nasale est formée dorsalement par l'os nasal et les os maxillaires, latéralement par les os maxillaires, et ventralement par les os maxillaires et palatin.

4) Organes de l'appareil respiratoire

Pharynx (D'après FOX J.G., 2014 et BOUSSARIE D., 2008) :

Le pharynx du furet est similaire à celui des chiens dolichocéphales et ainsi, on retrouve les 3 parties de la plus craniâle à la plus caudale, que sont le nasopharynx (qui commence caudalement à la terminaison du palais dur et qui est lié caudalement aux os ptérygoïdes), l'oropharynx et le laryngopharynx. Chez le furet le **muscle stylohyoïde du pharynx est absent**.

Larynx :

La conformation est semblable à tous les carnivores domestiques.

5) Organes de l'appareil digestif

Langue :

La langue est longue, mobile et rattachée sur sa surface dorsale. Elle porte des glandes linguales et des papilles nombreuses responsables du sens du goût (D'après QUESENBERRY K.E., 2011).

Palais :

Le palais dur s'étend crânialement jusqu'aux dernières molaires supérieures. Caudalement au palais dur se trouve le palais mou qui mesure 1,5 cm de long, 0,7 cm de large et 0,1 cm d'épaisseur (D'après QUESENBERRY K.E. 2011). La confirmation anatomique est globalement similaire à celle du chat et on retrouve (D'après McCACKEN T.O. et KAINER R.A., 2010) :

- des fosses palatines hébergeant les tonsilles dans la partie caudale du palais mou et dont les bords sont formés par de fins replis elliptiques.
- de façon bilatérale on trouve une extension du bord libre du palais mou formant un repli qui traverse le bord latéral du pharynx et donne naissance aux piliers caudaux. Ces piliers se rencontrent dorsalement à l'entrée de l'œsophage.
- caudalement l'épiglotte vient recouvrir le bord libre du palais mou.

Glandes annexes, les glandes salivaires :

Le furet possède cinq paires de glandes salivaires qui apparaissent sur la Figure 7 : parotides, mandibulaires, sublinguales, molaires et zygomatiques (D'après QUESENBERRY K.E., 2011).

La **glande parotide** a une forme pyramidale avec une base de 2,7 cm de large et 1,6 cm de large au sommet. Elle mesure 0,65 cm d'épaisseur. Elle est relativement **diffuse chez le furet** et se situe au niveau de la jonction tête-cou et se loge entre le nœud lymphatique mandibulaire et la glande mandibulaire. Elle est lobulée mais les lobules sont peu connectés entre eux. Le canal parotidien mesure environ 2,8 cm chez le furet et vient perforer la joue pour déboucher dans la cavité buccale au niveau des PM4 supérieures. L'irrigation est assurée par l'artère parotide et le drainage veineux par les veines auriculaires temporales superficielles. (D'après FOX J.G., 2014)

La glande mandibulaire est ovoïde et mesure 1,8 cm de diamètre et 0,6 cm d'épaisseur. Elle se situe caudo-ventralement à la glande parotide dans une dépression formée par les muscles digastrique et sternohyoïde. Elle est à mi distance entre les nœuds lymphatiques

mandibulaire (rostralement) et rétropharyngien (médialement). Le canal mandibulaire mesure 3 cm de long et chemine depuis les muscles masséter et digastriques jusqu'aux muscles styloglosses et mylohyoïdes pour déboucher au niveau d'une papille sublinguale après jonction avec les canaux des glandes sublinguales. L'irrigation est assurée par une branche de l'artère faciale et le drainage veineux par la veine linguale. (D'après FOX J.G., 2014)

La glande sublinguale mesure 0,75 cm de long et 0,5 cm de large. Elle se situe ventralement au nœud lymphatique mandibulaire, enfouie sous le muscle digastrique. (D'après FOX J.G., 2014)

La glande molaire est pyramidale et mesure 0,8 cm de long et 0,7 cm de large. Elle est localisée à proximité du muscle masséter. Le conduit molaire débouche dans la cavité buccale en regard des molaires de la mâchoire inférieure. (D'après FOX J.G., 2014)

La glande zygomatique est pyramidale et située caudo-ventralement à l'orbite et ventralement à l'arc zygomatique. Le conduit zygomatique débouche dans la cavité buccale en regard des molaires de la mâchoire supérieure. L'irrigation est assurée par une branche de l'artère infraorbitaire et le drainage veineux par la veine faciale en profondeur. (D'après FOX J.G., 2014)

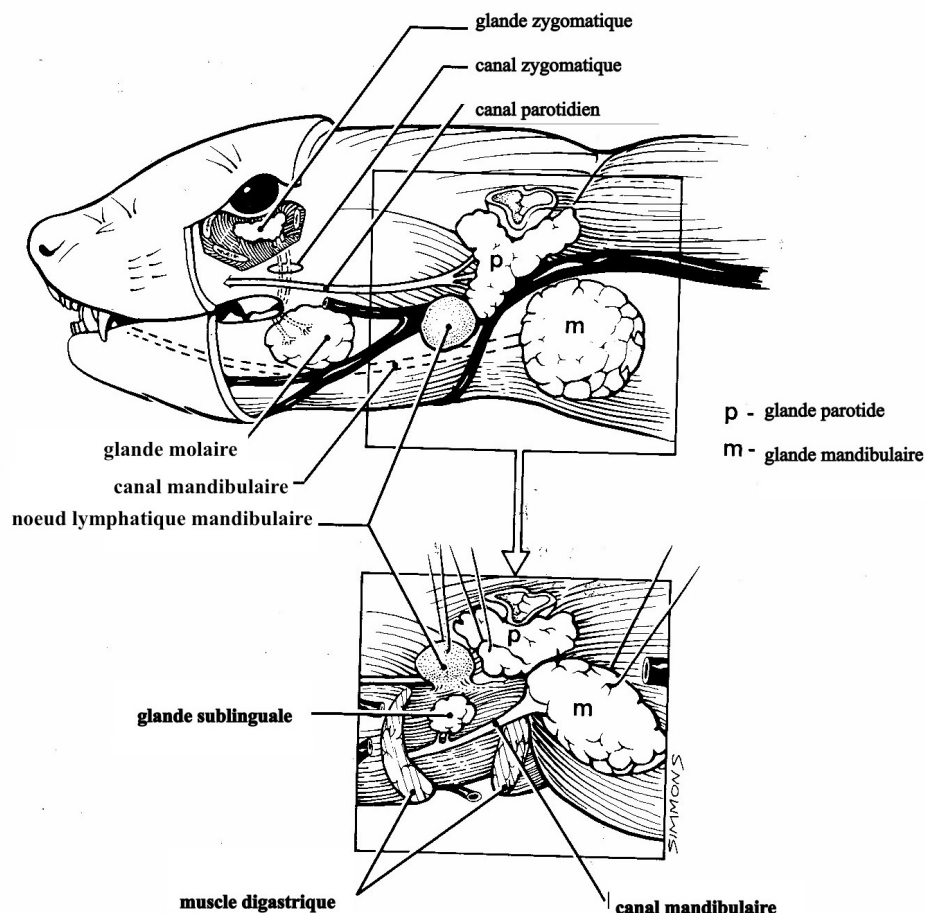


Figure 7 Les glandes salivaires (D'après FOX J.G., 2014)

6) Système lymphoïde

Nœuds lymphatiques (D'après QUESENBERRY K.E., 2011) :

Il est important de palper les nœuds lymphatiques car les lymphomes sont très fréquents chez les furets. Le scanner est ainsi un examen de choix pour surveiller l'évolution de l'ensemble de ces structures.

Chez le furet les **nœuds lymphatiques sont étroitement liés à du tissu graisseux**, en effet cette espèce accumule de la graisse sous cutanée en région cervicale mais aussi axillaire et poplitée. Au niveau de la tête on peut identifier les nœuds lymphatiques sous mandibulaires et on retrouve les nœuds lymphatiques rétropharyngiens qui drainent les vaisseaux lymphatiques des tonsilles palatines, faisant parti des organes lymphoïdes.

Organes lymphoïdes localisés à la tête : tonsilles palatines :

Ces sont des structures localisées plates et ovoïdes mesurant 0,5 cm de long et 0,25 cm de large, logées dans la fosse tonsillaire et latéralement par rapport au sillon ventral du palais mou. Chez le furet il est à remarquer qu'elles sont **poéminentes**. (D'après QUESENBERRY K.E., 2011 et D'après FOX J.G., 2014)

7) Dents (D'après QUESENBERRY K.E., 2011 et D'après FOX J.G., 2014)

La denture du furet est celle commune à tous les carnivores domestiques, c'est à dire des canines longues courbes ainsi que des molaires et prémolaires. On peut cependant noter une exception par rapport aux chiens et aux chats ; chez le furet on constate une **régression de la prémolaire PM1** qui est donc absente.

A 3 - 4 semaines apparaissent les **dents déciduales** donnant la formule dentaire suivante (donnée pour une demie mâchoire):

I3/3-4, C1/1, PM3/3, M0/0. On compte ainsi 28 à 30 dents déciduales. Il est commun, et ce, chez toutes les espèces de carnivores domestiques, d'observer des incisives surnuméraires.

Entre 50 et 74 jours le furet a ses **dents permanentes**. La formule dentaire devient donc :

I3/3, C1/1, PM3/3, M1/2. On compte alors 34 dents adultes permanentes.

Quelques particularités anatomiques sont remarquables :

- Les incisives (I) inférieures sont légèrement en recul par rapport aux incisives de la mâchoire supérieure. Et les incisives supérieures sont plus longues que les inférieures.

Au scanner, on peut visualiser que les incisives n'ont qu'une seule racine.

- Les canines (C) supérieures sont plus grandes que les inférieures.

Pour ce qui est des canines, elles n'ont qu'une seule racine longue.

- Les prémolaires subsistantes sont PM2 PM3 et PM4. Elles ont toutes 2 racines visibles à l'exception des PM4 des mâchoires supérieures qui sont des dents carnassières et qui possèdent ainsi 3 racines.

- Les molaires M1 de la mâchoire supérieure sont plus larges que longues et présentent 3 racines visibles au scanner. Il en est de même pour les molaires M1 de la mâchoire inférieure qui sont des dents carnassières à 3 racines.

Quant aux dernières, les petites M2 de la mâchoire inférieure, elles ne présentent qu'une racine.

B) Le système thorax

Chez le furet la cavité thoracique est étroite dans sa partie crâniale mais s'élargit caudalement. Elle prend ainsi une forme de cône. Elle s'étend jusqu'au diaphragme qui s'insère en regard de la 14^{ème} côte et est logée dans la charpente qu'est la cage thoracique. (Cf Figure 5, Annexes 2)

1) Squelette thoracique

Squelette axial localisé au thorax (D'après FOX J.G., 2014) :

Chez le furet, en région crâniale les côtes sont courtes, offrant un espace de taille réduite pour le passage de la trachée, des gros vaisseaux et de l'œsophage. En région caudale elles sont plus longues permettant un élargissement conséquent du thorax et ainsi de l'abdomen contenant de nombreuses viscères volumineux.

Le furet possède **14 ou 15 vertèbres thoraciques** et donc 14 ou 15 paires de côtes. Sur le sternum sont rattachées les 10 premières mais les 4 ou 5 dernières se rejoignent distalement pour former l'arc costal. La dernière paire de côte est plus courte et n'est ainsi pas liée à la paroi musculieuse costale. Les 11 premières côtes s'articulent avec la colonne vertébrale via un capitulum qui se loge dans la cavité entre deux corps vertébraux et un tuberculum s'articulant avec le processus transverse de la vertèbre. Les dernières côtes ne s'articulent qu'avec un corps vertébral unique chacune.

Comme chez le chien et le chat les côtes sont formées d'une partie osseuse et d'une partie cartilagineuse. Un élargissement en région de la jonction costochondrale est souvent visible à la radiographie ou au scanner est parfois palpable. Ce phénomène serait expliqué par une croissance très rapide.

Le sternum est constitué de **8 sternèbres** auxquelles s'ajoute caudalement un processus xiphoïde de nature cartilagineuse. Les **deux premières sternèbres** sont **fusionnées** chez le furet. Du cartilage permet la jonction entre les sternèbres elles mêmes et avec les 10 premières paires de côtes.

Squelette appendiculaire : membre thoracique (D'après FOX J.G., 2014) :

La scapula n'a aucune articulation directe avec le squelette axial et n'y est donc liée que par des muscles. Elle est de forme triangulaire. La fosse supra-épineuse est deux fois plus large que la fosse infra-épineuse. On peut y voir un acromion en continuité de l'épine scapulaire, une cavité glénoïdale ventro-distalement, un tubercule supra-glénoïdal crânialement et un processus coracoïde crânio-médialement.

La **clavicule** est **réduite** chez le furet et a la forme d'une tige aplatie. Elle se situe dans le muscle brachiocéphalique et est visible cranio-médialement à l'épaule. Elle est liée à la scapula via un faisceau musculaire et un fascia. La scapula et la clavicule, à elles deux uniquement, forment la ceinture du membre thoracique.

L'**humérus** présente des **extrémités élargies**. En effet, en partie proximale la tête humérale est large. En partie distale le condyle est large transversalement. On constate la présence d'une tubérosité deltoïdienne et d'un foramen supra-trochléaire porté par l'épicondyle médial, ainsi qu'une fosse olécrânienne profonde.

Le **radius** est également aplati dans sa partie distale et est légèrement incliné en partie médio-diaphysaire. En partie proximale, on trouve une profonde encoche trochléaire formée par une fosse capitulaire adjacente au processus coronoïde médial de l'ulna.

L'**ulna** présente également la même configuration et on retrouve l'**inclinaison et l'élargissement aux extrémités**. On visualise un processus anconé proéminent et un olécrâne de taille importante en partie proximale. Le processus anconé se loge dans la fosse oléocrânienne de l'humérus lors de l'extension ce qui stabilise l'articulation. L'articulation du coude est profonde du fait de l'encoche trochléaire très marquée entre les processus coronoïdes et anconé.

Le **carpe** comporte 7 os répartis sur 2 rangées. La rangée la plus proximale comprend un os intermédioradial du carpe volumineux, et deux plus petits os que sont l'os ulnaire du carpe et l'accessoire du carpe projeté en face palmaire. La rangée la plus distale comprend les os carpaux numérotés de I à IV avec l'os carpal IV qui est reconnaissable de par le fait qu'il est le plus volumineux (probablement issu de la fusion entre les os IV et V). On note la

présence d'un os sésamoïde de taille importante distalement en face palmaire de l'os intermédioradial du carpe.

Le **métacarpe** comporte 5 os. On peut facilement reconnaître les troisième et quatrième os métacarpiens qui sont les plus longs. **2 os sésamoïdes** sont individualisables en **face palmaire, en regard de chacune des articulations métacarpo-phalangiennes**. On remarque que chez le chien il n'y a qu'un seul os sésamoïde et il est situé au niveau de l'articulation du pouce.

Les **doigts** sont au nombre de 5 et les griffes sont non rétractiles. Les troisième et quatrième doigts sont les plus longs. Au contraire le doigt 1 est le plus court et ne possède que 2 phalanges, ce qui est le cas chez la plupart des espèces de mammifères. Les autres doigts ne possèdent que 3 phalanges. La jonction de la base de la griffe avec l'extrémité de la phalange distale est complète.

Le furet est un animal **plantigrade** et qui se déplace donc sur la face ventrale du carpe, du métacarpe et des doigts. On dénombre ainsi **4 coussinets métacarpiens** en regard des articulations métacarpo-phalangiennes et **chaque phalange proximale possède un coussinet palmaire**.

2) Particularité de la musculature thoracique du furet (D'après FOX J.G., 2014)

En ce qui concerne la musculature de la colonne vertébrale, comme chez les autres carnivores domestiques, on distingue deux catégories de muscles responsables de la posture dont on a vu qu'elle est particulière chez le furet : le groupe des muscles attachés au dessus des processus transverses des vertèbres sont extenseurs (autrement appelé musculature épaxiale), et le groupe de muscles attachés au dessous des processus sont fléchisseurs (autrement appelé musculature hypaxiale).

Pour ce qui est de la musculature du membre thoracique, globalement, elle est commune aux autres carnivores domestiques. On peut noter cependant quelques légères différences (D'après BOUSSARIE D., 2008) :

- Le **muscle triceps brachial** présente un chef supplémentaire : le **chef ongulaire** sur la face latérale en plus des chefs long, latéral et médial.
- Le **muscle rhomboïde** présente un chef supplémentaire : le **chef profond** en plus des chefs principal, cervical et thoracique.

3) Médiastin

On remarque qu'une particularité de l'anatomie du furet est la présence d'une **graisse médiastinale abondante**.

La trachée :

Elle mesure 0,5 cm de diamètre et 9 cm de long avec plus de 60 anneaux trachéaux cartilagineux en forme de « C » tournés vers le haut. Les **anneaux calcifiés** sont ainsi visibles au scanner (ce qui n'est pas le cas chez le chat). On remarque que la trachée du furet est très longue (Proportionnellement plus de deux fois plus longue que celle du chien ou du chat) ; L'espace entre les bords dorsaux des cartilages hyalins trachéaux sont comblés par des muscles lisses. (D'après FOX J.G., 2014)

La bifurcation trachéo-bronchique est localisée au niveau du 5^{ème} espace intercostal, dorsalement au cœur. (D'après QUESENBERRY K.E., 2011)

Le cœur (D'après QUESENBERRY K.E., 2011 et D'après FOX J.G., 2014) :

On retrouve la même structure que pour le cœur du chien et du chat avec l'endocarde qui tapisse les quatre cavités (atriums et ventricules droits et gauches), le myocarde et le péricarde. Chez le furet, il se situe en **T6-T8** donc assez **caudalement** en comparaison avec les autres espèces. Il a une forme plus globuleuse que chez le chat avec un apex arrondi projeté à gauche du plan médian. Il occupe une grande place dans la cavité thoracique dans laquelle il prend une position oblique en vue de face (en effet le grand axe du cœur forme un angle de 26° avec le sternum dans le plan médian) et s'incline crânialement sur le sternum (en vue de profil). La cavité thoracique étant étroite, le cœur est en contact prolongé avec le sternum via un **ligament cardiodiaphragmatique** pouvant contenir une certaine quantité de **graisse**. De ce fait, fréquemment, il existe un espace physiologique avec le sternum qui ne doit pas être confondu avec un pneumothorax.

Du cœur partent les gros vaisseaux. Pour ce qui est du réseau veineux, il est semblable à celui observé chez les autres carnivores domestiques. Pour ce qui est du réseau d'artères, on peut noter quelques **particularités** propres au furet en ce qui concerne les **collatérales de l'aorte en direction de la tête**. En effet le tronc brachiocéphalique est une artère centrale unique volumineuse, de 2 mm de diamètre, issue de l'arc aortique et proximale à l'artère sous-clavière gauche. Le tronc se divise en 3 parties au niveau de l'entrée de la cage thoracique: l'artère carotide commune gauche, l'artère carotide commune droite et l'artère sous-clavière droite. Cette particularité anatomique assure un maintien de l'irrigation sanguine cérébrale à l'occasion de rotation extrême de la tête et du cou.

La vascularisation propre au cœur est assurée par les artères et veines coronaires. Il est intéressant de remarquer que chez le furet **l'artère coronaire gauche est prédominante**. L'artère coronaire droite est parfois complètement inexistante.

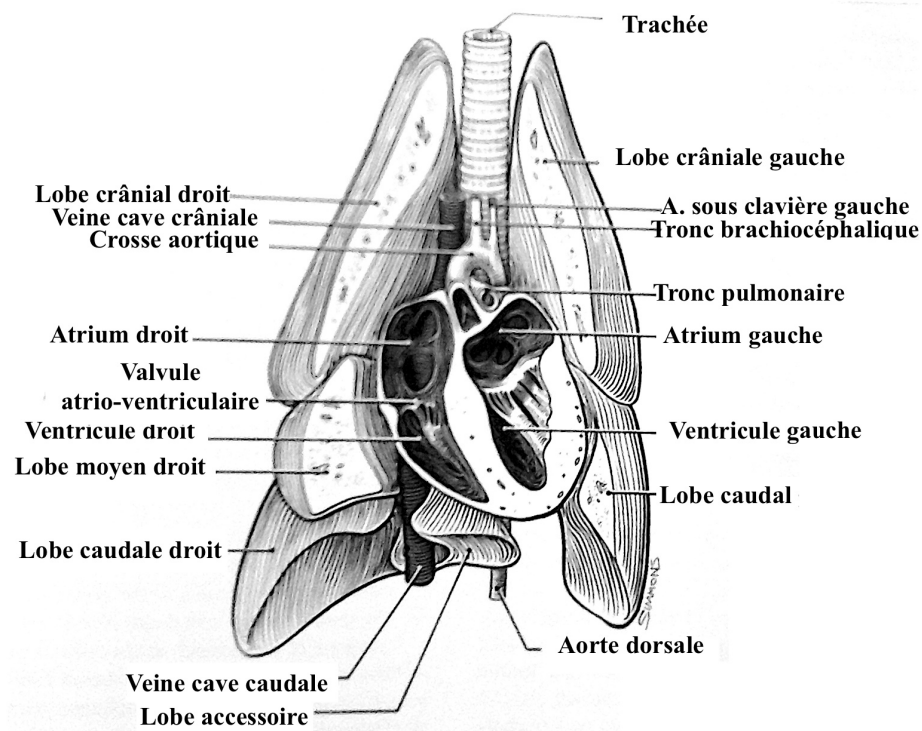


Figure 8 Bloc cœur – poumon chez le furet (D'après FOX J.G., 2014)

Les affections cardiaques sont plus rares chez le furet que chez les chiens et chats mais restent cependant existantes et certainement sous-diagnostiquées de part le fait qu'elles se développent tardivement. Cependant la cardiomyopathie dilatée CMD est l'affection cardiaque la plus fréquente (D'après HEBERT F. et BULLIOT C., 2014).

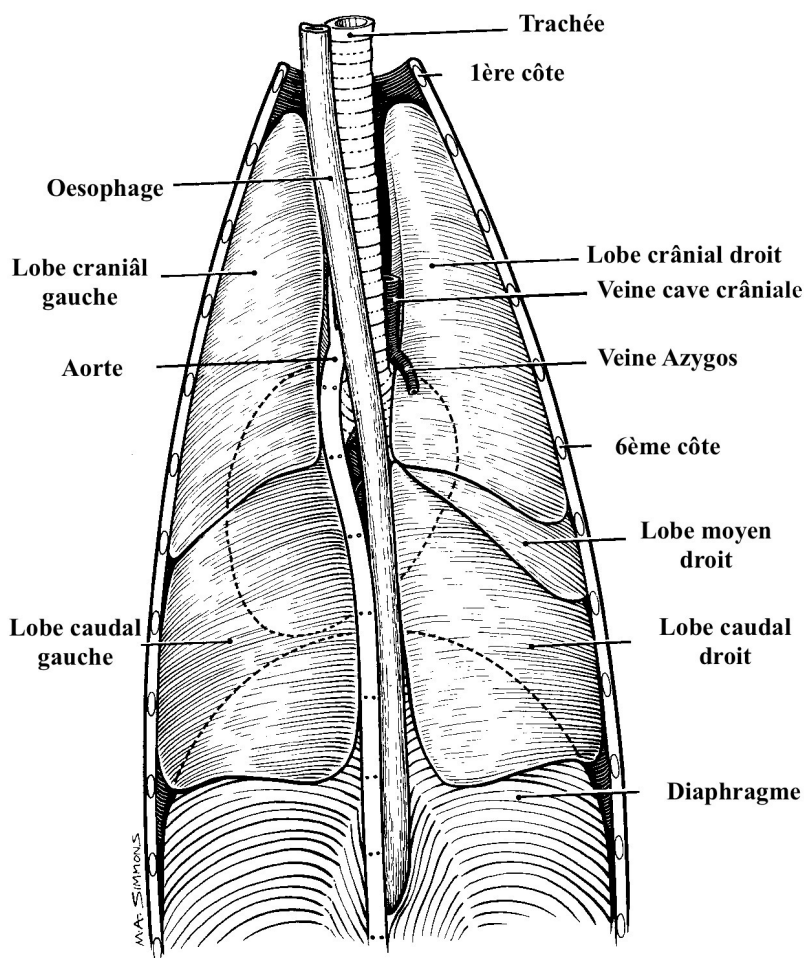
L'œsophage (D'après QUESENBERRY K.E., 2011 et D'après FOX J.G., 2014) :

L'œsophage s'étend de la démarcation pharyngo-oesophagienne au niveau du cartilage cricoïde et jusqu'au cardia en passant dorsalement et à gauche de la trachée. Chez le furet il mesure autour des 18 cm dans sa globalité et est subdivisé en trois parties :

- La partie cervicale (6,5 cm de long) où il vient se loger à proximité de la carotide en regard de la vertèbre C4.
- La partie thoracique, la plus longue (11 cm) où il croise en profondeur l'artère sous clavière gauche et continue sous l'arc aortique. Le passage en cavité abdominale se fait au niveau du hiatus oesophagien en regard de la vertèbre T14 où l'œsophage est accolé aux branches ventrale et dorsale du nerf vague.
- La partie abdominale (1,5 cm de long) s'étend jusqu'au cardia de l'estomac en cheminant à travers le ligament du lobe latéral gauche du foie. Il n'y a pas de réel sphincter gastro-oesophagien.

Chez le furet la **musculature de l'œsophage** est **striée** sur toute sa longueur crâniale au diaphragme. On peut isoler **3 zones de rétrécissement du diamètre** de la lumière oesophagienne : à son origine, à proximité de la bronche gauche, et tout à fait crânialement au diaphragme. La membrane muqueuse qui tapisse la lumière de l'œsophage laisse entrevoir de nombreux plis longitudinaux quand l'œsophage n'est pas dilaté et qui disparaissent de façon brutale caudalement à la jonction gastro-oesophagienne.

4) Poumons (D'après QUESENBERRY K.E., 2011 et D'après FOX J.G., 2014)



Chez le furet, les poumons sont plus allongés de **T1-2 à T 10-11**, comprimés dans un espace tubulaire. Les apex droit et gauche sont au même niveau à l'entrée de la cage thoracique (Cf Figure 9).

Le poumon gauche est constitué de deux lobes ; un crânial et un caudal. Les deux sont séparés par une scissure oblique. Le tiers distal du lobe crânial gauche se trouve à proximité du cœur et son bord médial est en contact avec l'œsophage, la trachée et le thymus. Quant au lobe caudal, de forme pyramidale, il est localisé du 6-7 ème au 10-11 ème espace intercostal.

Le poumon droit est composé de 4 lobes ; un crânial, un moyen, un caudal et un accessoire. Les lobes crânial et caudal droits sont plus petits que le lobes crânial et caudal gauches.

Figure 9 Les poumons dans la cavité thoracique chez le furet (D'après FOX J.G., 2014)

Le lobe crânial droit présente un bord ventral concave. Avec le lobe moyen droit, ils forment l'échancrure cardiaque. Le bord dorso-médian du lobe crânial droit est longé par la veine cave caudale et la trachée. Le lobe moyen est de forme pyramidale et est adjacent au cœur dans sa partie crâniale. Le lobe caudal droit présente un bord médial adjacent à la veine cave caudale. Le lobe accessoire droit, de forme irrégulière concave, est ancré dans le dôme

diaphragmatique et prend une forme recourbée formant une encoche par laquelle passe la veine cave caudale et le nerf phrénique droit.

Tous les lobes pulmonaires sont rattachés à la veine cave caudale par un fort ligament. Au sein de ces structures à vocation respiratoire, deux bronches principales sont issues de la trachée et se subdivisent en bronches lobaires puis segmentaires.

La vascularisation est assurée par les artères pulmonaires et les veines pulmonaires. Au scanner on peut visualiser des figures de « triade » correspondant à un ensemble artère/bronche/veine. Les artères pulmonaires transportent du sang non-oxygéné du ventricule droit jusqu'au poumon où se déroule l'oxygénation. Les veines pulmonaires ramènent le sang une fois oxygéné jusqu'à l'atrium gauche. Il y a au moins une veine par lobe pulmonaire. Le tronc pulmonaire se subdivise en artères pulmonaires droite (qui chemine ventralement à la bronche droite et dorsalement à la veine lobaire gauche) et gauche (qui s'incurve dorsalement) qui viennent se ramifier respectivement dans les lobes pulmonaires droit et gauche. L'artère pulmonaire droite est plus longue que la gauche.

5) Système endocrinien localisé au thorax

Thyroïde :

Chez le furet elle se situe ventralement le long de la trachée et s'étend du troisième au 11^{ème} anneau trachéal. Elle est constituée de deux lobes dont chacun est situé latéralement à la trachée et qui sont réunis par un isthme qui lui est ventral à la trachée. Médialement les lobes cotoient le passage de la veine jugulaire externe et de l'artère carotide commune. L'ensemble mesure 1,3 cm de long, 0,3 cm de large et 0,1 cm d'épaisseur en moyenne. (D'après QUESENBERRY K.E., 2011 et D'après FOX J.G., 2014)

Glandes parathyroïdes :

Il peut y en avoir deux ou plus rarement une unique. On les trouve en position médiocrâniale par rapport à la thyroïde. Elles sont localisées au quatrième ou cinquième anneau trachéal directement contre la trachée (D'après MARTINEZ 2015).

6) Système lymphoïde

Nœuds lymphatiques :

On recherche les nœuds lymphatiques axillaires.

Organes lymphoïdes localisés au thorax : thymus (D'après FOX J.G., 2014) :

On le trouve à l'entrée du thorax dans le médiastin crânial et médialement se trouvent l'œsophage, la trachée et les vaisseaux.

Sa taille varie en fonction du stade physiologique de l'individu : il est assez proéminent chez le jeune mais régresse progressivement jusqu'à n'être remplacé que par de la graisse chez l'adulte.

C) Le système abdominal

(Cf Figure 5 et Annexe 2)

1) Squelette abdominal

Squelette axial localisé à l'abdomen (D'après FOX J.G., 2014) :

Le furet possède entre **5 et 7 vertèbres lombaires**, le plus souvent 6. La taille (des corps et des processus transverses) augmente de la vertèbre L1 à la dernière. L'extension et la flexion dorso-ventrale sont permises par l'articulation entre les processus articulaires craniaux et caudaux. Les mouvements latéraux sont quant à eux limités. Les processus transverses sont de grande taille et sont ainsi le support d'une musculature bien développée chez le furet.

En région sacrée les 3 vertèbres sacrées sont fusionnées mais on peut quand même individualiser les 3 processus épineux portant 2 paires de foramens chacun et permettant la transmission nerveuse. Les ailes de la vertèbre S1 sont étendues et viennent s'articuler avec l'ilium.

Pour terminer, le furet possède **18 vertèbres caudales**. La première se situe au niveau de l'acétabulum et les 3 premières forment le toit du canal pelvien. Plus on avance vers les vertèbres les plus caudales, moins leur conformation présente de relief, et plus elles sont de petite taille.

Remarque : on note que la moelle épinière s'étend, chez le furet, juste avant l'extrémité caudale de la dernière vertèbre lombaire (D'après QUESENBERY K.E., 2011).

Le scanner est indiqué lorsqu'on veut explorer l'état de la moelle dans un contexte de recherche de hernies discales thoraco-lombaires parfois rapportées chez les furets.

Squelette appendiculaire : membre pelvien (D'après FOX J.G., 2014) :

Le **bassin** est composé de 2 os coxaux. Ventralement ils s'unissent et forment la symphyse pelvienne.

Chaque os coxal est le résultat de la fusion d'un ilium, d'un ischium et d'un pubis.

Comme chez tous les carnivores domestiques, pour chaque os coxal, l'aile de l'ilium s'articule avec le sacrum au niveau de la jonction sacro-iliaque. Le bord du foramen obturé est formé crânialement par le pubis et dorsalement par l'ischium. Le fémur vient s'articuler dans l'acétabulum qui est le lieu de rencontre de l'ilium avec l'ischium et le pubis.

La filière pelvienne est, par définition, l'espace entre le sacrum et le bassin. Caudalement « le plancher et les parois » sont formés par le pubis et « le toit » par le sacrum, alors que crânialement c'est l'ischium qui forme « le plancher et les parois » et ce sont les 3 premières vertèbres caudales qui forment le « toit ».

Chez le furet on peut noter que le bassin est long et étroit. Il ne s'articule avec la colonne vertébrale que par son extrémité crâniale au niveau de l'articulation sacro-iliaque. De plus, le trou obturateur semble de grande taille proportionnellement à la taille de l'animal si on le compare à celui des autres carnivores domestiques.

Le **fémur** est un os long et droit élargi en partie distale au niveau de sa tête. Le col du fémur y est légèrement incliné. Le grand trochanter est volumineux et est le lieu d'insertion des muscles de la hanche ; les muscles fémoraux. A l'autre extrémité, l'extrémité distale, les condyles, médial et latéral sont larges. Une particularité chez le furet est qu'il n'a **pas de fabelle médiale** (qui est pourtant présente chez le chien) ; en effet on ne trouve qu'un seul os sésamoïde, la fabelle latérale, située dans le tendon du muscle gastrocnémien latéral, caudo-dorsalement au condyle latéral.

Le **grasset** articule ensemble le fémur et le tibia. En surface, crânialement on retrouve une patelle. Il s'agit d'un os ovoïde situé dans le tendon du muscle quadriceps et qui vient se loger dans la trochlée à l'extrémité distale du fémur. On trouve un ménisque entre chaque condyle fémoral et tibial, épaissi en périphérie. Le tout est attaché via les ligaments collatéraux médiaux et latéraux ainsi que par des ligaments croisés.

Le **tibia** est l'os le plus long du membre pelvien chez le furet. Les condyles médial et latéral de l'extrémité proximale sont situés de part et d'autre d'une aire intercondyloire. A l'extrémité distale on a l'articulation entre la trochlée et la trochlée du talus.

La **fibula** est beaucoup plus mince mais presque aussi longue que le tibia. En partie proximale la tête de la fibula s'articule avec le condyle tibial latéral. En partie distale on trouve la malléole latéralement et qui s'articule à la fois avec l'extrémité distale du tibia mais aussi avec le talus.

Le **tarse** comprend 7 os comme chez le chien. Les deux proximaux sont le talus et le calcaneus, se sont les plus volumineux (le calcaneus est plus long que le talus). On trouve également un os central du tarse qui est de forme cubique ainsi que 4 os tarsaux distaux (dont

le deuxième est le plus petit ce qui laisse la possibilité à l'os métatarsien II de venir s'intercaler).

Le **métatarse**, comme pour le métacarpe décrit précédemment, est composé de 5 os (le 1^{er} est le plus petit). On retrouve les deux os sésamoïdes proximaux en face plantaire de chaque articulation métatarso-phalangienne au sein des tendons des muscles interosseux. On remarque que contrairement au chien et au vison, même le premier os métatarsien présente 2 os sésamoïdes en face plantaire (alors que chez ces espèces il n'y en a qu'un). On peut de plus individualiser un os sésamoïde de grande taille en regard de l'os métatarsien V en face plantaire.

Les **doigts** sont au nombre de 5. De même que pour les doigts du membre thoracique, ce sont les troisième et quatrième doigts les plus longs, avec 3 phalanges chacun. Le doigt 1 est le plus court et ne possède que 2 phalanges. Un coussinet plantaire se trouve en regard de chaque phalange proximale.

On retrouve l'idée selon laquelle le furet est un animal plantigrade, qui se déplace sur la face plantaire du tarse, du métatarse et des doigts. On dénombre ainsi **4 coussinets métatarsiens** en regard des articulations métatarso-phalangiennes et chaque phalange proximale (au nombre de 5) possède un **coussinet plantaire**.

Particularités du squelette abdominal du furet (D'après FOX J.G., 2014) :

Le furet présente dans son squelette des **os** dits **hétérotopiques**, c'est à dire qu'ils se développent au sein de tissus mous.

Il s'agit de la patelle et de la fabelle latérale (discutées précédemment) mais aussi d'un os pénien chez le mâle.

L'os pénien du mâle mesure 4,5 cm de long environ. On le retrouve au sein du gland du pénis, dorsalement à l'urètre dans sa partie pénienne. Sa partie distale s'incurve dorsalement formant un J. (*le détail de l'anatomie de l'appareil génital mâle sera discuté ultérieurement*)

2) Particularité de la musculature abdominale du furet (D'après FOX J.G., 2014)

Les muscles abdominaux sont globalement les mêmes que chez les autres carnivores domestiques.

En vue latérale, sur le membre pelvien, on trouve en plus des muscles superficiels de la cuisse, le muscle caudofémoral. Son origine est son insertion sur le sacrum et sa terminaison est sa fixation en face caudale du fémur. Le corps du muscle longe crânialement le glutéobiceps (D'après BOUSSARIE D., 2008).

3) Appareil digestif (Cf Figure 16)

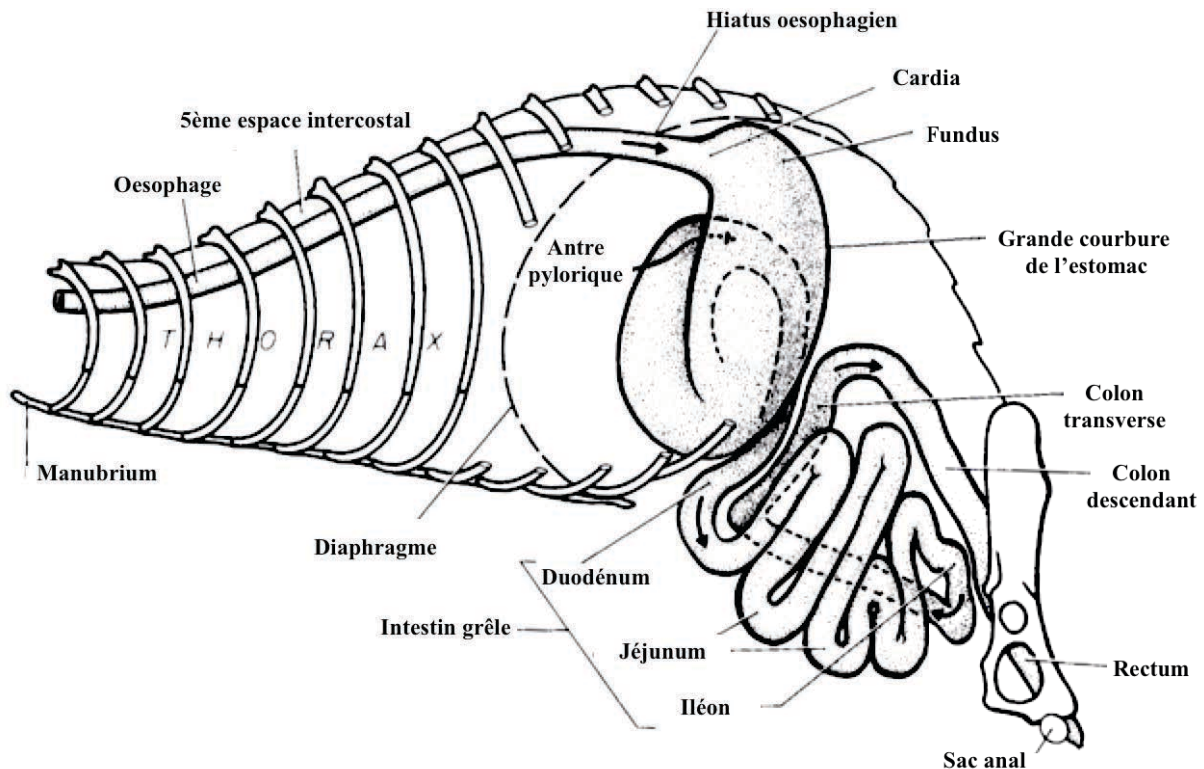


Figure 10 Vue latérale gauche. Topographie du tractus digestif (D'après FOX J.G., 2014)

Estomac (D'après QUESENBERRY K.E., 2011 et D'après FOX J.G., 2014) :

Il se situe crânialement en région abdominale et du côté gauche. Lorsqu'il est vide on le localise entre T11 et L1. Lorsqu'il est plein il est repoussé à droite. Sa taille varie grandement et c'est un organe capable d'une distension très importante allant facilement jusqu'à au moins 50 ml/kg de contenu.

Sa conformation est simple, commune aux autres carnivores et très ressemblant à celui du chien, avec une organisation en trois parties : le cardia (où débouche la partie abdominale de l'œsophage), le corps et le pylore. On retrouve également la présence de deux courbures : une grande (en contact avec la face viscérale de la rate par l'intermédiaire des ligaments gastrospléniques) et une petite (orientée crânio-dorsalement et séparée du processus papillaire du lobe caudé du foie par le petit omentum).

Chez le furet l'estomac prend **une forme de « J »** couché sur la gauche du plan médian.

En résumé, au sein de la cavité abdominale, l'estomac est en contact direct avec le foie, via le petit omentum et le diaphragme crânialement, la rate (du côté gauche et le long de la grande courbure), et les intestins caudalement. Le lobe gauche du pancréas est inclus dans le feuillet viscéral du grand omentum qui est donc en contact direct avec l'estomac.

La vascularisation est développée autour de cet organe. L'irrigation de la petite courbure est assurée par les artères gastriques gauche et droite. Dans la grande courbure, elle est assurée par les artères gastroépiploïques gauche et droite. Un drainage veineux est en place autour de ces artères principales.

Intestin grêle (D'après QUESENBERRY K.E., 2011 et D'après FOX J.G., 2014) :

Comparativement aux autres espèces, **l'intestin grêle** semble **court**, pour une longueur de l'intestin estimée entre 182 et 198 cm chez l'adulte d'où un ratio longueur de l'intestin/ longueur du corps de seulement 5 pour 1. Cette taille diminuée contribue à un temps de transit intestinal très court de l'ordre de 3-4 h.

On retrouve l'organisation en trois parties (duodénum, jéjunum, iléon) bien qu'il n'y ait pas de démarcation macroscopique (ni interne ni externe) entre le jéjunum et l'iléon. On sépare donc l'intestin grêle en deux segments : le duodénum et le jéjuno-iléon.

Le duodénum mesure 10 cm de long. Il est formé de trois parties.

La première est la partie crâniale (entre T13-T14) qui ne s'étend que sur 2 cm de long jusqu'à la courbure crâniale à partir de laquelle le duodénum s'infléchit caudalement. Dorsalement et latéralement, il est en contact avec le foie alors que médialement il est en contact avec le corps du pancréas.

La seconde partie est la partie descendante où il chemine caudalement du côté droit sur 5 cm de long jusqu'à la courbure caudale. Dorsalement on peut individualiser le lobe droit du pancréas et le rein droit alors que médialement on trouve le colon ascendant.

La dernière et troisième est la partie ascendante qui s'étend sur 3 cm sur le plan médian en direction crâniale jusqu'à la courbure duodéno-jéjunale, où il est en contact avec les anses intestinales et le côlon descendant.

On remarque que les deux dernières parties sont séparées par une courbure du duodénum dont la forme dessine une lettre « C ». Pour ce qui est de la délimitation entre duodénum et jéjuno-iléon au niveau de la courbure, on la situe grâce à une légère constriction correspondant au lieu de jonction des artères jéjunales et iléocoliques.

Le jéjuno-iléon mesure 140 cm de long entre la courbure duodéno-jéjunale et l'extrémité proximale du colon ascendant. Le grand omentum recouvre l'ensemble des anses intestinales. Caudalement il est étroitement lié aux organes uro-génitaux.

La vascularisation du duodénum est assurée par les artères pancréatico-duodénales crâniale et caudale. L'artère pancréatico-duodénale crâniale est une branche d'une artère hépatique alors que la caudale est une branche de l'artère mésentérique crâniale. Le drainage veineux est assuré par des veines satellites de ces artères. On dénombre entre 10 et 12 veines jéjuno-iléales qui se jettent dans la veine mésentérique crâniale contribuant à la collecte du sang par la veine porte.

Côlon/rectum (D'après FOX J.G., 2014) :

Une particularité du furet est l'**absence de caecum** et de valve iléo-caecale. De ce fait la limite jéjunoiléo-colique n'existe pas précisément et on considère que l'extrémité proximale du côlon correspond à l'endroit où le diamètre intestinal augmente pour atteindre 0,6 cm. Cela correspond à la région où le jéjuno-iléon croise ventralement le duodénum descendant et dessine une courbure en s'approchant de la face médiale de la rate. Le côlon s'étend alors sur une longueur d'environ 7 cm jusqu'au rectum.

En ce qui concerne la conformation elle est semblable à celle du chien et du chat avec trois parties séparées par deux courbures :

- Le côlon ascendant chemine légèrement à droite du plan médian, longe médialement le lobe droit du pancréas et ventralement le rein droit jusqu'à la courbure droite pour donner le côlon transverse.
- Le côlon transverse traverse du côté gauche du plan médian où il est en contact ventro-crânialement avec l'estomac et dorso-crânialement avec le lobe gauche du pancréas, jusqu'à la courbure gauche où il donne le côlon descendant.
- Le côlon descendant correspond à la partie de plus large diamètre de l'ensemble du segment colique. Il s'étend en direction caudale à gauche, ventralement au rein gauche puis à l'utérus et à la vessie en partie terminale et vient précéder le rectum.

Le rectum s'étend sur 2 cm de long dans la cavité pelvienne dorsalement à l'appareil uro-génital. Il se termine par le canal anal et l'anus qui est constitué de deux sphincters (un interne et un externe). C'est dans le muscle strié du sphincter externe que se trouve la paire de **glandes anales**. Ces glandes sont plus ou moins gorgées d'une substance odorante. Leur présence est caractéristique de toutes les espèces de la famille des mustélidés. Elles se situent à environ 4h et 8h (pour un furet placé en décubitus dorsal) et débouchent dans le canal anal. Leur taille dépend de leur engorgement mais en moyenne, elles mesurent chacune 10 mm de long pour 5 mm de large (D'après BOUSSARIE D., 2008).

La vascularisation est assurée par des branches de l'artère mésentérique crâniale (en ce qui concerne le côlon ascendant et le côlon transverse), des branches de l'artère mésentérique caudale (côlon descendant et rectum), et les veines mésentériques crâniale et caudale qui fusionnent pour former la veine porte.

Glandes annexes :

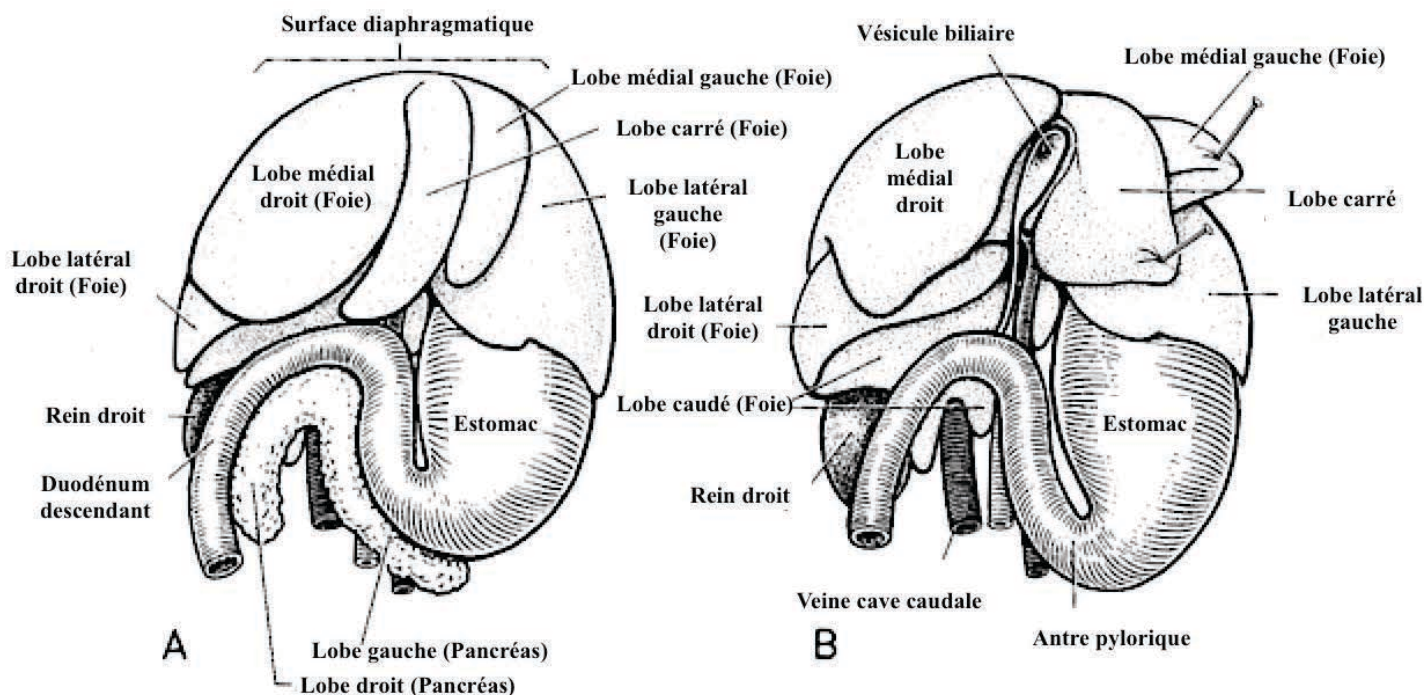


Figure 11 Vue ventrale. Glandes annexes du tube digestif. A : Organes in situ. B : Foie récliné et pancréas retiré

(D'après FOX J.G., 2014)

- Foie et Vésicule biliaire (D'après QUESENBERRY K.E., 2011 et FOX J.G., 2014) :

Le foie du furet apparaît relativement **volumineux**, et ce physiologiquement, et proportionnellement à sa taille si on compare avec les autres espèces de carnivores domestiques. En effet il représente 4,3% du poids total du furet alors qu'il correspond à seulement 3,4% du poids total chez le chien (D'après HUYNH M., 2013).

Il est constitué de 6 lobes : le latéral droit, le médial droit assez volumineux et dont la face viscérale est en contact avec la vésicule biliaire, mais aussi les lobes carré, médial gauche, latéral gauche qui est le plus volumineux, et enfin le lobe caudé possédant un processus caudé et un processus papillaire. (Cf Figure 11)

La face diaphragmatique du foie est très convexe en suivant le diaphragme et a un aspect lisse.

La face viscérale, quant à elle, est très irrégulière et marquée par les empreintes des organes adjacents tel que l'estomac, le duodénum, le pancréas et les reins. La partie crâniale du rein droit et la partie proximale du duodénum ascendant viennent se loger dans une cavité profonde située sur la face viscérale du lobe caudé.

La vascularisation du foie est assurée par l'artère hépatique qui provient de l'artère coeliaque, les veines hépatiques qui s'abouchent à la veine cave caudale, et la veine porte qui redistribue le sang portal à l'estomac, la rate, l'intestin et le pancrès. On peut d'ailleurs observer le cheminement de la veine porte ainsi que celui de la voie biliaire principale et de l'artère hépatique dans une fissure dite « fissure portale » qui chemine entre les lobes latéral droit et caudé.

La vésicule biliaire, quant à elle, mesure 2 cm de long pour 1 cm de large et est **piriforme**. On la trouve logée dans une fosse entre les lobes carré et médial droit. Quand elle est remplie on peut visualiser une séparation entre ces lobes mais jamais la vésicule biliaire ne vient en contact avec le diaphragme comme c'est le cas chez le chien.

De celle ci part le conduit cystique qui rejoint les conduits hépatiques central, droit et gauche, pour venir former le conduit cholédoque.

- Pancréas (D'après QUESENBERRY K.E., 2011 et D'après FOX J.G., 2014) :

Il est formé de **deux lobes en « V » inversé** qui se rejoignent contre le pylore (Cf Figure 11.A) :

Le lobe gauche, qui est le plus petit, se trouve entre la rate et la grande courbure de l'estomac. Dorsalement on trouve la veine porte et le rein gauche. Ventralement se trouvent le côlon transverse et le jéjuno-iléon.

Le lobe droit chemine dorso-médialement le long du duodénum descendant. Dorsalement à ce lobe on trouve la veine cave caudale, l'aorte, le rein droit et le lobe caudé du foie. Ventralement on individualise des anses intestinales.

Chacun des lobes du pancréas du furet est drainé par un canal. Ceux ci fusionnent pour former le canal pancréatique.

Chez le furet le conduit cholédoque et le canal pancréatique se jettent tous deux dans la **papille duodénale** majeure à environ 3 cm caudalement à la courbure duodénale crâniale. Une papille mineure peut être présente mais si c'est le cas, n'est jamais prédominante.

La vascularisation est entre autre assurée sur le lobe gauche par la branche pancréatique de l'artère splénique.

Le pancréas est aussi un organe qui requiert un suivi particulier chez le furet chez qui la prévalence des insulinomes est grande à partir de 3 ans. L'imagerie est utilisée pour détecter la présence des nodules néoplasiques via l'échographie ou un scintiscanner. (D'après HEBERT F., 2014).

4) Système endocrine localisé à l'abdomen

Les glandes surrénales (D'après QUESENBERRY K.E., 2011, FOX J.G., 2014 et BEEBER N.L., 2011) :

La localisation anatomique et la vascularisation sont représentées Figure 12.

La surrénale gauche est encastrée dans du gras rétropéritonéal juste médiale et crâniale au rein gauche, ventro-latéral à l'artère mésentérique crâniale gauche, et crânial à l'artère rénale gauche. Souvent plus caudale que la droite, elle mesure 7 mm de long pour 3 mm de large.

La surrénale droite est juste médiale et crâniale au rein droit et est plus volumineuse avec une longueur autour de 10 mm. Sa face dorsale est liée à l'artère mésentérique crâniale droite et est repérable sous le lobe caudé du foie. De part un fascia, sa face ventrale est adhérente à la face dorsale droite de la veine cave caudale ou prend juste une incurvation vers la droite autour de ce vaisseau englobant ainsi sa face dorsale.

Pour ce qui est de la structure interne des surrénales elle est semblable à celle des carnivores domestiques à savoir : des zones glomérulée, fasciculée et réticulée avec une zone intermédiaire et une zone juxta-glomérulaire permettent d'assurer les fonctions physiologiques de sécrétions endocriniennes.

La vascularisation est assurée pour chaque glande surrénale par l'artère rénale ipsilatérale et directement par l'aorte.

Ce sont des structures à surveiller et ainsi pour lesquelles l'examen scanner a un grand intérêt. En effet la **maladie surrénalienne** est très fréquente (chez 70% des furettes stérilisées chirurgicalement). Ces structures varient en taille lors de l'oestrus des femelles cyclées, et on comprend alors que ces glandes sont influencées par les phénomènes hormonaux et notamment intervenant dans la fonction de reproduction (il a d'ailleurs été démontré qu'elles possèdent des récepteurs à la LH et la FSH). Il est donc nécessaire de suivre la taille et l'aspect des surrénales qui sont sujettes à une hyperplasie voire à la mise en place d'un processus tumoral avec l'âge sur une ou deux glandes surrénales. Dans l'étude rétrospective de BEEBER N.L. (2011) 64 % des cas de maladie surrénalienne étaient liés à une atteinte de la surrénale gauche, pour 20 % de la surrénale droite et 16 % d'atteinte bilatérale.

Le scanner est un moyen direct, en complément de l'échographie, pour avoir un reflet de l'évolution de l'activité des surrénales chez les femelles non stérilisées ou stérilisées chirurgicalement. Un implant de GnRH comme contraceptif permet de minimiser ce risque. Le traitement est chirurgical et consiste en une adrénalectomie uni ou bilatérale. Une adrénalectomie droite est plus difficile de part la localisation de la glande contre la veine cave. (D'après BEEBER N.L., 2011)

Le pancréas : cf paragraphe précédent

5) Système lymphoïde (D'après QUESENBERRY K.E., 2011 et FOX J.G., 2014)

Nœuds lymphatiques :

Chez le furet le **nœud lymphatique mésentérique est physiologiquement très proéminent**. On le retrouve encastré dans la graisse à la racine du mésentère, au niveau de la jonction des veines mésentériques crânielles et caudales. Il mesure 12,4 +/- 2,4 mm de long pour 6,9 +/- 2,0 mm de large. Cette particularité anatomique est bien évidemment à connaître pour interpréter des images scanner et étant donné la forte prévalence de lymphome. On peut également trouver quelques nœuds lymphatiques supplémentaires noyés dans la graisse mésentérique mais ne dépassant pas 3 mm de diamètre chez un animal sain.

Au niveau du membre pelvien on identifie également le nœud lymphatique poplité.

Organes lymphoïdes localisés à l'abdomen : la rate :

Pour situer la rate on se rapporte à la position et à la taille de l'estomac et on cherche une structure en forme de croissant. La surface viscérale de la rate est parallèle à la grande courbure de l'estomac (à laquelle elle est fortement attachée via le ligament gastrosplénique). Elle est aussi proche du colon et du lobe gauche du pancréas. Son bord caudal est en contact avec le pôle crânial du rein gauche et, selon sa taille, parfois même avec le pôle caudal du rein droit. (Cf Annexe 2)

Sa taille est variable mais on note une moyenne de taille de l'ordre de 5 cm de long pour 2 cm de large et 1 cm d'épaisseur. Des contours qui semblent lisses sur une rate de taille augmentée, signent souvent le fait que l'organe est le siège d'une **hématopoïèse extramédullaire** qui est **physiologique chez le furet** (D'après HEBERT F. 2014). En effet elle peut être visualisée suivant la diagonale dans la cavité abdominale de la région crâniale gauche en s'étendant jusqu'à la région caudale droite. En imagerie on sera alors plus attentif à son aspect homogène ou non et à la présence d'images faisant penser à la mise en place d'un processus néoplasique plutôt qu'à une taille augmentée.

La vascularisation de la rate est assurée par l'artère splénique (elle même issue de l'artère coeliaque) et la veine splénique (qui rejoint la veine gastrosplénique puis la veine porte).

6) Appareil urogénital (D'après QUESENBERY K.E., 2011 et FOX J.G., 2014)

Reins :

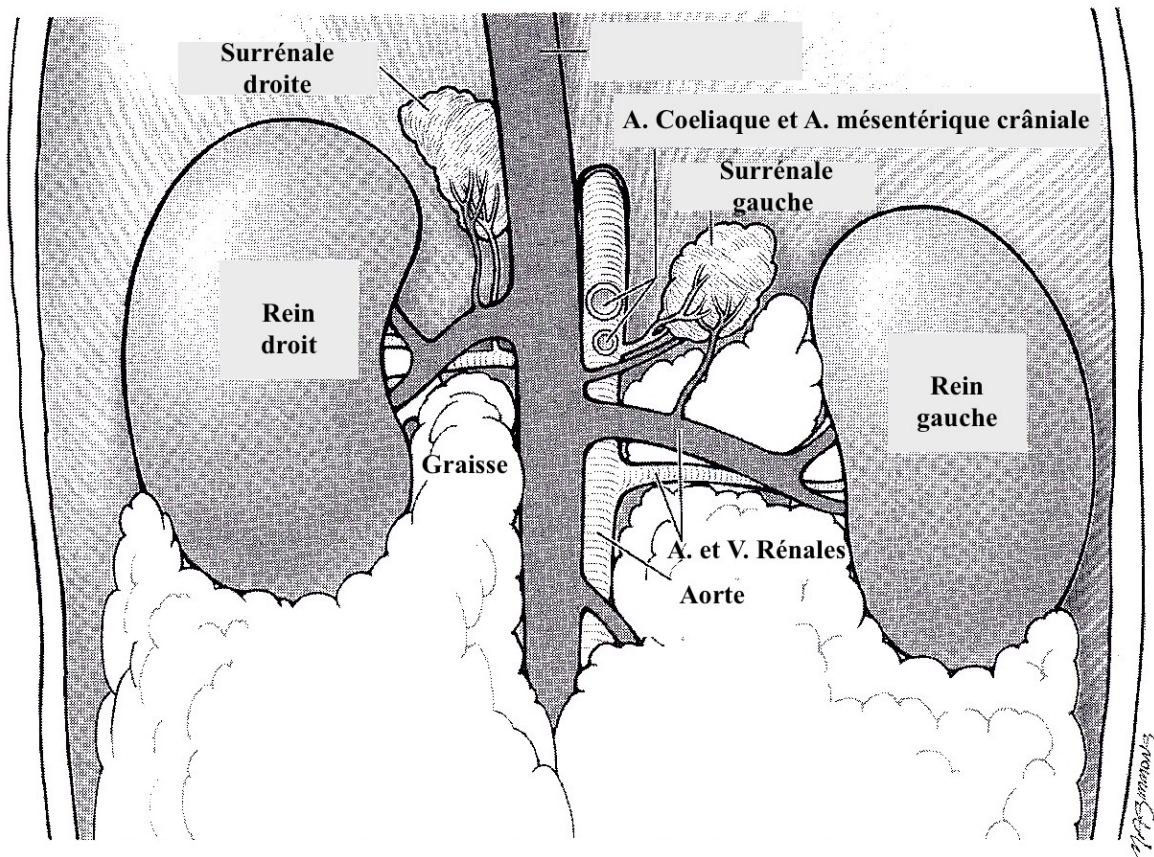


Figure 12 Cavité abdominale, vue ventrale : vascularisation des reins et des glandes surrénales (D'après FOX J.G., 2014)

Ils se situent rétro-péritonéalement dans l'espace sous lombaire. Leur surface dorsale est donc en contact avec les muscles sous-lombaires alors que leur surface ventrale est recouverte par du péritoine. Ils sont dotés d'une capsule fibreuse. La localisation du rein droit se fait à partir du pôle crânial de celui-ci à T14 au niveau du processus anconé du lobe caudé du foie auquel il est fortement fixé. La localisation du rein gauche se fait à partir d'une estimation selon laquelle le pôle crânial est situé à 0,2 cm caudalement à la vertèbre L1. La taille des reins est comparée à la longueur de 2 vertèbres lombaires et correspondrait à une taille de 2,5-3 cm de long (pour 1,3 cm de large et 1,2 cm d'épaisseur en moyenne).

La conformation est commune aux carnivores domestiques (notamment avec la lobation qui n'est pas visible).

La vascularisation est assurée par une artère et une veine rénale pour chacun des reins.

Uretères :

On les retrouve ventralement le long du muscle psoas depuis le bassinet jusqu'à la vessie. Ventralement on retrouve l'artère ovarique de la femelle ou l'artère spermatique interne chez le mâle. Ils croisent les vaisseaux iliaques sur leur face ventrale à l'entrée du bassin. Leur trajet s'achève côté dorso-latéral de la vessie crânialement au col vésical.

Vessie :

Lorsqu'elle est vide elle mesure 1 cm de diamètre pour 2 cm de long. Elle repose sur le plancher de l'abdomen, crânialement à l'entrée du bassin. Le jéjuno-iléon, le côlon ascendant, les cornes utérines de la femelle ou les conduits déférents du mâle, sont en contact dorsal avec la vessie. Dans l'abdomen elle est suspendue et fixée au plancher abdominal par 3 ligaments que sont les ligaments latéraux (droit et gauche) et le ligament médian de la vessie. La vascularisation est assurée par l'artère vésicale crâniale (qui est une branche de l'artère ombilicale) qui s'anastomose avec l'artère vésicale caudale (provenant de l'artère urogénitale) et le drainage veineux est assuré par la veine iliaque commune.

Urètre :

Chez le mâle l'urine est évacuée de la vessie par un urètre qui est uro-génital ; en effet les conduits déférents s'y abouchent au niveau de la prostate. L'ostium externe se situe en face ventrale du pénis à environ 3 mm de son extrémité. Le corps spongieux entoure l'urètre tout le long de son trajet dans le pénis. Au contraire, chez la femelle il est exclusivement urinaire. Sa liaison avec le tractus génital ne se fait qu'au niveau de la jonction vagino-vestibulaire. En amont sa paroi dorsale est ventralement en contact avec le vagin. L'ostium externe se situe crânialement à 1 cm du plancher ventral du vestibule vaginal.

Appareil génital mâle :

L'essentiel de l'appareil génital mâle est extra abdominal.

On retrouve une structure avec un scrotum renfermant les testicules en position périnéale haute et ventraux à l'anus (comme chez le chat), un épидидyme composé de 3 parties (tête qui reçoit les canalicules efférents, corps qui est tortueux et adhérent en face dorsale du testicule, queue en continuité avec le conduit déférent et passant à travers le canal inguinal pour rejoindre l'urètre). Le cordon spermatique est formé du rassemblement du conduit déférent, des veines et des artères déférentes et testiculaires auxquels d'ajoutent un ensemble de nerfs et de vaisseaux lymphatiques. C'est au niveau de l'espace inguinal que se sépare le conduit déférent du réseau de vaisseaux afin de rejoindre l'urètre au niveau de la prostate. Chez le furet mâle les anneaux inguinaux se ferment à l'âge de 6 mois.

Le pénis, situé en région abdominale, caudo-ventralement est anatomiquement semblable à celui du chien et est en trois partis (racine, corps et gland).

Les corps caverneux sont formés par l'adossement de part et d'autre du septum des deux piliers du pénis (partant de la tubérosité ischiatique). Ils sont individuellement recouverts par un muscle ischio caverneux formant un fuseau. C'est la fusion de ces deux corps caverneux au niveau de l'infléchissement crânial qui constitue le corps du pénis. Chez le furet le gland représente les deux tiers de la longueur du pénis et c'est au sein de celui-ci que l'on retrouve l'os pénien dorsalement à l'urètre dans sa partie pénienne et dont la partie distale s'incurve dorsalement formant un J (ce qui n'est pas le cas chez le chien et ce qui rend d'autant plus difficile une cathétérisation chez le furet). Le gland est recouvert d'un repli cutané appelé prépuce ou fourreau qui est lui-même recouvert de poils sur sa surface externe.

Chez le furet la **prostate est la seule glande reproductrice**. En effet cette espèce de carnivore domestique ne possède ni vésicules séminales ni glandes bulbo-urétrales. De plus elle apparaît peu différenciée chez les jeunes mâles. La prostate est une glande de petite taille et fusiforme (11 mm de long pour 6 mm de large), qui entoure l'urètre dans sa partie proximale et à la base de la vessie. On note que le tissu spermatique est peu différencié chez les jeunes et les individus mâles castrés. Une particularité anatomique de la structure prostatique du furet vient du fait qu'elle n'est pas constituée de longs conduits prostatiques comme chez les autres espèces mais par de **nombreux petits conduits**. Sa vascularisation est assurée par l'artère prostatique.

Les hormones sécrétées en cas de tumeur surrénalienne induisent l'hypertrophie du tissu prostatique qui devient diffus, et non individualisable sous forme d'une glande bien définie. De plus, des kystes prostatiques se développent fréquemment. La position para urétrale de ce tissu qui prolifère peut avoir comme conséquence à l'extrême une obstruction urétrale et un développement sur tout le pourtour de la vessie. Il devient alors urgent de rétablir le flux urinaire par cathétérisation et/ou acte chirurgical adapté (adrénalectomie, exérèse des kystes). (D'après BEEBER N.L., 2011)

Appareil génital de la femelle entière mature sexuellement (de poids entre 600 et 800g) :

On retrouve les ovaires caudalement au rein (à 0,85 cm pour l'ovaire gauche et 1,47 cm pour le droit). Leur aire de projection est alors à 4,4 cm caudalement au milieu de la 14^{ème} côte pour l'ovaire gauche et à 4,4 cm caudalement au milieu de la dernière côte pour l'ovaire droit (qui est de ce fait légèrement plus crânial). Leur forme est ovoïde et ils mesurent 0,5 cm de long pour 0,21 cm de large. Comme chez la chienne ils sont enveloppés dans une bourse graisseuse fermée. L'ensemble du **pédicule ovarien, des oviductes et du ligament propre de l'ovaire** (permettant son attachement à l'oviducte) sont des **structures assez courtes** en comparaison avec l'anatomie de la chatte.

En ce qui concerne l'**utérus**, il est de type **bipartite** ce qui anatomiquement correspond à deux longues et fines cornes pointues (de 4,3 cm de long et 0,2 cm de diamètre) et un petit corps (de 1,7 cm de long pour 0,4 cm de diamètre).

Le vagin de la furette mesure 1,7 cm de long pour 0,4 cm de diamètre. Il s'étend jusqu'à la vulve. Elle est constituée d'un vestibule, d'un **clitoris (très développé)** chez la furette et logé dans une fosse clitoridienne) et est délimitée par les lèvres droite et gauche réunies au niveau des commissures ventrale et dorsale.

La vascularisation des structures de l'appareil génital femelle est assurée par les artères et veines ovariennes et utérines.

Les mamelles sont le plus souvent au nombre de 4 paires chez la furette comme chez la chatte. On dénombre ainsi une paire de mamelles pectorales, deux paires de mamelles abdominales et une paire de mamelle inguinale.

3^{ème} PARTIE : REALISATION DE L'ATLAS TOMODENSITOMETRIQUE EN LIGNE

I/ LE PROJET

Notre projet consiste à poursuivre la mise en ligne d'atlas existant d'hors et déjà sur l'anatomie du chien et du chat sains, en l'élargissant aux différentes espèces de NAC. Le principe de cet atlas est de mettre à disposition de l'utilisateur des images tomodensitométriques légendées obtenues à partir d'examens scanner sur animaux sains.

Des études similaires ont donc été menées en parallèle par l'unité pédagogique d'Anatomie-Imagerie de l'ENVT et ainsi, on retrouve les atlas des espèces suivantes :

- Chien • Chat • Furet • Lapin • Rat • Cobaye • Iguane • Elaphe • Pogona

Ces atlas sont disponibles pour tous gratuitement à cette adresse :

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

II/ SA REALISATION, LE SITE INTERNET

Etape 1 : Examen scanner

L'examen scanner a été effectué sur une machine Brightspeed sur le site de l'ENVT depuis 2014, au sein du service d'Imagerie Médicale. Il s'agit d'un scanner multicoupes issu de la dernière technologie de General Electric. Il allie finesse de coupes et résolution optimale des images. Le temps anesthésique est également plus court, du fait de la rapidité d'acquisition des images et ainsi la dose de rayons X reçue par les animaux est réduite.

Après examen clinique général détaillé et connaissance de l'ensemble des commémoratifs et anamnèse relatifs à la furette de 3 ans choisie, nous réalisons l'anesthésie du modèle avec le protocole suivant : Butorphanol et Médéthomidine associés à dose faible par voie sous cutanée. Une telle association permet d'obtenir une tranquilisation forte et une immobilité totale, paramètre primordial pour la bonne réalisation de l'examen, mais sans induction nécessaire, ce qui diminue le risque anesthésique.

Toute la durée de l'examen est rigoureusement encadrée par l'équipe de la clinique NAC et faune sauvage de l'ENVT.

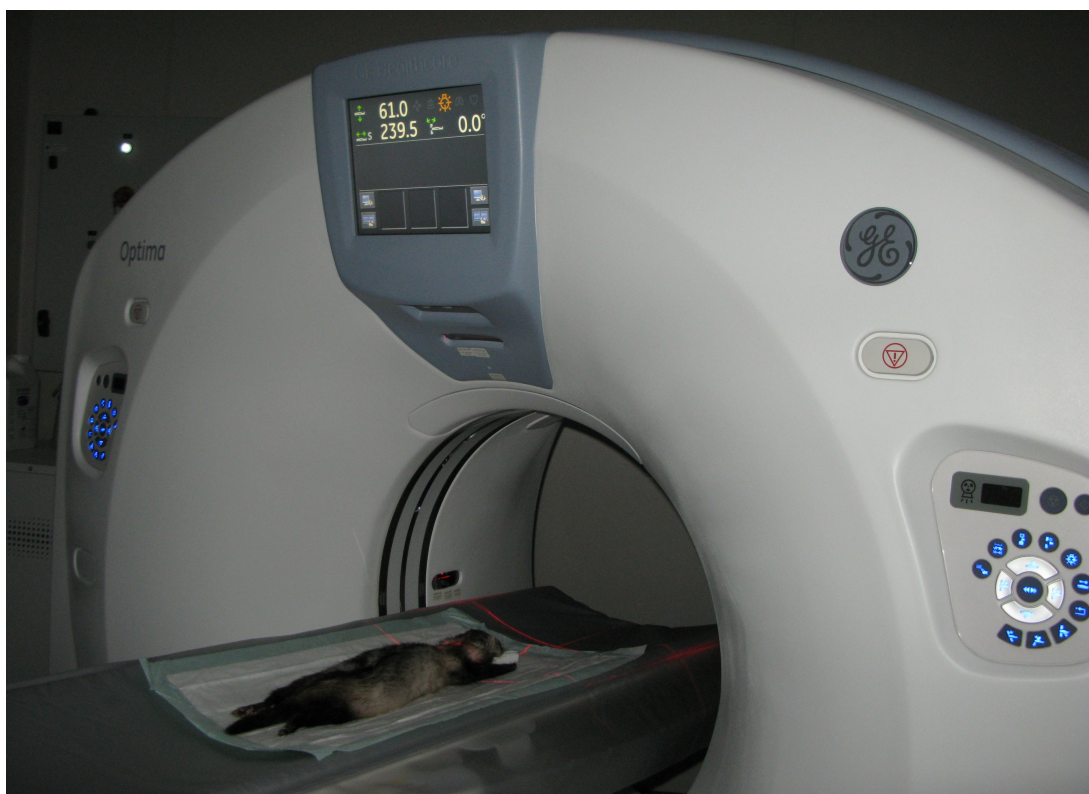


Figure 13 Réalisation du scanner à l'origine des images de l'atlas (Photo de Marion CALANDRA)

Remarque concernant le furet dont sont tirées les images légendées : la furette présente une particularité anatomique visible sur les images scanners ; en raison d'un traumatisme à la période où elle était fureton, sa canine supérieure gauche est cassée. Cependant, l'examen clinique n'a révélé aucune anomalie et les commératifs de l'animal nous permettent de le considérer comme modèle sain.

Etape 2 : Acquisition des coupes transversales

Une fois les paramètres réglés et l'examen commencé, un algorithme de reconstruction permet de recréer à chaque rotation une à plusieurs coupes (en fonction du nombre de canaux de détections).

Etape 3 : Reconstitution des images dans le mode de visualisation MPR

Après réalisation de l'examen, le traitement informatique permet de visualiser des images sous différents modes. Le mode que nous avons choisi est le mode MPR (multiplanar reconstruction). Il s'agit d'un mode qui permet une construction d'images multi planaires. Il permet d'obtenir à partir des informations recueillies en coupes transversales des images reconstruites dans les plans sagittaux et dorsaux.

Etape 4 : Construction de l'Atlas tomodensitométrique

Elle commence par la mise en forme des images.

L'intégralité des images obtenues par l'examen tomodensitométrique a été visualisée via le logiciel OSIRIX® afin d'identifier les différentes structures anatomiques.

Une fois la reconnaissance effectuée, des images en coupe transversale ont été sélectionnées de façon à individualiser le plus grand nombre de structures anatomiques d'intérêt. Elles ont ensuite été mise en page suivant la position conventionnelle puis légendée grâce au logiciel Powerpoint®.

La localisation de chaque image correspondant à une coupe transversale est indiquée par un trait vertical sur un schéma représentatif d'un furet en coupe sagittale en bas à droite de chaque planche. Ce schéma est la reconstitution 3D de l'ensemble des images, effectuée via le logiciel OSIRIX®, du furet d'expérimentation.

Etape 5 : Mise en ligne de l'Atlas (adresse internet rappelée en Annexe 3)

Les images ont ensuite été transférées sur le site internet créé pour héberger l'atlas.

L'atlas scanner est mis en ligne sous l'adresse : **<http://www.anatimagerie-envt.fr/atlas/>**

Pour accéder aux images relatives au furet, il faut, dans l'ordre :

- Rentrer l'adresse mail donnée ci dessus pour rejoindre le site internet.
- Cliquer sur « Atlas » dans la barre du haut.
- Choisir « NAC » puis « Furet »
- Les premières images légendées apparaissent et défilent de la plus crâniale à la plus caudale pour un filtre donné. En dessous des images vous pouvez choisir la fenêtre (ou filtre) tissulaire de visualisation ; en effet, ce site rassemble les planches en coupes transversales de l'ensemble du corps du furet soumis à trois filtres différents suivant les structures à objectiver précisément : tissu osseux, tissu mou et tissu pulmonaire.

La partie dédiée au « scanner tissu osseux » est composée de 35 planches, 46 pour celle « scanner tissu mou » et 11 pour celle « scanner tissu pulmonaire ».

III/ PRESENTATION D'IMAGES MISES EN LIGNE

A) Filtre « Tissu osseux »

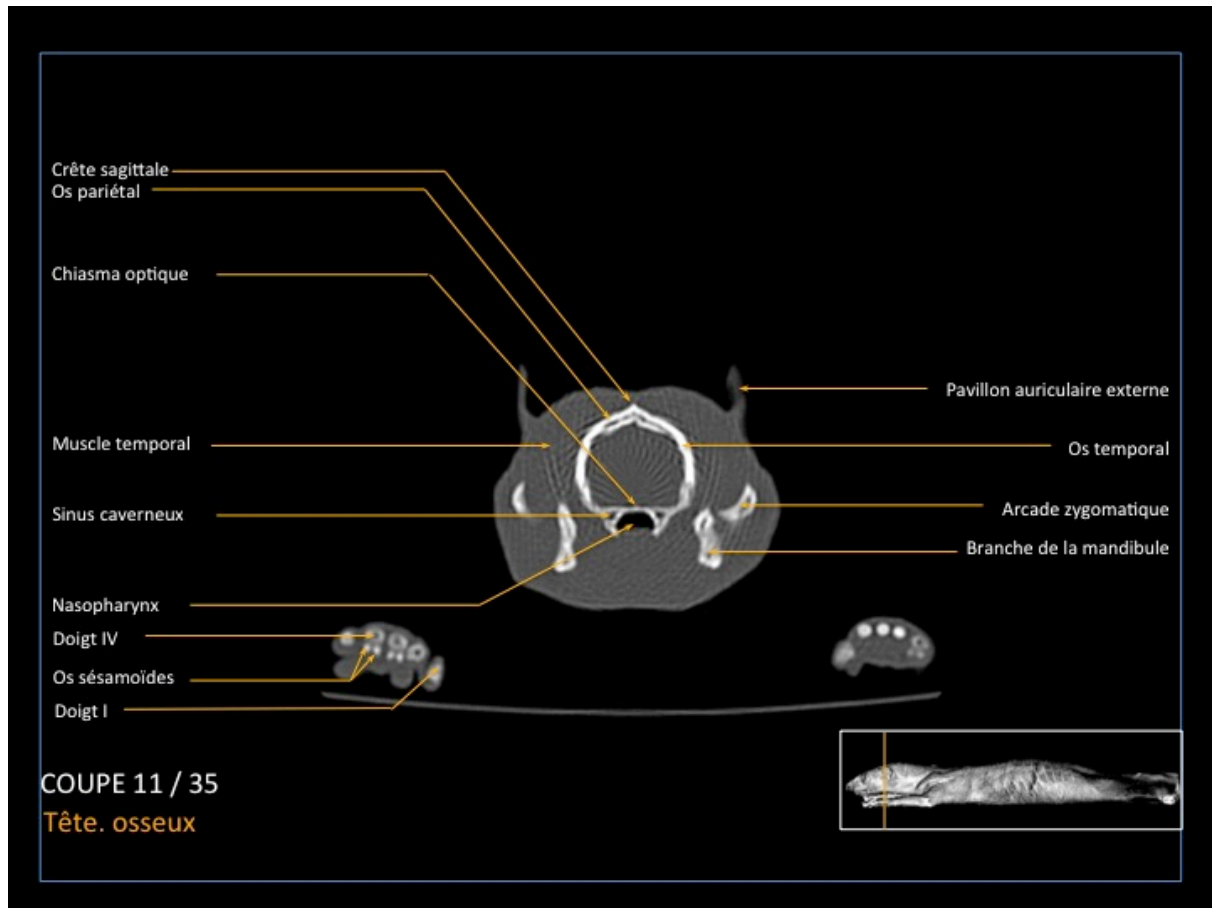


Figure 14 : Coupe 11/35 Filtre osseux. Tête.

On y visualise les os du crâne et les doigts des membres thoraciques avec les deux os séamoïdes en regard de chaque doigt.

On obtient des images relativement précises pour ce qui est de l'utilisation du filtre tissu osseux. Ainsi, il est possible d'individualiser l'ensemble des structures du squelette du furet.

L'intérêt médical qui en découle en est une précision de visualisation de l'intégrité des structures osseuses dans le cadre de recherche de fracture, de remaniements osseux, de contextes tumoraux mais aussi pour objectiver l'intégrité des sinus.

B) Filtre « Tissu Pulmonaire »

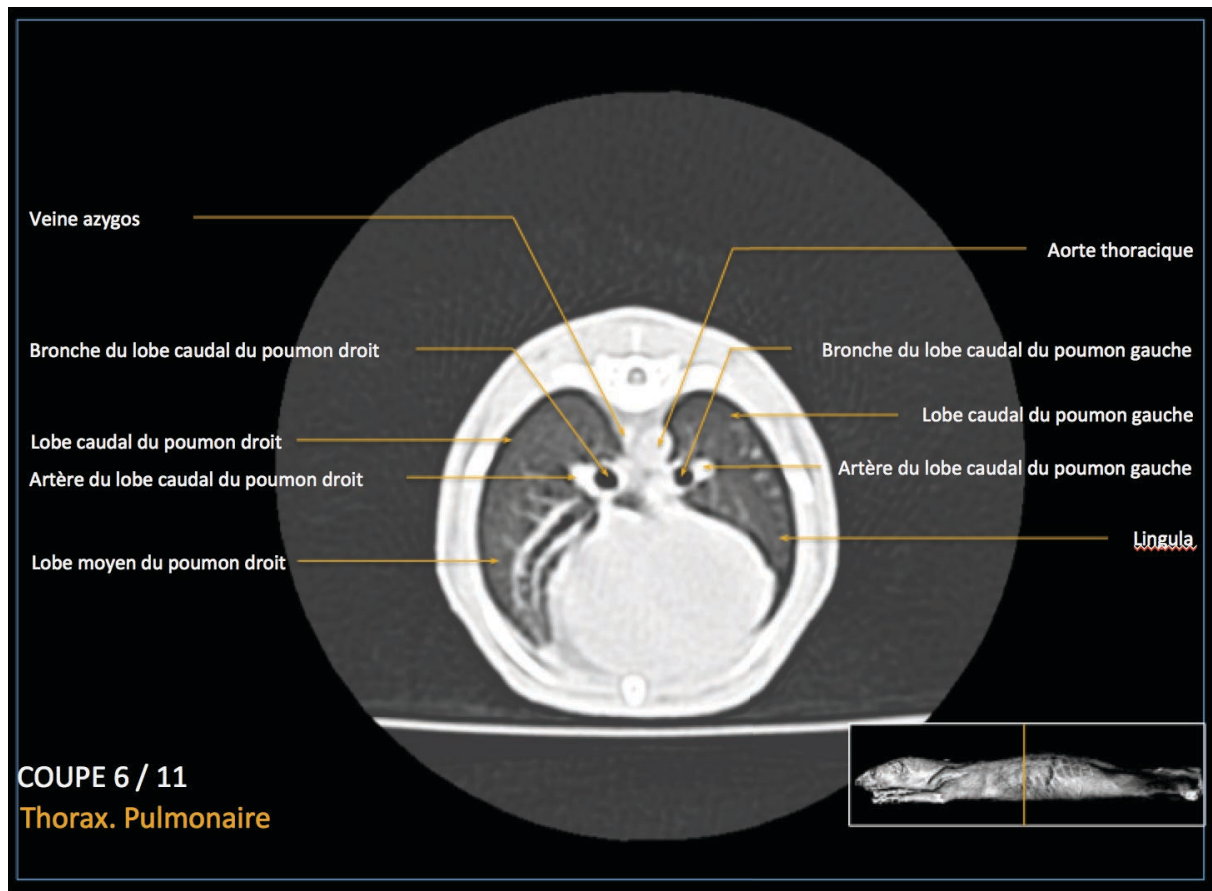


Figure 15 : Coupe 6/11 Filtre Pulmonaire. Thorax.

On y visualise les différents lobes pulmonaires dont on peut qualifier les parenchymes. Il est aussi intéressant d'étudier les triades associant bronche, veine et artère, avec leurs diamètres, aspects...

Pour ce qui est de l'utilisation du filtre tissu pulmonaire, les structures pulmonaires sont facilement repérables.

Chez le furet cet examen a un intérêt dans la mesure où il a une meilleure sensibilité que les autres examens d'imagerie pour ce qui est d'objectiver des processus infectieux ou tumoraux. En effet, en pratique, on constate qu'en cliché radiographique, une densification interstitielle est présente et engendre souvent une surinterprétation.

Le furet est sujet aux atteintes respiratoires d'origines infectieuses (Orthomyxovirus soit le virus de la grippe humaine, *Pseudomonas luteola*...) mais aussi environnementales (allergiques), et consécutive à un corps étranger ou une fausse déglutition. Il est aussi utilisé dans le cadre de diagnostic et recherche de localisation de brèche trachéale parfois rencontrée chez le furet.

C) Filtre « Tissu mou »

Pour ce qui est de l'utilisation du filtre tissu parenchymateux, les planches obtenues permettent de mettre en évidence la majorité des organes plus ou moins précisément.

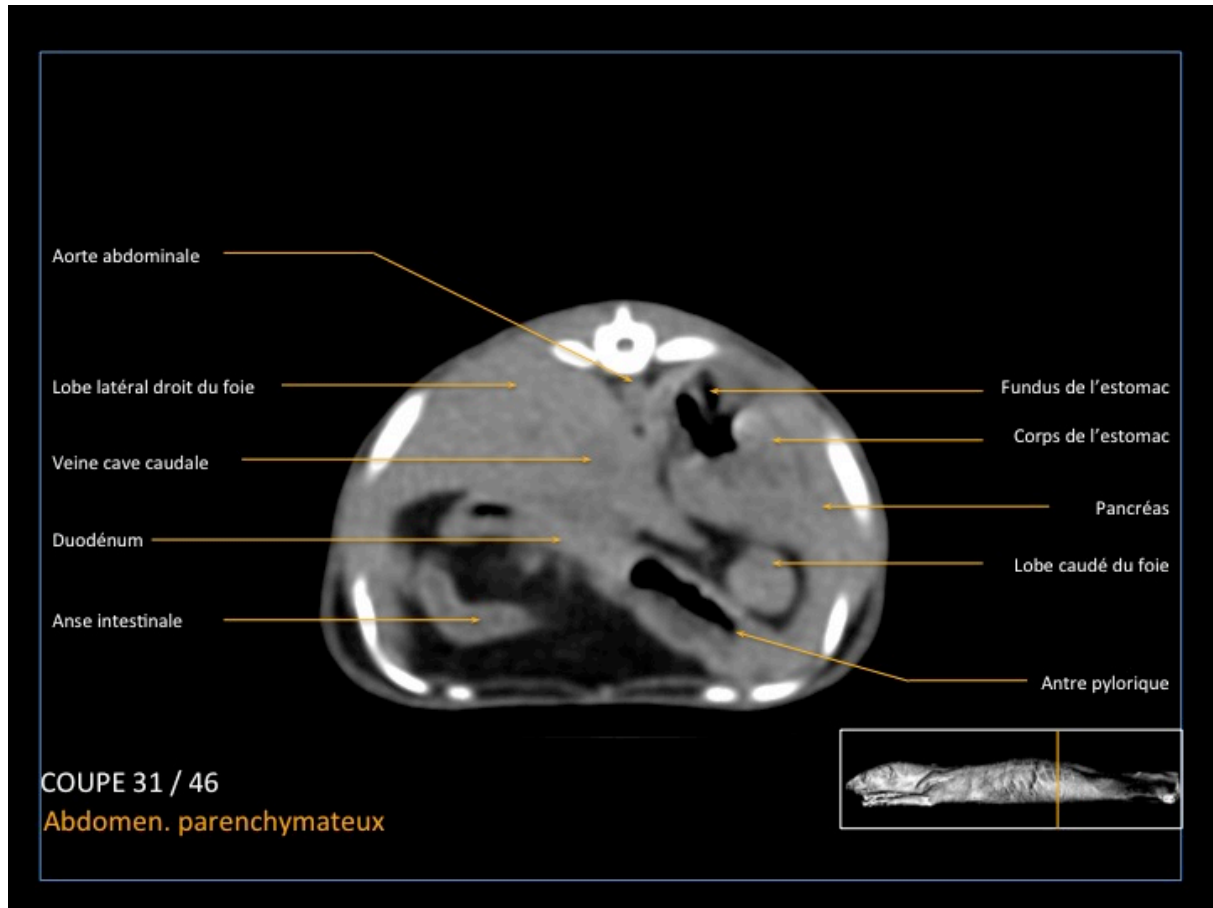


Figure 16 : Coupe 31/46 Filtre Tissu mou. Abdomen.

*On y visualise les différents viscères abdominaux. De tels clichés de la région abdominale permettent de visualiser des organes tels que le pancréas (dans le cadre de l'exploration **d'insulinome**, première endocrinopathie rencontrée chez le furet), l'intégrité du tube digestif (dans le cadre d'un potentiel corps étranger), la présence d'une masse, d'un nœud lymphatique réactionnel...*

Cependant, dans le cas de nos images, les vaisseaux sont difficilement individualisables et le contraste avec les structures alentours est faible. De ce fait, une structure tissulaire noyée dans du tissu mou ne peut être individualisée précisément. Seuls les zones de projection de ces structures apparaissent en légendes sans délimitation précise. C'est le cas notamment de l'ensemble des masses musculaires au sein desquelles on ne peut différencier chaque muscle. C'est aussi le cas, par exemple, des structures telles que les glandes buccales et nœuds lymphatiques qui n'ont pas pu être individualisés précisément.

De même, le foie apparaît très volumineux et la distinction des différents lobes n'est pas claire chez le furet, comme on peut le voir sur la figure 17.

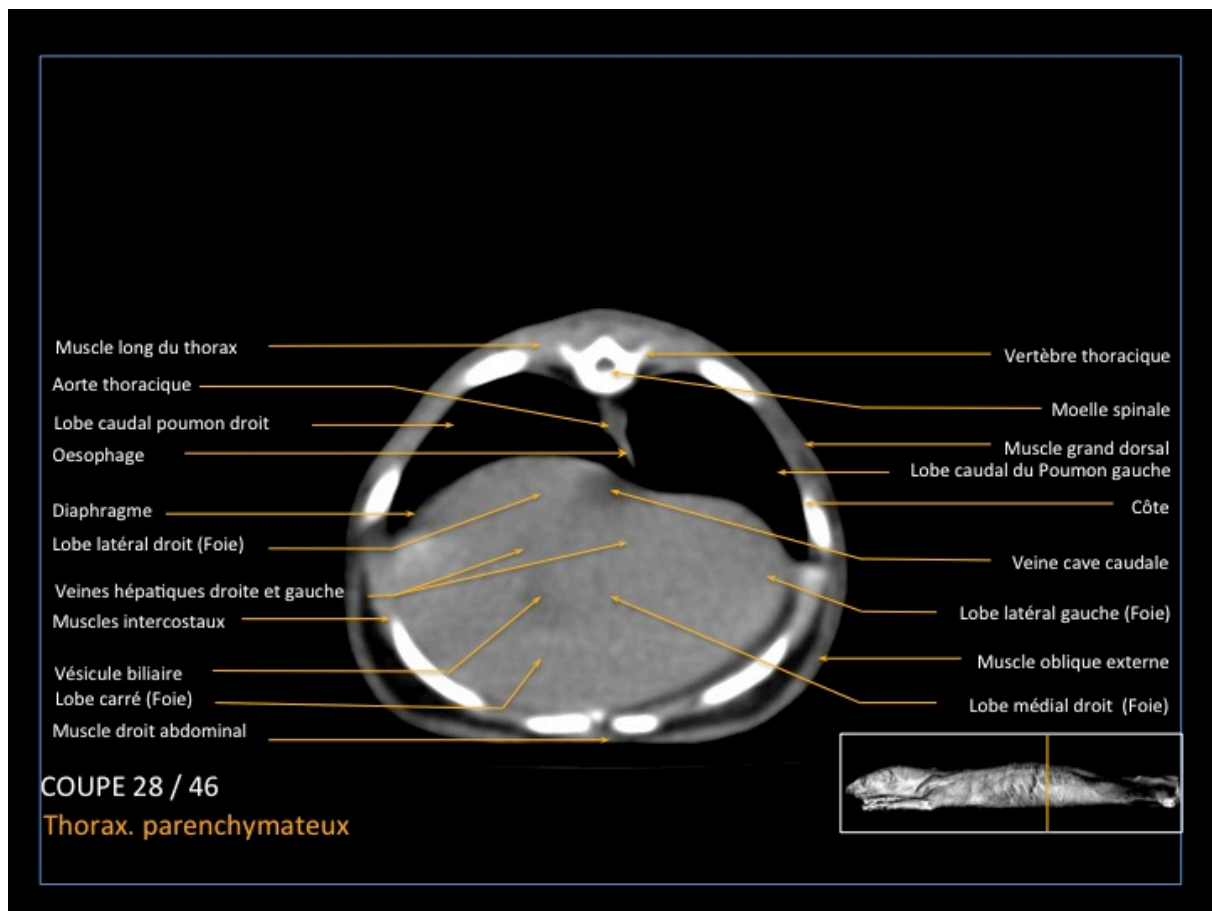


Figure 17 : Coupe 28/46 Filtre Tissus mous.Thorax.

*On y visualise les différentes aires de projection des lobes du foie sans pouvoir les individualiser précisément.
On ne délimite pas non plus les vaisseaux.*

Actuellement, l'examen tomodensitométrique est utilisé dans le cadre de bilan d'extension complet et notamment lorsqu'on suspecte une tumeur envahissante.

La plus rencontrée est la tumeur surrénalienne dont on veut savoir le degré d'envahissement au niveau de la veine cave. Le scanner est l'examen de choix pour visualiser ces glandes, estimer leur taille et aspect et le fait qu'elles soient ou non symétriques (cf Figure18).

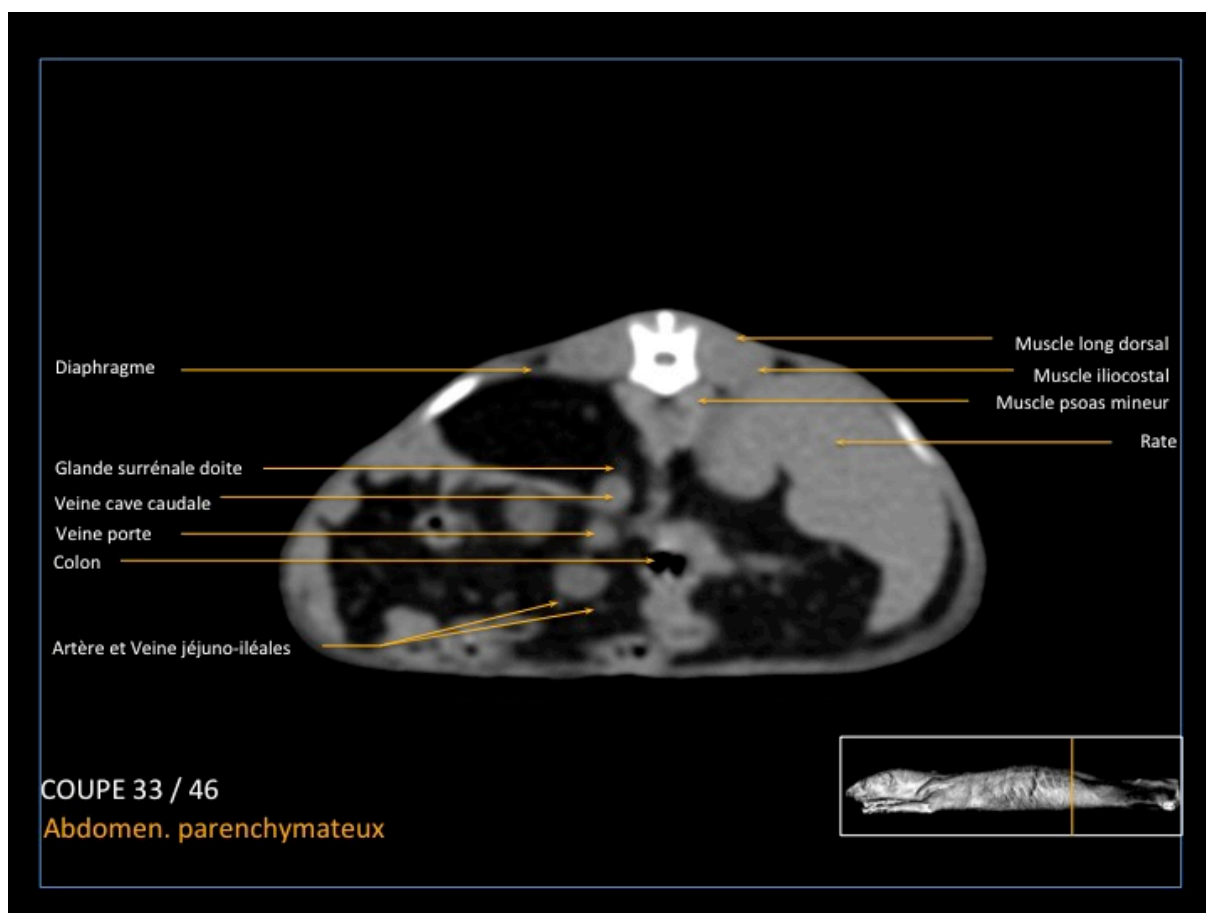


Figure 18 : Coupe 33/46 Filtre Tissus mous.Abdomen.

On y visualise la glande surrénale droite dont la localisation est à proximité de la veine cave caudale, elle même cotoyant la veine porte.

Un examen scanner via le filtre tissu mou peut être l'occasion de faire la distinction entre une masse surrénalienne et une rémanence ovarienne.

Les images tirées de ce filtre sont également privilégiées lors d'exploration du pancréas (dans le cadre de la recherche d'un éventuel insulinome, comme détaillé en légende de la figure 16), mais aussi de l'ensemble du tractus génital, du cœur (pour objectiver une cardiopathie dilatée ou hypertrophique), des vaisseaux pour toute étude vasculaire (shunt hépatique par exemple). Toutes les pathologies évoquées ci dessus sont fréquentes chez le furet.

IV/ INTERETS ET LIMITES

A) Un atlas à la disposition de tous

L'accès à ce site internet est mis à disposition des vétérinaires afin qu'ils puissent se familiariser avec des images normales tomodensitométriques obtenues à partir de coupes de références d'animal en bonne santé. Ces images peuvent être utilisées en comparaison à celles obtenues chez un animal malade, pour aider le praticien débutant dans sa démarche diagnostique.

Les images ont été préalablement lues par plusieurs vétérinaires spécialistes en imagerie ou en médecine des NAC, de façon à avoir un regard critique sur l'anatomie légendée d'un seul furet pour élaborer un atlas de référence. Chez la furette choisie aucune anomalie d'intérêt visible par examen tomodensitométrique n'a été mise en évidence. Cependant ces images doivent être considérées comme un exemple tout en gardant à l'esprit qu'elles sont propres à un furet avec ses particularités anatomiques, son âge, son sexe. Il aurait notamment été intéressant de compléter l'étude avec un scanner de furet mâle.

Ces images ne peuvent donc pas remplacer la lecture d'un vétérinaire spécialisé en imagerie, formé à cette étude.

B) L'examen scanner, un examen de choix en médecine des NAC

Actuellement l'utilisation de la méthode scanner chez les NAC est en plein essor. L'examen tomodensitométrique permet de diagnostiquer certaines pathologies plus tôt et plus précisément qu'avec d'autres techniques d'imagerie (échographie ou radiographie) en offrant une visualisation d'organes habituellement difficiles à évaluer avec des images radiographiques classiques. En effet, et comme il a été discuté précédemment à l'occasion de la présentation des planches, pour ces animaux de petite taille le scanner vient à remplacer la radiographie en médecine et notamment en ce qui concerne l'imagerie des tissus pulmonaires ou du crâne dans le cadre d'exploration des sinus ou de fractures, mais aussi de bilan d'extension. Cela s'explique par le fait que le scanner offre une meilleure sensibilité (D'après BOUSSARIE D., 2008).

De plus, chez les NAC l'exploration des troubles neurologiques requiert un examen scanner en première intention. Certes, l'IRM est supérieure mais très peu disponible en France, de puissance non adéquate d'où un temps d'acquisition des images trop long pour une résolution décevante comparée à ce qu'on peut obtenir plus facilement via le scanner.

En d'autres termes, les indications à réaliser un scanner chez le Furet sont toutes semblables à celles rencontrées chez les autres carnivores domestiques.

C) Comment affiner la lecture des clichés tomodensitométriques ?

Malgré tout, la petite taille de ces animaux est un biais à la réalisation d'un tel examen, de part l'enjeu de l'anesthésie mais aussi de part le fait que les structures à identifier sont elles même petites et difficilement individualisables. Une bonne lecture des images nécessite un réglage précis des paramètres du scanner et l'obtention d'images absolument nettes.

C'est pourquoi actuellement certaines cliniques ne réalisent des scanners, à visée diagnostic chez les NAC, qu'en utilisant un **produit de contraste hydrosoluble iodé**. L'examen se déroule alors en deux phases. La première est dite sans préparation et permet l'obtention d'une première série d'images. Elle est suivie d'une deuxième phase après l'injection d'un produit de contraste iodé par voie intraveineuse. Celui ci permet de rehausser les structures vasculaires et certains tissus (en particulier les tumeurs). La lecture consiste en la comparaison des deux séries d'images. Le diagnostic tomodensitométrique est donc affiné dans le cadre d'études vasculaires ou dans la mise en évidence de régions inflammatoires ou tumorales (D'après BLACKWELL W., 2011).

Aucun produit de contraste n'a été injecté dans le cadre de cette étude car son utilisation n'est pas sans conséquence pour le modèle biologique. L'élimination de tels produits se fait par filtration rénale et ainsi les contre-indications sont nombreuses. Ils ne doivent pas être utilisés chez un patient insuffisant rénal chronique ou en état de choc, de déshydratation ou hypovolémique ; en d'autres termes, toute situation favorisant une crise d'insuffisance rénale aigüe.

CONCLUSION

Avec plus d'un million de furets dans les foyers français, la place de ce petit carnivore à l'allure atypique devient non négligeable en médecine vétérinaire. Mieux connaître cette espèce pour mieux la soigner implique d'avoir recours à des examens complémentaires spécifiques, adaptés mais encore très peu utilisés à ce jour. L'imagerie est une spécialité devenue primordiale pour la médecine des NAC en général.

Parmi les examens d'imagerie, la tomодensitométrie est l'examen de choix car sa sensibilité permet de détecter des anomalies plus précocément et plus précisément. Cependant il n'est intéressant de réaliser un scanner à visée diagnostique qu'à la condition de connaître l'anatomie de ce carnivore « au long corps et aux pattes courtes » et de savoir lire ce genre de clichés.

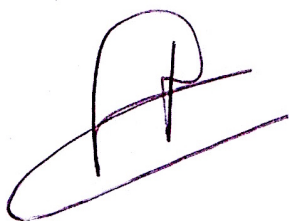
Or et actuellement, dans les écoles vétérinaires, très peu d'heures d'enseignement sont consacrées à la formation des étudiants à la lecture d'images scanner, encore moins chez les NAC. Cet atlas offre ainsi des images dites « de référence » pour aider les débutants et pour aiguiller leur diagnostic en comparant les images issues d'un animal sain avec celles d'un animal chez qui l'exploration est nécessaire. Il est toutefois primordial de rappeler que ce travail de thèse ne peut pas remplacer le travail d'un spécialiste formé à la lecture de telles images.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

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

Je soussigné, Fabrice CONCHOU, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **CALANDRA Marion** intitulée « **Mise en place d'un atlas d'images normales scanner chez le FURET.**» et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 7 juillet 2016
Docteur Fabrice CONCHOU
Enseignant chercheur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



Vu :
Le Président du jury :
Professeure Isabelle BERRY



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



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



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



BIBLIOGRAPHIE

AROUNDAS H.Y., TELKIN I., BIRGUL R., (2010) Determining Hounsfield Unit values of mortar constituents by computerized tomography, Measurement, Elsevier, 43, 410-414.

BEEBER N.L., (2011) Journal of Exotic Pet Medicine, Vol 20, No 3 (July), 2011: pp 206–216 Surgical Management of Adrenal Tumors and Insulinomas in Ferrets. Elsevier Inc.

BEGON D. (1991) Les indispensables de l'animal de compagnie: atlas d'anatomie, Tomodensitométrie du chien, PMCAC.

BLUM A., (2002) Scanner volumique multicoupe : principes, applications et perspectives, ITBM-RBM, 23 : 190-211, Edition scientifiques et médicales Elsevier.

BLACKWELL W.(2011) Veterinary computed tomography. Edition Tobias SCHWARZ et Jimmy SAUNDERS. 23-68.

BOUSSARIE D. (2008), Guide Pratique de médecine du furet. Editions MED'COM. 14-21.

BUSHBERG JT and al., (2012) The essential physics of medical imaging, 3rd edition Wolters KLUWER, 312-374

BUTHIAU D., BLUM A., REGENT D., (1996) Scanner hélicoïdal : principes et perspectives cliniques, Revue médecine interne, 17 :243-254, Elsevier, Paris.

CARPENTER J.W., MARION C.J. (2012), Exotic animal formulary 4th edition ELSEVIER. 561-590.

CONCHOU F., LAMOUR-LAYSSOL C., MOGICATO G., Du rayon X à l'image radiographique, Unité d'imagerie médicale- ENVT.

FOX J.G., MARINI R., BLACKWELL W. (2014) Biology and disease of the Ferret. 3rd edition. Chapitre 2 Anatomy of the ferret, 464-468.

HEBERT F., BULLIOT C. (2014), Guide pratique de médecine interne chien, chat et NAC. Editions MED'COM 4th édition. 642, 650, 663, 678.

HUYNH M., LALOI F. (2013), Diagnosis of Liver Disease in Domestic Ferrets (MustelaPutorius) Vet Clin Exot Anim 16 (2013) 121–144 Elsevier Inc.

KERAVEC O., CANIVEL S. (2011) Guide pratique du scanner en médecine et chirurgie vétérinaire canine et féline, Med'com.

LECLERC X., PRUVO J.-P. (Janvier 1995) Scanner hélicoïdal dans les sténoses athéroscléreuses de l'artère carotide interne, Sang Thrombose Vaisseaux, Volume 7, Numéro1, 45-52.

LEWINGTON J.H. (2007). Ferret Husbandry, Medicine and Surgery. SAUNDERS ELSEVIER Second edition. 15-33, 433-436.

MARTINEZ et al. / (2015) Journal of Exotic Pet Medicine Vol 24 (2015), p 333–339
SPONTANEOUS PRIMARY HYPOPARATHYROIDISM IN A FERRET (MUSTELA PUTORIUS FURO) Elsevier Inc.

McCRACKEN T.O. et KAINER R.A. (2010) Atlas d'anatomie du chien, du chat et des NAC Les fondamentaux. MED'COM éditions. 135 pages.

NAHUM H., BELLIN M.F., FAURE C., FRIJA G, GAUX J.C., GRENIER N., GRENIER P., MARSAULT C., MORVAN G. (2004), Traité d'imagerie médicale, Médecine-Sciences-Flammarion, tome 1, 2004.

QUESENBERRY K.E., CARPENTER J.W., (2012) Ferrets, Rabbits, and Rodents Clinical Medicine and Surgery. 3rd edition. 1-12

SCHWARZ T. et SAUNDERS J. (2011) Veterinary computed tomography edition WILEY-Blackwell. 1-76

TREMBLAY M. (2000), Nos amis les animaux : le Furet. Le jour éditeur.

ANNEXE 1

Molécules utilisées pour l'anesthésie du furet (D'après FOX J.G., 2014 et CARPENTER J.W., 2012)

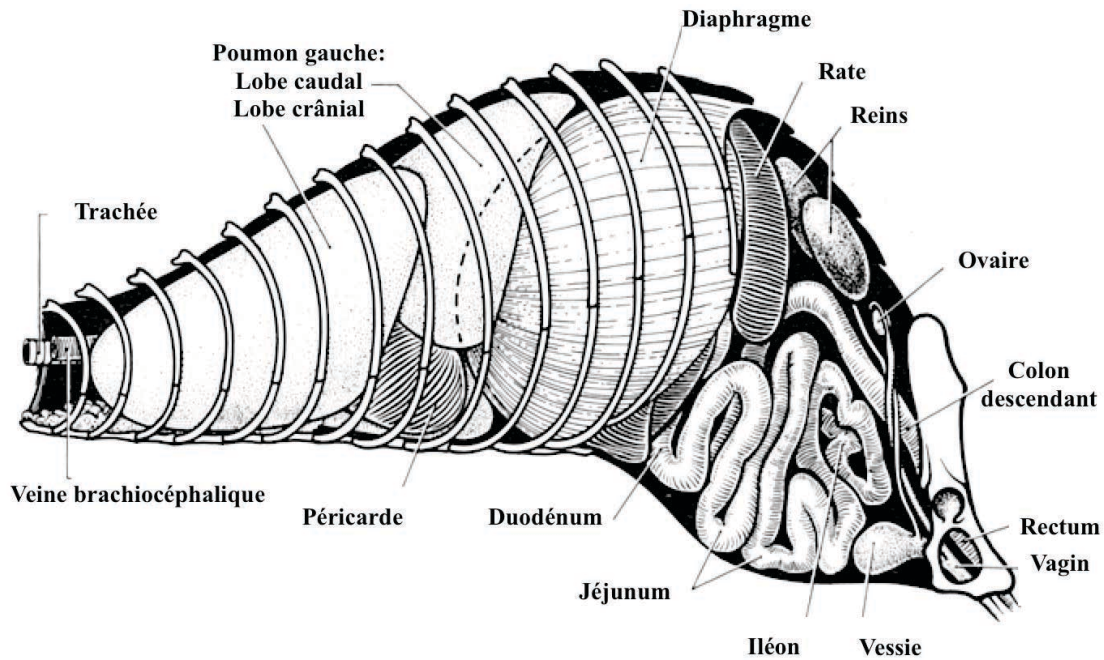
<u>Molécules</u>	<u>Posologie / voie d'administration</u>	<u>Particularités</u>	<u>Intérêts</u>
<u>Anesthésiques injectables</u>			
Neuroleptiques			
Acépromazine	0,1 à 0,5 mg/kg IM,SC	Non analgésique Dépressif Vasodilatateur Risque d'hypothermie	Sédatif/prémédicant Non analgésique Potentialisateur Relaxant Association au butorphanol
Alpha2agonistes			
Xylazine (<i>A éviter</i>)	1mg/kg SC,IM	Risque d'arythmie Inotrope négatif Dépressif Vasoconstricteur	Analgésique léger (action centrale) Potentialisateur Myorelaxant <i>Antidote : atipamézole</i>
Médétomidine (<i>Uniquement sur animal en bonne santé</i>)	0,08 à 0,1 mg/kg SC,IM	Vasoconstricteur Bradycardisant	Sédatif léger Analgésique Potentialisateur Myorelaxant <i>Antidote : atipamézole</i>
Dissociatifs			
Kétamine (<i>Ne pas utiliser seul</i>)	10 à 20 mg/kg IM	Non myorelaxant Epileptogène Tachycardisant Exacerbant des sécrétions salivaires et bronchiques	Chirurgie courte
Tilétamine/zolazépam	Mélange 50/50 de 10 à 25 mg/kg IM	Idem Kétamine	Chirurgie légère

Benzodiazépines			
Midazolam	0,5 à 2 mg/kg IM	Hydrosoluble Bonne diffusion tissulaire Faiblement sédatif Peu potentialisateur	Pré-anesthésique Peu d'effets secondaires Bon myorelaxant
Diazépam	1 à 2 mg/kg SC, IM	Moins hydrosoluble que le Midazolam	Sédation modérée Myorelaxant Effets cardiopulmonaires diminués
Dérivés phénoliques			
Propofol	2 à 5 mg/kg, IV		Anesthésique général Inducteur peu analgésique
Stéroïde neuroactif			
Alfaxalone	2 à 3 mg/kg IM, IV	Risque d'apnée (si protocole en IV)	Effets peu reproductibles en IM
Anticholinergiques			
Glycopyrrolate	0,01 à 0,02 mg/kg SC		Sécrétions bronchiques et salivaires en quantités diminuées Protecteur contre les effets bradycardisant
<u>Analgésiques</u>			
Opiïdes			
Morphine	0,5 à 2 mg/kg/2à4h SC, IM,	Risque de dépression respiratoire et d'iléus	Bon sédatif Très bon analgésique
Buprénorphine	0,01 à 0,03 mg/kg/8h SC, IM, IV	Moindre risque de dépression respiratoire et d'iléus	Bon sédatif Très bon analgésique Action durable (7h)

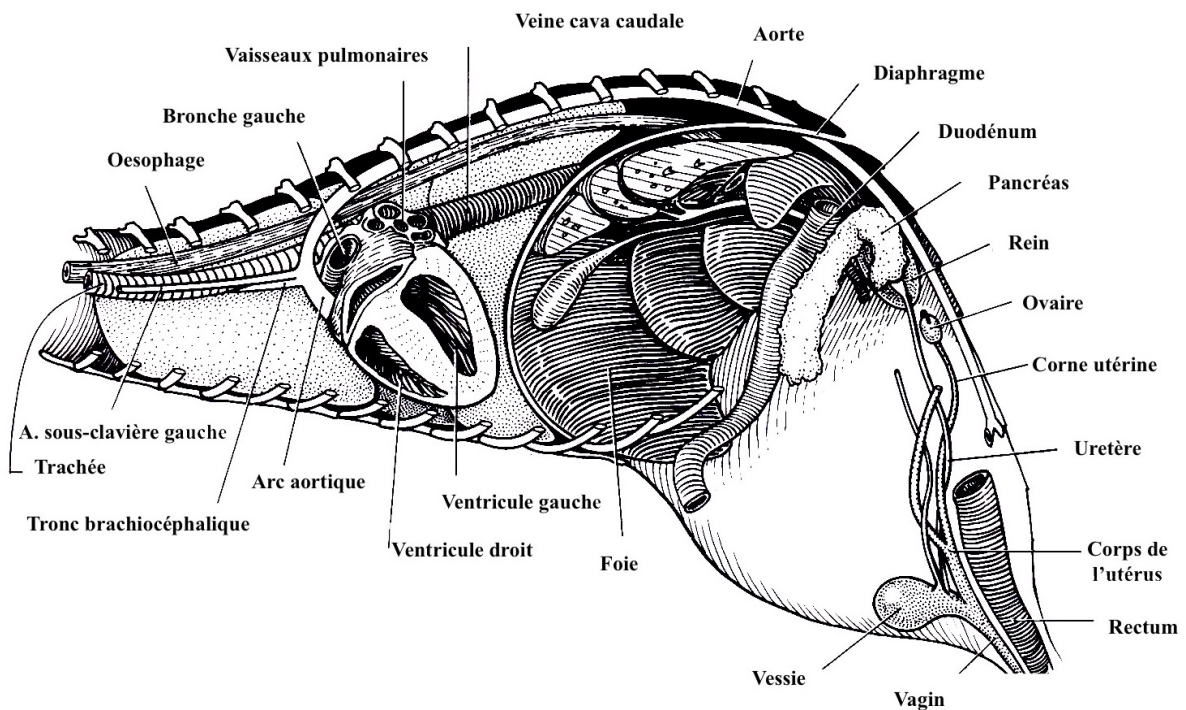
Butorphanol	0,1 à 0,5 mg/kg/1à2h SC, IM	Moindre risque d'iléus Dépression respiratoire lors de dosage élevé	Analgésique Sédatif léger Action courte
AINS			
Caprofène <i>(Ne pas utiliser chez les insuffisants rénaux ou hépatiques)</i>	1mg/kg/12h PO,SC	Attention aux gastrites et ulcères chroniques du TD chez de nombreux furets	
Flunixin mégлумine	0,5 à 2 mg/kg/12à24h SC		Anti cox 2 et cox 1
Ibuprofène	1mg/kg/12à24h PO		
Kétoprofène	1mg/kg/24h PO, SC, IM		
Méloxicam	0,2 mg/kg/24h PO, SC		Douleurs modérées Utilisation assez sûre Administration facile Association avec les opioïdes
Acide acétyl salicylique	10 à 20 mg/kg/24h PO		
Acide tolfénamique	4 mg/kg/24h SC, PO		

ANNEXE 2

Vue anatomique d'ensemble des viscères thoracique et abdominaux



Vue superficielle latérale gauche. Viscères thoraciques et abdominaux (D'après FOX J.G. 2014)



Cavité thoracique et abdominale. Poumon gauche et lobes gauches du foie retirés (furet femelle) (D'après FOX J.G. 2014)

ANNEXE 3

Atlas tomodensitométrique du furet sain en ligne à l'adresse

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

TITRE : MISE AU POINT D'UN ATLAS EN LIGNE D'IMAGES TOMODENSITOMETRIQUES NORMALES DU FURET (*Mustela putorius furo*)

RESUME : Le furet est, au même titre que le chien et le chat, un carnivore domestique. Il est même actuellement le 3^{ème} animal de compagnie le plus répandu en Amérique du Nord, en Europe et au Japon. Avec 1 million de furets dans les foyers français, on comprend bien que sa place en médecine vétérinaire devient non négligeable. Un recours à des connaissances quant aux spécificités de cette espèce et à des examens complémentaires adaptés devient nécessaire pour procurer des soins de qualité. Ce travail de thèse est ainsi d'offrir à son lecteur un résumé des particularités physiologiques succinctement, mais surtout anatomiques afin de mieux connaître cette espèce au « long corps et aux pattes courtes » ; ceci directement appliqué à l'interprétation d'images tomodesitométriques. Ainsi, l'élaboration d'un atlas d'images tomodesitométriques légendées d'un furet en bonne santé, accessible à tous depuis un site internet, pourrait permettre au praticien débutant de se familiariser avec de telles images dites « de référence » et à utiliser en comparaison de celles obtenues chez un animal malade pour aiguiller le diagnostic (tout en gardant un regard critique cependant). En effet l'utilisation du scanner chez les Nouveaux Animaux de Compagnie est débutante et l'interprétation des clichés parfois délicate. Les images en coupes transversales ont été acquises suivant trois filtres chacun adapté à la visualisation d'un type tissulaire : un filtre pour les tissus osseux, un autre pour le tissu pulmonaire et un dernier pour les tissus parenchymateux. Cette étude s'articule dans un premier temps autour des principes physiques de la tomodesitométrie et la réalisation pratique d'un examen scanner. La seconde partie présente l'anatomie du modèle biologique utilisé. La troisième et dernière partie est consacrée à la création et à la mise en ligne de l'atlas tomodesitométrique normal du furet.

MOTS CLES : FURET, TOMODENSITOMETRIE, ATLAS, WEB

TITLE: REALISATION OF A TOMODENSITOMETRIC ATLAS OF A FERRET (*Mustela putorius furo*) ONLINE

ABSTRACT : The ferret is, just like the dog and the cat, a domestic carnivore. It is even now the third most common pet in North America, Europe and Japan. With 1 million ferrets in French homes, one easily understands that its place in veterinary medicine becomes significant. A use of knowledge about the specifics of this species and to appropriate additional tests becomes necessary to provide quality care. This thesis is thus to provide the reader a summary of physiological particularities, briefly, but mostly anatomical particularities to learn more about this species with « long body and short legs » ; This directly applied to the interpretation of Computed Tomography (CT) images. Thus, the development of a captioned CT image atlas of a healthy ferret, accessible to all from a web site, could allow the beginning practitioner to be familiar with such images called "reference" and use compared to those obtained in a sick animal to direct diagnosis (while keeping a critical eye though). Indeed using the scanner in exotic pets is something new and interpretation is sometimes difficult. The images in cross sections were acquired through three filters each adapted to the type of tissue visualized: a filter for bone tissue, another for lung tissue and one for parenchymal tissues. This study is based initially around physical principles of CT and the practical embodiment of a CT scan. The second part presents the anatomy of the biological model. The third and final part is devoted to the creation and online publishing of a normal CT atlas of the ferret.

KEYWORDS : FERRET, CT, ATLAS, WEB
